



Cobertura del suelo sobre la concentración de nutrientes en un agroecosistema en Napo, Ecuador¹

Soil cover on nutrient concentration in an agroecosystem in Napo, Ecuador

Ricardo Vinicio Abril Saltos², Daysi Changoluisa Vargas², Leobel Morell Perez³, Mayerling Kirina Toscano Guatatoca⁴, Brigitte Tatyana Pérez Tuti⁴

- ¹ Recepción: 16 de febrero, 2023. Aceptación: 18 de abril, 2023. Este trabajo fue producto del proyecto de investigación: “Propagación, crecimiento e identificación de metabolitos secundarios de las especies vegetales medicinales del Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica”, financiado por la Universidad Estatal Amazónica, Pastaza, Ecuador.
- ² Universidad Estatal Amazónica, Departamento de Ciencias de la Vida, Pastaza, Ecuador. rvabril@uea.edu.ec (autor para la correspondencia; <https://orcid.org/0000-0003-1544-4360>), dchangoluisa@uea.edu.ec (<https://orcid.org/0000-0003-3439-1196>).
- ³ Universidad Estatal Amazónica, Departamento de Ciencias de la Vida, Pastaza, Ecuador. lmorell@uea.edu.ec (<https://orcid.org/0000-0003-3963-947X>).
- ⁴ Profesional independiente. Pastaza, Ecuador. mayerling036@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-8809-0930>); tatyperecita18@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-9383-245X>).

Resumen

Introducción. La pérdida de nutrientes en diferentes coberturas de suelo, genera una disminución de la productividad en sistemas agroforestales en los bosques tropicales. **Objetivo.** Determinar el efecto durante dos años de la cobertura del suelo sobre la concentración de nutrientes en el agroecosistema del Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica. **Materiales y métodos.** El estudio se desarrolló en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica en Napo, Ecuador. Se establecieron dos parcelas de bosque primario con coberturas: a) guabas (*Inga* sp.) y b) melastomatáceas. Se realizaron dos muestreos aleatorios de suelo, uno en el año 2019 (cuatro muestras por cobertura) y otro en el año 2021 (seis muestras por cobertura), se analizaron las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y materia orgánica. Se aplicó un análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre las coberturas y los períodos de muestreo. Se realizó un análisis de correlación de Pearson para determinar las relaciones entre las concentraciones de los diferentes nutrientes. **Resultados.** Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para las coberturas de suelo en las concentraciones de materia orgánica y fósforo, que fueron mayores en la parcela con melastomatáceas. En el año 2021 se observaron diferencias significativas para las concentraciones de potasio, fósforo y nitrógeno. La interacción año x cobertura, en la cobertura guabas, mostró un incremento de concentración de nutrientes después de los dos años. Hubo correlaciones significativas entre las concentraciones de potasio con el resto de nutrientes y de la materia orgánica con el nitrógeno. **Conclusión.** La cobertura de suelo influyó sobre la concentración de nutrientes, que varió entre años. El bosque primario reportó la mayor pérdida de nutrientes y la cobertura de *Inga* tuvo un incremento en la concentración de estos con el paso del tiempo.

Palabras claves: Amazonia, bosque primario, concentración, *Inga*.



Abstract

Introduction. Nutrient loss in different soil cover generates a decrease in productivity in agroforestry systems in tropical forests. **Objective.** To determine the effect of soil cover over a two-year period on nutrient concentrations in the agroecosystem of the Amazonian Research and Production Experimental Center. **Materials and methods.** This study was conducted at the Amazonian Research and Production Experimental Center in Napo, Ecuador. Two plots of primary forest were established with the following soil covers: a) guava (*Inga* sp.) and b) melastomataceae. Two random soil samplings were conducted, one in 2019 (four samples per cover) and another in 2021 (six samples per cover). Concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and organic matter were analyzed. An analysis of variance was applied to determine significant differences between the soil coverages and sampling periods. Pearson correlation analysis was performed to determine relationships between the concentrations of different nutrients. **Results.** Significant differences ($p < 0.05$) were observed for soil covers in concentrations of organic matter and phosphorus, which were higher in the melastomataceae plot. In 2021, significant differences were observed for potassium, phosphorus, and nitrogen concentrations. The year x cover interaction in guava cover showed an increase in nutrient concentrations after two years. Significant correlations were found between potassium concentrations and the other nutrients, as well as between organic matter and nitrogen concentrations. **Conclusion.** Soil cover influenced nutrient concentrations, which varied between years. The primary forest exhibited the highest nutrient loss, and the *Inga* cover showed an increase in nutrient concentrations over time.

Keywords: Amazonia, primary forest, concentration, *Inga*.

Introducción

Los ecosistemas forestales proveen servicios ecosistémicos como: provisión de alimentos, materiales maderables y no maderables, recursos genéticos, regulación del clima, calidad de aire, agua y recreación (Monárrez-González et al., 2018). Cumplen un papel importante en la captación de agua, conservación de la biodiversidad, fertilidad del suelo y regulación del clima (Gaspar-Santos et al., 2015). En estos, la materia orgánica y los elementos minerales se ven influenciados por las relaciones suelo-vegetación-ambiente, los cuales juegan un papel importante en el ciclaje de los bioelementos (Prause et al., 2012).

Los bosques, presentan bienes intangibles como: beneficios espirituales, recreación y herencia cultural. Para algunas sociedades la conservación de los bosques es un valor fundamental, mientras que para otras lo consideran un obstáculo para el desarrollo económico. Si bien los bosques nativos se consideran como una fuente de recursos, también tienen un importante valor cultural para las comunidades indígenas y campesinas (Aguilar-Correa et al., 2019).

En Ecuador, los bosques representan el 75 % del territorio. La región amazónica ecuatoriana contiene una considerable extensión de bosques con respecto al territorio nacional, el bosque montano oriental con 31 555 km², bosque piemontano oriental con 13 133 km² y bosque húmedo amazónico con 73 909 km² (Pontificia Universidad Católica [PUCE] del Ecuador, 2020). Los bosques tropicales, ubicados en la zona ecuatorial, principalmente en la Amazonía alta, presentan una gran diversidad vegetal, en estrato arbóreo y sotobosque (Jiménez et al., 2017), en estos suelos, los ciclos biogeoquímicos se ven favorecidos por la presencia de hojarasca y el desarrollo de raíces, las cuales incorporan materia orgánica sobre y debajo de la superficie del suelo (Bravo et al., 2017).

La introducción de especies leguminosas de rápido crecimiento, puede enriquecer el contenido de biomasa en veintidós meses, lo que en un bosque primario se realizaría en seis años. Plantas del género *Inga*, pueden presentarse como parte de la regeneración natural en bosques secundarios, donde la presencia de árboles y arbustos influyen en

una relación carbono y nitrógeno alta y altos contenidos de nitrógeno en el estrato arbóreo y arbustivo (Verçozza da Silva et al., 2015). Los restos de material vegetal pueden contener 24,9 g kg⁻¹ de nitrógeno, 6,99 g kg⁻¹ de calcio, 6,49 g kg⁻¹ de potasio y una relación de 19,4 entre carbono y nitrógeno (Rodríguez da Silva et al., 2021), que aportan nutrientes a los suelos.

El presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto durante dos años de la cobertura del suelo sobre la concentración de nutrientes en el agroecosistema del Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica.

Materiales y métodos

Este trabajo se desarrolló en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA), de la Universidad Estatal Amazónica, en el cantón Arosemena Tola, provincia de Napo, Ecuador, en los años 2019 y 2021. Las características de las zonas en estudio se pueden observar en el Cuadro 1. El ecosistema se encuentra clasificado como bosque siempreverde piemontano del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes (BsPn03) (Galeas & Guevara, 2012). Este centro tiene una extensión de 2848,20 ha, en la que hay diferentes tipos de usos de suelo como: pastos (300 ha), infraestructura (aprox. 25 ha) y bosque primario (aprox. 2000 ha) (Universidad Estatal Amazónica, s.f.).

Cuadro 1. Ubicación y características de las parcelas de estudio en Arosemena Tola, Napo, Ecuador. 2019.

Table 1. Location and characteristics of the study plots in Arosemena Tola, Napo, Ecuador. 2019.

| Zona | Identificación | Rango de altura (m s. n. m.) | Coordenadas (UTM) | | Cobertura del suelo | Pendiente (%) |
|-----------------|----------------|---------------------------------|-------------------|---------|-----------------------------|------------------|
| | | | X | Y | | |
| Bosque primario | BP 1 | 663-671 | 175388 | 9864870 | Bosque primario | 8 |
| | BP 2 | 700- 704 | 175465 | 9865221 | Bosque primario | 6 |
| Intervenida | ZI 1 | 578-580 | 177670 | 9862889 | Arbolado de guabas | 3 |
| | ZI 2 | 578-579 | 177701 | 9862843 | Arbolado de melastomatáceas | 2 |

Con los registros de termómetros con Data Loader modelo R5, colocados en las zonas de ensayo, se determinó durante el periodo 2019 – 2020 en el bosque primario, una temperatura del aire promedio de 22,1 °C, con una mínima de 17,6 °C y una máxima de 32,3 °C, humedad relativa promedio del 92 %. En la zona intervenida, se reportó una temperatura del aire de 22,4 °C con un mínimo de 17,7 °C y un máximo de 34,6 °C y humedad relativa del 90,8 %. Registros tomados cada mes entre el 2019 y 2020, con el uso de un termómetro con punzón, que se introdujo a una profundidad de 15 cm, se reportó una temperatura del suelo promedio de 22,4 °C en el bosque primario y de 23,5 °C en la zona intervenida. Debido a la pandemia por el COVID-19, se realizó una última medición de las temperaturas de suelo y se retiraron de las parcelas los termómetros con data Loader en marzo 2020, previo al aislamiento de la población a nivel de todo el país.

Los datos de precipitación, se obtuvieron a través de isoyetas con los registros de la estación meteorológica Puyo, ubicada a 30 km del sitio de ensayo, la cual presenta registros hasta el año 2020, y la estación de Zatzayacu, ubicada a 6 km de los sitios de ensayo, esta presenta registros hasta el año 2013. Con los registros de ambas estaciones, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,75, para un período de dieciocho años. Los datos de precipitación de la estación Zatzayacu, se proyectaron en función de los datos de la estación Puyo, con la ecuación $y = 290,8157949 + 0,00000218868x^3$, obtenida como la de mejor ajuste en el coeficiente de correlación a través

del programa Table Curve 2D (SYSTAT Software Inc., 2002), teniéndose una precipitación acumulada para el año 2019 de 4911 mm y de 5790 mm para el año 2020.

En el bosque primario, se delimitaron dos parcelas: una zona con presencia de plantaciones de *Inga* sp. con una edad de seis años (año 2019) y la otra con melastomatáceas con una edad de diez años (año 2019). En ambas parcelas se establecieron hileras en sentido transversal a la pendiente. Se realizaron dos muestreos, donde se colectaron cuatro y seis muestras combinadas en cada una de las parcelas en el año 2019 y 2021, respectivamente.

Con ayuda de una pala, se llevó a cabo un muestreo en cruz a 15 cm de profundidad, las muestras fueron tomadas al azar en cada una de las parcelas. Las muestras obtenidas se identificaron y se llevaron al laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Amazónica. Se estimó la concentración de carbono y materia orgánica mediante calcinación (Schulte & Hopkins, 1996), pH con el uso de un pHmetro, la textura de suelo mediante el método de Bouyoucos, nitrógeno total por método de Kjeldahl y con el método Olsen se obtuvo el contenido de fósforo. El contenido de los elementos potasio, calcio y magnesio, se obtuvo por colorimetría (Bravo et al., 2017) y mediante la estimación de la absorbancia a una longitud de onda de 680 nm, se delimitaron dos parcelas con el uso del espectrofotómetro Modelo Genesys 10UV.

Las concentraciones de materia orgánica y nitrógeno, expresadas en porcentaje, fueron transformadas mediante la función raíz cuadrada, para que cumplan los supuestos de normalidad y homogeneidad (Herrera Villafranca, 2012). Se aplicó un factor de conversión de 0,58 para determinar la concentración de carbono en función de la concentración de materia orgánica (Rimski-Korsakov & Álvarez 2016), para ser utilizada después en la relación carbono-nitrógeno. Se realizó una prueba de homogeneidad de la varianza, para identificar si las muestras cumplían las condiciones de normalidad y homogeneidad, con el programa SPSS (International Business Machine Corp., 2020).

Se realizó un análisis de varianza con el programa INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2020), para determinar si existió diferencias significativas, tanto entre los años de monitoreo, como entre las diferentes coberturas para $p \leq 0,05$. Se llevó a cabo una prueba de comparación de medias de Tukey para las coberturas y de T student para el año de muestreo. Además, se realizó un análisis de correlación de Pearson, a través del programa SPSS, para determinar la interacción entre las concentraciones de nutrientes y las temperaturas promedio de aire y suelo.

Resultados

Las muestras obtenidas en bosque primario presentaron texturas franco y franco arcilloso arenoso. En bosque primario 1 el pH fue de 4,3 y en bosque primario 2 fue de 4,4. En la zona intervenida se reportaron texturas franco arcilloso y franco arcilloso arenoso. En la zona intervenida 1 el pH fue de 5,2 y en la zona intervenida 2 fue de 5,3.

Se obtuvieron diferencias significativas entre coberturas ($p < 0,05$) en las concentraciones de potasio, relación carbono nitrógeno y altamente significativas ($p < 0,0001$) para nitrógeno y la materia orgánica. También se observaron diferencias significativas en los diferentes años para las concentraciones de fósforo ($p < 0,01$) y potasio ($p < 0,001$), y en las interacciones cobertura x año para nitrógeno ($p < 0,05$) y el fósforo ($p < 0,01$) (Cuadro 2).

La prueba de comparación de medias en función de la cobertura, mostró que el bosque primario tuvo los menores valores de nitrógeno y relación nitrógeno – fósforo, mientras que las coberturas guabas y melastomatáceas, presentaron las mayores concentraciones de potasio y materia orgánica (Cuadro 3). Para el fósforo y potasio, existió una disminución de la concentración de nutrientes entre los años 2019 y 2021. Las concentraciones de calcio no mostraron diferencias entre las coberturas y el año de monitoreo, con una media de concentración de $1,28 \text{ Cmol kg}^{-1}$ en el bosque primario, $1,33 \text{ Cmol kg}^{-1}$ en la parcela con melastomatáceas y $1,54 \text{ Cmol kg}^{-1}$ en la parcela con guabas.

La prueba de Tukey para la comparación de medias para el análisis del efecto del año en la concentración de nitrógeno, fósforo y materia orgánica (Cuadro 4), mostró que, en el bosque primario, hubo disminución en

Cuadro 2. Análisis de varianza para la concentración de nutrientes en función de las coberturas de suelo y año de muestreo en Arosemena Tola, Napo, Ecuador. 2019-2021.

Table 2. Analysis of variance for nutrient concentrations based on soil cover and sampling year in Arosemena Tola, Napo, Ecuador. 2019-2021.

| Nutriente | Prueba de homogeneidad de las varianzas (significancia) | | Análisis de varianza (valor p) | | |
|----------------------------|---------------------------------------------------------|--------|--------------------------------|----------|-----------------|
| | coberturas | Años | cobertura | años | Cobertura x año |
| Nitrógeno | 0,3298 | 0,107 | <0,0001*** | 0,337 | 0,0292* |
| P | 0,019 | 0,0008 | 0,09 | 0,004** | 0,002** |
| K | 0,896 | 0,834 | 0,031* | 0,0004** | 0,2243 |
| Ca | 0,655 | 0,119 | 0,96 | 0,22 | 0,5934 |
| Materia orgánica | 0,112 | 0,928 | <0,0001 *** | 0,410 | 0,0164* |
| Relación carbono nitrógeno | 0,002 | 0,663 | 0,023* | 0,136 | 0,0819 |
| Relación nitrógeno fósforo | 0,477 | 0,722 | 0,639 | 0,31 | 0,1949 |

*Diferencias significativas para $p < 0,05$, ** Diferencias significativas para $p < 0,01$; *** *Diferencias significativas para $p < 0,001$. / *Significant differences for $p < 0.05$, ** Significant differences for $p < 0.01$; *** *Significant differences for $p < 0.001$.

Cuadro 3. Prueba de comparación de medias en función de la cobertura de suelo y año de muestreo en Arosemena Tola, Napo, Ecuador. 2019-2021.

Table 3. Mean comparison test based on soil cover and sampling year in Arosemena Tola, Napo, Ecuador. 2019-2021.

| | | Nitrógeno (%)* | Fósforo (ppm) | Potasio (Cmol kg ⁻¹) | Materia orgánica (%)* | Relación nitrógeno- fósforo |
|-----------|-----------------------------------|----------------|---------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Cobertura | Bosque primario | 0,06 (0,4 %) b | | 0,18 b | 0,39 (11 %) b | 0,05 c |
| | Parcela guabas (<i>Inga</i> sp.) | 0,10 (0,8 %) a | | 0,26 ab | 0,55 (29 %) a | 0,18 a |
| | Parcelas melastomatáceas | 0,09 (0,7 %) a | | 0,27 a | 0,60 (30 %) a | 0,11 b |
| Año | 2019 | | 12,4 a | 0,29 a | | |
| | 2021 | | 7,26 b | 0,18 b | | |

*Datos transformados según función arcoseno. Valores entre paréntesis indican las medias originales a, b: valores con letras comunes no difirieron para $p < 0,05$. / *Data transformed according to arcsine function. Values in parentheses indicate the original means a, b: values with common letters did not differ at $p < 0.05$.

las concentraciones de fósforo, nitrógeno y materia orgánica entre los dos años de evaluación, al contrario, la cobertura guabas mostró un incremento en todas las concentraciones, y en melastomatáceas hubo un incremento en la concentración de nitrógeno. La mayor pérdida de nutrientes se registró en la cobertura melastomatáceas en la concentración de fósforo.

El coeficiente de determinación (R^2) de Pearson para la concentración de nutrientes y temperatura del aire y suelo, mostró correlaciones al 0,01 de probabilidad entre el potasio con las concentraciones de materia orgánica y nitrógeno. Además, correlaciones (0,05) entre el nitrógeno y la materia orgánica. La temperatura del aire mostró correlaciones significativas para todos los nutrientes a excepción del calcio, mientras que la del suelo reportó correlaciones significativas para potasio, materia orgánica y nitrógeno (Cuadro 5).

Cuadro 4. Prueba de comparación de medias para la interacción cobertura de suelo y año de muestreo en Arosemena Tola, Napo, Ecuador. 2019-2021.

Table 4. Means comparison test for the soil cover and sampling year interaction in Arosemena Tola, Napo, Ecuador. 2019-2021.

| Cobertura | Año | Nitrógeno (%)* | | Fósforo (ppm) | | Materia orgánica (%)* | |
|---------------------------|------|---------------------|-----------|---------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | | media | variación | media | variación | media | variación |
| Bosque primario | 2019 | 0,07 (0,49 %) ab | -0,24 % | 12,26 ab | -4,4 | 0,46 (21,2 %) ab | -13,6 % |
| | 2021 | 0,05 (0,25 %) b | | 7,86 b | | 0,27 (7,3 %) b | |
| Guabas (<i>Inga</i> sp.) | 2019 | 0,09 (0,81 %) a | 0,19 % | 5,33 b | 0,44 | 0,46 (21,2 %) ab | 12,4 % |
| | 2021 | 0,10 (1 %) a | | 5,77 b | | 0,58 (33,6 %) a | |
| Melastomataceas | 2019 | 0,08 (0,64 %) ab | 0,17 % | 19,9 a | -14,13 | 0,57 (32,5 %) a | -1,7 % |
| | 2021 | 0,09 (0,81 %) a | | 5,77 b | | 0,55 (30,3 %) a | |

*Datos transformados según función arcoseno. Valores entre paréntesis indican las medias originales a, b: valores con letras comunes no difirieron para $p < 0,05$. / *Data transformed according to arcsine function. Values in parentheses indicate the original means a, b: values with common letters did not differ at $p < 0,05$.

Cuadro 5. Valores del coeficiente de determinación (R^2) de la prueba de Pearson para la concentración de nutrientes y temperatura del aire y suelo en Arosemena Tola, Napo, Ecuador. 2019-2021.

Table 5. Coefficient of determination (R^2) values of the Pearson's test for nutrient concentration and air and soil temperature in Arosemena Tola, Napo, Ecuador. 2019-2021.

| | Potasio | Calcio | Materia orgánica | Nitrógeno | Temperatura aire | Temperatura suelo |
|------------------|---------|--------|------------------|-----------|------------------|-------------------|
| Fósforo | ,270 | ,275 | -,113 | ,021 | ,304* | ,173 |
| Potasio | | ,399* | ,425** | ,540** | ,545** | ,364* |
| Calcio | | | ,037 | ,165 | ,006 | -,201 |
| Materia orgánica | | | | ,625** | ,464** | ,428** |
| Nitrógeno | | | | | ,661** | ,638** |

*Correlación significativa al 0,05. **correlación significativa al 0,01. / *Significant correlation at 0.05 level. ** Significant correlation at 0.01 level.

Discusión

Valores superiores a 0,25 % en el contenido de nitrógeno son considerados altos y valores inferiores al 15 % en fósforo y 10 % en potasio, son considerados como muy bajos (Crespo et al., 2006), por lo cual los suelos de las parcelas estudiadas tuvieron alto valor en nitrógeno, pero con déficit de fósforo y potasio. Estudios realizados en la amazonia ecuatoriana, reportaron concentraciones de nitrógeno entre 0,35 % y 1,34 %, mientras que en suelos con

cobertura de bosque se obtuvieron 0,74 % de nitrógeno, 8,74 mg kg⁻¹ de fósforo y 0,15 meq 100 mL⁻¹ de potasio (Bravo et al., 2017), los valores reportados en las parcelas estuvieron dentro de estos rangos.

En las capas arables de diversos suelos comprendidas entre 0 a 25 cm, el contenido de nitrógeno depende del contenido de materia orgánica del suelo y la mayor cantidad se encuentra en suelos ricos en humus, el fósforo se encuentra en la materia orgánica del suelo pero no está en función acumulativa con respecto a esta (Crespo et al., 2006). Esto concuerda con los resultados obtenidos en el presente trabajo, donde se reportaron correlaciones significativas de la concentración de materia orgánica con las concentraciones de fósforo y nitrógeno.

En bosques pluviales colombianos, se obtuvieron concentraciones de nitrógeno entre 0,1 % y 1,68 %, fósforo entre 0,49 y 3,5 ppm, materia orgánica entre 1,95 % y 24,74 %, potasio entre 0,06 y 0,48 meq 100 g⁻¹, relación carbono nitrógeno entre 2,49 y 11,9 y relación nitrógeno fósforo entre 0,03 y 2 (Quinto Mosquera et al., 2016). Sin embargo, en el bosque húmedo subtropical las concentraciones de nutrientes fueron menores con respecto a otras coberturas de suelo, ya que los nutrientes en su mayoría provienen de la hojarasca, con un retorno potencial de estos nutrientes al suelo de 40,46 kg/ha/año de nitrógeno y 2,45 kg/ha/año de fósforo (Fuentes Molina & Rodríguez Barrios, 2012). Lo antes expuesto, indica amplia variabilidad en las concentraciones de nutrientes dentro de los bosques tropicales y muestra que los datos obtenidos en el presente estudio se encuentran dentro de esos rangos, además concuerda con las menores concentraciones de nutrientes en el bosque primario.

Los cambios de uso de suelo afectan el contenido de materia orgánica e influyen sobre las reservas y la disponibilidad del fósforo inorgánico, pero no afectan al contenido de fósforo orgánico a corto y mediano plazo (Gianini et al., 2022). La mayor cantidad de nutrientes que adquieren los árboles se encuentra en la capa superficial del suelo y depende de la capacidad de descomposición de la hojarasca, considerada como todos los detritos vegetales (hojas, flores, frutos semillas, cortezas y ramas), la cual se mezcla con el primer horizonte mineral del suelo (Mantero-García et al., 2019). A esto se puede asociar, que en el bosque primario, hay una menor caída de hojas, además de que al ser sus detritos de madera más dura, demoran mayor tiempo en descomponerse, por lo cual la materia orgánica y nutrientes, también tardan mas tiempo en incorporarse al suelo.

La disminución de nutrientes en el suelo, con el paso del tiempo, es reportado en parcelas desarrolladas en Arosemena Tola, donde mostraron disminuciones de concentraciones en nitrógeno (23 %) y potasio (36 %) en períodos de cuatro meses, con precipitaciones entre 400 y 486 mm; en el mismo sitio también se determinó que existió correlación entre la cobertura de dosel y el arrastre de sedimentos por escorrentía (Abril Saltos et al., 2017). Los resultados del presente trabajo coinciden en la disminución de la concentración de fósforo, sin embargo, para el caso del nitrógeno, se obtuvo una interacción de cobertura x años de muestreo.

La plantación de *Inga*, mostró la mayor caída de ramas, hojas y frutos, con mayor aporte de materia orgánica al suelo de 40,46 kg/ha/año de nitrógeno y 2,45 kg/ha/año de fósforo, donde se incrementaron las concentraciones de nitrógeno, fósforo y materia orgánica, en el período de dos años, por lo que podría decirse que este material proporcionó un retorno de nitrógeno y fósforo (Fuentes Molina & Rodríguez Barrios, 2012). Además, la presencia de Fabáceas, genera fijación biológica de estos nutrientes por fijación biológica, asimilados a través de cepas de *Rhizobium sp.*, ubicadas en los nódulos de fijación de sus raíces, lo cual, en suelos de uso agrícola, con el uso de *Clitoria ternatea*, *Phaseolus vulgaris* y *Canavalia ensiformis*, genera aportes entre 14,7 y 79,1 kg ha⁻¹ de nitrógeno, y de fósforo entre 3 y 26,9 kg ha⁻¹ (Díaz-Prieto et al., 2017).

Las mayores concentraciones de nutrientes en la parcela con plantación de guabas, pudieron deberse a que sus residuos permiten hasta un 23 % de mineralización de nitrógeno en períodos de 294 días, lo cual es incorporado en el suelo. Esto fue reportado por Verçoza da Silva et al. (2015), quienes, en bosques secundarios, enriquecidos con *Inga péndula* en Brasil, reportaron 6,9 g kg⁻¹ de materia orgánica, lo cual se encuentra dentro del rango obtenido en el presente trabajo, y 1,47 mg dm⁻³ de fósforo, el cual está por debajo de los valores obtenidos en las parcelas de muestreo; estos autores, también reportaron concentraciones de 0,10 Cmol dm⁻³ de potasio y 1,8 Cmol dm⁻³ de calcio en los bosques que estudiaron.

Conclusiones

Las condiciones de cobertura de suelo influyeron en la concentración de los nutrientes, donde la parcela con melastomatácea mostró mayores concentraciones de materia orgánica y potasio, y la parcela con árboles de guaba, tuvo mayor cantidad de nitrógeno y relación nitrógeno/fósforo.

Hubo variación en la concentración de nutrientes entre el año 2019 y 2021, donde el bosque primario reportó la mayor pérdida de nutrientes y la cobertura de *Inga* tuvo un incremento en la concentración de estos.

La concentración de potasio mostró correlaciones significativas con el resto de nutrientes y las temperaturas, lo cual muestra que este elemento presentó una dinámica con el resto de nutrientes y las condiciones de temperatura.

Referencias

- Abril Saltos, R. V., López Torres, A. C., & Reyes Mera, J. J. (2017). Influencia del dosel y sotobosque en pérdida de suelo por escorrentía en bosque de realce. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(2), 17–28. <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/378/311>
- Aguilar-Correa, C., Valencia-Fuentes, C., Huentemilla-Rebolledo, M., Valderrama-González, D., Rojas-Correa, Á., Méndez-Contreras, M., & Tapia-Hernández, C. (2019). Percepción sobre servicios ecosistémicos culturales asociados al bosque nativo por parte de un grupo universitario de estudiantes de pedagogía. *Revista Electrónica Educare*, 23(3), 1–24. <https://doi.org/10.15359/ree.23-3.19>
- Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Alemán, R., Torres, R., Navarrete, H., & Changoluisa, D. (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana. *Revista Electrónica Veterinaria*, 18(11), 1–16.
- Crespo, G., Rodríguez, I., & Look, S. (2006). La fertilidad del suelo y la producción de biomasa. En R. S. Herrera, I. Rodríguez, & G. Febles (Eds.), *Fisiología, producción de biomasa y sistemas silvopastoriles en pastos tropicales. Abono orgánico y biogás* (pp. 223–278). Editorial del Instituto de Ciencia Animal.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). *InfoStat* (versión 2020) [software]. Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar>
- Díaz-Prieto, L. A., Vázquez-Luna, D., Jarquín-Sánchez, A., Velázquez-Silvestre, A., & Lara-Rodríguez, D. A. (2017). Especies tropicales (Fabaceae): inversión asociada al aporte rizosférico de nitrógeno y fósforo al suelo. *Agro Productividad*, 10(12), 116–120. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/47>
- Fuentes Molina, N., & Rodríguez Barrios, J. A. (2012). Eficiencia en el retorno potencial de nutrientes vía hojarasca de un bosque tropical de ribera. Sierra Nevada de Santa Marta Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 17(1), 51–66. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/20656/30404>
- Gaspar-Santos, E. S., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., & Álvarez-Solís J. D. (2015). Acumulación y descomposición de hojarasca en bosques secundarios del sur de la Sierra Madre de Chiapas, México. *Bosque (Valdivia)*, 36(3), 467–480. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000300013>
- Giannini, A. P., Andriulo, A. E., Wyngaard, N. & Irizar, A. B. (2022). Fracciones de fósforo edáfico bajo diferentes manejos. *Ciencia del Suelo*, 40(2), 196–207. <http://www.ojs.suelos.org.ar/index.php/cds/article/view/739>

- Herrera Villafranca, M. (2012). *Métodos estadísticos alternativos de análisis con variables discretas y categóricas en investigaciones agropecuarias*. Editorial Universitaria.
- International Business Machine Corp. (2020). *IBM SPSS statistics for Windows* (Version 22.0) [software]. <https://www.ibm.com/support/pages/spss-statistics-220-available-download>
- Jiménez, L., Gusmán J., Capa-Mora, D., Quichimbo, P., Mezquida, E. T., Benito, M., & Rubio, A. (2017). Riqueza y diversidad vegetal en un bosque siempreverde piemontano en los Andes del sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 7(1), 17–29. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/185>
- Mantero-García, H. D., Gómez-Guerrero, A., Gavi-Reyes, F., Zamora-Morales, B. P., & Ramírez-Ayala, C. (2019). ¿Es sustentable el aprovechamiento de tierra de hoja en bosques de encino? *Madera y Bosques*, 25(3), Artículo e2531807. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531807>
- Galeas, R., & Guevara, J. E. (Eds.) (2012). *Sistemas de clasificación de ecosistemas del Ecuador continental*. Ministerio de Ambiente del Ecuador. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf
- Monárrez-González, J. C., Pérez-Verdín, G., López-González, C., Márquez-Linares, M. A., & González-Elizondo, M. (2018). Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México. *Madera y Bosques*, 24(2), Artículo e2421569. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421569>
- Pontificia Universidad Católica del Ecuador. (2020). *Regiones Naturales*. <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/RegionesNaturales>
- Prause, J., Fernández López, C., Conteras Leiva, S. M., & Gallardo Lancho, J. F. (2012). Aporte y descomposición de hojas y reabsorción de N, P y Ken un bosque primario de *Schinopsis Balansae* Engler con y sin manejo silvopastoril en el parque Chaqueño húmedo. *Facena*, 28, 41–50. <http://doi.org/10.30972/fac.280900>
- Quinto Mosquera, H., Moreno Hurtado, F., Caicedo Moreno, H. Y., & Pérez Luis, M. T. (2016). Biomasa de raíces finas y fertilidad del suelo en bosques pluviales tropicales del pacífico colombiano. *Colombia Forestal*, 19(1), 53–66. <http://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.1.a04>
- Rimski-Korsakov, H., & Álvarez, C.R. (2016). Materia orgánica del suelo. En C. R. Álvarez, & H. Rimski-Korsakov (Eds.), *Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos* (pp. 59–69). Editorial Facultad de Agronomía. https://www.ciaorganico.net/documypublic/126_libro_fertilidad_de_suelos-pvo_isbn.pdf
- Rodrigues da Silva, E., Iria da Costa A., M., Lima Neves, A., Uguen, K., Antonio de Oliveira, L., & Sena Alfaia, S. (2021). Organic fertilization with residues of Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) and Inga (*Inga edulis*) for improving soil fertility in central amazonia. In M. Turan, & E. Yildirim (Eds.), *New generation of organic fertilizers*. Intech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.100423>
- Schulte, E.E., & Hopkins, B.G. (1996). Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. In F. R. Magdoff, M. A. Tabatabai, & E. A. Hanlon (Eds.), *Soil organic matter: Analysis and interpretation* (Vol. 46, Chapter 3, pp. 21–31). Soil Science Society of America, Inc. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub46.c3>
- SYSTAT Software Inc. (2002). *Table curve 2D* (version 5.01). SYSTAT Software Inc.
- Universidad Estatal Amazónica. (s.f.). *Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica*. Recuperado el 10 de febrero del 2023 de: https://www.uea.edu.ec/?page_id=2376

Verçoza da Silva D., Kamel de Oliveira T., Ferreira Kusdra, J., Taís Köln, F., Alencar de Lima, A., & Alencar da Costa, K. B. (2015). Decomposition of ground biomass of secondary forest and yield of annual crops in no tillage system. *Revista Ceres*, 62(6), 568–576. <http://doi.org/10.1590/0034-737X201562060009>