

DIAGNÓSTICO

POBLACIONES DE POLYLEPIS

ÁREA PROTEGIDA AUTÓNOMA DESCENTRALIZADA "TAITA IMBABURA"

3

DICIEMBRE 2024 |

CONCEPTOS CLAVE

Parámetros físicos: Son características medibles que describen las propiedades físicas del suelo (textura, densidad aparente, porosidad, capacidad de retención de agua, permeabilidad y temperatura), son esenciales para comprender la capacidad del suelo de soportar cultivos, almacenar agua, permitir la infiltración y el drenaje, y facilitar el intercambio de gases (Schoenholtz et al., 2000).

1.- Humedad relativa: Es el porcentaje de agua presente en el suelo en relación con su capacidad total de retención, considerando factores como la textura y la estructura del suelo, es un indicador clave en su conservación y la gestión de recursos hídricos (Susha. et al., 2014).

2.- Conductividad eléctrica (ce): Mide la capacidad del suelo para conducir electricidad, lo que está relacionado con la cantidad de sales disueltas, como nitratos, sulfatos y cloruros, permite gestionar mejor el uso de fertilizantes, prevenir problemas de salinización y optimizar las condiciones para cultivos (Friedman, 2005).

3.- Textura: Se refiere a la proporción relativa de partículas minerales de diferentes tamaños (arena, limo y arcilla), que influye en la retención de agua, la infiltración, la aireación, la disponibilidad de nutrientes y la facilidad de manejo del suelo (Li et al., 2014).

4.- Densidad real: Es la masa de las partículas sólidas del suelo por unidad de volumen, excluyendo los poros, y generalmente se expresa en g/cm^3 , permite estimar la composición mineral del suelo, evaluar su compactación y relacionarlo con otras propiedades físicas (Reynolds et al., 2002).

5.- Densidad aparente: Es la relación entre la masa del suelo seco y su volumen total, incluyendo los poros, y se expresa en g/cm^3 , Es un indicador clave de la compactación y la porosidad del suelo, afectando la infiltración de agua, la aireación y el desarrollo de las raíces (Al-shammary et al., 2018).

PARÁMETROS QUÍMICOS: Son las propiedades relacionadas con su composición química (pH, capacidad de intercambio catiónico, contenido de nutrientes, salinidad y materia orgánica), determinan la fertilidad del suelo, la disponibilidad de nutrientes para las plantas y su capacidad para sostener cultivos (Schoenholtz et al., 2000).

6.- Fósforo: Es un macronutriente esencial presente en formas inorgánicas y orgánicas, necesario para el desarrollo de las plantas y procesos como la fotosíntesis y la formación de raíces (Holtan et al., 1988).

7.- Potasio: Es un macronutriente esencial para las plantas, presente en formas disponibles (intercambiables) y no disponibles (minerales) que interviene en funciones metabólicas (Reitemeier, 1951).

CONCEPTOS CLAVE

8.- **Materia orgánica:** Es el material compuesto por restos vegetales, animales y microorganismos en diferentes etapas de descomposición, Su presencia contribuye a la sostenibilidad agrícola y la mitigación del cambio climático mediante el almacenamiento de carbono (Lehmann & Kleber, 2015).

9.- **Nitrógeno:** Es un nutriente esencial para las plantas, presente principalmente en forma de nitratos y amonio, que son utilizados para la síntesis de proteínas y el crecimiento, la gestión adecuada del nitrógeno es esencial para optimizar la fertilidad del suelo, aumentar la productividad agrícola y evitar la contaminación por lixiviación (Chen et al., 2014).

10.- **pH:** Mide la acidez o alcalinidad del suelo, influye en la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana en el suelo. Un pH adecuado es esencial para un crecimiento óptimo de las plantas, ya que afecta la solubilidad de los nutrientes y la salud general del suelo (Neina, 2019).

PARAMETROS MICROBIOLOGICOS: Son las propiedades que se refieren a la presencia y actividad de microorganismos, como bacterias, hongos y actinobacterias, que son esenciales para evaluar la salud del suelo, ya que los microorganismos juegan un papel clave en la descomposición de materia orgánica, la fijación de nutrientes y la mejora de la fertilidad (Paul & Frey, 2023).

11.- **Bacterias aerobias:** Son microorganismos que requieren oxígeno para llevar a cabo sus procesos metabólicos y de crecimiento, son esenciales para la descomposición de la materia orgánica, el ciclo de nutrientes y la fijación de nitrógeno (Abramowicz, 1990).

12.- **Mohos y levaduras:** Son hongos microscópicos que se encuentran en el suelo y juegan un papel importante en la descomposición de materia orgánica y la transformación de nutrientes, mejoran la estructura del suelo y pueden influir en la salud de las plantas al protegerlas de patógenos (Hernández-Fernández et al., 2021)

POLYLEPIS

EN LOS ANDES

Los Andes a través del tiempo se han convertido en un mosaico de pastizales, campos agrícolas y bosques de especies de árboles no nativos. La vegetación natural que ha quedado intacta por la actividad humana suele encontrarse únicamente en áreas remotas o de difícil acceso. Los bosques formados por árboles de Polylepis, que a menudo aparecen como parches aislados rodeados de páramo, son ejemplos de estos remanentes de vegetación natural.

Los bosques ubicados en áreas más húmedas y de difícil acceso suelen estar en un estado de conservación más favorable. Las condiciones de acceso a los bosques son también un factor clave en su conservación. En la actualidad, los bosques de Polylepis son considerados uno de los ecosistemas andinos más amenazados, a pesar de su limitada extensión actual.

GÉNERO POLYLEPIS

FAMILIA ROSACEAE

El género *Polylepis*, forma parte de la familia Rosaceae, es exclusivo de Sudamérica y se encuentra distribuido únicamente a lo largo de la Cordillera de los Andes, Se puede encontrarlos en Ecuador, Colombia, Perú, Bolivia, Chile y Argentina, en altitudes comprendidas entre los 1.800 y 5.200 de altitud (Kessler, 2006). Es por eso que, son reconocidos como los más altos del mundo, ya que crecen a mayores altitudes que cualquier otro tipo de bosque (Gareca et al., 2010).

Las poblaciones de *Polylepis* son parte de la vegetación natural del ecosistema de páramo, su hábitat abarca desde bosques de neblina, principalmente en quebradas rocosas, hasta laderas escarpadas y áreas áridas en las zonas volcánicas (Kessler, 2006). Estos bosques están distribuidos en forma de manchones o fragmentos dispersos en el paisaje, en laderas montañosas, quebradas o terrenos escarpados, rocosos y cercanos a arroyos (Fjeldsa y Kessler 1996, 2006).

En Ecuador se han registrado siete especies nativas *P. incana*, *P. lanuginosa*, *P. microphylla*, *P. pauta*, *P. reticulata*, *P. sericea* y *P. weberbaueri* y existe además una especie introducida: *P. racemosa* (Romoleroux et al., 2016). En la región andina del Ecuador, se lo conoce como Yagual. Los bosques relictos de *Polylepis* desempeñan un papel crucial en los frágiles ecosistemas altoandinos, especialmente en las áreas con neblina, ya que son fundamentales para la formación de suelos, la acumulación de agua y la regulación de las fuentes hídricas (Fjeldsa & Kessler 2004).

**ESPECIE DE
POLYLEPIS EN EL
APADTI**

No ha sido aún identificada





POLYLEPIS

EN EL TAITA IMBABURA

Los remantes de bosque de Polylepis en el volcán Taita Imbabura se encuentran distribuidos en parches de diversos tamaños. La población más extensa se encuentra rodeando al cráter del volcán, se encuentra en la zona de páramo altoandino o superpáramo. A una altitud de 4000 msnm. A nivel general este género se distingue por su corteza formada por múltiples láminas de color rojizo, sus ramas retorcidas, sus pequeñas hojas compuestas y sus flores discretas y poco llamativas (Renison & Cuyckens, 2018).

Hasta el momento no se tiene identificada la especie de polylepis del Área Protegida. Aragundi et al. 2011, Hensen et al. 2011 menciona que tamaño de los parches de bosque y su rango altitudinal de distribución también influyen en su diversidad genética.

Este documento constituye la primera parte de un diagnóstico sobre las poblaciones de Polylepis ubicadas en el Área Protegida y a la vez evaluar su estado de conservación y amenazas.



Parches de bosque de
Polylepis

METODOLOGÍA

Considerando que no se han realizado estudios sobre el estado de las poblaciones de *Polylepis*, el punto de partida de este diagnóstico es la identificación de la especie de *Polylepis* del Área Protegida Taita Imbabura. A la vez identificar que otras especies vegetales habitan en estos bosques y el estado de salud del suelo mediante el análisis fisicoquímico, microbiológico y de metales pesados.

Debido a la dificultad de acceso por la altura a la que se encuentran y el nivel de pendiente, se considero solo el muestreo en el bosque de *Polylepis* que se encuentra por el ascenso de Sol de Conejos, sector San Antonio en la ciudad de Ibarra. Se ubico el punto de muestreo al azar , ubicando una parcela según Marín (2013), que sugiere en formaciones de bosque altoandino= 100 m² en parcelas de 4 m x 25 m y se aplicó la metodología de punto-centro-cuadrado. Este método está basado en la medida de cuatro puntos a partir de un centro. Se ubicaron puntos a través de una línea imaginaria en la mitad del ancho de la parcela. En esta línea, cada 5 metros se ubico un punto a partir del cual se hizo el muestreo de la vegetación. En cada cuadrante se ubicó al árbol más cercano al punto central y tomar la distancia respectiva. Al final, en cada punto se consideran solo 4 árboles, de los cuales se tomará medidas adicionales como especie, DAP, forma de copa e infestación de bejucos. Los principales parámetros obtenidos con este método son **especies, densidad, DAP y frecuencia**.



Tristerix longibracteatus



Conociendo al Polylepis del Taita Imbabura

3890 msnm

De los tres parches de bosques que existen en el Área Protegida Autónoma Descentralizada Taita Imbabura. La parcela levantada fué en la zona más accesible del parche de bosque por el sendero de Sol de Conejos, sector San Antonio en el cantón Ibarra.



Dentro del transecto de 25 metros se encontraron 6 individuos de *Polylepis* sp. y once individuos de *Gaiadendron punctatum* y dos especies no identificadas.

Es un hábitat prístino debido a sus fuertes pendientes y bosque sin accesibilidad. Es un bosque húmedo con pendientes fuertes,, exposición noroeste. Se evaluó mediante observación y registro fotográfico la presencia de otras especies asociadas en el bosque.

Morfología

a) Fustes de los arboles con musgos, helechos y líquenes.
DAP promedio de 71 cm.

b) Corteza
Textura laminada de color café a anaranjado.
Por la época del año , no se obtuvo registro de la morfología de flores y fruto.



La especie *Polylepis* Reticulata, se caracteriza por sus vainas estipulares cubiertas con tricomas seríceos, mientras que el envés de las hojas posee tricomas panosos (Kessler and Schmidt- Lebuhn 2006)



c) Hojas

Hoja monopina imparipinada

Hoja compuesta de 5 folíolos simples y opuestos, ramas secundarias con diferentes estipulas (alrededor de 5 hojas compuestas que se conectan en el pulvinulo) Folíolos de forma obcordada, venación pinatinervia y borde ciliado. El folíolo terminal y secundarios miden hasta 1,5 cm y los folíolos secundarios hasta 0,5 mm.

Haz de los folíolos de color verde oscuro brillante y textura lisa y el envés ligeramente pubescente de color claro (Tricomas panosos)

Cada hoja compuesta se conecta a través de un pecíolo a un pulvinulo pequeño, cilíndrico o ligeramente ensanchado.

Tabla 1. Especies de plantas vasculares del bosque de Polylepis

LISTA DE ESPECIES DE PLANTAS VASCULARES DEL BOSQUE DE POLYLEPIS					
Familia	Nombre científico	Autor	Nombre común	Estado de conservación UICN	Importancia ecológica
Columelliaceae	<i>Columellia oblonga</i>	Ruiz & Pavón	Dulce de membrillo	LC	Nativa
Dryopteridaceae	<i>Elaphoglossum crassipes</i>	Hieron		N	Nativa
Loranthaceae	<i>Gaiadendron punctatum</i>	(Ruiz & Pav.) G. Don	Platero o ichul	LC	Nativa
Asteraceae	<i>Gynoxys acostae</i>			LC	Nativa
Melastomataceae	<i>Miconia squamulosa</i>	Sm. Triana	Tuno esmeraldo	N	Nativa
Rosaceae	<i>Polylepis reticulata</i>	Hieron		EN	Endémico
Loranthaceae	<i>tristerix longebracteatus</i>	(Desr.) Barlow & Wiens	Muérdago de páramo o Yana mingari	N	Nativa

Las especies reconocidas en el punto de muestreo, no representan toda la variedad que se encuentran en el bosque de Polylepis. Muchas de las especies no han sido identificadas por la falta de información morfológica respecto a la floración o fruto. Pues en estos bosques se encuentran especies propias de hábitats particulares debido a los variados micro-hábitats (Trinidad, et al., 2016).

PARÁMETROS FÍSICOS: TEXTURA, DENSIDAD REAL Y DENSIDAD APARENTE

En la muestra 01 la textura es areno franco (Los suelos arenosos tienen alta infiltración pero baja capacidad de almacenamiento) , más seco, probablemente porque la textura es más arenosa o hay menos cobertura vegetal, lo que permite mayor evaporación y en la muestra 02 textura franco arenosa, tiene mayor retención de agua, posiblemente debido a una textura más arcillosa o mayor cantidad de materia orgánica que actúa como esponja para el agua.

Los valores de densidad en g/cm³ proporcionan información sobre la compactación y la estructura del suelo. El punto 02 sugiere condiciones más favorables para el suelo en términos de aireación y retención de agua. A la vez, los valores indican un alto grado de minerales en el suelo. Los valores de densidad aparente indican un suelo con buena estructura y porosidad, facilitando la infiltración de agua y aireación.

La muestra del punto 01 indica un contenido medio de humedad aunque relativamente menor en comparación con la otra muestra. La muestra del punto 02 refleja un suelo más saturado, lo que podría deberse a una mayor retención de agua, diferencias en la topografía, o una zona más cercana a una fuente de agua.

Tabla 2. Parámetros físicos de análisis de suelo del bosque de Polylepis

Parámetros físicos						
Muestra	Localización	Textura	Densidad	Densidad aparente	Humedad	Conductividad eléctrica
Unidades		NA	g/cm3	g/cm3	%	uS/cm
Polylepis 01	WGS84 8147804; 10030300	Areno franco	2,54	1,67	39,9	31
Polylepis 02	WGS84 8147636; 10030309	Franco arenoso	2,51	1,66	50,7	59,4

La conductividad se mide en g/cm³ y proporciona una indicación de la concentración de sales disueltas en el suelo. Valores bajos (menor a 250 μS/cm) sugieren suelos con bajo contenido salino, ideales para la vida microbiana.

La muestra del punto 02 tiene un contenido de sales superior, aunque sigue siendo un valor relativamente bajo para ecosistemas como bosques de Polylepis, que suelen tener suelos con bajas concentraciones salinas. La muestra del punto 01 sugiere un suelo con bajo contenido de sales o baja mineralización.

PARÁMETROS QUÍMICOS: FÓSFORO, PH , MATERIA ORGÁNICA, POTASIO Y NITRÓGENO

Niveles bajos de potasio en el punto 02:, se interpreta por la erosión hídrica o eólica puede llevar a la pérdida de nutrientes, incluidos el potasio, especialmente en suelos de pendiente. La capa superior del suelo, rica en nutrientes, es la más afectada por la erosión.

Polylepis 01 y Polylepis 02 tienen valores de nitrógeno similares: 299,9 mg/kg y 319,4 mg/kg, respectivamente.

La alta proporción de nitrógeno, en combinación con la materia orgánica, indica un suelo potencialmente fértil con buena capacidad para sostener la vegetación nativa.

En Polylepis 01, el contenido de materia orgánica es del 40,2%, mientras que en Polylepis 02 supera el 50%.

Los altos niveles de materia orgánica en ambas muestras sugieren suelos con alto contenido de restos vegetales en descomposición.

La muestra Polylepis 01 tiene un pH de 4,9, mientras que Polylepis 02 es más ácida con un pH de 4,4.

Ambos suelos son ácidos, lo cual es típico en ecosistemas montanos debido a la alta precipitación, la lixiviación de nutrientes básicos y la acumulación de materia orgánica.

Tabla 3. Parámetros químicos de análisis de suelo del bosque de Polylepis

Parámetros químicos						
Muestra	Localización	pH	Fósforo Total	Materia Orgánica	Nitrógeno Total Kjeldahl	Potasio
Unidades		Unidades pH	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg
Polylepis 01	WGS84 8147804; 10030300	4,9	49,1	40,2	299,9	410
Polylepis 02	WGS84 8147636; 100303099	4,4	317,7	>50	319,4	18,3

Polylepis 01 tiene un contenido de fósforo moderado (49,1 mg/kg), mientras que Polylepis 02 presenta un nivel mucho más alto (317,7 mg/kg). Esto indica una gran variabilidad en la disponibilidad de fósforo entre las muestras, posiblemente influenciada por diferencias en la acumulación de materia orgánica o fuentes externas (volcánicas o deposición atmosférica).

PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y METALES: PLOMO Y CADMIO

Polylepis 01 tiene un conteo de bacterias aerobias de 800 UFC/g, mientras que Polylepis 02 presenta un valor significativamente mayor de 2200 UFC/g.

En Polylepis 01, el conteo de mohos y levaduras es bajo (50 UFC/g), mientras que en Polylepis 02 alcanza los 200 UFC/g.

La actividad microbiana es mayor en Polylepis 02, con niveles elevados de bacterias y hongos, vinculados a su mayor contenido de materia orgánica y nitrógeno.

Tabla 3. Parámetros microbiológicos de análisis de suelo del bosque de Polylepis

Parámetros microbiológicos			
Muestra	Localización	Bacterias aerobias	Mohos y levaduras
Unidades		UFC/g	UFC/g
Polylepis 01	WGS84	800	50
	8147804; 10030300		
Polylepis 02	WGS84	2200	200
	8147636; 100303099		

Tabla 4. Metales de análisis de suelo del bosque de Polylepis

Metales pesados			
Muestra	Localización	Plomo	Cadmio
Unidades		mg/kg	uS/cm
Polylepis 01	WGS84	<5,0	1,5
	8147804; 10030300		
Polylepis 02	WGS84	<5,0	1,4
	8147636; 100303099		

En ambas muestras (Polylepis 01 y Polylepis 02), el contenido de plomo es menor a 5,0 mg/kg. Este valor está por debajo de los límites críticos. Los valores de plomo y cadmio en ambas muestras son bajos y no representan un riesgo ambiental significativo en los suelos de estos ecosistemas de Polylepis



Eriocnemis luciani o zamarrito colilargo
Colibrí pantalón de frente azul
a 3900 msnm



Gaiadendron punctatum (platero)

AMENAZAS

El punto donde se muestreo en este estudio es el área más accesible, en la entrada del bosque se encuentra basura, cenizas de fogata ya que la zona es perfecta para camping. Sin embargo esto representa una amenaza para la población de *Polylepis*. La ruta de acceso que mayor peligro representa es el sendero que inicio en Sol de Conejos, parroquia San Antonio.



El incendio ocurrido en octubre del 2023, fué de tal magnitud que ascendió hasta el inicio del bosque de *Polylepis*. Aún se pueden observar cenizas y plantas quemadas.



El incendio empezó desde los 3300 msnm hasta los 3900 msnm.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sobre la identificación de especie en base a la morfología analizada, se compararon las características morfológicas de siete especies de Ecuador *P. incana*, *P. lanuginosa*, *P. microphylla*, *P. pauta*, *P. reticulata*, *P. sericea* y *P. weberbaueri* y existe además una especie introducida: *P. racemosa* (Romoleroux et al., 2016). Se concluye que la especie presente en el parche de bosque muestreado corresponde a *Polylepis reticulata*.

La especie mencionada según la UICN se encuentra en un estado de conservación vulnerable. Esta especie se a encontrado en las provincias de Azuay, Cañar, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua. Registrándose entre cinco a seis poblaciones, la mayoría de ellas dentro del SNAP. Existen poblaciones en la **Reserva Ecológica Los Ilinizas, en los parques nacionales Cajas y Llanganates, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo y en parte de la Reserva Ecológica del Pasochoa.**

Se sugiere que se realicen salidas de campo mensuales o bimensuales para encontrar al bosque en estado de floración y junto a esta información oficializar la identificación de especie. Si esto ocurre el Área Protegida Taita Imbabura tendría la séptima población de *Polylepis reticulata* en Ecuador. La morfología analizada no es suficiente para la identificación de una especie, pero sí es clave en el proceso de identificación. Para mayor precisión, se recomienda junto a la información morfológica combinar otros métodos, como visita a herbarios y visitar una de las reservas de protección del SNAP para conocer los bosques de *Polylepis* y verificar si se trata de la misma especie que en el Taita Imbabura.

La ubicación de los remanentes de bosques de *polylepis* en el Taita Imbabura, no permiten su acceso fácilmente. Lo cual tiene ventajas frente a su conservación y desventajas al momento de levantar información para investigaciones. Uno de los limitantes en este proceso de diagnóstico fue el tiempo, el equipo de apoyo, la inclinación de la pendiente.

Por lo que se sugiere en lo posible realizar al menos dos parcelas por cada punto de muestreo en cada parche de *Polylepis*. Pues es importante integrar información sobre todas las poblaciones de *Polylepis* del Área Protegida Taita Imbabura.

Lo dicho anteriormente, la inaccesibilidad al bosque ha beneficiado en su estado de conservación, sin embargo se deben trabajar en medidas preventivas para evitar que impactos antropogénicos en las poblaciones, regular el turismo e informar sobre el estado y la importancia del bosque. Pues el sitio de muestreo es el más accesible ya que se encuentra cerca del sendero.

Es importante destacar las relaciones que existen entre otras especies de flora que coexisten en los bosques de *Polylepis*, por lo que se recomienda realizar una guía de plantas vasculares para conocer mejor la diversidad florística que estos bosques alberga.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Respecto a la calidad de suelo, pese a que las muestras se tomaron en la parte alta de la parcela y la parte baja, con una diferencia aproximada de 30 metros. Se encuentran particularidades que responden a una lógica detrás del nivel de inclinación de la pendiente y la accesibilidad.

En los parámetros fisicoquímicos los valores más representativos son en humedad y conductividad eléctrica. El punto 02 varía considerablemente en relación al Punto 1. Es normal observar que una mayor humedad puede correlacionarse con un incremento en la conductividad eléctrica, ya que el agua ayuda a disolver las sales, aumentando su movilidad y detectabilidad.

Los microorganismos presentes, la cantidad más alta de bacterias aerobias, mohos y levaduras se encuentran en el punto 02 que es en la parte baja de la parcela, se explican por la interacción de factores como mejor aireación del suelo, menor compactación, estabilidad micro climática y menor perturbación.

Estas condiciones hacen que el punto 02 sea más favorable para el desarrollo de la microbiota del suelo en comparación con el punto 01, donde la compactación, el claro del bosque y el mayor impacto humano limitan la actividad microbiana.

En un ecosistema como el bosque de Polylepis, donde las condiciones suelen ser de suelos ácidos y poco salinos, estas diferencias pueden reflejar microvariaciones en el tipo de suelo.

Los datos sugieren diferencias locales en las condiciones del suelo. Es importante analizar también el contexto, como la cobertura vegetal, pendientes, y posibles influencias antrópicas o naturales, para entender mejor estas variaciones. Si estos suelos son parte de un monitoreo, estos valores son compatibles con suelos en ecosistemas montanos.

En conclusión, aunque la presencia de metales se puede deber a diferentes fuentes procesos naturales o geológico, no hay que descartar la contaminación urbana para la presencia de plomo a 4000 msnm. Los análisis de suelo realizados se basaron en la Norma 97A de calidad de suelo. De los parámetros seleccionados, el nivel de pH y el metal pesado Cadmio no cumplen la Norma.

BIBLIOGRAFÍA

- Abramowicz, D. A. (1990). Aerobic and Anaerobic Biodegradation of PCBs: A Review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 10(3), 241-251. <https://doi.org/10.3109/07388559009038210>
- Al-shammary, A. A. G., Kouzani, A. Z., Kaynak, A., Khoo, S. Y., Norton, M., & Gates, W. (2018). Soil Bulk Density Estimation Methods: A Review. *Pedosphere*, 28(4), 581-596. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60034-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60034-7)
- Chen, B., Liu, E., Tian, Q., Yan, C., & Zhang, Y. (2014). Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 429-442. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0207-8>
- Friedman, S. P. (2005). Soil properties influencing apparent electrical conductivity: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1), 45-70. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.11.001>
- Hernández-Fernández, M., Cordero-Bueso, G., Ruiz-Muñoz, M., & Cantoral, J. M. (2021). Culturable Yeasts as Biofertilizers and Biopesticides for a Sustainable Agriculture: A Comprehensive Review. *Plants*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/plants10050822>
- Holtan, H., Kamp-Nielsen, L., & Stuanes, A. O. (1988). Phosphorus in Soil, Water and Sediment: An Overview. En G. Persson & M. Jansson (Eds.), *Phosphorus in Freshwater Ecosystems* (pp. 19-34). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-3109-1_3
- Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 60-68. <https://doi.org/10.1038/nature16069>
- Li, X., Chang, S. X., & Salifu, K. F. (2014). Soil texture and layering effects on water and salt dynamics in the presence of a water table: A review. *Environmental Reviews*, 22(1), 41-50. <https://doi.org/10.1139/er-2013-0035>
- Neina, D. (2019). The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019(1), 5794869. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>
- Paul, E., & Frey, S. (2023). *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. Elsevier.
- Reitemeier, R. F. (1951). Soil Potassium. En A. G. Norman (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 3, pp. 113-164). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60368-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60368-5)
- Reynolds, W. D., Bowman, B. T., Drury, C. F., Tan, C. S., & Lu, X. (2002). Indicators of good soil physical quality: Density and storage parameters. *Geoderma*, 110(1), 131-146. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00228-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00228-8)
- Schoenholtz, S. H., Miegroet, H. V., & Burger, J. A. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: Challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 138(1), 335-356. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00423-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00423-0)
- Susha, S. L., Singh, D. N., & Shojaei Baghini, M. (2014). A critical review of soil moisture measurement. *Measurement*, 54, 92-105. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.04.007>

BIBLIOGRAFÍA

Marín, C. 2013. Propuesta metodológica para caracterizar las coberturas vegetales en los páramos de Santurbán y Rabanal. Proyecto Páramos y Sistemas de Vida. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos

Alexander von Humboldt. Documento interno.

Segovia, M, Domik, Alexandra., Kessler, A., Boza, T. (2018) Situación taxonómica de las especies del género *Polylepis*. Implicancias para los estudios ecológicos, la conservación y la restauración de sus bosques. Austral 28:188-201 Asociación Argentina de Ecología.

Kessler, M., and A. N. Schmidt-Lebuhn. 2006. Taxonomical and distributional notes on *Polylepis* (Rosaceae). *Organisms, Diversity and Evolution* 6:67-69.

Trinidad, H., & Cano, A. (2016). Composición florística de los bosques de *Polylepis* Yauyinazo y Chaqsii-Chaqsii, Reserva Paisajística Nor Yauyos-Cochas, Lima. *Revista Peruana de Biología*, 23(3), 271-286.

