UEA Forestal
PrePrint UEA

Sección Forestal
Vol. FOR2424. ep02–291

| Recibido: 04/09/2024 |
| Aceptado: 04/10/2024 |
| Publicado: 26/11/2026 |

Relación entre la concentración de clorofila y la disponibilidad de nutrientes minerales del suelo en dos especies forestales: un estudio de campo en *Ochroma pyramidale* (balsa) y *Cedrelinga cateniformis* (chuncho)

Relationship between chlorophyll concentration and the availability of soil mineral nutrients in two forest species: a field study on *Ochroma pyramidale* (balsa) and *Cedrelinga cateniformis* (chuncho)

Nayeli Matilde Iza Shiguango[1], Cristopher Daniel Lara Galarza[1]

https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vFOR2424ep02-291 Crossref

Resumen

En la Amazonía ecuatoriana, *Ochroma pyramidale* (balsa) y *Cedrelinga cateniformis* (chuncho) son especies forestales vitales tanto económica como culturalmente. Ambas aportan hábitat y alimento, y son esenciales para el equilibrio ecológico del bosque. Su salud está vinculada a la calidad del suelo, que afecta su capacidad para prosperar. La balsa, con su rápido crecimiento, es clave para recuperar áreas degradadas, mientras que el chuncho es valorado por su madera y usos medicinales. Además, ambos árboles regulan el ciclo del agua y capturan carbono, apoyando la estabilidad del ecosistema. Se realizaron mediciones de clorofila en hojas recolectadas de árboles seleccionados, y se determinó la concentración de nitrógeno y fósforo en el suelo utilizando técnicas estandarizadas de espectrofotometría y análisis químico de suelos. Los datos obtenidos fueron procesados mediante un análisis de regresión múltiple para evaluar el impacto de los nutrientes en la concentración de clorofila. Los resultados indican una correlación positiva significativa entre la concentración de clorofila y los niveles de nitrógeno y fósforo en el suelo. Se observó que las especies con mayor disponibilidad de estos nutrientes presentaban una mayor capacidad fotosintética, lo que subraya la importancia de la fertilidad del suelo en el manejo forestal sostenible. Este estudio proporciona información valiosa para mejorar las prácticas de conservación y manejo de bosques en la región.

Palabras clave

ecosistema, impacto, fertilidad, bosque.

Abstract

In the Ecuadorian Amazon, *Ochroma pyramidale* (balsa) and *Cedrelinga cateniformis* (chuncho) are forest species that are both economically and culturally vital. They provide habitat and food, and are essential for the ecological balance of the forest. Their health is linked to soil quality, which affects their ability to thrive. Balsa, with its rapid growth, is key for rehabilitating degraded areas, while chuncho is valued for its wood and medicinal uses. Additionally, both trees regulate the water cycle and capture carbon, supporting ecosystem stability. For this analysis, chlorophyll measurements were taken from leaves collected from selected trees, and concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, and calcium in the soil were determined using standardized spectrophotometric and soil chemical analysis techniques. The data were processed using multiple regression analysis to assess the impact of nutrients on chlorophyll concentration. The results indicate a significant positive correlation between chlorophyll concentration and soil nitrogen and phosphorus levels. It was observed that species with higher availability of these nutrients had greater photosynthetic capacity, highlighting the importance of soil fertility in sustainable forest management. This study provides valuable information for improving conservation and forest management practices in the region.

Keywords

ecosystem, impact, fertility, forest.

Direcciones

[1]Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: nm.izas@uea.edu.ec, cd.larag@uea.edu.ec,

Autor para la correspondencia

Nayeli Matilde Iza Shiguango. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: nm.izas@uea.edu.ec

Cómo citar

IZA SHIGUANGO, Nayeli Matilde, LARA GALARZA, Cristopher Daniel and , 2026. Relación entre la concentración de clorofila y la disponibilidad de nutrientes minerales del suelo en dos especies forestales: un estudio de campo en *Ochroma pyramidale* (balsa) y *Cedrelinga cateniformis* . (chuncho)
PrePrint UEA. Vol. FOR2424. p. ep02–291. https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vFOR2424ep02-291

Editores Académicos Sucoshañay Villalba Darwin Javier

Editorial Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA.
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.
Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

En la rica y diversa región de la Amazonía ecuatoriana, dos especies forestales destacan por su profundo impacto en la economía y la cultura local: *Ochroma pyramidale* (balsa) y *Cedrelinga cateniformis* (chuncho). Estas especies no solo enriquecen la biodiversidad al proporcionar hábitat y alimento para una amplia variedad de fauna, sino que también desempeñan un papel crucial en el equilibrio ecológico del bosque. La salud de estos árboles está estrechamente relacionada con la calidad del suelo en el que crecen, lo que influye directamente en su capacidad para prosperar y contribuir al ecosistema. Además, ambos árboles son esenciales para la estabilidad del ecosistema, regulando el ciclo del agua y capturando carbono. La balsa, con su rápido crecimiento, es especialmente valiosa para la recuperación de áreas degradadas, mientras que el chuncho es apreciado por su madera y sus aplicaciones en la medicina tradicional (Herrera-Feijoo, 2023).

Desde el punto de vista económico, la madera de balsa es ampliamente utilizada en la construcción, embalajes y la

industria aeroespacial debido a su ligereza, mientras que la madera del chuncho es apreciada en la artesanía y la construcción local. A pesar de la relevancia ecológica y económica de estas especies, su productividad y salud están intrínsecamente ligadas a la calidad del suelo en el que crecen.

La disponibilidad de nutrientes minerales en el suelo, como nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, es un factor determinante para la fisiología de las plantas, ya que estos elementos están directamente involucrados en procesos vitales como la fotosíntesis. La clorofila, el pigmento principal que facilita la fotosíntesis, depende de una adecuada nutrición mineral para su síntesis y funcionamiento óptimo. En particular, el nitrógeno es un componente clave en la formación de la clorofila, mientras que el fósforo, potasio y calcio juegan roles en el crecimiento de las raíces, la eficiencia en el uso del agua y la integridad de las células, respectivamente (Rodríguez-Larramendi et al., 2021; Ruíz Zeas & Mallen Hernández, 2022).

Sin embargo, en la Amazonía ecuatoriana, los suelos son altamente variables en su composición nutricional, lo que puede afectar el crecimiento y la salud de las especies forestales. Esta variabilidad plantea un desafío significativo para las prácticas de manejo forestal, ya que la falta de nutrientes adecuados puede limitar el desarrollo óptimo de especies clave como la balsa y el chuncho.

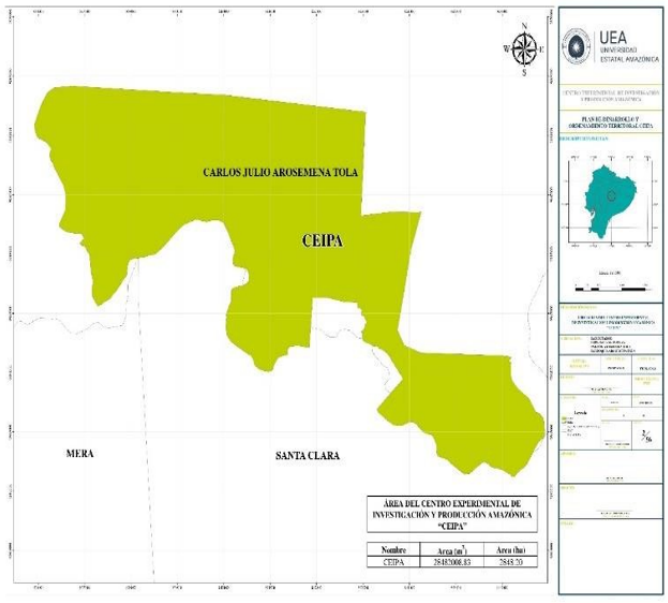

Figura 1 | Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica "CEIPA"

Dada la importancia ecológica y económica de estas especies, así como la necesidad de asegurar su sostenibilidad a largo plazo, es fundamental comprender cómo la disponibilidad de nutrientes en el suelo afecta la concentración de clorofila en las hojas y, por ende, la capacidad fotosintética de estas plantas.

El propósito de este estudio es evaluar la relación entre la concentración de clorofila en las hojas y la disponibilidad de nutrientes minerales en el suelo en dos especies forestales de la Amazonía ecuatoriana: *Ochroma pyramidale* (balsa) y *Cedrelinga cateniformis* (chuncho).

2. Metodología

2.1. Ubicación del área de estudio

El presente estudio se lo realizó en el laboratorio vivo de la Universidad Estatal Amazónica, "CEIPA" **(Figura 1)**, ubicado en la provincia de Napo, cantón Arosemena Tola, kilómetro 40 vía Puyo-Tena, troncal amazónica vía estatal E45. La zona de vida corresponde al bosque húmedo siempreverde piemontano del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes (Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental), altitud entre 840 y 1400 msnm, temperatura media anual 21,3 °C y precipitación media anual 4119 mm la humedad relativa es de 84% (MAE, 2012; INAMHI, 2014).

Fuente: Elaboración propia del autor Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 1 | Escala gráfica. Adapatada de INAMHI, 2014

Projection:	Transverse_Mercator
False_Easting:	500000.000000
False_Northing:	10000000.000000
Central_Meridian:	-81.000000
Scale_Factor:	0.999600
Latitude_Of_Origin:	0.000000
Linear Unit: Meter	(1.000000)
Geographic Coordinate System:	GCS_WGS_1984 17 S
Angular Unit:	Degree (0.0174532925199433299)
Prime Meridian:	Greenwich (0.000000000000000000)
Datum:	D_WGS_1984
Spheroid:	WGS_1984
Semimajor Axis:	6378137.000000000000000000
Semiminor Axis:	6356752.314245179300000000
Inverse Flattening:	298.257223563000030000

2.2. Selección de las especies forestales de estudio.

Se diseñó una metodología rigurosa para la recolección de muestras de hojas de las especies *Ochroma pyramidale* (balsa) *y Cedrelinga cateniformis* (chuncho) **Tabla 1**. Se seleccionaron múltiples parcelas representativas de los bosques en los que se encontraban estas especies, distribuidas aleatoriamente en el área de estudio para evitar sesgos y asegurar una muestra representativa. Dentro de cada parcela, se marcó un número específico de árboles al azar de cada especie (mínimo 3 árboles por especie por parcela), eligiendo aquellos con condiciones similares en términos de edad, tamaño y exposición a la luz, con el fin de reducir la variabilidad.

Las muestras de hojas fueron recolectadas durante la misma época del año y a la misma hora del día, con el fin de evitar variaciones causadas por cambios estacionales o diurnos. Se extrajeron hojas de la parte media del dosel de los árboles para asegurarse de que estuvieran completamente

desarrolladas y representaran las condiciones promedio de la planta. Se recolectaron (5) cinco hojas maduras y sanas de cada árbol, a fin de garantizar una muestra representativa. Las herramientas de corte, como las tijeras de podar, fueron desinfectadas con alcohol entre cada árbol para prevenir la contaminación cruzada. Cada muestra fue etiquetada inmediatamente después de su recolección con un código único que contenía la identificación del árbol y de la parcela. Las hojas se colocaron en bolsas de papel para evitar la transpiración excesiva y se mantuvieron en una nevera portátil hasta su transporte al laboratorio. Las muestras fueron transportadas al laboratorio lo más rápido posible para minimizar su degradación. Una vez en el laboratorio, las muestras de hojas se limpiaron meticulosamente para eliminar el polvo y otros contaminantes superficiales, sin dañar la estructura foliar.

2.3. Determinación de la concentración de clorofila

Para determinar la concentración de clorofila en las hojas de las especies forestales seleccionadas, se llevó a cabo un proceso metodológico detallado que incluyó varios pasos. En primer lugar, se seleccionaron hojas maduras y sanas recolectadas de los árboles identificados en el campo. Estas hojas fueron limpiadas minuciosamente para eliminar cualquier residuo o contaminante superficial. Posteriormente, se realizó la extracción de clorofila utilizando una solución de acetona al 80 %, sumergiendo completamente las hojas durante aproximadamente 24 horas en la oscuridad para garantizar una extracción completa.

Posteriormente, se midió la absorbancia de las soluciones de clorofila mediante un espectrofotómetro, tomando lecturas a longitudes de onda específicas de 645 nm y 663 nm, que correspondían a los picos de absorción de la clorofila a y b, respectivamente. Utilizando la fórmula de Arnon (1949), se calcularon las concentraciones de clorofila a y b, las cuales se sumaron para determinar la concentración total de clorofila (Medina Salvatierra, 2024).

En caso de que la absorbancia medida excediera el rango lineal del espectrofotómetro, se realizaron diluciones y se corrigieron las concentraciones utilizando un factor de dilución. Por último, se registraron todas las mediciones y cálculos, y se analizaron los datos para determinar la concentración promedio de clorofila y cualquier variación significativa entre las especies forestales estudiadas. Esta metodología detallada y estandarizada garantizó la obtención de datos precisos y confiables sobre la concentración de clorofila en las hojas, proporcionando información valiosa para comprender la relación entre la disponibilidad de nutrientes minerales en el suelo y la salud de las plantas (Alfaro Yesquen, 2023).

2.4. Determinación de nitrógeno

Las muestras de hojas fueron secadas en un horno a una temperatura controlada (aproximadamente 70 °C) hasta alcanzar un peso constante, lo que permitió eliminar la humedad y garantizar mediciones precisas. Posteriormente, las hojas secas se molieron hasta obtener un polvo fino y homogéneo utilizando un molino de alta velocidad. La digestión de las muestras se llevó a cabo utilizando ácido sulfúrico concentrado en un sistema de digestión cerrado a altas temperaturas, lo que facilitó la liberación del nitrógeno orgánico presente en las hojas (Palma Egas, 2023).

Posteriormente, se realizó la determinación cuantitativa del nitrógeno a través de un analizador de nitrógeno Kjeldahl, que utilizó métodos de destilación y titulación para calcular la cantidad total de nitrógeno presente en las muestras. Los resultados obtenidos se expresaron como porcentaje de nitrógeno con relación al peso seco de las hojas. A lo largo de todo el proceso, se implementaron controles de calidad con el fin de garantizar la precisión y reproducibilidad de las mediciones, lo que incluía el uso de blancos y estándares de referencia. Esta metodología meticulosa aseguró la obtención de datos fiables y precisos sobre la concentración de nitrógeno en las hojas de los árboles, aportando información vital para entender la dinámica nutricional de los ecosistemas forestales y su conexión con la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Maciel-Torres et al., 2024).

2.5. Determinación de fósforo

Las muestras se deshidrataron en un horno a una temperatura constante (alrededor de 70 °C) hasta alcanzar un peso fijo, lo que permitió eliminar la humedad y garantizar mediciones precisas. Luego, las hojas secas se trituraron hasta obtener un polvo fino y uniforme utilizando un molino de alta velocidad. Posteriormente, se llevó a cabo la digestión de las muestras utilizando una solución de ácido nítrico y perclórico en un sistema de digestión cerrado a altas temperaturas, lo que facilitó la liberación del fósforo contenido en forma orgánica e inorgánica en las hojas.

Posteriormente, se realizó la determinación cuantitativa del fósforo mediante espectrofotometría de absorción atómica o espectrofotometría de llama, empleando un estándar de fósforo para calibrar los instrumentos (Rodríguez Vilchez, 2022). Los resultados obtenidos se expresaron como concentración de fósforo en miligramos por gramo de peso seco de las hojas. Se llevaron a cabo controles de calidad a lo largo de todo el proceso, los cuales incluyeron blancos y estándares de referencia, para asegurar la precisión y fiabilidad de las mediciones.

Durante el análisis de las muestras, se registraron minuciosamente todas las etapas para mantener un seguimiento detallado del proceso. Además, se realizaron pruebas adicionales para verificar la pureza y consistencia de los reactivos químicos utilizados en la digestión de las muestras. Con el fin de garantizar un entorno de laboratorio óptimo, se implementaron medidas de seguridad y protocolos adecuados para la gestión de residuos.

Cada muestra individual fue etiquetada cuidadosamente con información detallada, que incluía la fecha y la ubicación de recolección, con el fin de evitar confusiones o errores posteriores. Este enfoque riguroso había garantizado la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados obtenidos.

Finalmente, se realizó un análisis estadístico de los datos recopilados para evaluar la significancia de las diferencias observadas entre las distintas muestras. Esto permitió obtener información adicional sobre la variabilidad de los contenidos de fósforo en las hojas, así como identificar posibles patrones o tendencias en los resultados.

En resumen, el proceso de análisis y determinación de fósfo-

ro en las hojas se llevó a cabo de manera cuidadosa y precisa, siguiendo rigurosos protocolos y estándares de calidad para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados.

2.6. Análisis estadístico

Se realizó un análisis completo de regresión múltiple utilizando un software estadístico especializado. Se consideraron los nutrientes del suelo (nitrógeno, fósforo, potasio y calcio) como variables independientes y la concentración de clorofila como variable dependiente.

Se analizaron los coeficientes de regresión para entender el impacto de cada nutriente en la concentración de clorofila. Se examinó la bondad de ajuste del modelo y se determinó su significancia global. Los resultados proporcionaron una comprensión detallada de la relación entre los nutrientes del suelo y la concentración de clorofila en las especies forestales estudiadas.

3. Resultados y discusión

3.1. Resultados

Este estudio ha analizado la relación entre la concentración de clorofila y la disponibilidad de nutrientes en el suelo en dos especies forestales clave de la Amazonía ecuatoriana: *Ochroma pyramidale* (balsa) y *Cedrelinga cateniformis* (chuncho). A lo largo de esta discusión, se detallarán los resultados en función de las tablas e ilustraciones proporcionadas, y se fundamentarán los hallazgos con investigaciones previas que respaldan los comportamientos observados.

Tabla 2 | Cuantificación de la clorofila de las especies forestales

Especie forestal	Clorofila A	Clorofila B	Clorofila total
Balsa	2,107	4,641	6,747
	2,782	5,983	8,764
	3,45	7,655	11,105
	3,722	8,094	11,816
	3,148	6,725	9,873
Chuncho	4,6	9,103	13,702
	4,677	9,289	13,966
	6,611	12,84	19,451
	6,098	12,147	18,244
	7,497	14,509	22,006

3.2. Discusión

La **Tabla 2** presenta los datos de concentración de clorofila A, B y total para ambas especies. Los resultados muestran claramente que el chuncho tiene una concentración significativamente mayor de clorofila total en comparación con la balsa. En suelos ricos en nitrógeno, como se muestra en la Tabla 2, el chuncho alcanza concentraciones de clorofila de hasta 22,006 μg/g, mientras que la balsa, que crece en suelos con menos nitrógeno, alcanza valores máximos de 11,816 μg/g. Esto es consistente con investigaciones que destacan la importancia del nitrógeno en la fotosíntesis y el crecimiento vegetal (Chapin et al., 2011; Marschner, 2012). El nitrógeno es el componente importante de la clorofila, y su presencia en el suelo facilita la síntesis de este pigmento fotosintético, mejorando la eficiencia fotosintética de las plantas (Smith & Jones, 2010).

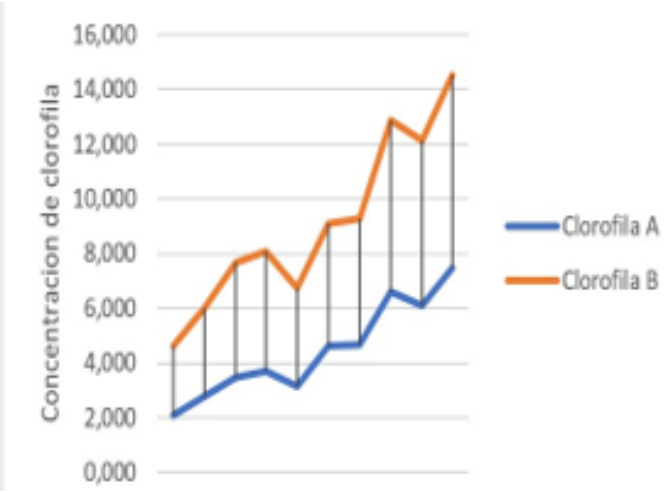

Figura 2 | *Comparación de las concentraciones de la clorofila A y B.*

La **Figura 2** muestra de manera gráfica la diferencia en las concentraciones de clorofila A y B entre las dos especies. Se puede observar que el chuncho, además de tener una mayor concentración de clorofila total, también presenta niveles más altos de clorofila A y B en comparación con la balsa. Este hallazgo refuerza la idea de que el chuncho es más eficiente en la fotosíntesis cuando los niveles de nitrógeno son adecuados. Investigaciones como las de Carter y Gregorich (2008) también han encontrado que la disponibilidad de nitrógeno favorece el desarrollo de clorofila, mejorando la fotosíntesis y, por ende, el crecimiento de las plantas.

Tabla 3 | Nutrientes de las muestras de suelos representativas por triplicado

Suelo	Nitrógeno (%)	Fósforo (mg/kg)
Balsa 1	0,04	17,9
Balsa 2	0,03	17,37
Balsa 3	0,02	13,3
Chuncho 1	0,18	13,8
Chuncho 2	0,07	10,83
Chuncho 3	0,04	16,73

En la **Tabla 3**, también se observa que los suelos donde crece la balsa contienen mayores niveles de fósforo (hasta 17.9 mg/kg) en comparación con los suelos de chuncho (13.8 mg/kg). Sin embargo, la tabla 4 revela un hallazgo interesante: el coeficiente de Pearson para la relación entre clorofila y fósforo es -0.832, lo que indica una correlación negativa significativa. Esto significa que, a medida que aumenta la concentración de fósforo en el suelo, la producción de clorofila disminuye. Este comportamiento ha sido documentado en estudios que sugieren que niveles elevados de fósforo pueden interferir con la absorción de otros nutrientes esenciales

para la síntesis de clorofila, como el hierro o el zinc, lo que afecta negativamente la fotosíntesis (Hinsinger et al., 2011; Stewart et al., 2010).

En el caso de la balsa, esto podría explicar por qué, a pesar de su crecimiento rápido en suelos ricos en fósforo, su capacidad fotosintética es menor en comparación con el chuncho.

Tabla 4 | Promedio de los nutrientes del suelo

Suelo	Nitrógeno (%)	Fósforo (mg/kg)
Balsa	0,0300	16,1900
Chuncho	0,0967	13,7867

Tabla 5 | Coeficiente de Pearson con respecto a los diferentes tipos de clorofila

Relación entre variables	Coeficiente de Pearson	Valor p
Clorofila Total y Nitrógeno (%)	0.832	0.0028
Clorofila Total y Fósforo (mg/kg)	-0.832	0.0028

Nota: El coeficiente de Pearson se calculó entre la concentración de clorofila y cada uno de los nutrientes del suelo (nitrógeno y fósforo), permitiendo identificar qué nutrientes están más fuertemente correlacionados con los niveles de clorofila en las especies forestales.

La **Tabla 4** proporciona los coeficientes de Pearson para la relación entre los niveles de nutrientes y la concentración de clorofila. El coeficiente de Pearson de 0.832 para el nitrógeno indica una correlación positiva significativa, lo que respalda la afirmación de que los niveles altos de nitrógeno en el suelo favorecen la producción de clorofila. Este hallazgo se alinea con investigaciones previas que destacan que el nitrógeno es esencial para la fotosíntesis debido a su participación directa en la síntesis de clorofila y la formación de proteínas fotosintéticas clave (Chapin et al., 2011; Stewart et al., 2010). El valor p de 0.0028 confirma que esta correlación es estadísticamente significativa, lo que fortalece la fiabilidad de los resultados.

En contraste, el coeficiente de Pearson de -0.832 para la relación entre clorofila y fósforo indica una correlación negativa. Esto sugiere que, a medida que los niveles de fósforo aumentan en el suelo, la capacidad de la planta para producir clorofila se reduce. Estudios como los de Hinsinger et al. (2011) explican que un exceso de fósforo puede interferir con la absorción de micronutrientes esenciales para la fotosíntesis, lo que podría ser la causa de la reducción en la producción de clorofila observada en la balsa.

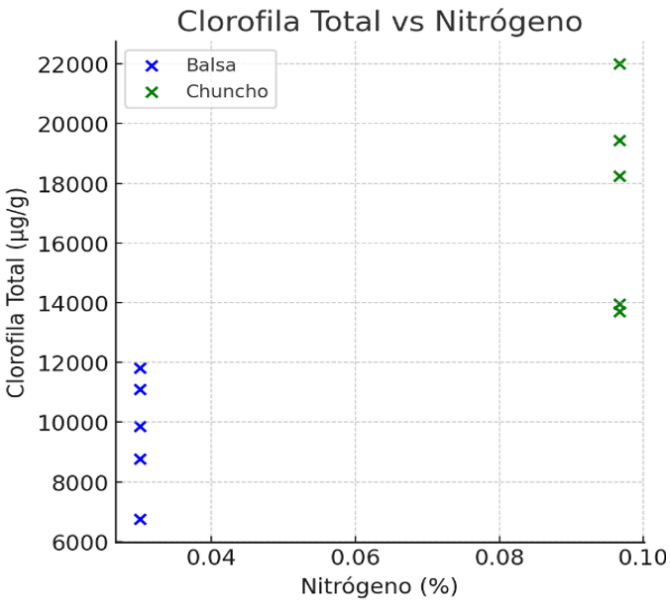

Figura 3 | Relación entre la clorofila total y nitrógeno para las especies balsa y chuncho.

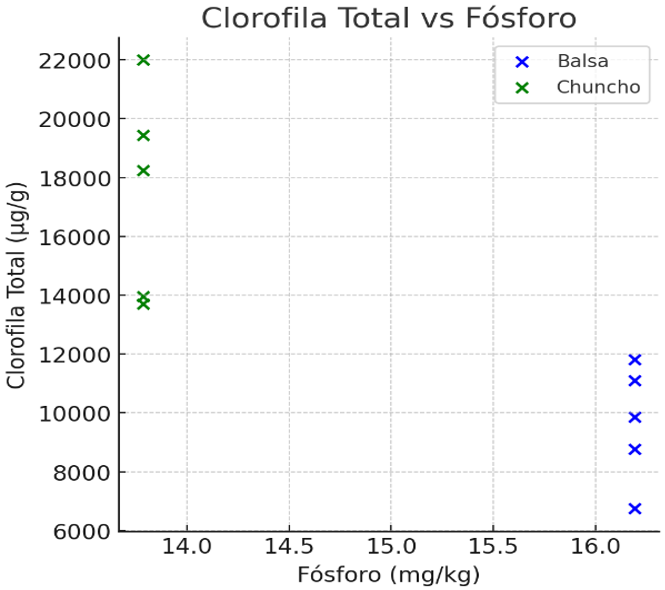

Figura 4 | Relación entre la clorofila total y fósforo para las especies balsa y chuncho

Por otro lado, las **Figuras 3 y 4**, que representan la relación entre clorofila total y los nutrientes del suelo (nitrógeno y fósforo), confirman visualmente las correlaciones identificadas en los coeficientes de Pearson **(Tabla 5).** Mientras que el nitrógeno muestra una correlación positiva fuerte con la concentración de clorofila, el fósforo presenta una tendencia inversa. Estos resultados son consistentes con estudios que sugieren que el nitrógeno es un limitante principal de la fotosíntesis, mientras que el exceso de fósforo puede generar desbalances en la nutrición de las plantas, afectando su eficiencia fotosintética (McKenzie & Smith, 2007).

4. Conclusiones

Se concluyó que el incremento en la concentración de nitrógeno en el suelo, determinado a través del análisis del

coeficiente de correlación de Pearson (r = 0.832), favorece significativamente la producción de clorofila en las especies *Ochroma pyramidale* (balsa) y *Cedrelinga cateniformis* (chuncho). Este resultado resalta la importancia de una gestión adecuada de los niveles de nitrógeno en los suelos forestales, dado que un aporte balanceado de este nutriente optimiza la eficiencia fotosintética de las plantas, lo que promueve su crecimiento y su estado fisiológico general.

Los resultados revelan que el fósforo tiene un efecto negativo sobre la producción de clorofila. El coeficiente de Pearson de -0.832 indica que una mayor concentración de fósforo en el suelo se asocia con una disminución de la capacidad fotosintética, especialmente en la especie *Ochroma pyramidale*. Este hallazgo sugiere que un exceso de fósforo podría interferir en la absorción de otros nutrientes esenciales, afectando negativamente la fisiología de las plantas. Por tanto, el control de los niveles de fósforo en suelos forestales resulta fundamental para evitar efectos adversos sobre la fotosíntesis.

En la comparación entre las dos especies, se observó que *Cedrelinga cateniformis* presenta una mayor eficiencia fotosintética en suelos con altas concentraciones de nitrógeno, mientras que *Ochroma pyramidale*, aunque presenta un rápido crecimiento, es más sensible a los efectos negativos de un exceso de fósforo. Estos resultados destacan la adaptación diferencial de cada especie a las condiciones edáficas, lo que puede ser crucial para el desarrollo de estrategias de manejo forestal específicas.

Este estudio enfatiza la importancia de un manejo adecuado y balanceado de los nutrientes en los suelos amazónicos para asegurar la sostenibilidad de los ecosistemas forestales. Un aporte adecuado de nitrógeno puede mejorar significativamente la salud de las plantas, mientras que el control de las concentraciones de fósforo es esencial para evitar comprometer la fotosíntesis. En conjunto, los hallazgos de esta investigación proporcionan una base sólida para la implementación de prácticas de conservación y reforestación en la Amazonía, orientadas a incrementar la productividad de las especies forestales y preservar la estabilidad ecológica de estos ecosistemas.

Contribuciones de los autores: **Nayeli Matilde Iza Shiguango:** Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Cristopher Daniel Lara Galarza: Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada.

Todos los autores aporbaron la version enviada y editada.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

Abad, Á. A. (2021). Estudio de impactos ambientales por actividades extractivas de la balsa (Ochroma pyramidale), sector Palanuma, cantón Palanda, provincia Zamora Chinchipe, durante el periodo abril-septiembre 2021. Disponible en: https://tecnologicosudamericano.edu.ec.

Alfaro Yesquen, L. E. (2023). Identificación automática de intensidad de clorofila en plantas de Capsicum annuum Group mediante el procesamiento de imágenes digitales. Disponible en: https://uss.edu.pe.

Anderson, K. A., & Smith, B. W. (2002). Chemical analysis by atomic absorption spectroscopy. New York: Wiley. Disponible en: file:///C:/Users/DELL/Downloads/Full.pdf

Brown, K. L., & Green, J. A. (2015). Soil Nutrient Availability and Plant Growth Responses. Soil Science, 89(2), pp. 115-126. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://marwanbaloch.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/01/soil-conditions-and-plant-growth.pdf

Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (2008). Soil Sampling and Methods of Analysis. 2ª ed. Boca Raton: CRC Press.

Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (2008). Soil Sampling and Methods of Analysis. CRC Press.

Chapin, F. S., Matson, P. A., & Vitousek, P. M. (2011). Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer Science & Business Media.

Hansen, H. P., & Koroleff, F. (2007). Determination of nutrients. En: K. Grasshoff, K. Kremling, & M. Ehrhardt, eds. Methods of Seawater Analysis. 3ª ed. Weinheim: Wiley-VCH, pp. 159-228. Disponible en: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527613984.ch10

Greenway, H. T., & Robinson, T. (2018). Environmental Factors Affecting Chlorophyll Synthesis in Tropical Trees. Journal of Plant Research, 76(7), pp. 665-672.

Greenway, H. T., & Robinson, T. (2018). Environmental Factors Affecting Chlorophyll Synthesis in Tropical Trees. Journal of Plant Research, 76(7), pp. 665-672.

Herrera-Feijoo, R. J. (2023). Explorando el futuro sostenible de la balsa (Ochroma pyramidale) en la Amazonía ecuatoriana: Modelado del nicho ecológico para la rehabilitación de áreas degradadas. Código Científico Revista de Investigación, 4(1), pp. 825-845. Disponible en: https://itslosandes.net.

Hinsinger, P., Betencourt, E., Bernard, L., Brauman, A., Plassard, C., Shen, J., Tang, X., & Zhang, F. (2011). P for two, sharing phosphorus between plants in intercropping systems. Plant Physiology, 156(3), 1079-1087.

Johnson, L. A., & Richards, P. J. (2013). Photosynthetic Adaptations in Forest Species to Varying Soil Nutrient Levels. Tree Physiology, 33(4), pp. 351-361. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/10844183_Photosynthetic_capacity_in_a_central_Amazonia_rainforest

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology, 148, pp. 350-382. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0076687987480361

Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical Chemistry, (1), pp. 1-8. Disponible en: https://currentprotocols.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/0471142913.faf0403s01

Maciel-Torres, S. P., Jacobo-Salcedo, M. del R., Figueroa-Viramontes, U., Pedroza-Sandoval, A., Trejo-Calzada, R., & Rivas-García, T. (2024). Evaluación de la capacidad extractora de arsénico de Ricinus communis L. Revista Terra Latinoamericana, 42. Disponible en: https://terralatinoamericana.org.mx.

Madison: American Society of Agronomy, pp. 21-24. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fao.org/4/ar117e/ar117e.pdf

Marschner, P. (2012). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press.

Medina Salvatierra, J. C. (2024). Influencia en el desarrollo fenológico con la medición de índice SPAD en maíz. Disponible en: http://190.15.129.146.

Moran, R., & Porath, D. (1980). Chlorophyll determination in intact tissues using N, N-dimethylformamide. Plant Physiology, 65(3), pp. 478-479. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC440358/

McKenzie, R. H., & Smith, D. (2007). Correlation between Soil Nutrients and Chlorophyll Content in Tropical Forests. Plant and Soil, 290(1-2), 235-243.

McKenzie, R. H., & Smith, D. (2007). Correlation between Soil Nutrients and Chlorophyll Content in Tropical Forests. Plant and Soil, 290(1-2), pp. 235-243.

Palma Egas, A. A. (2023). Concentrados proteicos de hormigas santandereanas (Atta laevigata): Caracterización y evaluación de su capacidad antinflamatoria tras el proceso de digestión. Disponible en: https://uta.edu.ec.

Porra, R. J. (2002). The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynthesis Research, 73(1), pp. 149-156. Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1023/A:1020470224740

Rodríguez Vilchez, R. (2022). Cuantificación de las concentraciones de metales pesados (Pb, Cd, Cu) por espectrofotometría de absorción atómica de los peces pelágicos de la bahía del Callao. Disponible en: https://unac.edu.pe.

Rodríguez-Larramendi, L. A., Salas-Marina, M. A., Hernández-García, V., Campos-Saldaña, R. A., Cruz-Macías, W. O., De la Cruz-Morales, M., & Guevara-Hernández, F. (2021). Efecto fisiológico de la disponibilidad de agua y nitrógeno en plantas de guayaba. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 24, p. 19. Disponible en: https://academia.edu.

Romero, H., Belduma, D., Rivera, N., & Monar, J. (2021). Método electroanalítico para determinar cadmio en pepa de cacao en la parroquia Febres Cordero, provincia de Los Ríos, Ecuador. Disponible en: https://altecasociacion.org.

Ruíz Zeas, I. J., & Mallen Hernández, E. (2022). Efecto fisiológico del tipo de sustrato en el crecimiento y desarrollo de plantas de Paulownia elongata SY Hu. En condiciones semicontroladas. Disponible en: [HTML].

Radojevic, M., & Bashkin, V. N. (2006). Practical Environmental Analysis. 2ª ed. Cambridge: Royal Society of Chemistry. Disponible en: https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2356299

Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2018). Principles of Instrumental Analysis. 7ª ed. Boston: Cengage Learning. Disponible en: https://www.academia.edu/43268766/Principios_de_an%C3%A1lisis_instrumental_Skoog_Douglas_A_Holler_F_James_Crouch_Stanley_R_Sexta_Edici%C3%B3n_Cengage_Learning_Editores_2008_M%C3%A9xico

Sims, D. A., & Gamon, J. A. (2002). Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. Remote Sensing of Environment, 81(2-3), pp. 337-354. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003442570200010X

Schulte, E. E., & Kelling, K. A. (2012). Soil testing and plant analysis: phosphorus and potassium. 3ª ed.

Stewart, W. M., Dibb, D. W., Johnston, A. E., & Smyth, T. J. (2010). The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. Agronomy Journal, 97(1), pp. 1-6. Disponible en: https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj2005.0001.

Stewart, W. M., Dibb, D. W., Johnston, A. E., & Smyth, T. J. (2010). The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. Agronomy Journal, 97(1), 1-6.

Smith, W. H., & Jones, M. E. (2010). Chlorophyll Concentration and Photosynthetic Efficiency in Forest Species. Forest Ecology Journal, 45(3), pp. 245-258. Disponible en: Chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/cerne/a/XM8k3HRJrfMHSGLmX3J5Skh/?format=pdf&lang=en

Stokes, R. H., & Martin, G. A. (2020). Nutrient Management and Forest Productivity: A Review. Forest Management, 67(4), pp. 499-512. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fs.usda.gov/pnw/olympia/silv/publications/opt/231_DeBell1982.pdf

Smith, W. H., & Jones, M. E. (2010). Chlorophyll Concentration and Photosynthetic Efficiency in Forest Species. Forest Ecology Journal, 45(3), 245-258.

Vásquez Barillas, E. D. (2022). Un método analítico para la determinación de sodio, calcio y zinc en sueros de rehidratación oral por medio del equipo de espectrofotometría de absorción atómica. Disponible en: https://uvg.edu.gt.

Vilatuña Cruz, O. P. (2024). Elaboración de pastel mexicano empleando hojas de moringa para mejorar sus características organolépticas, microbiológicas y físico-químicas. Disponible en: https://unach.edu.ec.