



Citación: Monteagudo *et al.* (2023). *La impresionante diversidad y estructura del bosque tropical a través de una gradiente altitudinal en la selva central del Perú* Rev. Q'EUÑA 14(1): 07-27

<https://doi.org/10.51343/rq.v14i1.1150>

Recibido: 10-11-2022

Aceptado: 15-03-2023

Publicado: 29-06-2023

Copyright: © 2023 Monteagudo *et al.* Este es un artículo de acceso abierto revisado por pares y publicado por la Revista Q'EUÑA de la Sociedad Botánica del Cusco y la UNSAAC (<http://revistas.unsaac.edu.pe/index.php/RQ>) y distribuido bajo los términos de la licencia de atribución Creative Commons, que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Declaración de disponibilidad de datos:

Todos los datos relevantes están dentro del documento y sus archivos de información de respaldo.

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

Autor Corresponsal:

Abel Monteagudo
amonteagudomendoza@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1047-845X>

La impresionante diversidad y estructura del bosque tropical a través de una gradiente altitudinal en la selva central del Perú

The impressive diversity and structure of tropical forests across along altitudinal gradient in central Peru

Abel Monteagudo^{1,2}, María Villalba², Nadir Pallqui^{1,5}, Oliver Phillips⁵, Timothy Baker⁵, Gabriela Lopez-Gonzalez⁵, Georgia Pickavance⁵, Wilfredo Chávez^{1,10}, Rodolfo Vásquez², Rocío Rojas², Luis Valenzuela², Víctor Chama³, Damien Catchpole⁹, Isau Huamantupa⁸, Yahn Soto², Álvaro Ramos¹, Carolina Ramírez⁷, Miguel Pedraza¹, Gisela Huari², Karina Banda⁵, Eurídice Honorio⁵, William Farfán-Rios⁴, Hugo Dueñas⁸, Rolando Monteagudo¹, Gloria Calatayud¹, Jorge Garate⁸, Manuel J. Marca-Zevallos^{1,11}

¹ Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Av. De la Cultura 733, Cusco-Perú.

² Jardín Botánico de Missouri, Oxapampa, Pasco, Perú.

³ Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, Lima, Perú.

⁴ Center for Energy, Environment, and Sustainability, Wake Forest University, NC, USA

⁵ University of Leeds, Leeds Reino Unido.

⁶ Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú.

⁷ Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales, Lima, Perú.

⁸ Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Perú.

⁹ School of Geography and Environmental Studies University of Tasmania, Australia.

¹⁰ Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente, Proyecto Especial de Gobierno Regional Cusco, Perú.

¹¹ Pontificia Universidad Católica del Perú, Av. Universitaria 1801, Lima 15088, Perú

Abstract

Pre-montane and montane neotropical forests are little studied, and while their floristic composition is poorly known, multiple new species of trees have been discovered here recently. We describe a long elevational forest gradient in terms of diversity, floristic composition, and structure, based on 13 permanent plots of 1 ha evaluated in 2018 in the Yanachaga Transect in central Peru (400 to 3170 masl). We registered a total of 6998 trees, 617 species, 249 genera, and 82 families. There are strong correlations between altitude, species richness, and diversity. The greatest species richness occurs at 470 masl in plot PNY-05 with 202 species and the lowest at 3170 masl in PNY-01 with 43 species. The average height of the forest canopy is greatest between 400 and 800 masl., and progressively decreases with elevation, to minimum heights between 2,800 and 3,170 masl. This same behavior occurs for the basal area and wood volume, showing a strong control of elevation on forest structure. The plants sampled are represented by species of trees (88%), palms (4%), tree ferns (6.5%), lianas (1.5%) and woody hemiepiphytes (0.03%). Life form abundance varies considerably in the elevational transect, with trees and palms most abundant and diverse in the lower part, while tree ferns are abundant above 1800 m. Overall, there are marked differences in the diversity, composition, and structure of trees between plots and when compared to the Amazonian plain. The forests of the Yanachaga transect play an important role in biodiversity conservation, since they include many unique species and a high diversity of habitats.

Keywords: • composition, diversity, gradient, Peru, RAINFOR

Resumen

Los bosques pre-montanos y montanos son poco estudiados y su composición florística es muy poco conocida, aunque últimamente aquí se han descubierto nuevas especies de árboles. Describimos la diversidad, composición florística y estructura del bosque en 13 parcelas permanentes de 1 ha, evaluadas en el 2018 en el Transecto Yanachaga en el Perú (400 a 3170 msnm). Registramos un total de 6998 árboles, 617 especies, 249 géneros y 82 familias. Existe unas altas correlaciones

entre la altitud, la riqueza y diversidad de especies. La mayor riqueza ocurre en la parcela PNY-05 a 470 msnm con 202 especies y la menor con 43 especies en la parcela PNY-01 a 3170 msnm. La altura promedio del dosel es mayor entre los 400 y 800 msnm, y disminuye progresivamente a medida que se va subiendo, presentando alturas mínimas entre 2800 y 3170 msnm. Este mismo comportamiento ocurre con respecto al área basal y volumen de madera. Los individuos muestreados están representados por especies de árboles (88%), palmeras (4%), helechos arborescentes (6.5%), lianas (1.5%) y hemiepífitos leñosos (0.03%). Las formas de vida varían notablemente en el transecto altitudinal, los árboles y palmeras son más abundantes y diversos en la parte baja, mientras los helechos arborescentes son abundantes por encima de los 1800 m. Existen diferencias en la diversidad, composición y estructura de árboles entre parcelas y también si se compara al llano amazónico. Los bosques del Transecto Yanachaga juegan un papel importante, puesto que conservan una alta diversidad de especies y hábitats.

Palabras claves: composición, diversidad, gradiente, Perú, RAINFOR

Introducción

La alta diversidad encontrada a lo largo de gradientes altitudinales en los trópicos es explicada por la heterogeneidad del ambiente físico (Helferich, 2004). La región de los Andes-Amazonas contiene algunos de los bosques más biodiversos y densos en carbono del planeta, vinculados a la amplia gama de tipos de bosques desde las tierras bajas del Amazonas hasta la línea de árboles andinos (Mittermeier *et al.* 2011). Estos gradientes de los Andes Centrales proporcionan condiciones físicas, tales como la temperatura del aire, lluvia, patrones de viento y la variabilidad de estas cambian a lo largo de estos gradientes. Estos cambios ambientales son los principales factores que explican los cambios en biodiversidad a lo largo de la altitud, los gradientes ambientales comúnmente dan como resultado el cambio gradual de una comunidad biológica a otra. Buenos ejemplos son las grandes montañas tropicales donde los cambios altitudinales en las condiciones ambientales en un rango geográfico corto contribuyen a cambios en la diversidad, estructura del bosque y la composición de especies. Por estas consideraciones es fundamental el estudio de cómo los árboles se distribuyen a través de los gradientes altitudinales.

Nuestra falta de entendimiento de las respuestas de los bosques tropicales a los factores ambientales sigue siendo limitada (Lewis *et al.* 2004; Wright, 2005). De hecho, los patrones generales de la diversidad, composición, estructura de los bosques amazónicos y particularmente los que se encuentran en la base de los andes siguen estando entre los mal caracterizados debido a la escasez de estudios, así como la complejidad de la variación ambiental en estos sistemas topográficamente complejos (Pitman *et al.* 2011; Buytaert *et al.* 2010). Sin embargo, los gradientes de clima y paisaje, son laboratorios eficientes para investigar los controles ambientales sobre la estructura, función y diversidad del ecosistema (von Humboldt, 1838; Whittaker, 1967; Malhi *et al.* 2010), y entre los gradientes naturales, los bosques montanos tropicales en general, y la región de los Andes-Amazonas en particular, se encuentran entre los bosques más diversos y complejos a nivel mundial (Silman, 2014; Farfán, 2019; Pallqui, 2019).

La vertiente oriental de los andes tropicales es muy extensa (>3,000 km), e incluye los *hotspots* de diversidad más ricos en el mundo (Myers *et al.* 2000), y proveen valiosos servicios ambientales (por ejemplo, suministro de agua y particularmente muy importantes en el almacenamiento de carbono) a grandes poblaciones humanas (Cincotta *et al.* 2000; Spracklen & Righelaton, 2014). Además, el funcionamiento ecológico de los andes está estrechamente vinculado con el de las selvas tropicales amazónicas que se encuentran en su flanco oriental, que es otra área crítica para la conservación biológica. La falta de conocimiento sobre la influencia del clima en la diversidad, composición y estructura de los bosques tropicales es una preocupación especial ante el cambio climático actual y futuro (Silva *et al.* 2013), también de cómo las especies arbóreas poco conocidas van enfrentarse a cambios y escenarios críticos en el presente siglo y como estas van tener capacidad de resiliencia particularmente a eventos de sequías mucho más severas y frecuentes (Phillips *et al.* 2009; Brienen *et al.* 2015; Feldpausch *et al.* 2016; Hubau *et al.* 2020; Sullivan *et al.* 2020; ForestPlots.net *et al.* 2021).

Los bosques de la región de los Andes-Amazónicos, son un buen escenario para explorar los vínculos entre la diversidad alfa, el cambio estructural, composición y la biomasa (Lieberman *et al.* 1996; Báez *et al.* 2015; Gentry, 1988; Feeley *et al.* 2011; Silman, 2014; Girardin *et al.* 2014; Duque *et al.* 2015; Malhi *et al.* 2017; Fadrique *et al.* 2018; Farfán, 2019; Pallqui, 2019; Monteagudo *et al.* 2021). El gradiente de diversidad altitudinal, es un patrón ecológico en el que las tendencias en la biodiversidad ocurren a diferentes alturas, este patrón afirma que la riqueza de especies tiende a aumentar a medida que la elevación aumenta, hasta cierto punto, creando un abultamiento de diversidad (mid elevation bulge) en elevaciones medias ca. 800-1200 m sobre el mar, se han propuesto múltiples hipótesis para explicarla, ninguna de las cuales describe con precisión el fenómeno en su totalidad. La composición de especies ha ido cambiando en muchas parcelas durante las últimas dos décadas, particularmente en elevaciones medias (ca. 800-1200 m); pero este cambio en la composición no está correlacionado con los cambios en la biomasa aérea y la productividad de la madera que son más bajas y las tasas de mortalidad de los tallos son más altas en los bosques montanos en comparación con los bosques de tierras bajas (Farfán, 2019; Pallqui, 2019). Últimos estudios que cubren un amplio rango altitudinal y latitudinal encontraron que las comunidades arbóreas andinas han estado sufriendo cambios direccionales en la composición hacia especies más resistentes al calor. Esta reorganización de especies se debe a un aumento en la mortalidad de especies sensibles al calor (Feeley *et al.* 2011; Duque *et al.* 2015; Fadrique *et al.* 2018; Farfán, 2019; Pallqui, 2019). Estos resultados sugieren que la biomasa aérea en las tierras bajas será particularmente susceptible a eventos como las sequías, que desencadenan una mayor mortalidad de los tallos, mientras que la biomasa aérea de las poblaciones en los bosques montanos puede responder más a los cambios ambientales, como el aumento de las temperaturas, que influyen en el crecimiento. Los impulsores subyacentes de la variación en la estructura forestal, en particular para los cambios de la biomasa aérea, no se

comprenden bien, particularmente en los bosques montanos (Farfán, 2019; Pallqui, 2019). Incidimos en que los vínculos reales entre los patrones recientes de cambio de composición y la función del ecosistema en los bosques tropicales son poco conocidos.

Durante muchas décadas, el establecimiento de parcelas permanentes a través de las gradientes altitudinales ha sido uno de los retos de muchos investigadores que previamente han trabajado en los bosques de tropicales amazónicos en donde las condiciones de topografía, clima, logística, entre otros, son mucho menos hostiles; pero este reto está quedando atrás ya que actualmente contamos con varios transectos altitudinales en el Perú, entre los más importantes se ubica el Parque Nacional del Manu (Gibbon et al. 2010; Girardin et al. 2010; Feeley et al. 2011, Silman, 2014; Farfán, 2019). Reserva Comunal El Sira (Monteagudo et al. 2014; Valenzuela et al. 2015), Santuario Histórico de Machupicchu (Galiano & Núñez, 2011; Valenzuela et al. 2014; Alfaro et al. 2018; Monteagudo et al. 2021), el Parque Nacional Cordillera Azul, el Parque Nacional Rio Abiseo, el Santuario Nacional Tabaconas Namballe, estas tres últimas fueron establecidas parcelas a través de la gradiente altitudinal establecidas como parte del Proyecto “Monitoreo de áreas naturales protegidas en el Perú para incrementar la resiliencia de los bosques ante el cambio climático, MonANPerú”); además del norte y centro de los andes (Báez et al. 2015) y Costa Rica (Lieberman et al. 1996). En los Andes parcelas particularmente importantes, pero poco conocidas en la literatura es el Transecto Yanachaga, punto focal del presente estudio.

El Parque Nacional Yanachaga Chemillén es un área protegida que presenta una diversidad biológica exuberante desde la vegetación de cobertura hasta un bosque clímax, en donde se albergan diferentes formas de vida las cuales hasta la fecha son nuevas y desconocidas para la ciencia (Vásquez et al. 2005). Los diversos ecosistemas conllevan a que exista una biodiversidad variable, en ese sentido se pretende aplicar los monitoreos con carácter permanente por que será un instrumento de mucha importancia para tomar decisiones en la conservación, protección de los ecosistemas, entre otros; por tales razones el monitoreo y la instalación de parcelas permanentes de evaluación a largo plazo de la vegetación en el Parque Nacional Yanachaga Chemillén es de suma importancia y de mucha necesidad. En una escala más amplia los inventarios son también críticos para el desarrollo y planificación de áreas protegidas, lo que requiere referencia geográfica, muestras replicadas y comparables para soportar decisiones o donde enfocar la conservación de recursos o actividades de desarrollo (Phillips et al. 2002; ForestPlots.net et al. 2021).

En estas circunstancias, las parcelas permanentes son notables entre los instrumentos de medición que permiten directamente, una visión a gran escala y largo plazo de los procesos de los ecosistemas de los bosques tropicales en toda su área de distribución geográfica. Desde el año 2002, el Jardín Botánico de Missouri y la Red Amazónica de Inventarios Forestales - RAINFOR, dentro del Parque Nacional Yanachaga Chemillén han instalado parcelas permanentes que se encuentran distribuidas a lo largo de un rango altitudinal, que va desde 400

hasta 3170 msnm. Consideramos el uso de las parcelas forestales como una magnífica oportunidad para la utilización de medidas ecológicas para cuantificar el papel relevante de los bosques tropicales montanos y amazónicos en la función del ecosistema y el entendimiento de sus respuestas al cambio global.

El objetivo principal de este trabajo es describir, caracterizar, y sintetizar patrones de riqueza, diversidad, composición florística y estructura de los bosques andinos en una gradiente altitudinal de la selva central del Perú.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El presente estudio se realizó dentro del Parque Nacional Yanachaga Chemillén que cubre una extensión de 122,000 ha, en la provincia de Oxapampa, Región Pasco (Figura 1). Se escogió una gradiente altitudinal representada por una cadena montañosa aislada de más de 3300 msnm, que abarca territorios ubicados en el flanco oriental de los andes y forma parte de la gran cuenca del río Amazonas. Esta cadena montañosa se sitúa dentro del Refugio Pleistocénico Pachitea-Ucayali, y cuenta con 4 tipos de climas, 4 regiones edáficas y 7 zonas de vida, que van desde el Bosque Húmedo Tropical (bh-T) a 290 msnm al este en la llanura amazónica, hasta el Bosque Pluvial Montano Tropical (bp-MT) a aproximadamente 3643 msnm en las cumbres de la cordillera Yanachaga (Vásquez et al., 2005). La cordillera se encuentra a 80 km al oeste de la verdadera llanura amazónica (Catchpole, 2012). En general, su relieve es muy accidentado, predominando laderas rocosas cubiertas por bosques con pendientes entre 30° y 85°. La notable gradiente altitudinal sumada a su variedad climática, la cual genera una variada gama de formaciones ecológicas.

De acuerdo con los datos climáticos (TEAM-Network) el área de estudio posee un clima típico de los bosques tropicales todo el año, con temperatura promedio anual entre 21.9 °C y 23.8 °C. La precipitación anual alcanza casi los 7000 mm en el flanco oriental de la cordillera, obteniendo los valores más bajos desde abril a setiembre, cuando la precipitación mensual es menor a 600 mm (Villalba, 2015). La precipitación en Oxapampa tiene un promedio de 1450 mm (1984-2011) y nunca ha superado los 2000 mm/año, mientras que con un promedio de 3247 mm (2003-2011) el sitio de sotavento (flanco oriental) recibe el doble de lluvia como Oxapampa. Las temperaturas medias anuales son de 16 °C y 13 °C en Oxapampa. El clima estacional puede caracterizarse por una temporada húmeda de 7 meses desde octubre hasta abril (precipitación de Oxapampa > 100 mm/mes, precipitación de bosque de sotavento > 200 mm) y una estación seca de 5 meses de mayo a setiembre (Catchpole, 2012).

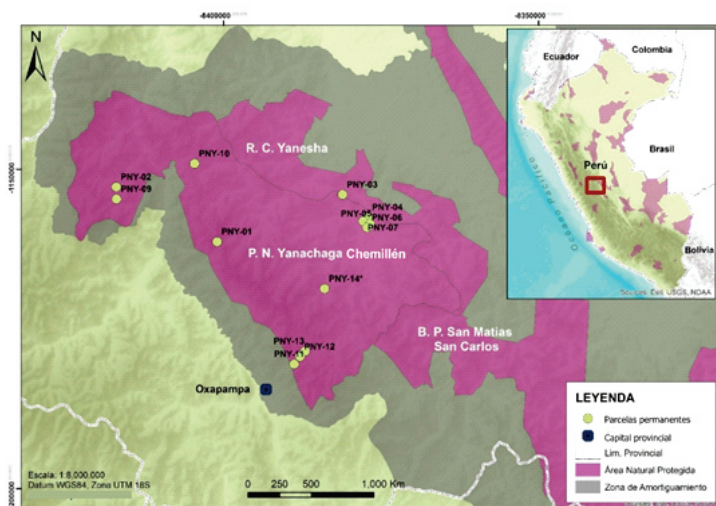


Figura 1. Ubicación de las parcelas permanentes a lo largo de la gradiente altitudinal en el Parque Nacional Yanachaga Chemillén, adyacente a la Reserva Comunal Yanasha y el Bosque de Protección San Matías San Carlos.

Tabla 1. Características de las parcelas permanentes de 1 ha, establecidas en el Transecto Yanachaga y sus zonas de vida (según Holdridge)

Parcela	Nombre	Tamaño	Latitud	Longitud	Elevación (m)	Zona de Vida
PNY-01	Abra Yanachaga	1 ha	75°28'3.4"	10°22'33.1"	3127	Bosque Montano Muy Húmedo
PNY-02	Oso-Playa	1 ha	75°36'39.6"	10°17'56.5"	2177	Bosque Montano Húmedo
PNY-03	Paujil-Ozuz	1 ha	75°17'20.7"	10°18'35.8"	859	Bosque Húmedo Tropical
PNY-04	Paujil	1 ha	75°15'9.6"	10°20'26.5"	463	Bosque Húmedo Tropical
PNY-05	Venado	1 ha	75°15'1.1"	10°21'1.76"	469	Bosque Húmedo Tropical
PNY-06	Paujil-Venado	1 ha	75°15'10.9"	10°21'19.9"	466	Bosque Húmedo Tropical
PNY-07	Paujil-Venado	1 ha	75°15'33.5"	10°20'51.1"	402	Bosque Húmedo Tropical
PNY-09	Oso Playa Pajonal	1 ha	75°36'39.5"	10°18'58.1"	2616	Bosque Montano Muy Húmedo
PNY-10	Tunqui	1 ha	75°29'58.7"	10°16'1.5"	1786	Bosque Húmedo Pre-Montano
PNY-11	El Cedro	1 ha	75°21'29.8"	10°32'39.7"	2464	Bosque Montano Húmedo
PNY-12	Abra Esperanza	1 ha	75°21'7.1"	10°31'51.2"	2816	Bosque Montano Muy Húmedo
PNY-13	Danubio Azul	1 ha	75°20'28.1"	10°31'31.8"	2404	Bosque Montano Húmedo
PNY-14	Tornillo	1 ha	75°16'51.6"	10°22'10.2"	761	Bosque Húmedo Tropical

Mediciones de campo

Se establecieron 13 parcelas permanentes, en bosques naturales de Tierra Firme (Tabla 1), durante los años 2003 (PNY-01), 2004 (PNY-02 y PNY-03), 2007 (PNY-04, PNY-11, PNY-12 y PNY-13), 2008 (PNY-05, PNY-06 y PNY-07), 2014 (PNY-09, PNY-10) y PNY-14 (2015). Tanto en la instalación y en la remediación del año 2018 se midieron todos los árboles, palmeras, helechos arborescentes, lianas y hemiepipítos leñosos, con diámetro ≥ 10 cm (DAP, diámetro a 1.30 m sobre el nivel del suelo), siguiendo la metodología estandarizada para la remediación de parcelas permanentes de *RAINFOR* (Phillips & Baker, 2002). Ante la presencia de raíces tablares o deformaciones en el punto de medición del diámetro, se realizó una medida adicional a 50 cm por encima de los contrafuertes o deformidades (Phillips & Baker, 2002). Cada árbol fue plaqueado y colectado en campo para su posterior identificación en el herbario (Phillips et al. 2003; Phillips et al. 2016; Baker et al. 2017). La altura de los árboles fueron medidos usando clinómetros, hipsómetros o directamente trepando al árbol, y solo 10 individuos por clase de diámetro (10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 50-60 cm, >60 cm) en cada parcela. Para esta medida, se han escogido los individuos

más representativos siguiendo el protocolo *RAINFOR* (Phillips & Baker, 2002).

Las parcelas se han remedido con regularidad (cada 4 años en promedio). La parcela PNY-01, tiene 6 remediciones (2003, 2007, 2009, 2011, 2015, 2018); la parcela PNY-02, 6 remediciones (2004, 2008, 2009, 2011, 2015, 2018); la parcela PNY-03, 5 remediciones (2004, 2009, 2011, 2015, 2018); la parcela PNY-04, 5 remediciones (2007, 2009, 2011, 2015, 2018), las parcelas PNY-05, PNY-06, PNY-07, 5 remediciones (2008, 2009, 2011, 2015, 2018), las parcelas PNY-09, PNY-10, 3 remediciones (2014, 2015, 2018), las parcelas PNY-11, PNY-12, PNY-13, 3 remediciones (2007, 2015, 2018) y la parcela PNY-14, 2 remediciones (2015, 2018). Los nuevos reclutas, es decir, los árboles que han alcanzado los 10 cm cuando se vuelve a visitar la parcela, también se plaquean, miden e identifican y se registran los árboles que han muerto. Reportamos los resultados de la remediación del año 2018, siendo la más reciente realizada en el Transecto Yanachaga.

Los datos de estas parcelas se almacenan y manejan en la base de datos ForestPlots.net.) Esta información fue compilada en una matriz organizada por especies y número de individuos para cada parcela y extraída de la base de datos: <http://www.forestplots.net> (Lopez-Gonzalez et al. 2011, 2012; ForestPlots.net et al. 2021). Los nombres científicos fueron revisados y actualizados usando los especímenes de herbario, listados base de datos TROPICOS (<http://www.tropicos.org/>). Se estandarizaron los nombres de los géneros y las familias siguiendo la clasificación filogenética de las Angiospermas, APG IV (2016). Se han realizado 5500 colecciones botánicas depositadas en el Herbario Selva Central Oxapampa (HOXA), se han digitalizado 9800 fotografías, disponibles en <https://forestplots.net/>; hasta el momento se ha logrado identificar a nivel de especie un promedio de 88 % existente en las 13 parcelas permanentes.

Análisis de datos

Riqueza y diversidad

Para determinar la riqueza de especies y la diversidad arbórea, se realizó la caracterización y comparación entre las parcelas evaluadas. La riqueza se calculó según el número de especies identificadas por parcela. Para la diversidad arbórea se calcularon mediante los índices de α -Fisher [$S = a \ln(1 + 1/a)$] y Shannon-Weaver [$H' = -\sum p_i \ln p_i$] utilizando el software Paleontological Statistics versión 3.16 (Hammer y Harper, 2006).

Para saber la relación de las especies identificadas, los índices de diversidad y el número de individuos por parcela con la elevación, fueron usados modelos aditivos generalizados (GAMs). Para esto se usó el paquete *mgcv* (Wood, 2011) de la plataforma R versión 4.2.2.

Curva de acumulación del número de especies

Para calcular la representatividad del muestreo en la zona de estudio, se estimó la curva de acumulación en base a una matriz de individuos determinados hasta el nivel de especie. Esta curva de acumulación fue generada por separado para

parcelas de bosques montanos y amazónicos considerando 50 parcelas cada una. Así mismo, fue generado una curva general con las 13 parcelas evaluadas considerando 100 parcelas. Para este análisis se usó el paquete iNEXT de la plataforma R (versión 4.2.2) que permite estimar y graficar la curva de rarefacción y extrapolación de la riqueza de especies (Hsieh, Ma y Chao, 2016).

Estructura Arbórea

Para los análisis de estructura, se ha estimado la altura de cada individuo usando una ecuación en base a los datos de altura y diámetro obtenidos dentro de cada una de las parcelas. Esta información fue usada para establecer las clases de alturas dentro de cada parcela. Se analizó también, los patrones de las clases diamétricas dentro de cada parcela.

Así mismo, se ha calculado el área basal y el volumen de la madera. El área basal es calculada como el área de la sección horizontal del tronco al punto de medida del diámetro y se expresa en m²/ha ($AB = \pi * (DAP/2)^2$). El volumen de madera se estimó para cada parcela usando la fórmula de volumen de un cono no truncado ($Volumen = 1/3 AB * H$; donde AB es el área basal y H es la altura total del árbol). Finalmente, se usaron GAMs para saber si el área basal y el volumen de la madera varían a lo largo de la gradiente altitudinal.

Formas de Vida

Se clasificaron cinco clases de formas de vida. **Árboles:** plantas leñosas, libremente erguidas, con copas diferenciadas, con uno o más tallos ≥ 10 cm de diámetro a la altura de 1.30 m desde el suelo; **Palmas:** plantas libremente erguidas con un tallo principal o tronco formado por leño iguales o mayores a 10 cm de diámetro a 1.30 m desde el suelo, aunque no tengan un crecimiento secundario, tienen uno primario, existe un tejido externo de células muertas, a lo que se le denomina corteza, además que tienen un crecimiento monopodial. **Helechos arborescentes:** plantas libremente erguidas con tallos iguales o mayores a 10 cm de diámetro a 1.30 m desde el suelo, no tienen un tallo verdadero, está formado por partes de rizomas, frondas entre otras, y por lo tanto no forman una estructura leñosa propiamente dicha. **Lianas:** plantas leñosas, que nacen en el suelo y suben a los árboles que usan como soporte siempre presentan un tallo que nace desde el suelo, incluye todos los individuos iguales o mayores a 10 cm de diámetro en algún punto a lo largo de los troncos entre 0 y 2.50 m, del suelo. **Hemiepífitos leñosos:** plantas leñosas que usan otras plantas como soporte y tienen una conexión con el suelo, tienen dos tipos de crecimiento, algunas germinan en el dosel y emiten raíces al suelo, otras germinan en el suelo y suben normalmente adheridas al tronco de los árboles, incluye todos los individuos iguales o mayores a 10 cm de diámetro en algún punto a lo largo de los troncos entre 0 y 2.50 m del suelo. Cabe aclarar que siempre habrá la incertidumbre de la denominación de árbol cuando se hable de los helechos arborescentes, cañas grandes, palmeras grandes, *Cycas*, *Zamia*, *Yucca*, *Phenakospermum* y *Puya raimondii* (Vásquez et al. 2018).

Composición Florística

Utilizamos el análisis de Escalamiento Multidimensional no Métrico (NMDS) para mostrar la similitud y diferencias en la composición florística entre las parcelas evaluadas. Los

primeros ejes de la ordenación explican la mayor cantidad de variación dentro de los datos, es decir, estos ejes identifican las gradientes florísticas más importantes, por lo tanto, fueron correlacionados con la variable elevación. Para el NMDS se utilizó una matriz de abundancias relativas de las especies, y como medida de similitud se utilizó el índice Sørensen.

Para comparar los resultados, también utilizamos el análisis de conglomerados jerárquicos con el método promedio aritmético de grupos de pares no ponderados (UPGMA), usando la abundancia relativa de las especies en la matriz resultante en el programa PC-ORD versión 4 (McCune & Mefford, 1999). Fue utilizado el índice Sørensen como medida de disimilaridad o distancia entre dos parcelas: $D = 1 - 2W/(A+B)$, donde W es la suma de abundancias compartidas y A y B son las sumas de abundancias en unidades de muestreo individuales.

Resultados

Riqueza y diversidad de especies

Se registraron 6998 árboles (DAP ≥ 10 cm) correspondientes a un total de 617 especies, 249 géneros y 82 familias. Observamos que la diversidad de especies, considerada por la riqueza de especies, diversidad de Shannon y alfa de Fisher, disminuye conforme aumenta la elevación (Figura 2A-C). La mayor riqueza se registró en la parcela PNY-05 a los 470 msnm de altitud con 202 y la menor se registró en la parcela PNY-01 a los 3170 msnm, con 43 especies por hectárea (Tabla 2). Cabe indicar también, que el número de especies identificadas hasta el momento está por debajo del número de especies estimadas que incluye a los individuos considerados como morfoespecies (Tabla 2).

Las parcelas que alcanzaron mayores valores de índices de (α) Alpha-Fisher's y de índice de Shannon Wiener (H'), fueron PNY-07, seguido por PNY-05, ambas entre los 400 y 600 msnm. Hasta el momento, vienen a constituir las parcelas más ricas a nivel de la selva central del Perú; estas parcelas se encuentran en bosques netamente del llano amazónico.

La Tabla 2 muestra también, que la diversidad de familias siguió el mismo patrón que la diversidad de especies, y donde se puede apreciar una mayor riqueza en el llano amazónico y va disminuyendo a través de la gradiente altitudinal. El número de familias alcanzó un máximo de 45 en las parcelas a 400 y 760 msnm, aumentando a 46 familias a los 860 msnm y disminuyendo regularmente por encima de esa altitud. Se encontró un valor mínimo de 15 familias en la parcela a 3170 msnm.

Por otro lado, el número de individuos fue variable entre las diferentes parcelas y no estuvo relacionada significativamente con la elevación (Figura 2D).

Tabla 2. Resultados de la abundancia, riqueza y diversidad en el Transecto Yanachaga, Número total de especies (617) en las 13 hectáreas (se usa los individuos solamente identificados hasta el nivel de especie; para las estimaciones se incluye los individuos hasta morfo-especies)

Parcela	Elevación (m)	Tamaño	Nro. de individuos	Nro. de Familias	Nro. de especies	Nro. de especies estimadas (incluye morfoespecies)	Diversidad Shannon	Diversidad Alfa Fisher	Promedio de individuos por especie
PNY-07	402	1.0 ha	492	44	163	191	4.65	97.15	3.01
PNY-04	463	1.0 ha	554	38	145	176	4.51	73.75	3.82
PNY-06	466	1.0 ha	414	38	100	129	4.08	48.16	4.14
PNY-05	469	1.0 ha	601	41	167	202	4.63	83.32	3.6
PNY-14	761	1.0 ha	623	45	157	163	4.06	64.46	3.96
PNY-03	859	1.0 ha	715	46	131	165	4.2	53.14	5.45
PNY-10	1786	1.0 ha	533	38	64	86	3.17	21.01	8.32
PNY-02	2177	1.0 ha	587	36	59	94	3.47	18.62	9.94
PNY-13	2404	1.0 ha	411	23	46	58	2.79	13.7	8.93
PNY-11	2464	1.0 ha	608	31	85	93	3.87	28.14	7.15
PNY-09	2616	1.0 ha	503	27	42	63	2.73	12.39	11.97
PNY-12	2816	1.0 ha	429	22	43	51	2.99	12.22	9.97
PNY-01	3127	1.0 ha	528	15	33	43	2.68	8.45	16

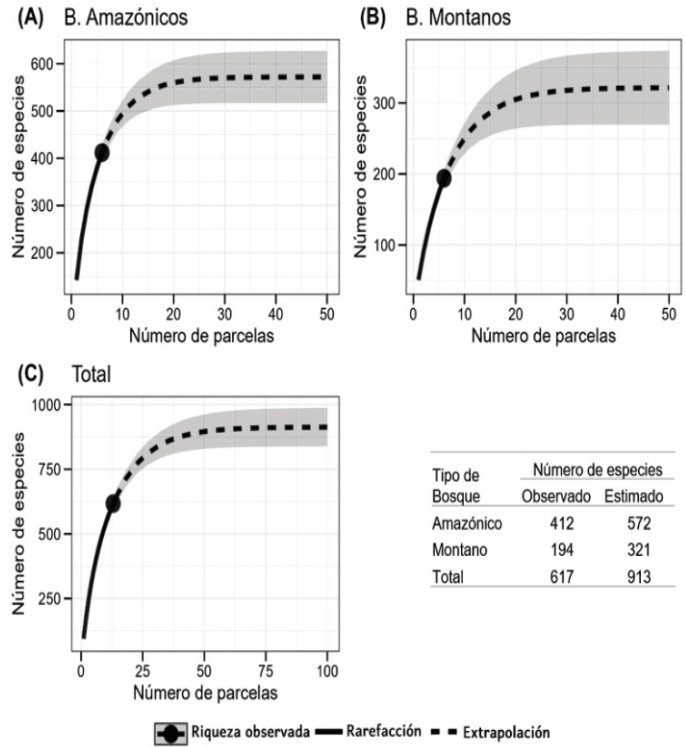


Figura 3. Curva de acumulación de especies para las parcelas en bosques amazónicos (A), montanos (B) y para la totalidad de las parcelas evaluadas (C) a lo largo de la gradiente altitudinal en el Transecto Yanachaga. La línea continua muestra los valores observados (Curva de rarefacción) y la línea discontinua (curva de extrapolación) los valores estimados. La parte sombreada de las curvas representan los niveles de confianza al 95%. Esta curva no fue generada para los bosques premontanos debido a que estuvo representada apenas por una parcela.

De la estructura

En el inventario de parcelas del Transecto Yanachaga el año 2018, se midieron un total de 6998 tallos vivos. La estructura de estas parcelas se resume en la Tabla 4 y las Figuras 4 y 5.

Número de troncos

El número de troncos varía de 414 a 715 individuos entre altitudes de 400 y 1000 msnm, y entre 503 a 608 individuos entre altitudes de 1800 a 3170 msnm. El máximo número de individuos (715) fue a 860 msnm el mínimo (411) a 2404 msnm en la parcela PNY-13 del flanco oriental hacia el valle del Palcazu.

Altura de los arboles

Usando los valores de altura y diámetros obtenidos de cada una de las parcelas, fueron generadas las ecuaciones para estimar la altura de cada uno de los individuos dentro de las parcelas evaluadas. Así, la Tabla 3 muestra las diferentes ecuaciones para cada parcela. Las ecuaciones para PNY14, PNY05, PNY02, PNY06 y PNY04 tuvieron un excelente ajuste ($R^2 \geq 0.70$). Para PNY10, PNY03, PNY09 y PNY11 y PNY07 las ecuaciones tuvieron un regular ajuste ($R^2 = 0.50 - 0.69$). Para PNY01, PNY12 y PNY13 el ajuste de las ecuaciones fue $R^2 = 0.34, 0.19$ y 0.15 , respectivamente (Tabla 3). En general, el ajuste de las ecuaciones de la altura en base al diámetro en los bosques del Transecto de Yanachaga tiende a ser mejor conforme disminuye la elevación ($R^2 = 0.50, p = 0.032$).

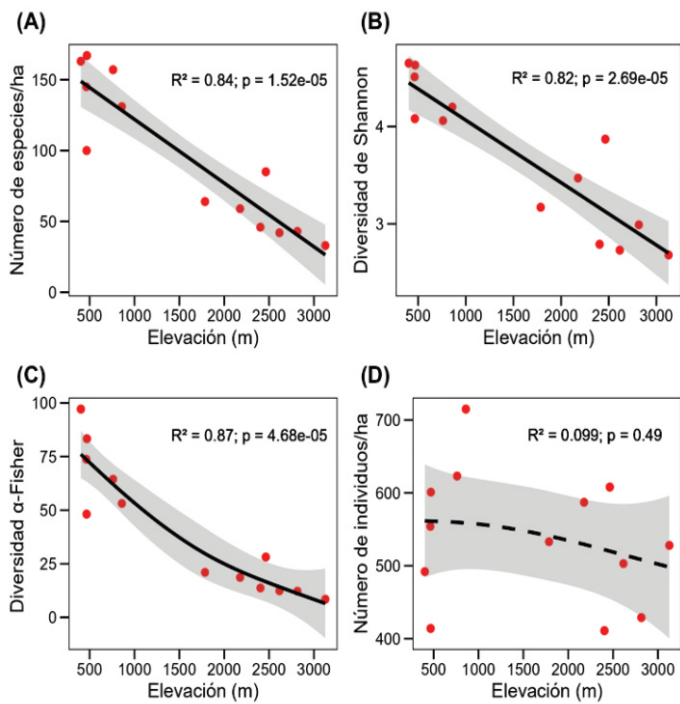


Figura 2. Relación entre el número de especies identificados (A), Diversidad de Shannon (B), Alfa de Fisher (C) y número de individuos (D) con la elevación a lo largo Transecto de Yanachaga, resultado de modelos aditivos generalizados (GAMs). Líneas sólidas representa relaciones significativas ($p < 0.05$) y líneas discontinuas relaciones no significativas. Sombras grises representan el intervalo de confianza al 95%.

La curva de acumulación de especies generada estima alrededor de 572 y 321 especies de árboles (≥ 10 cm DAP) para los bosques amazónicos y montanos, respectivamente (Figura 3A-B). Así mismo, la curva generada para el total de las parcelas estimó 913 especies en 100 parcelas (Figura 3C) a lo largo de la gradiente altitudinal en el Transecto Yanachaga.

Tabla 3. Ecuaciones para estimar la altura generadas en base a la relación de alturas y diámetros para cada parcela evaluada del transecto Yanachaga. R^2 = porcentaje de ajuste del modelo, n = número de individuos considerados por parcela.

Parcela	Elevación (m)	Ecuación para estimar la altura	R^2	n
PNY-07	402	$H = 14.017\ln(\text{DAP}) - 22.794$	0.67	40
PNY-04	463	$H = 0.0006(\text{DAP})^2 + 0.4954(\text{DAP}) + 8.5751$	0.70	40
PNY-06	466	$H = 3.9567(\text{DAP})^{0.5368}$	0.74	40
PNY-05	469	$H = 2.9424(\text{DAP})^{0.5799}$	0.77	39
PNY-14	761	$H = 18.236\ln(\text{DAP}) - 35.5$	0.82	39
PNY-03	859	$H = -0.0065(\text{DAP})^2 + 0.9383(\text{DAP}) + 2.2072$	0.54	40
PNY-10	1786	$H = 0.008(\text{DAP})^2 + 0.8078(\text{DAP}) + 1.9432$	0.53	48
PNY-02	2177	$H = 3.7596(\text{DAP})^{0.4708}$	0.75	48
PNY-13	2404	$H = 0.0116(\text{DAP})^2 - 0.30036 + 14.442$	0.15	31
PNY-11	2464	$H = 9.1628\ln(\text{DAP}) - 11.2$	0.60	45
PNY-09	2616	$H = 0.0032(\text{DAP})^2 + 0.0028(\text{DAP}) + 14.064$	0.58	47
PNY-12	2812	$H = 9.2296e^{(0.0128(\text{DAP}))}$	0.19	43
PNY-01	3127	$H = 7.9694\ln(\text{DAP}) - 11.943$	0.34	31

En general, la clase de altura más representativa dentro de cada parcela evaluada fue de 10 a 20 m. Esto fue más evidente para las parcelas por encima de los 1000 m. de elevación (Figura 4A). Así mismo, se observó una mayor variabilidad en las alturas estimadas en las parcelas por debajo de los 2000 msnm (Figura 4B). Finalmente, se observó una disminución significativa de la altura estimada promedio con el aumento de la elevación, donde estos valores permanecen más o menos constantes por debajo de los 2000 msnm, pero disminuyen drásticamente por encima de este nivel de elevación (Figura 4C, Tabla 4).

Diámetro de los árboles

Los patrones de distribución de las clases diamétricas fueron muy similares en todas las parcelas evaluadas, gran parte de los individuos poseen un DAP menor o igual a 20 cm. Estos patrones se asemejan a una “J” invertida, donde las mayores clases diamétricas fueron las menos representadas, en este caso, por algunos individuos de las parcelas instaladas por debajo de los 2000 m de elevación (Figura 4D). Cabe indicar también, que por debajo de los 2300 msnm se observó una mayor variabilidad en el diámetro de los individuos (especialmente en la parcela PNY02 que está a 2177msnm) (Figura 4E), pero los valores promedios, si bien, tienden a disminuir con el aumento de la elevación, esta relación no fue significativa (Figura 4F, Tabla 4).

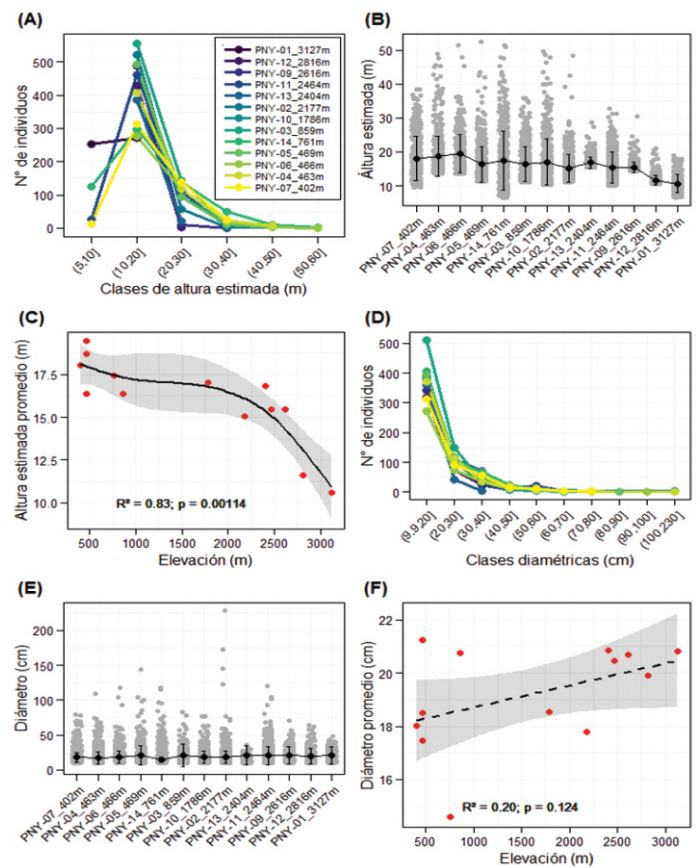


Figura 4. Patrones de clases de altura estimada (A) y distribución de las alturas estimadas para cada una de las parcelas evaluadas (B). C) Relación entre la altura estimada promedio y la elevación. Clases diamétricas (D) y distribución de los diámetros (E) para cada una de las parcelas evaluadas. Relación entre el diámetro promedio y la elevación en el Transecto Yanachaga (F). El eje x de B y E muestra a las parcelas evaluadas ordenadas de acuerdo al gradiente de elevación. Los puntos negros y las barras verticales en B y E representan los valores de promedio y la desviación estándar, respectivamente. C y F fueron resultado de GAMs, donde la línea continua indica una relación significativa ($p < 0.005$) y la línea discontinua una relación no significativa ($p > 0.05$).

Área basal

Los valores de área basal de los individuos dentro de cada una de las parcelas no tuvieron un patrón claro. Se observó también que existe una alta variabilidad de los valores en PNY06, PNY05, PNY14, PNY11, pero, sobre todo, en la parcela PNY02 (Figura 5A). Los valores de área basal total alcanzaron valores cercanos 30 m²/ha o más en las parcelas de PNY05, PNY14, PNY11 y PNY02, respectivamente. El valor mínimo de 7.4 m² ha⁻¹ se encontró en la parcela de 2404 m hacia el valle del Palcazú (Tabla 4). Si bien, hubo una tendencia de la reducción del área basal total hacia elevaciones superiores, esta relación no fue significativa (Figura 5B). De la misma forma, los valores promedios de área basal no tuvieron una relación significativa con el gradiente de elevación ($R^2 = 0.13$; $p = 0.12$).

Volumen de madera

La distribución de los valores del volumen de madera de los individuos dentro de las parcelas evaluadas tuvo una similar distribución que los datos de área basal, con una mayor variabilidad en la parcela PNY02 (2177 msnm) (Figura 5C). El volumen de madera total alcanzó valores por encima de 270 m³/ha en las parcelas PNY02 (2177 msnm) y PNY14 (761 msnm), mientras que el menor valor registrado fue en la

parcela PNY13 (2402 msnm) con apenas 43.9 m³/ha (Tabla 4). En general, el volumen de madera total tiende a disminuir significativamente con el aumento de la elevación (Figura 5D). Este patrón también fue demostrado para los valores promedios de volumen de madera por parcela ($R^2 = 0.44$ $p = 0.0129$).

Tabla 4. Resumen de la altura estimada, diámetro, área basal y volumen de madera para las 13 parcelas evaluadas en el Transecto Yanachaga. Para ello fueron incluidos todos los individuos con diámetro ≥ 10 cm. ds = desviación estándar.

Parcela	Elevación (m)	Nro. de troncos	Altura estimada (m)			Diámetro (cm)		Área Basal (m ² /ha)				Volumen de Madera (m ³ /ha)			
			Max.	Min.	Promedio \pm ds	Max.	Promedio \pm ds	Total	Max.	Min.	Promedio \pm ds	Total	Max.	Min.	Promedio \pm ds
PNY-07	402	492	38.5	9.48	18.0 \pm 6.59	79	20.8 \pm 11.9	22.2	0.49	0.00785	0.0451 \pm 0.0625	190	6.28	0.025	0.387 \pm 0.741
PNY-04	463	554	48.9	13.6	18.7 \pm 5.88	109	19.9 \pm 11.5	23	0.94	0.00785	0.0415 \pm 0.0677	209	14.1	0.036	0.377 \pm 0.968
PNY-06	466	414	51.3	13.6	19.5 \pm 5.61	118	20.7 \pm 12.9	19.3	1.1	0.00785	0.0466 \pm 0.0882	182	18.9	0.036	0.440 \pm 1.340
PNY-05	469	601	52.4	11.2	16.4 \pm 5.28	144	20.4 \pm 13.4	28.1	1.62	0.00785	0.0469 \pm 0.1020	242	28.3	0.029	0.403 \pm 1.530
PNY-14	761	623	51.5	6.49	17.4 \pm 8.73	118	20.8 \pm 13.4	29.9	1.1	0.00785	0.0481 \pm 0.0918	298	18.9	0.017	0.479 \pm 1.440
PNY-03	859	715	35.8	10.9	16.4 \pm 5.05	82.5	17.8 \pm 8.69	22	0.54	0.00785	0.0308 \pm 0.0420	162	6.3	0.029	0.226 \pm 0.476
PNY-10	1786	533	49.6	10.2	17.0 \pm 6.75	77.2	18.5 \pm 9.10	17.7	0.47	0.00801	0.0335 \pm 0.0461	145	5.46	0.027	0.275 \pm 0.600
PNY-02	2177	587	48.4	11.1	15.1 \pm 4.05	228	20.8 \pm 16.5	32.1	4.08	0.00785	0.0552 \pm 0.2160	279	65.9	0.029	0.481 \pm 3.260
PNY-13	2404	411	28.6	15.3	16.8 \pm 1.72	35.3	14.6 \pm 4.15	7.4	0.1	0.00785	0.0181 \pm 0.0117	43.9	0.93	0.040	0.108 \pm 0.094
PNY-11	2464	608	32.7	9.9	15.5 \pm 4.63	120	21.2 \pm 13.7	30.1	1.13	0.00785	0.0500 \pm 0.0899	218	12.3	0.026	0.362 \pm 0.896
PNY-09	2616	503	30.4	14.4	15.4 \pm 1.53	71	18.5 \pm 8.37	16.2	0.4	0.00785	0.0324 \pm 0.0369	92.8	4.01	0.038	0.186 \pm 0.291
PNY-12	2816	429	20.9	10.5	11.6 \pm 1.45	63.8	17.5 \pm 8.52	12.7	0.32	0.00785	0.0297 \pm 0.0379	57	2.23	0.028	0.133 \pm 0.231
PNY-01	3127	528	18.9	6.41	10.6 \pm 2.74	47.7	18 \pm 7	15.4	0.18	0.00785	0.0294 \pm 0.0257	65.8	1.12	0.017	0.125 \pm 0.152

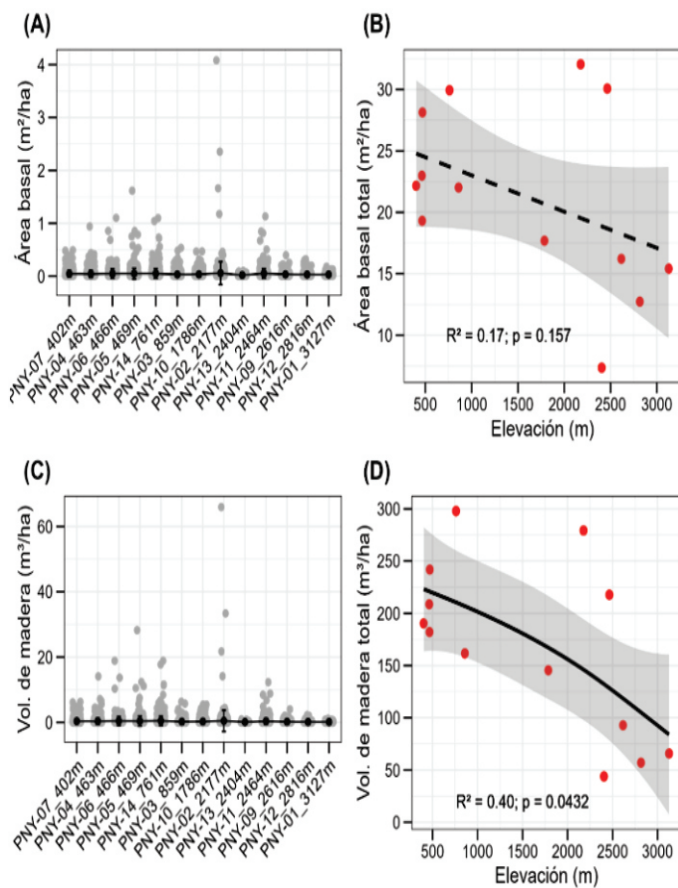


Figura 5. Distribución de los valores de área basal en cada parcela (A). Relación del área basal total y la elevación (B). Distribución de los valores de volumen de madera en cada parcela (C). Relación del volumen de madera total y la elevación (D) a lo largo de la gradiente altitudinal en el Transecto Yanachaga. Los puntos negros y las barras verticales en A y C representan los valores de promedio y la desviación estándar, respectivamente. La línea discontinua en B representa una relación no significativa ($p > 0.05$) y la línea continua en D, una relación significativa ($p < 0.05$), estas relaciones fueron resultados de GAMs.

Distribución de la Formas de Vida

Cinco formas de vida se representaron entre los 7109 individuos ≥ 10 cm remedidos el 2018 (incluimos los individuos de las lianas y los hemiepífitos leñosos): (1) árboles, 88% de los tallos en general; (2) palmas 4%; (3) helechos arborescentes 6.5%; (4) lianas 1.5%; y (5) hemiepífitos 0.03%.

La abundancia de las formas de vida varió notablemente en la gradiente (Tabla 5 y Figura 6A). Aunque los árboles son los más abundantes en todas las parcelas, las palmeras son bastante comunes en las parcelas en altitudes más bajas, que comprenden más del 17% de los tallos en la parcela PNY-14 a los 761msnm; pero son raras ($< 1\%$) por encima de 1800 msnm. Los helechos arbóreos fueron raros ($< 1\%$) a elevaciones más bajas por debajo de los 1000 msnm; llegando a ser más abundantes por encima de los 1800 msnm. La abundancia de helechos arbóreos fue más alta a 2400 m, donde constituye el 22% de los tallos. Las lianas ocurren en mayor cantidad (3-6%) en la base del gradiente 400 y 500 m, y estuvieron ausentes por encima de los 1800 msnm. Los hemiepífitos leñosos ocurrieron solo entre 400 y 1000 msnm, alcanzando un máximo (0.2%).

Los árboles propiamente dichos fueron la forma de vida dominante en todas las parcelas. Su abundancia fue menor a los 761 msnm, en PNY14 (81.6%) donde las palmeras fueron más comunes, y a los 2400 msnm en PNY13 (77.6%) donde los helechos arbóreos son más comunes. En toda la gradiente, la abundancia de los árboles varió entre el 78% en PNY13 y 99% en PNY12 de los tallos.

Como se puede apreciar en la Tabla 5 y la Figura 6B), las formas de vida en promedio a nivel de especies en las 13 parcelas permanentes (92 %) son árboles; (1.16 %) son palmeras; (3.9 %) son helechos arborescentes; (2.77%) son lianas y (0.10%) son hemiepífitos leñosos.

Tabla 5. Resultados de la distribución de las formas de vida de 13 parcelas permanentes de 1.0-ha, a lo largo de la gradiente altitudinal en el Transecto Yanachaga. Están incluidos todos los individuos ≥ 10 cm de diámetro.

Parcela	Elevación (m)	Árboles	Palmeras	Helechos	Lianas	Hemiepífitos	Total, (n, plantas)
Porcentaje de troncos							
PNY-07	402	88.3	7.6	0	4.1	0	513
PNY-04	463	89.8	5.9	0	6.1	0.2	591
PNY-06	466	96.3	0.2	0	3.5	0	429
PNY-05	469	96.6	0.2	0	3.2	0	621
PNY-14	761	81.6	16.9	0	1.3	0.2	632
PNY-03	859	85.9	13.1	0	1	0	722
PNY-10	1786	90.2	0.6	9.2	0	0	533
PNY-02	2177	80.4	0	19.6	0	0	587
PNY-13	2404	77.6	0	22.4	0	0	411
PNY-11	2464	84.2	0	15.6	0.2	0	609
PNY-09	2616	87.5	0.2	12.3	0	0	504
PNY-12	2816	98.8	0.2	0.9	0	0	429
PNY-01	3127	91.7	0	8.3	0	0	528
Número de Especies							
PNY-07	402	161	4	0	13	0	178
PNY-04	463	141	5	0	11	1	158
PNY-06	466	98	1	0	9	0	108
PNY-05	469	167	1	0	10	0	178
PNY-14	761	144	3	0	4	1	152
PNY-03	859	117	3	0	5	0	125
PNY-10	1786	56	1	8	0	0	65
PNY-02	2177	55	0	3	0	0	58
PNY-13	2404	44	0	2	0	0	46
PNY-11	2464	79	0	5	1	0	85
PNY-09	2616	37	0	5	0	0	42
PNY-12	2816	41	1	1	0	0	43
PNY-01	3127	30	0	3	0	0	33

número de géneros por familia, las angiospermas y gimnospermas son las reconocidas en el APG IV (2016), los géneros con escasas excepciones son los que se reconocen en Brummitt (1992, en línea) y Mabberley (1998); las familias de las Pteridophyta son las que se reconocen en Smith et al. (2006); 181 especies presentan un solo individuo a través de la gradiente altitudinal.

Tabla 6. Composición florística en las 13 parcelas del Transecto Yanachaga.

Nro	Familias	Géneros	Especies	Nro	Familias	Géneros	Especies
1	Fabaceae	23	68	43	Elaeocarpaceae	1	10
2	Rubiaceae	20	35	44	Aquifoliaceae	1	9
3	Lauraceae	12	38	45	Chloranthaceae	1	7
4	Euphorbiaceae	12	23	46	Nyctaginaceae	1	5
5	Moraceae	11	29	47	Symplocaceae	1	5
6	Malvaceae	10	17	48	Siparunaceae	1	3
7	Annonaceae	8	16	49	Styracaceae	1	3
8	Clusiaceae	6	14	50	Actinidiaceae	1	2
9	Apocynaceae	6	12	51	Boraginaceae	1	2
10	Salicaceae	6	10	52	Brunelliaceae	1	2
11	Sapotaceae	5	25	53	Clethraceae	1	2
12	Urticaceae	5	17	54	Ebenaceae	1	2
13	Meliaceae	5	16	55	Malpighiaceae	1	2
14	Myrtaceae	5	9	56	Bignoniaceae	1	1
15	Arecaceae	5	7	57	Capparaceae	1	1
16	Melastomataceae	4	32	58	Cardiopteridaceae	1	1
17	Chrysobalanaceae	4	21	59	Dichapetalaceae	1	1
18	Burseraceae	4	18	60	Dicksoniaceae	1	1
19	Myristicaceae	4	14	61	Dipentodontaceae	1	1
20	Sapindaceae	4	9	62	Erythroxylaceae	1	1
21	Vochysiaceae	4	5	63	Goupiaceae	1	1
22	Cyatheaceae	3	12	64	Juglandaceae	1	1
23	Araliaceae	3	9	65	Lacistemataceae	1	1
24	Podocarpaceae	3	5	66	Lamiaceae	1	1
25	Olacaceae	3	3	67	Lepidobotryaceae	1	1
26	Violaceae	3	3	68	Linaceae	1	1
27	Lecythidaceae	2	8	69	Loganiaceae	1	1
28	Phyllanthaceae	2	6	70	Loranthaceae	1	1
29	Primulaceae	2	6	71	Lythraceae	1	1
30	Pentaphragmataceae	2	5	72	Magnoliaceae	1	1
31	Solanaceae	2	5	73	Metteniusaceae	1	1
32	Anacardiaceae	2	4	74	Monimiaceae	1	1
33	Sabiaceae	2	4	75	Myricaceae	1	1
34	Calophyllaceae	2	3	76	Opiaceae	1	1
35	Caryocaraceae	2	3	77	Phytolaccaceae	1	1
36	Combretaceae	2	3	78	Rhizophoraceae	1	1
37	Simaroubaceae	2	3	79	Staphyleaceae	1	1
38	Asteraceae	2	2	80	Stemonuraceae	1	1
39	Celastraceae	2	2	81	Theaceae	1	1
40	Ochnaceae	2	2	82	Viburnaceae	1	1
41	Rosaceae	2	2		Total	249	617
42	Cunoniaceae	1	11				

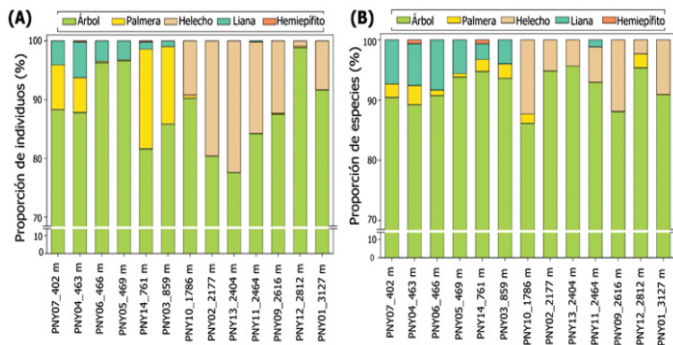


Figura 6. Formas de vida considerando la proporción de individuos (A) y proporción de especies (B) en el transecto Yanachaga. En el eje x de ambos gráficos están representadas las parcelas ordenadas por la elevación a la que se encuentran de forma ascendente.

Así mismo, en la Figura 6B, se puede ver la variación del número de especies entre las diferentes formas de vida: entre los 402 y 859 msnm, hay una mayor proporción de especies arbóreas; también es significativo el número de especies de lianas y palmeras más diversas en las bajas altitudes hasta los 859 msnm, se registra un bajo número de especies de hemiepífitos. Por encima de los 1800 msnm; aunque el número de especies de árboles es significativo; es notable el alto número de especies de los helechos arbóreos; reduciéndose el número de especies de palmeras y registrándose solo una especie de liana a los 2464 msnm.

Composición Florística

En el Transecto Yanachaga se registró 617 especies (determinados hasta el nivel de especie), 249 géneros y 82 familias (2 familias de Pteridophytas, 1 Familia de Gimnospermas y 79 familias de Angiospermas), como se puede observar en la Tabla 5, se ordenaron de acuerdo al mayor

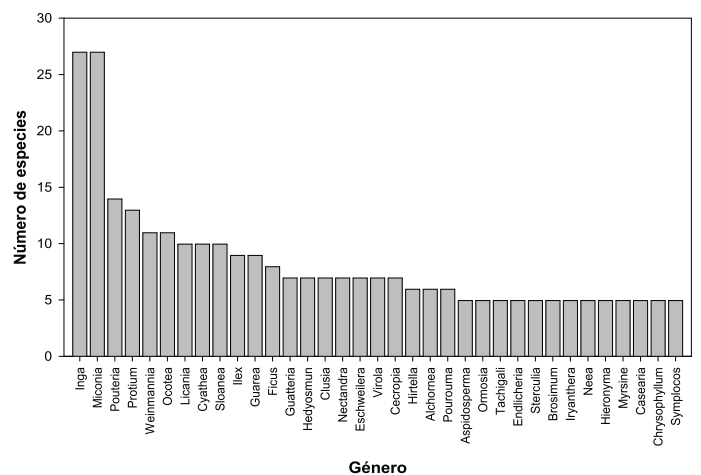


Figura 7: Géneros con más de 5 especies en el Transecto Yanachaga

Se observa 35 géneros que tienen más de 5 especies, se puede ver que hay una mezcla en la diversidad a de géneros a través de la altitud, hay géneros diversos tanto en la parte baja (*Inga*, *Pouteria*, *Protium*, *Sloanea*, etc.), media (*Miconia*, *Ocotea*, *Guarea*, *Ficus*, *Alchornea*, etc.) y alta (*Miconia*, *Weinmannia*, *Ilex*, *Cyathea*, etc.) del Transecto Yanachaga.

Tabla 7. Especies con más de 50 individuos en el Transecto Yanachaga.

Nro Familia	Especie	Total	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	
			01	-02	03	04	05	06	07	09	10	11	12	13	14
1	Areaceae	<i>Iriartea deltoidea</i>	190	0	0	49	19	0	0	33	0	0	0	0	89
2	Cyatheaceae	<i>Cyathea caracasana</i>	142	0	30	0	0	0	0	0	4	1	29	0	78
3	Cunoniaceae	<i>Weinmannia pubescens</i>	126	0	32	0	0	0	0	0	1	66	21	0	6
4	Clusiaceae	<i>Clusia multiflora</i>	125	59	0	0	0	0	0	0	50	0	4	7	5
5	Chloranthaceae	<i>Hedyosmum lechleri</i>	112	0	0	0	0	0	0	0	77	0	0	35	0
6	Cunoniaceae	<i>Weinmannia reticulata</i>	110	104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1
7	Chloranthaceae	<i>Hedyosmum cuatrecazanum</i>	89	47	30	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0
8	Myristicaceae	<i>Virola pavonis</i>	87	0	0	34	8	24	14	0	0	0	0	0	7
9	Clusiaceae	<i>Clusia schultesii</i>	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85
10	Actinidiaceae	<i>Saurauia biserrata</i>	76	0	1	0	0	0	0	0	0	69	6	0	0
11	Melastomataceae	<i>Miconia aprica</i>	73	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	69	0
12	Areaceae	<i>Socratea salazarii</i>	67	0	0	45	3	0	0	2	0	0	0	0	17
13	Euphorbiaceae	<i>Hevea guianensis</i>	67	0	0	21	0	7	7	0	0	0	0	0	32
14	Lauraceae	<i>Beilschmiedia latifolia</i>	62	0	6	0	0	0	0	0	41	0	13	0	2
15	Clethraceae	<i>Clethra revoluta</i>	62	11	0	0	0	0	0	0	40	0	0	1	10
16	Fabaceae	<i>Macrolobium gracile</i>	62	0	0	4	15	17	17	6	0	0	0	0	3
17	Meliaceae	<i>Guarea kunthiana</i>	60	0	22	0	0	0	0	1	1	1	34	0	1
18	Euphorbiaceae	<i>Senefeldera inclinata</i>	60	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	59
19	Myristicaceae	<i>Osteophloeum platyspermum</i>	57	0	0	11	7	13	21	3	0	0	0	0	2
20	Primulaceae	<i>Myrsine andina</i>	56	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	1
21	Cyatheaceae	<i>Alsophila erinacea</i>	55	0	3	0	0	0	0	0	0	12	40	0	0
22	Meliaceae	<i>Guarea macrophylla</i>	54	0	0	8	11	25	5	3	0	0	0	0	2
23	Cyatheaceae	<i>Cyathea delgadii</i>	53	0	42	0	0	0	0	0	0	0	4	0	7
24	Primulaceae	<i>Myrsine pearcei</i>	53	0	0	0	0	0	0	0	1	52	0	0	0
25	Malvaceae	<i>Theobroma subincanum</i>	53	0	0	5	7	20	10	9	0	0	0	0	2
26	Urticaceae	<i>Cecropia taeuna</i>	52	0	20	0	0	0	0	0	0	1	31	0	0
27	Cunoniaceae	<i>Weinmannia halbisiana</i>	52	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	47	2
28	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	51	15	7	0	0	0	0	0	11	0	10	8	0

28 especies más abundantes con más de 50 individuos en una o más parcelas, a través de la gradiente altitudinal, se puede observar especies representativas abundantes, tanto en la parte baja (*Iriartea deltoidea*, *Virola pavonis*, *Hevea guianensis*, *Macrolobium gracile*, *Osteophloeum platyspermum*, etc.), parte media (*Weinmannia pubescens*, *Saurauia biserrata*) y parte alta (*Cyathea caracasana*, *Clusia multiflora*, *Hedyosmum lechleri*, *Weinmannia reticulata*, *Hedyosmum cuatrecazanum*) del Transecto Yanachaga.

Tabla 8. Especies presentes en más de 5 parcelas en el Transecto Yanachaga.

Nro Familia	Especie	Parcelas Presentes	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	PNY-	
			01	02	03	04	05	06	07	09	10	11	12	13	14
1	Caryocaraceae	<i>Caryocar glabrum</i>	6	0	0	1	5	4	12	2	0	0	0	0	3
2	Lecythidaceae	<i>Eschweilera coriacea</i>	6	0	0	2	7	13	7	3	0	0	0	0	3
3	Meliaceae	<i>Guarea kunthiana</i>	6	0	22	0	0	0	0	1	1	1	34	0	1
4	Meliaceae	<i>Guarea macrophylla</i>	6	0	0	8	11	25	5	3	0	0	0	0	2
5	Myristicaceae	<i>Iryanthera parensis</i>	6	0	0	3	1	11	9	3	0	0	0	0	4
6	Lacistemataceae	<i>Lacistema aggregatum</i>	6	0	0	2	4	6	8	1	0	0	0	0	1
7	Fabaceae	<i>Macrolobium gracile</i>	6	0	0	4	15	17	17	6	0	0	0	0	3
8	Sapotaceae	<i>Micropholis guyanensis</i>	6	0	0	2	2	8	12	1	0	0	0	0	2
9	Sapotaceae	<i>Micropholis venulosa</i>	6	0	0	2	6	2	1	2	0	0	0	0	4
10	Myristicaceae	<i>Osteophloeum platyspermum</i>	6	0	0	11	7	13	21	3	0	0	0	0	2
11	Urticaceae	<i>Pourouma guianensis</i>	6	0	0	5	5	4	0	7	0	1	0	0	9
12	Urticaceae	<i>Pourouma minor</i>	6	0	0	13	7	10	2	6	0	0	0	0	7
13	Sapotaceae	<i>Pouteria torta</i>	6	0	0	2	5	2	0	2	0	0	0	0	2
14	Moraceae	<i>Pseudolmedia laevigata</i>	6	0	0	8	1	6	3	1	0	0	0	0	2
15	Malvaceae	<i>Theobroma subincanum</i>	6	0	0	5	7	20	10	9	0	0	0	0	2
16	Euphorbiaceae	<i>Alchornea triplinervia</i>	5	0	0	0	19	4	4	5	0	0	0	0	2
17	Cyatheaceae	<i>Cyathea caracasana</i>	5	0	30	0	0	0	0	0	4	1	29	0	78
18	Fabaceae	<i>Diploptropis purpurea</i>	5	0	0	6	5	10	18	6	0	0	0	0	0
19	Sapotaceae	<i>Ecclimusa lanceolata</i>	5	0	0	0	3	2	1	1	0	0	0	0	4
20	Moraceae	<i>Helicostylis tomentosa</i>	5	0	0	10	7	4	2	3	0	0	0	0	0
21	Phyllanthaceae	<i>Hieronyma oblonga</i>	5	0	8	3	0	0	0	1	0	4	0	0	1
22	Violaceae	<i>Leonia glycyarpa</i>	5	0	0	0	8	3	1	6	0	0	0	0	1
23	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	5	15	7	0	0	0	0	11	0	10	8	0	0
24	Nyctaginaceae	<i>Neea divaricata</i>	5	0	0	2	21	3	3	13	0	0	0	0	1
25	Urticaceae	<i>Pourouma mollis</i>	5	0	0	1	1	0	1	3	0	0	0	0	4
26	Sapotaceae	<i>Pouteria cuspidata</i>	5	0	0	4	1	4	1	1	0	0	0	0	0
27	Sapotaceae	<i>Pouteria durlandii</i>	5	0	0	0	1	8	8	4	0	0	0	0	1
28	Burseraceae	<i>Protium divaricatum</i>	5	0	0	5	2	11	2	2	0	0	0	0	0
29	Myristicaceae	<i>Virola elongata</i>	5	0	0	1	2	3	0	5	0	0	0	0	8
30	Myristicaceae	<i>Virola pavonis</i>	5	0	0	34	8	24	14	0	0	0	0	0	7
31	Canoniaceae	<i>Weinmannia pubescens</i>	5	0	32	0	0	0	0	0	1	66	21	0	6

31 especies están presentes en más de 5 parcelas, 15 especies están presentes en 6 parcelas y 16 especies en 5 parcelas, estas especies presentes en varias parcelas están relacionadas con su distribución altitudinal, la mayoría de estas especies son de la parte baja de la gradiente, a excepción de *Cyathea caracasana*, *Hieronyma oblonga*, *Myrsine coriacea* y *Weinmannia pubescens* que tiene un rango en las parcelas más altas de la gradiente; solo *Guarea kunthiana* está presente en 6 parcelas y abarca la mayor gradiente altitudinal entre los 402 msnm (PNY-07) y los 2177 msnm (PNY-02) en el Transecto Yanachaga.

En la Figura 8A, mostramos la similitud florística de las 13 parcelas basadas en datos de la abundancia de árboles, el dendrograma nos muestra los agrupamientos y afinidades florísticas en las diferentes parcelas. La Figura 8B producto de un análisis de escalamiento multidimensional (NMDS, Stress = 0.036), también agrupa las parcelas por sus afinidades florísticas, pero básicamente diferenciadas por la elevación. Esto último observa de mejor manera en la Figura 8C. El primer eje del NMDS (axis 1) se correlacionó significativamente con la elevación de las parcelas ($r = -0.99$,

$p < 0.01$) y la altura de los árboles ($r = 0.88$, $p < 0.01$). Mientras que el segundo eje del NMDS se correlacionó significativamente con el área basal ($r = -0.93$, $p < 0.05$) y el volumen de los árboles ($r = -0.78$, $p < 0.01$). Por lo tanto, el NMDS agrupa las diferentes parcelas por sus afinidades florísticas además de incluir otras variables fundamentales en la gradiente como la altitud, el área basal, la altura de los árboles y el volumen de la madera (Figura 8C).

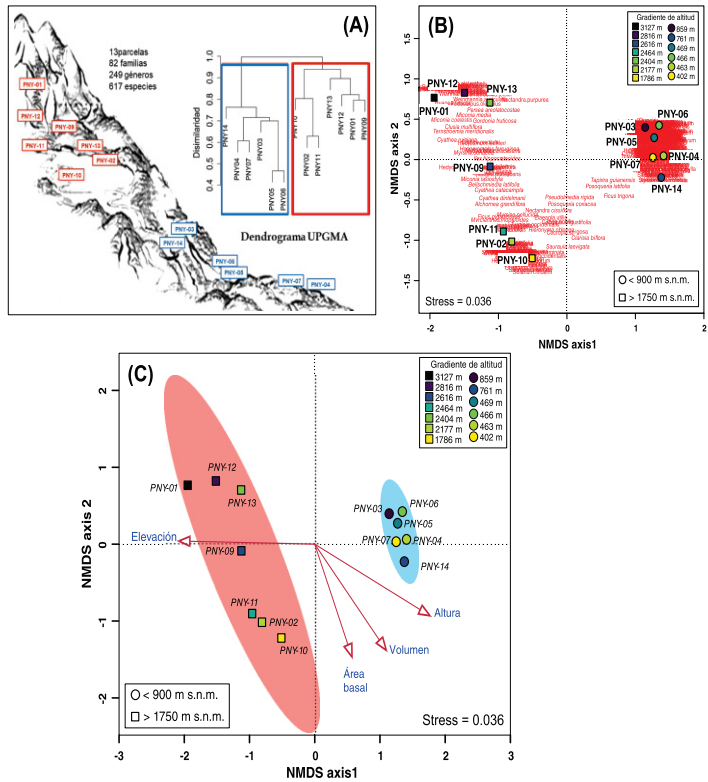


Figura 8. A) Análisis de conglomerados jerárquicos, B y C) análisis NMDS, en 13 parcelas permanentes a lo largo de la gradiente altitudinal en el Transecto Yanachaga. El NMDS incluyen elipses al 95% intervalos de confianza del 95%, los colores de las elipses diferencian el agrupamiento de las parcelas según altitud.

Discusión

Diversidad

Nuestros resultados a través de la gradiente altitudinal muestran un patrón de una mayor riqueza y diversidad de especies en la parte baja del Transecto Yanachaga hasta los 1000 msnm, y a partir de esta altitud se ve claramente una disminución en los tres niveles taxonómicos familia, género y especies, se encontró un efecto significativo de la altitud en la riqueza y la diversidad. Aunque este estudio no incluye parcelas en altitudes medias (1000, 1200, 1500 m), nuestros resultados son similares a los patrones mostrados en una red de transectos elevados establecidos en los trópicos resaltando la evidencia de un cambio en la riqueza de las plantas leñosas a lo largo de los gradientes de elevación, con un pico en los niveles de familia, géneros y riqueza de especies en los bosques montanos bajos, seguido de una riqueza decreciente dentro de la zona de inmersión en la región de bosque nublado (Girardin et al. 2014; Malizia et al. 2020). La mayor riqueza y diversidad en el Transecto Yanachaga están representados en los bosques

de tierra firme en altitudes entre los 400, 700 y 800 msnm, aunque los números son variables por el tipo de bosque y el suelo este patrón es consistente al menos en las altitudes bajas de los bosques amazónicos del Yanachaga. Estos resultados en esta gradiente son similares a los registrados por Gentry (1988), en Cabeza de Mono, Oxapampa, pero relativamente menor respecto a los obtenidos en las parcelas de altitud similar de la Reserva Comunal El Sira (Valenzuela et al. 2015), recalando que nuestros resultados solo incluyen especies determinadas hasta el nivel de especies más no se incluye las morfoespecies. La mayor riqueza y diversidad ocurre sobre los bosques de llanura amazónica tanto en la Reserva Comunal El Sira (Valenzuela et al. 2015), como en el Transecto Yanachaga. Igualmente, ocurre con las parcelas más bajas del transecto de elevación Manu-Tambopata (Farfán, 2019), los registros de riqueza y diversidad en ambos transectos son similares, cabe mencionar que los registros en el Transecto Yanachaga incluyen individuos determinados hasta el nivel de especie, por lo tanto, los resultados del Transecto Yanachaga son mayores tomando en cuenta la ubicación latitudinal hacia el centro del Perú, respecto al Transecto Manu-Tambopata ubicada en el sur-este peruano. Nuestros resultados claramente son menores a las parcelas de Allpahuayo, Mishana, Yanamono, (Gentry, 1988; Vásquez & Phillips, 2000) y Jenaro Herrera (Honorio et al. 2008). Podemos afirmar que las parcelas de la parte baja del Transecto Yanachaga vienen a constituirse en los más ricos y diversos hasta el momento para la selva central del Perú; sin embargo, nuestros resultados son menores a los registrados por Dueñas et al. (2018), particularmente para algunas parcelas ubicadas en Manu y Tambopata, pero mayores a las parcelas de la Reserva Ecológica Inkaterre (Madre de Dios). Comparando con los resultados de Lieberman et al. (1996) en Costa Rica nuestros resultados son mayores en riqueza y diversidad especialmente en la gradiente de 400 a los 1000 m, aunque la tendencia de la disminución de riqueza y diversidad de los árboles a través de la gradiente altitudinal que reportamos en el presente estudio son similares.

Nuestros resultados evidencian claramente una disminución de la riqueza y diversidad a partir de los 1800 msnm llegando a un mínimo de 33 especies a los 3170 msnm; las parcelas en el Transecto Yanachaga en estas altitudes se encuentra en los bosques montanos bajos, bosques montanos superiores hasta llegar a los bosques de la línea de árboles. Estos resultados los podemos comparar más localmente con los estudios realizados por La Torre (2007) y Marcelo (2014), en la Reserva Nacional Pampa Hermosa y la red de parcelas permanentes en los bosques relictos de la Selva Central en Satipo, el valle de San Ramón y Chanchamayo (Antón & Reynel, 2004; Reynel & Honorio, 2004; Caro et al. 2004), la Reserva Comunal El Sira (Valenzuela et al. 2015), similares con los del transecto de elevación Manu-Tambopata (Farfán, 2019), el Transecto Machupicchu (Alfaro et al. 2018; Monteagudo et al. 2021). Al igual que en Bolivia, Ecuador y Perú en diferentes sitios de investigación permanente (Jørgensen et al. 2011; Girardin et al. 2014) y para Colombia este patrón después de los 2000 msnm ha sido igualmente reportado (Galindo, Betancur & Cadena, 2003; Alvear et al. 2010; Qian, 2017).

Particularmente esta relación inversa de disminución de la riqueza y la diversidad se acrecienta después de los 2000 msnm (Alvear et al. 2010) para el nivel de especie. Quizás los cambios más conspicuos en la composición y la riqueza de especies en las montañas tropicales están relacionados con diferencias respecto a la elevación, pero pocos estudios han cubierto por entero el gradiente con suficiente detalle para describir con precisión la vía por la cual las características tropicales cambian con la altitud (Lomolino, 2001; Lieberman et al. 1996).

Nuestros resultados a través de la gradiente altitudinal muestran un patrón de disminución de la riqueza a los tres niveles taxonómicos familia, género y especies, se encontró un efecto significativo de la altitud, donde a medida que se sube en el gradiente los tres niveles taxonómicos disminuyen al igual que en Bolivia, Ecuador y Perú en diferentes sitios de investigación permanente (Jørgensen et al. 2011; Girardin et al. 2014; Valenzuela et al. 2015; Alfaro et al. 2018; Farfán, 2019; Monteagudo et al. 2021) y para Colombia este patrón después de los 2000 msnm ha sido reportado también (Galindo, Betancur & Cadena, 2003; Alvear et al. 2010; Qian, 2017).

La llanura amazónica y los bosques nubosos de la cordillera Yanachaga presenta una gama de especies, géneros y familias típicas de una flora andina (Gentry, 1992a), aunque la riqueza de especies parece bastante alta para el bosque nuboso montano, especialmente el bosque de cresta en comparación con otros bosques nubosos montanos superiores. (Catchpole, 2012). Y, esto no es tan cierto ya que si hay grandes novedades como la de la presencia de un género nuevo de árbol *Incadendron esseri* (Euphorbiaceae), decenas de especies nuevas de árboles y helechos arborescentes, así como registros nuevos para la flora arbórea peruana, mostrando acá la importancia de la instalación de más y nuevas parcelas permanentes en el Transecto Yanachaga para el descubrimiento botánico.

Es interesante ver como las diferentes *formas de vida* (*árboles*, *palmeras*, *lianas*, *helechos arbóreos* y *hemiepífitos leñosos*) contribuyen a la riqueza y la diversidad a través de la gradiente en el Transecto Yanachaga, nuestros resultados demuestran un primer paso para tener una idea de los patrones en las que se presentan las diferentes formas de vida, podemos afirmar que en la base o estribaciones de los andes, la forma de vida más diversa y abundante son los *árboles*; seguido de una gran cantidad de individuos de *palmeras* (*Arecaceae*), también las *lianas leñosas* tiene una proporción interesante y un rol fundamental en la riqueza, diversidad y dinámica de estos bosques amazónicos, los *hemiepífitos leñosos* aunque están presentes su aporte como forma de vida es mínima; por encima de los 1800 m de altitud, aunque los *árboles* siguen teniendo la mayor diversidad y abundancia; comienzan a tener una gran importancia en la riqueza, composición, estructura y dinámica de los bosques pre-montanos y montanos bajos y altos, los *helechos arbóreos* (*Cyatheaceae* y *Dicksoniaceae*) y desde estas altitudes hasta alcanzar la línea de los árboles vienen a constituir un componente fundamental de todos los bosques montanos en el Yanachaga; por encima de los 2000 m de altitud la presencia de las *palmeras* es mínima al igual que los *hemiepífitos leñosos*. Estos patrones observados de acuerdo con

la gradiente altitudinal son corroborados por estudios previos (Gentry, 1995; Lieberman et al. 1996; Pitman et al. 2001; Catchpole, 2012; ter Steege et al. 2013; Farfán et al. 2015; Valenzuela et al. 2015; Farfán, 2019; Centeno, 2021 en preparación)

Estructura

Densidad

En general, la densidad de individuos en la gradiente altitudinal del Transecto Yanachaga muestra una relación no lineal con la elevación, cabe decir que no se presenta ningún patrón respecto a la abundancia de individuos, la alta densidad individual observada en los bosques amazónicos del Yanachaga por la presencia de árboles y palmeras y en los bosques montanos inferiores y superiores la densidad de individuos se explica por la gran abundancia de helechos arborescentes; aunque nuestras discusiones sobre la densidad de individuos entre diferentes transectos altitudinales y latitudinales en los andes pueden ser válidos, debemos de considerar que la densidad de las diferentes parcelas responde a diferentes factores como el tipo de bosque, altitud, pendiente, dinámica del bosque, tipo de suelo, eventos de vientos huracanados en los bosques amazónicos y deslizamientos en los bosques montanos que causan una alta mortalidad en parcelas por encima de los 1500 msnm.

Comparar o discutir la densidad de los árboles con otros estudios es un tanto compleja ya que no tenemos muchos transectos altitudinales que abarquen toda la gradiente a excepción del Transecto Manu-Tambopata (Farfán, 2019), al margen de esta premisa, nuestros resultados son relativamente similares a diferentes estudios con transectos altitudinales que comparten parcelas en altitudes que comprenden los bosques amazónicos como las ubicadas en Cabeza de Mono-Oxapampa (Gentry, 1988; Phillips & Miller, 2000), RC El Sira (Valenzuela et al. 2015), Parque Nacional Cordillera Azul, Río Abiseo (ForestPlots.net, 2021), San Ramón-Junín, (Marcelo et al. 2014), Manu-Tambopata (Farfán, 2019), Pongo de Q'óñec (Huamantupa, 2010), Explorer's Inn, Reserva Nacional Tambopata (Pallqui et al. 2014; Dueñas, 2018; Farfán, 2019; ForestPlots.net, 2021). Además, la densidad de árboles por encima de los 1500 hasta los 3170 msnm, son similares a muchas parcelas de transectos similares como las de Manu-Tambopata (Farfán, 2019), Reserva Comunal El Sira (Valenzuela et al. 2015), Río Abiseo (ForestsPlots.net, 2021), San Ramón-Junín, (La Torre et al., 2014; Marcelo et al. 2014; Giacomotti, 2019); Parque Nacional Cordillera Azul, Cordillera Escalera, Parque Nacional Río Abiseo (Forestplot.net, 2021); Machupicchu (Alfaro et al. 2018; Monteagudo et al. 2021). Las densidades de nuestras parcelas son relativamente mayores en la mayoría de las altitudes respecto al Transecto de Costa Rica entre los 100 y 2600 msnm (Lieberman et al. 1996), de hecho, el número de individuos van a ser diferentes ya que estamos comparando transectos que están en diferentes tipos de bosques y con miles de km de distancia latitudinal.

Área Basal

En el presente estudio no se muestra la relación que existe entre altitudes (msnm); lo que indica que el área basal no se

incrementa o disminuye con la altitud en el Transecto Yanachaga, básicamente está relacionada con el número de individuos por hectárea, la clase diamétrica y está supeditado al tipo de bosque.

Nuestras discusiones respecto al área basal en el Transecto Yanachaga son similares a la densidad de los árboles por hectárea de acuerdo a la gradiente altitudinal; en casi todas las parcelas por debajo de los 1000 msnm, nuestros resultados son menores respecto a las parcelas de la amazonia baja peruana ubicadas básicamente en el centro del Perú, Cabeza de Mono (Gentry 1988; Phillips & Miller, 2000), Parque Nacional Cordillera Azul, (ForestPlot.net, 2021); Reserva Comunal El Sira (Valenzuela *et al.* 2015) y sur del Perú, en el río Madre de Dios, Reserva Ecológica Inkaterre (Dueñas *et al.*, 2018), Reserva Nacional Tambopata (Pallqui *et al.* 2014), Río Los Amigos, Río Tahuamanu, Río Paríamanu, Río Las Piedras, Río Manu, Cocha Cashu, Pakitza (ForestPlot.net, 2021), Q'õñec (Huamantupa, 2010). Las diferencias fundamentales es que estas parcelas cuentan con un mayor número de individuos en casi todos los casos con diámetros muy considerables, que podríamos considerarlas como los bosques más prístinos de la amazonia sur-peruana, aunque estos se encuentran en altitudes mucho menores. Entre los 500 y 1000 msnm, en el Transecto Yanachaga podemos encontrar bosques con considerables áreas basales, constituyéndose en excelentes reservorios de carbono, estos bosques en las estibaciones de los Andes y en elevaciones medias tienen el potencial de acumular más biomasa y, en consecuencia, secuestrar más carbono que los bosques ubicados lejos del ecuador o hacia elevaciones más bajas, los esfuerzos de proyección y conservación de estos bosques pueden ser particularmente importantes (Malizia *et al.* 2020).

De igual manera nuestros resultados de área basal por encima de los 1500 msnm en algunos casos son similares, contrastantes hasta en algunas parcelas el área basal es duplicado como en parcelas del Transecto Manu-Tambopata, (Farfán, 2019). Entre los 2000 y 2500 msnm, las parcelas con mayor área basal del Transecto Yanachaga, aun así, viene hacer menores respecto a parcelas de similar altitud en el Transecto Manu-Tambopata (Farfán, 2019) que casi duplica el número de árboles y supera en 10 puntos el área basal. Cabe mencionar que en estas altitudes hay algunos tipos de bosques que albergan aparte de gran densidad de árboles y considerable área basal por hectárea relictos de árboles del dosel o emergentes, particularmente del género *Cedrela*, *Nageia*, *Prumnopytis*, *Juglans*, *Ficus*, *Ocotea*, *Brunellia*, entre otros, básicamente en la parcela PNY-02. Entre los 2500 y 3170 msnm, nuestros resultados de área basal son menores a la de altitudes similares ubicadas en el Santuario Histórico de Machupicchu (Alfaro *et al.* 2018; Monteagudo *et al.* 2021) y Parque Nacional Río Abiseo (ForestPlots.net, 2021) y aun, el área basal es extremadamente inferior a parcelas en altitudes similares del Transecto Manu-Tambopata (Farfán, 2019), San Ramón-Chanchamayo (Giacomotti, 2019). Por último, el área basal de la parcela más elevada del Transecto Yanachaga a los 3170 m de altitud, viene hacer una de las más bajas respecto a parcelas de similar altitud y aun de mayor elevación como las del

Santuario Histórico de Machupicchu (Alfaro *et al.* 2018; Monteagudo *et al.* 2021) y parcelas del Transecto Manu-Tambopata (Farfán, 2019).

En general, el área basal tiende a aumentar con la altitud (Lieberman *et al.* 1996; Vázquez y Givnish, 1998), esta afirmación es contrastante respecto a los resultados obtenidos en el presente estudio, en donde el área basal es indiferente o no está relacionado con la elevación. Nuestros resultados son diferentes a los encontrados en el Transecto de Costa Rica (Lieberman *et al.* 1996).

La densidad de árboles o tallos y el área basal pueden aumentar con la elevación en los bosques montaños tropicales extra-andinos, como se evidencia en el Transecto Manu-Tambopata (Lieberman *et al.* 1996; Vázquez & Givnish, 1998; Ahston, 2003; Clark *et al.* 2015; Fahey *et al.* 2016). Sin embargo, en los bosques andinos, nuestra comprensión de los parámetros estructurales se limita a un puñado de lugares que han informado de diferentes tendencias (Girardin *et al.* 2010; Homeier *et al.* 2010; Malizia *et al.* 2012). Por ejemplo, en la sección tropical de los Andes, el área basal puede aumentar con la altitud hasta elevaciones medias (Homeier & Leuschner, 2012) y luego disminuir (Homeier *et al.* 2010) o permanecer estable, como en el presente estudio y el Transecto Manu-Tambopata (Girardin *et al.* 2010; Farfán, 2019). En los Andes subtropicales, el área basal tendía a aumentar con la elevación (Malizia *et al.* 2012). Báez y colaboradores (2015) hicieron un esfuerzo por describir los patrones regionales de la estructura y dinámica de los bosques andinos a lo largo de gradientes de altitud y latitud. Estos autores encontraron que, en los bosques de montañas tropicales, el área basal aumentaba a menor elevación, pero no cambiaba a lo largo del gradiente. También encontraron que en los Andes subtropicales, los cambios en el área basal parecen estar influenciados por la historia del uso de la tierra junto con la variación ambiental (Báez *et al.* 2015; Malizia *et al.* 2020)

Volumen de madera

El volumen de madera varía ampliamente a lo largo de la gradiente y no muestra una relación simple con la altitud, similar al comportamiento del área basal; aunque no contamos con cálculos o estimaciones en otras parcelas o transectos altitudinales en Perú y los andes, este comportamiento es similar al transecto costarricense (Lieberman *et al.* 1996), pero solo en altitudes por debajo de los 1000 msnm; los valores de volumen de madera en el Transecto Yanachaga tienden a disminuir drásticamente por encima de los 1800 msnm, hasta llegar a la línea de los árboles, nuevamente las parcelas en bosques húmedos montaños bajos tienen considerables volúmenes de madera pero bajos respecto a parcelas en altitudes similares de Costa Rica, donde el volumen de madera y el área basal eran elevados (Lieberman *et al.* 1996). La parcela PNY-13 a 2404 msnm en el Transecto Yanachaga viene a ser uno de los más bajos en volumen de madera, similar a una parcela de bosque enano o esclerófilo a los 2230 msnm de altitud en la Reserva Comunal El Sira (Valenzuela *et al.* 2015). Las parcelas PNY-02 a los 2177 msnm y PNY-11 a los 2464 msnm, tienen excepcionalmente los más altos valores de volumen de madera, ya que cuentan con individuos que tienen una considerable área basal y altura, estas parcelas y bosques

constituyen excelentes reservorios de biomasa y carbono en el Transecto Yanachaga.

Altura de los árboles

El patrón que muestran la altura de los árboles a través de la gradiente altitudinal en el Transecto Yanachaga es similar al reportado en otros transectos altitudinales. Aunque no analizamos o discutimos a detalle parcela por parcela el Transecto Yanachaga incluye un menor número de árboles en todas las parcelas en la clase altimétrica (5–10) metros los que constituirían el sotobosque, el mayor porcentaje de los árboles se encuentran en las clases diamétricas (10–30) metros de alto. Esta tendencia o patrón también se observa en la mayoría de las parcelas indistintamente de la altitud; como lo vemos en la Reserva Comunal El Sira (Valenzuela *et al.* 2015) Reserva Nacional Pampa Hermosa (La Torre *et al.* 2007); Q'oiñec (Huamantupa, 2010); San Ramón-Satipo (Marcelo y Reynel, 2014). Es muy notorio la caída de los porcentajes de los árboles en alturas entre (30–40) metros en todas las parcelas del Transecto Yanachaga, esta tendencia es similar al de otros transectos ya descritos anteriormente; la tendencia continua a la disminución de árboles grandes con muy pocos árboles entre (40–50) metros de alto, llegando a porcentajes mínimos de árboles emergentes mayores de 50 m de alto que por lo general se encuentran en la parte baja de la gradiente. En el Transecto Yanachaga solo encontramos una muestra de bosque enano o esclerófilo (*sensu lato*), los bosques enanos son formaciones de bosque nuboso, ubicados en el extremo del bosque montano tropical y se pueden encontrar en una variedad de altitudes hasta los 3900 m de altitud (Weberbauer, 1945).

Aunque nuestro estudio no está enfocado en la ecofisiología de los árboles y bosques coincidimos básicamente por las observaciones personales realizadas en campo durante los últimos 20 años, que varios factores influyen en el tamaño del dosel y la relación diámetro:altura de los bosques tropicales montanos nubosos, que es la carga adicional del dosel asociada con la biomasa alta del suelo y epífita en la zona de inmersión de las nubes (Girardin *et al.* 2010; Girardin *et al.* 2013; Köhler *et al.* 2007; Fahey, 2015), por ejemplo, varios estudios informan que la altura del dosel en los bosques tropicales montanos nubosos es menor en pendientes pronunciadas (Román *et al.* 2010), como lo que ocurre en varias parcelas del Transecto Yanachaga, observándose un retraso en el crecimiento de los árboles y la baja altura del dosel, menos clara es la explicación de los aumentos en la relación entre el diámetro de los árboles y la altura al aumentar la elevación de las montañas tropicales. La consistencia de esta relación se indica mediante un resumen de 11 transectos altitudinales en diferentes regiones del mundo (Grubb, 1977; Lieberman *et al.* 1996).

Nuestras observaciones sobre como varía la altura de los árboles con respecto a la altitud (msnm) son similares al estudio realizado en la parte alta del Transecto Manu-Tambopata (Farfán, 2019), expresada por la relación entre diámetro y altura, y de la importancia de la variación en la forma del árbol con la elevación para determinar la biomasa forestal los datos muestran que la forma alométrica de los árboles en las parcelas del Transecto Manu-Tambopata y el Transecto Yanachaga varía con la elevación: los árboles a gran

altura tienen menos estatura para el mismo DAP, es decir, la forma del árbol se vuelve gradualmente más ocupada y más atrofiada a medida que aumenta la elevación, este patrón es importante en el uso de las ecuaciones alométricas para la estimación o sobrestimación sistemática de la biomasa en elevaciones más altas, es de importancia crucial incluir estimaciones de altura en los cálculos de existencias de carbono en los tallos en los bosques montanos tropicales, ya que la altura de los árboles es el factor dominante que dicta una disminución de las existencias de carbono sobre el suelo con una elevación creciente (Girardin *et al.* 2010; Malizia *et al.* 2020).

Diámetro de los árboles

El patrón y la distribución de individuos con respecto a las clases diamétricas de los árboles a través de la gradiente altitudinal en el Transecto Yanachaga es similar al reportado en otros transectos altitudinales en bosques andinos nubosos (Kappelle, 2001; Valencia, 1995; Schneider, 2001; Galindo, Betancur & Cadena, 2003), con la clásica J-invertida. Aunque no analizamos o discutimos a detalle parcela por parcela el Transecto Yanachaga incluye un mayor porcentaje de árboles en la clase diamétrica de (10–30) cm de diámetro, esta tendencia o patrón también se observa en la mayoría de las parcelas indistintamente de la altitud; como en diferentes tipos de bosques aluviales en Loreto (Honorio *et al.* 2015); Reserva Comunal El Sira (Valenzuela *et al.* 2015); Reserva Nacional Pampa Hermosa (La Torre *et al.* 2007); Q'oiñec (Huamantupa, 2010); Andes Centrales del Perú (Antón y Reynel, 2004); San Ramón-Satipo (Marcelo y Reynel, 2014); San Ramón-Chanchamayo (Giacomotti, 2019), Transecto Manu-Tambopata (Farfán, 2019). Los porcentajes de la estructura diamétrica en casi todas las parcelas disminuye drásticamente desde los (30–50) cm de diámetro, no dependiendo de la elevación; solo las parcelas que se encuentra en la base de la gradiente altitudinal entre los 400 y 1000 msnm, incrementan, pero en mínimos porcentajes los diámetros; por encima de los (50–60) cm, estos árboles vienen a constituir los árboles del dosel y emergentes del Transecto Yanachaga. Básicamente el diámetro promedio fue constante en la parte baja de la gradiente hasta los 1000 msnm, el diámetro máximo y promedio disminuyó con la altitud desde los 1800 msnm hasta la cumbre, similar comportamiento al de otros transectos altitudinales en Perú, pero difirieron de los reportados en Costa Rica, (Lieberman *et al.* 1996).

Composición Florística

Este estudio proporciona información novedosa sobre cómo se organiza la composición de los bosques a lo largo del amplio ecotono entre los bosques montanos andinos y los bosques de las tierras bajas de la Amazonía occidental. Los bosques montanos bajos y premontanos muestreados incluyen muchos de los árboles conspicuos que se encuentran en la cuenca del Amazonas, pero además tienen numerosos taxones más comunes en los bosques nubosos andinos (Monteagudo *et al.* 2014; Farfán *et al.* 2015; Farfán, 2019; Marcelo *et al.* 2014; La Torre *et al.* 2007). También hay un conjunto de especies endémicas presentes, únicas en las estribaciones del Amazonas, y que sirven como indicadores de condiciones premontanos (Vásquez *et al.* 2005; Baker *et al.* 2020).

La composición florística del Transecto Yanachaga viene a constituir uno de los más diversos, complejos y particulares de la amazonia y los bosques montanos de Perú, después de los bosques amazónicos de Loreto (Vásquez & Phillips, 2000; Phillips & Miller, 2002; Honorio et al. 2008; Monteagudo & Huamán 2010; Monteagudo et al. 2014; Valenzuela et al. 2015; Monteagudo et al. 2021); más ricos y diversos que los bosques amazónicos y montanos del Transecto Manu-Tambopata en el sur-este peruano ubicado en Cusco y Madre de Dios, (Farfán et al. 2015; Farfán et al. 2019); la flora arbórea de Madre de Dios (Monteagudo et al. 2020) y el Transecto Machupicchu (Alfaro et al. 2018; Monteagudo et al. 2021).

Básicamente la composición florística del Transecto Yanachaga se puede diferenciar en tres grupos por la gradiente de altitud; los que se encuentran por debajo de los 1000 msnm (bosques amazónicos), un segundo grupo entre los 1800 y 2400 msnm (bosques montanos húmedos bajos) y un tercer grupo entre los 2600 y 3170 msnm (bosques montanos húmedos superiores) (Young et al. 2002; Vásquez et al. 2005; Valenzuela et al. 2015; Báez et al. 2015).

Similares patrones en la composición florística se pueden apreciar en transectos por debajo de los 1000 msnm, como la Cordillera Escalera y Parque Nacional Cordillera Azul (ForestPlots, 2021), Reserva Comunal El Sira (Monteagudo et al. 2014; Valenzuela et al. 2015), Reserva Comunal Yanasha (Monteagudo et al. 2010a), la misma florística de la Selva Central (Monteagudo & Huamán, 2010), Transecto Manu-Tambopata (Farfán et al. 2015; Pallqui et al. 2014; Dueñas, 2018; Farfán, 2019) y Árboles de Madre de Dios (Monteagudo et al. 2020). Mientras que en altitudes sobre los 1000 y 2500 msnm, los actuales Transectos de Rio Abiseo, Tabacones Namballe, Cordillera Escalera, Parque Nacional Cordillera Azul (ForestPlots.net, 2021), La Reserva Comunal El Sira (Monteagudo et al. 2014; Valenzuela et al. 2015), San Ramón-Chanchamayo (La Torre et al. 2014; Marcelo et al. 2014; Giacomotti, 2019); Manu (Farfán et al. 2015; Farfán, 2019). Aunque hay pocas parcelas y transectos altitudinales por encima de los 2600 msnm, la florística es similar a los patrones descritos en los transectos de San Ramón-Chanchamayo (La Torre et al. 2007; Giacomotti, 2019); Manu (Farfán et al. 2015; Farfán, 2019), Machupicchu (Alfaro et al. 2018; Monteagudo et al. 2021).

La composición florística por encima de los 1000 msnm viene a constituir unos de los más complejos ya que se entremezclan componentes de flora amazónica con la de los bosques pre-montanos y montanos (Vásquez et al. 2005); la florística en estas altitudes en la selva central de Perú es un reto, pero gracias a tener colecciones completas de las parcelas y monitoreo a través del tiempo se está desentrañando muchas interrogantes de los árboles a nivel genérico y específico; hay un alto porcentaje aún de desconocimiento de géneros y especies que para efecto de análisis y prudencia en tener números reales se está trabajando muchos especímenes a nivel de morfoespecies y algunas de estas en los últimos dos años han resultado ser especies nuevas de árboles para la ciencia (Farfán et al. 2015; Baker et al. 2020; Vásquez & Soto, 2020^a; Vásquez & Soto, 2020; ForestPlots.net et al. 2021).

La florística en el Transecto Yanachaga por encima de los 2600

msnm, es mucho más compleja por el escaso conocimiento aún a nivel de familias (*Lauraceae*, *Melastomataceae*, *Myrtaceae*, *Rubiaceae*, etc.), genérico y específico y aún con altos niveles del descubrimiento de especies nuevas de árboles (Baker et al. 2020; Vásquez & Soto, 2020^a; Vásquez & Soto, 2020; ForestPlots.net et al. 2021).

Teniendo una mirada más panorámica sobre la composición florística del Transecto Yanachaga respecto a otros transectos más cercanos latitudinalmente son mucho más similares a nivel de familia, géneros y especies con la Reserva Comunal El Sira, Reserva Comunal Yanasha, Parque Nacional Cordillera Azul y San Ramón-Chanchamayo; más diferentes florísticamente hacia el sur-este peruano con el transecto Machupicchu y Manu-Tambopata, la mayor similaridad de la florística de los transectos de la selva central respecto a los del sur-este peruano se da a nivel de familia y géneros; a nivel de especie las brechas se amplían ya que tanto la selva central y el sur-este peruano tienen sus propias particularidades específicas; podemos observar que el Transecto Yanachaga posee algunos géneros como *Bonyunia* (Loganiaceae), *Magnolia* (Magnoliaceae), *Retrophyllum* (Podocarpaceae) etc., particularmente en los bosques pre-montanos y montanos que no se presentan en otras parcelas y transectos (Monteagudo et al. 2021), probablemente debido a la distribución al azar como fueron establecidas las parcelas en el Transecto Yanachaga respecto al establecimiento casi uniforme en un solo valle en el Transecto Manu-Tambopata.

Por último, no podemos discutir comparativamente nuestros resultados sobre la composición florística con otros transectos establecidos como los de Loreto en el norte de Perú (Vásquez & Phillips, 2000; Honorio et al. 2008), selva central (La Torre et al. 2007; Monteagudo et al. 2014, Marcelo et al. 2014; Valenzuela et al. 2015, y sur-este peruano (Pallqui et al. 2010; Farfán et al. 2015; Dueñas, 2018); ya que muchos transectos están latitudinalmente distantes y otros solo tienen una fracción de la gradiente altitudinal. Una buena aproximación con nuestros resultados del Transecto Manu-Tambopata (Farfán et al. 2015), que reportan para 21 parcelas de 1 ha 1108 especies (incluidas las morfo-especies), 95 familias, 272 géneros y solo 668 a nivel de especie, este reporte viene hacer el más cercano y realista a nuestros resultados en solo 13 parcelas con 82 familias, 249 géneros y 617 especies. A nivel regional nuestros resultados se asemejan a los encontrados en el Transecto de 14 parcelas en Costa Rica con una gradiente de 30 a 2600 msnm, con 561 especies en 91 familias, (Lieberman et al. 1996).

Conclusiones

Nuestras investigaciones demuestran que la diversidad, composición y estructura de los árboles en los bosques pre-montanos y montanos del Parque Nacional Yanachaga Chemillén tienden a ser mucho más complejos que el de los llanos amazónicos, por los diferentes tipos de bosques que van cambiando a través de la elevación. La composición de especies es muy compleja con una mezcla de especies del llano amazónico, los bosques pre-montanos, montanos bajos y superiores; más importante es lo que pasa por encima de los

800 msnm donde aparentemente la diversidad debería comenzar a bajar pero hay un espacio de cerca de 500 metros en donde la diversidad nuevamente se incrementa llegando a superar números de diversidad y estructura de bosques de menor altitud, que aun necesitamos corroborar en el Transecto Yanachaga con el establecimiento en los últimos años de 6 parcelas más a través de la gradiente altitudinal; de hecho hay muchos factores que aún desconocemos y que juegan un papel clave, pero tenemos algunos avances en el conocimiento de estos bosques amazónicos, pre-montanos y montanos son muchos más complejos e importantes respecto a su composición florística muy poco conocida reflejadas en el continuo descubrimiento de generos y especies nuevas de árboles, que demuestran la necesidad de la protección y conservación de estos bosques que soportan algunos de los niveles más altos de endemismo en el mundo y por otra parte los altos niveles de provisión y almacenamiento de carbono. El continuo estudio y análisis de estas parcelas del Transecto Yanachaga mejorarán el entendimiento de la flora arbórea, la diversidad, estructura y dinámica de los bosques de la selva central del Perú.

Agradecimientos

A los colegas, investigadores y asistentes de campo por su apoyo a lo largo de cerca de 20 años de investigación y trabajo intensivo durante el establecimiento y monitoreo de las parcelas permanentes de la selva central del Perú: Juan Ramón Perea Macedo, María Isabel Ureta Adrianzen, Yuri Tomas Huilca Aedo, Danitza Bellota Ttito, Antonio Rigoberto Peña Cruz, Tomas Ciriaco, Avelino Sebastián (†), Carlos Mateo Coz, Gerry Shareva Mateo, Jaime Lizardo Flores Shareva, Abad Utani, José Luis Mateo Miguel, Rigoberto Rivera Camaña, Rolando Francis Jiménez, Gregorio Ortiz Marinanchi, Yaneth Quispe Mamani, Katy Virginia Rondinel Mendoza, Amador Pfuro Tapia, Valerio Flores Mateo, Cesar Rojas Tello. Un especial agradecimiento a ForestPlots.net por todas las facilidades y acceso de datos de las parcelas otorgadas para la realización del presente estudio; al Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), por las facilidades brindadas al concedernos las respectivas autorizaciones de investigación, al Herbario Selva Central, Oxapampa (HOXA), por el acceso a las colecciones botánicas.

FINANCIAMIENTO

Agradecemos a la Fundación Gordon y Betty Moore por la donación para desarrollar el proyecto “Monitoreo de Áreas Protegidas en Perú para Aumentar la Resiliencia de los Bosques al Cambio Climático” (#5349), que financió la expansión e integración de la red de parcelas permanentes en Perú, 2017-2020. También agradecemos a las muchas agencias de financiamiento que han apoyado el establecimiento y mantenimiento de parcelas a largo plazo en Perú, incluidas NERC, National Geographic Society, Gordon and Betty Moore Foundation, European Research Council y US National Science Foundation Long- Programa Término de Investigación en Biología Ambiental.

Literatura citada

- Alvear, M., Betancur, J., Franco-Rosselli, P. (2010). Diversidad florística y estructura de remanentes de bosque andino en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Natural Los Nevados, Cordillera Central Colombiana. *Caldasia* 32(1):39-63. 2010
- Alfaro, C.L.E., Paiva, P.G.M., Espinoza, C.H.Y., Monteagudo, M.A., & Chávez, H.W. (2018). Dinámica, biomasa aérea y variables poblacionales de dos parcelas permanentes en bosques montanos de Wiñaywayna, Santuario Histórico de Machupicchu, Cusco, Perú. *Arnaldoa*; 25 (2).
- Antón, B.D., Reynel, R.C. (2004). Diversidad y composición de la flora arbórea en un área de ladera de colinas en bosque premontano: Microcuencua de Tirol, valle de Chanchamayo, 1000–1500 msnm. In: Antón D, Reynel C (eds) *Relictos de Bosques de excepcional diversidad en los andes centrales de Perú*. Perú Darwin Project- PBR – APRODES – Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú, pp 221–262
- APG III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161:105–121. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>
- Araujo-Murakami, A., Jørgensen, P.M., Maldonado, C. & Paniagua-Zambrana, N. (2005). Composición florística y estructura del bosque de ceja de monte en Yungas, sector de Tambo Quemado-Pelechuco, Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 40, 325-338.
- Ashton, P.S. (2003). Floristic zonation of tree communities on wet tropical mountains revisited Perspectives. *Plant Ecol Evol.* 6: 87–104.
- Baez, S. et al. (2015). Large Scale Patterns of Turnover and Basal Area Change in Andean Forest. *Plots ONE* 10(5): E0126594.doi:101371/journal.pone.0126594
- Baker, T.R. et al. (2017). Maximising Synergy among Tropical Plant Systematists, Ecologists, and Evolutionary Biologists. *Trends in Ecology and Evolution February*. doi:10.1016/j.tree.2017.01.007.
- Baker, T.R. et al. (2020). From plots to policy: How to ensure long term forest plot data supports environmental management in intact tropical forest landscapes. *Plants People Planet*. *Plants, People, Planet*. 2020;00:1–9.
- Buytaert, W., Vuille M., Dewulf A., Urrutia R., Karmalkar A., Celleri R. (2010). Uncertainties in climate change projections and regional downscaling in the tropical Andes: implications for water resources management *Hydrol Earth Syst Sci.* 14(7):1247-58, doi:10.5194/hess-14-1247-2010
- Brienen, R. J. et al. (2015). Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature* 519:344–348.
- Bruinjzeel, L.A. & Veneklaas, E.J. (1998). Climatic conditions and tropical montane forest productivity: the fog has not lifted yet. *Ecology*, 79, 3-9.
- Brummitt, R.K. (1992). *Vascular Plant Families and Genera*. <http://data.kew.org/vpfg1992/genlist.html>
- Caro, S., Reynel, C. & Antón, D. (2004). Diversidad y composición de la flora arbórea en un área de ladera de colinas en bosque premontano: Fundo Génova- Valle de Chanchamayo, 1000–1500 msnm. In: Antón, D. & Reynel, C. (eds.). *Relictos de bosque de excepcional diversidad en los Andes centrales de Perú*. Perú Darwin Project-PBR – APRODES-Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima. Pp. 187-220.
- Catchpole, D.J. (2004). The ecology of vascular epiphytes on a *Ficus* L. host (Moraceae) in a Peruvian cloud forest. Unpublished

- Honours Thesis, University of Tasmania, Hobart, Australia
- Catchpole, D.J. (2012). Orographic gradients in climate and forest cover at the Cordillera Yanachaga, Peru. Unpublished Ph.D. Thesis, University of Tasmania, Hobart, Australia
- Centeno, O. J. (2021). Composición, diversidad y estructura de helechos arbóreos en una gradiente de elevación – Reserva de Bisofera del Manu: Tesis de Grado para obtener el Título de Bióloga, de la Escuela Profesional de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. (*en preparación*).
- Cincotta, R.P., Wisniewski, J., Engeman R. (2000). Human population in the biodiversity hotspots. *Nature*. 404(6781):990-2. PMID: 10801126
- Clark, D.A. (2004). Sources or sinks? The responses of tropical forests to current and future climate and atmospheric composition. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*. 359(1443):477–91. doi: 10.1098/rstb.2003.1426 PMID: 15212097
- Clark, D.B., Hurtado, J., Saatchi, S.S. (2015). Tropical rainforest structure tree growth and dynamics along a 2700-m elevational transect in Costa Rica. *PLoS One* 10(4): e0122905. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122905>. > PMID: 25856163
- Colwell, R.K. (2013). EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. s.l., s.e., vol. Version 9.
- Darrell, A.H. & James, H.F. (1999). Forest Productivity and Efficiency of Resource use Across a Chronosequence of Tropical Montane Soils. *Ecosystems*, 2, 242-254.
- Dueñas, L. H. & Garate, Q. J. (2018). Diversidad, dominancia y distribución arbórea en Madre de Dios, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 33 (1): 4–23.
- Dupuy, J.M., Santamaría, M. & Cavelier, J. (1993). Estructura del bosque enano nublado de la Serranía-De-Macuire, Colombia, en laderas de barlovento y sotavento. *Biotropica*, 25, 340-344.
- Duque, A., Stevenson, P.R. and Feeley, K.J. (2015). Thermophilization of adult and juvenile tree communities in the northern tropical Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 112(34), pp.10744–10749.
- Fahey, T., Sherman, R., Tanner, E. (2016). Tropical montane cloud forest: environmental drivers of vegetation structure and ecosystem function. *J Trop Ecol*. 2016; 32: 355–367
- Farfán, et al. (2015). Lista anotada de árboles y afines en los bosques montaños del sureste peruano: la importancia de seguir recolectando. *Revista Peruana de Biología*. 22(2): 145–174.
- Farfán, R.W. (2019). Forest Responses to Climate Change Along an Andes-To-Amazon Elevational Gradient. A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of the Wake Forest University Graduate School of Arts and Science. For the Degree of Doctor of Philosophy.
- Fadrique, B. et al. (2018). Widespread but heterogeneous responses of Andean forests to climate change. *Nature*. 564(7735), pp.207–212.
- Feeley, K.J., Silman, M.R., Bush, M.B., Farfán, W., Cabrera, K.G., Malhi, Y., Meir, P., Revilla, N.S., Quisipyanqui, M.N.R. and Saatchi, S. (2011). Upslope migration of Andean trees. *Journal of Biogeography*. 38(4), pp.783–791.
- Feeley K.J., Malhi Y., Zelazowski P., and Silman M. (2012). The relative importance of deforestation, precipitation change, and temperature sensitivity in determining the future distributions and diversity of Amazonian plant species. *Global Change Biology*. 18(8): 2636–2647.
- Feldpausch, T.R., Phillips, O.L., Brienen, R.J.W., Gloor, E., Lloyd, J., Lopez Gonzalez, G., Monteagudo Mendoza, A., Malhi, Y., Alarcón, A., Dávila, E.Á. and Alvarez-Loayza, P. (2016). Amazon forest response to repeated droughts. *Global Biogeochemical Cycles*, 30, 964-982.
- ForestPlots.net et al. (2021). Taking the pulse of Earth's tropical forests using networks of highly distributed plots. *Biological Conservation* 260 (2021) 108849.
- Frahm, J.P. & Gradstein, S.R. (1991). An Altitudinal zonation of tropical rainforest using bryophytes. *Journal of Biogeography*, 18, 669-678.
- Galiano, S.W., Núñez, V.P. (2011). Sinopsis de las especies árboles de Machupicchu. *Revista El Antoniano*; N° 117, Primer Trimestre.
- Galindo, T.R., Betancur, J. & Cadena, J.J. (2003). Estructura y composición florística de cuatro bosques andinos del Santuario de Flora y Fauna Guanentá-Alto Río Fonce, Cordillera Oriental colombiana. *Caldasia* 25 (2): 313-335.
- Gentry, A.H. (1980). The Flora of Peru: A Conspectus *Fieldiana: Botany*, 5, 1-11.
- Gentry, A.H. (1988). Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographic gradients. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 75, 1-34
- Gentry, A.H. (1982). Patterns of neotropical plant species diversity. *Evolutionary Biology*, 15, 1-84.
- Gentry, A.H. (1992a). Diversity and floristic composition of Andean forests of Peru and adjacent countries: implications for their conservation. *Memorias del Museo de Historia Natural U.N.M.S.M. (Lima)*, 21, 11-29.
- Gentry, A.H. (1992). A Field Guide to the Families and Genera of Woody Plants of Northwest South America (Colombia, Ecuador, Perú) with supplementary notes on herbaceous taxa. 1ra ed. Washington, DC: Conservation International. 920 pp.
- Gentry, A.H. (1995). Patterns of diversity and floristic composition in neotropical rain forests. In: Churchill SP, Balslev H, Forero E, Luteyn JL (eds) *Biodiversity and conservation of neotropical montane forests*. New York Botanical Garden Press, Bronx, USA, pp 103–12
- Giacomotti, J. (2019). Cambios en la diversidad y composición florística en bosques montaños y premontaños en la selva central del Perú. Tesis para optar el grado de maestro Magister Scientiae en conservación de recursos forestales. Escuela de Posgrado Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Giarretta, A.A., Facure, K.G., Sawaya, R.J., Meyer, J.H.D. & Chemin, N. (1999). Diversity and abundance of titters frogs in a montane forest of southeastern Brazil: seasonal and altitudinal changes. *Biotropica*, 31, 669-674.
- Gibbon, C.A.J., Silman, M.R., Malhi, Y., Fisher, J.B., Meir, P., Zimmermann, M., Dargie, G.C., Farfan, W.R. & Garcia, K.C. (2010). Ecosystem Carbon Storage Across the Grassland-Forest Transition in the High Andes of Manu National Park, Peru. *Ecosystems*, 13, 1097-1111.
- Girardin, C.A.J., Malhi, Y., Aragao, L., Mamani, M., Huasco, W.H., Durand, L., Feeley, K.J., Rapp, J., Silva Espejo, J.E., Silman, M., Salinas, N. & Wittaker, R.J. (2010). Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a tropical forest elevational transect in the Peruvian Andes. *Global Change Biology*, 16, 3176-3192.
- Girardin, C.A. J., Aragão, L., Malhi, Y., Huaraca, H.W., Metcalfe, D.B., Durand, L., Mamani, M., Silva-Espejo, J.E. and Whittaker, R.J. (2013). Fine root dynamics along an elevational gradient in tropical Amazonian and Andean forests, *Global Biogeochem. Cycles*, 27, 252–264, doi: 10.1029/2011GB004082
- Girardin, C.A.J., Farfán-Ríos, W., Garcia, K., Feeley, K.J., Jorgensen, P.M., Murakami, A., et al. (2014). Spatial patterns of above-

- ground structure, biomass and composition in a network of six Andean elevation transects. *Plant Ecology & Diversity*, 7, 161–171. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.820806>
- Gómez, D. (1999). Composición florística en el bosque ribereño de la cuenca alta San Alberto, Oxapampa, Perú. Undergraduate Thesis, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Grubb, P.J. (1977). Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains: with special reference to mineral nutrition. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 8, 83–107
- Häger, A. & Dohrenbusch, A. (2010). Structure and dynamics of tropical montane cloud forests under contrasting biophysical conditions in north-western Costa Rica. *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management* (eds Bruijnzeel, L.A., Scatena, F.N. & Hamilton, L.S.), pp. 208-216. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Hammer, Ø; Harper, D a T. (2006). *Paleontological Data Analysis*. 1st edition. Oxford, Blackwell Publishing. 351 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470750711>
- Heaney, A. & Proctor, J. (1990). Preliminary studies on forest structure and floristics on Volcán Barva, Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*, 6, 307-320.
- Helferich, G. (2004). *Hum'oldt's Cosmos*, Gotham books.
- Henderson, A., Churchill, S.P. & Luteyn, J. (1991). Neotropical plant diversity. *Nature*, 351, 21-22.
- Hernández, L., Dezzeo, N., Sanoja, E., Salazar, L. & Castellanos, H. (2012). Changes in structure and composition of evergreen forests on an altitudinal gradient in the Venezuelan Guayana Shield. *International Journal of Tropical Biology*, 60, 11-33.
- Hietz, P. & Hietz-Seifert, U. (1995). Composition and ecology of vascular epiphyte communities along an altitudinal in central Veracruz, Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 6, 487-498.
- Homeier, J., et al. (2008). Gradients in Tropical Mountain Ecosystems of Ecuador, *Ecological Studies*. 198. 87-100, Springer, Beck E. et al. (eds)
- Homeier J, U.M. & Leuschner, C. (2012). Effects of soil chemistry on tropical forest biomass and productivity at different elevations in the equatorial Andes. *Oecologia*; 170: 263–274. <https://doi.org/10.1007/s00442-012-2295-y> PMID: 22410639
- Honorio, E. & Reynel C., (2004). Vacíos de colección en los bosques húmedos del Perú. *Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Honorio, E. et al. (2008). Análisis de la composición florística de los bosques de Jenaro Herrera, Loreto, Perú *Rev. peru. biol.* 15(1): 53-60.
- Honorio E. & T. Baker. (2010). Manual para el Monitoreo del ciclo del Carbono en Bosques Amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana/ Universidad de Leeds. Lima, 54p. < http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/Honorio_Baker2010%20Manual%20carbono.pdf. Acceso 07/05/2013.
- Honorio, E.N., Vega, J.L. Corrales N.M., (2015). Diversidad, estructura y Carbono de los bosques aluviales del Noreste Peruano. *Folia Amazónica*. Vol. 24 (1) 2015: 55 – 70
- Hsieh, T.C., Ma, K.H. and Chao, A., 2016. iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7(12), pp.1451-1456.
- Huamantupa, C.I. (2010). Inusual riqueza, composición y estructura arbórea en el bosque de tierra firme del Pongo Q'oiñec, Sur Oriente peruano. *Rev. Peru. biol.* 17(2): 167 – 171.
- Hubau, W., Lewis, S.L., Phillips, O.L., Affum-Baffoe K., Beeckman H., Cuní-Sanchez A., Daniels A.K., Ewango C.E.N. et al. (2020). Asynchronous carbon sink saturation in the world's largest tropical forests. *Nature* 579, 80-87.
- Ibisch, P., Boegner, A., Nieder, J. & Barthlott, W. (1996). How diverse are neotropical epiphytes? An Analysis based on the "Catalogue of flowering plants and gymnosperms of Peru". *Ecotropica*, 2, 13-28
- Jianjun, W., Meier, S., Soininen, J., Casamayor, E.O., Pan, F., Tang, X., Yang, X., Zhang, Y., Wu, Q., Zhou, J., Shen, J. (2016). "Regional and global elevational patterns of microbial species richness and evenness". *Ecography*: n/a–n/a. doi:10.1111/ecog.02216. ISSN 0906-7590.
- Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., Mattar, C. and Malhi, Y. (2013). Spatial and temporal patterns of the recent warming of the Amazon Forest. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 118(11), pp.5204–5215.
- Jørgensen, P.M., Ulloa, U.C., Madsen, J.E. & Valencia, R. (1995). A floristic analysis of the high Andes of Ecuador. Págs. 221-237 en: S.P. Churchill, H. Balslev, E. Forero & J.L. Luteyn (eds.), *Biodiversity and conservation of Neotropical montane forests*. The New York Botanical Garden, New York.
- Jørgensen, P.M., Ulloa, U.C., León, B., León Y.S., Beck, G.S., Nee, M. Zarucchi, J., Celis, M., Bernal, R. and Gradstein, R. (2011). Regional Patterns of Vascular Plant Diversity and Endemism
- Kappelle, M., van Uffelen, J.G. & Cleef, A.M. (1995). Altitudinal zonation of montane *Quercus* forests along 2 transects in Chirripo National-Park, Costa-Rica. *Vegetation*, 119, 119-153.
- Kappelle, M. & Brown, A.D. (Eds). (2001). *Bosques nublados del neotrópico*. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Santo Domingo de Heredia.
- Killeen, T.J., Douglas, M., Consiglio, T., Jørgensen, P.M. & Mejia, J. (2007). Dry spots and wet spots in the Andean hotspot. *Journal of Biogeography* 34, 1357-1373.
- Kirkpatrick, J.B. & Hassal, D.C. (1985). The vegetation and flora along an altitudinal transect through forest al Mt. Korobaba, Fiji. *New Zealand Journal of Botany*, 23, 33-46.
- Kohler, L., Tobon, C., Frumau, K.F.A. & Bruijnzeel, L.A. (2007). Biomass and water storage dynamics of epiphytes in old-growth and secondary montane cloud forest stands in Costa Rica. *Plant Ecology*, 193, 171-184.
- Kitayama, K. & Aiba (2002). Ecosystem structure and productivity of tropical rain forests along altitudinal gradients with contrasting soil phosphorus pools on Mount Kinabalu. *Journal of Ecology*, 90, 37-51.
- Kurschner, H. & Parolly, G. (1998). Canopy epiphytic moss vegetation in the eastern Andes and the Amazonian Lowlands of northern Peru. *Nova Hedwigia*, 66, 1-87.
- La Torre-Cuadros, M. Herrando-Pérez, S., Young, R. K. (2007). Diversity and structural patterns for tropical montane and premontane forests of central Peru, with an assessment of the use of higher-taxon surrogacy *Biodivers Conserv* (2007) 16:2965–2988 DOI 10.1007/s10531-007-9155-9
- Lawton, R.O. (1982). Wind stress and elfin stature in a montane rain forest tree: an adaptive explanation. *American Journal of Botany*, 69, 1124-1230.
- Ledo, A., Montes, F. & Condes, S. (2009). Species dynamics in a montane cloud forest: Identifying factors involved in changes in tree diversity and functional characteristics. *Forest Ecology and Management*, 2585, S75-S84.
- León B., Roque, L., Ulloa U. C., Pitman, C.N., Jørgensen, P.M. y Cano A. (2006). *El Libro Rojo de las Plantas Endémicas del Perú*. *Rev. Perú. biol.* Vol. 13(2):1-971.

- Lewis S.L., Malhi, Y. & Phillips O.L. (2004). Fingerprinting the impacts of global change on tropical forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 359 (1443): 437-462. doi:10.1098/rstb.2003.1432.
- Lewis, S.L., Brando, P.M., Phillips, O.L. et al. (2011). The 2010 Amazon Drought. *Science* 331 (6017):554. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1200807>.
- Lieberman, D., Lieberman, M., Peralta, R. & Hartshorn, G.S. (1996). Tropical forest structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. *Journal of Ecology*, 84, 137-152.
- Lomolino, M.V. (2001). Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography*, 10, 3-13.
- Lopez-Gonzalez G., Lewis, S.L., Burkitt, M. et al. (2011). ForestPlots.net: a web application and research tool to manage and analyses tropical forest plot data. *Journal of Vegetation Science* 22 4: 610-613. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1654-1103.2011.01312.x>
- Lopez-Gonzalez, G., Lewis, S.L., Burkitt M. et al. (2012) en línea. Forest Plots Datablplots.net.
- Mabberley, D.J. (1998). *The Plant Book. A Portable Dictionary of the Vascular Plants*. University Press. Cambridge. Second edition. U. K. 858 pp.
- McCune, B. & Mefford, M.J. (1999) PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 4.
- Madsen, J.E. & Ollgaard, B. (1994). Floristic Composition, Structure, and Dynamics of an Upper Montane Rain-Forest in Southern Ecuador. *Nordic Journal of Botany*, 14, 403-423.
- Malhi, Y and Grace, J. (2000). Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology and Evolution*, 15: 332-337.
- Malhi, Y, Aragão L.E.O.C., Galbraith, D., Huntingford, C., Fisher, R., Zelazowski, P., Sitch, S., Mc Sweeney, C. & Meir, P (2009). Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (49):20610-20615. doi:10.1073/pnas.0804619106.
- Malhi, Y., M. Silman, N. Salinas, M. Bush, P. Meir, and S. Saatchi. (2010). Introduction: Elevation gradients in the tropics: laboratories for ecosystem ecology and global change research. *Global Change Biology* 16:3171-3175.
- Malhi, Y., Girardin, C.A.J., Goldsmith, G.R., Doughty, C.E., Salinas, N., Metcalfe, D.B., Huaraca Huasco, W., Silva-Espejo, J.E., del Aguila-Pasquel, J., Farfán Amézquita, F., Aragão, L.E.O.C., Guerrieri, R., Ishida, F.Y., Bahar, N.H.A., Farfán-Rios, W., Phillips, O.L., Meir, P and Silman, M. (2017). The variation of productivity and its allocation along a tropical elevation gradient: a whole carbon budget perspective. *New Phytologist*. 214(3), pp.1019-1032.
- Malizia, L., Blundo, C., Sánchez, E. (2012). Red Subtropical de parcelas en la Alta Cuenca del río Bermejo (REDSPP). *Agraria*; 13: 106-111.
- Malizia, A., Blundo, C., Carilla, J., Osinaga Acosta, O., Cuesta, F., Duque, A., et al. (2020). Elevation and latitude drives structure and tree species composition in Andean forests: Results from a large-scale plot network. *PLoS ONE* 15(4):e0231553. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231553>
- Marcelo, P.J.L. & Reynel, C. (2014). Patrones de diversidad y composición florística de parcelas de evaluación permanente en la selva central de Perú. *Rodriguésia* 65(1): 035-047. 2014
- Marengo, J.A. and Espinoza, J.C. (2016). Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*. 36(3), pp.1033-1050.
- Marrs, R.H., Proctor, J., Heaney, A. & Mountford, M.D. (1988). Changes in soil nitrogen-mineralization and nitrification along an altitudinal transect in tropical rain forest in Costa Rica. *Journal of ecology*, 76, 466-482.
- Martin, P.H., Sherman, R.E. & Fahey, T.J. (2007). Tropical montane forest ecotones: climate gradients, natural disturbance, and vegetation zonation in the Cordillera Central, Dominican Republic. *Journal of Biogeography*, 34, 1792-1806.
- Martin, P.H., Sherman, R.E., & Fahey, T.J. (2007). Tropical montane forest ecotones: climate gradients, natural disturbance, and vegetation zonation in the Cordillera Central, Dominican Republic. *Journal of Biogeography*, 34, 1792-1806.
- Michelsen, A. (1993). The mycorrhizal status of vascular epiphytes in Bale Mountains National Park, Ethiopia. *Mycorrhiza*, 4, 11-15.
- Mittermeier, R.A., Turner W.R., Larsen F.W.F, Brooks, M.T., & Gascon C. (2011). F.E. Zachos and J.C. Habel (eds.), *Biodiversity Hotspots*, DOI 10.1007/978-3-642-20992-5_1,
- Monteagudo, M.A., Vasquez M.R., & Rojas G.R. (2010a). Diversidad, Composición Florística y Estructura Arborea de los Bosques de la Reserva Comunal Yan-sha - Oxapampa- Pasco en la Selva Central del Peru. *Rainforest. Quena: Revista de la Sociedad Botanica del Cusco* 3:9-23
- Monteagudo, M.A. & Huaman M. (2010). Catálogo de los arboles y afines de la Selva Central del Perú. *Arnaldoa* 17 (2):203-242.
- Monteagudo, M.A. et al. (2014). Primer catalogo de los arboles y afines de la Reserva Comunal El Sira, Peru. *Arnaldoa* 21(1): 127-164.
- Monteagudo, M. A., Vásquez, M.R., Rojas, G.R., Phillips, O.L., Baker, T.R., Dueñas, L.H., Pickavance, G.C., Núñez, V.P et al., (2020). Primer Catálogo de los Árboles de la Amazonía de Madre De Dios, Perú. Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú, 240pp.
- Monteagudo, M.A. et al. (2021). Árboles del Santuario Histórico de Machu Picchu: Monitoreo de diversidad y carbono a largo plazo. *UNSAAC. Q'ueña* 12(1): 21-43.
- Mulligan, M. (2010). Modeling the tropics-wide extent and distribution of cloud forest and cloud forest loss with implications for conservation priority Tropical montane cloud forests. *Science for conservation and management*. 740: 16-38
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B. & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853-858.
- Nakashizuka, T., Yusop, Z. & Rahim Nik, A. (1991). Altitudinal zonation of forest communities in Selangor, Peninsular Malaysia, *Journal of Tropical Forest Science*, 4, 233-244.
- Ohsawa, M. (1991). Structural comparison of tropical montane rainforests along latitudinal and altitudinal gradients in south and east Asia, *Vegetatio*, 97, 1-10.
- Oosterhoorn, M.a.K., M. (2000). Vegetation structure and composition along an interior-edge-exterior gradient in a Costa Rican montane cloud forest. *Forest Ecology and Management*, 126, 291-307.
- Pallqui, N.C., Monteagudo, A., Phillips, O.L., Lopez-Gonzalez, G., Cruz, L., Galiano, W., Chavez, W., Vasquez, R., (2014). Dinámica, biomasa aérea y composición florística en parcelas permanentes Reserva Nacional Tambopata, Madre de Dios, Perú. *Revista Peruana de Biología* 21, 235-42
- Pallqui, C.N. (2019). Response of Andes-Amazon Forests to Environmental Change. Submitted in accordance with the requirements for the degree of Masters by Research The University of Leeds School of Geography.

- Phillips, O. & Miller J. (2002). Global Patterns of Plant Diversity: Alwyn H. Gentry's Forest Transect Data Set. Missouri Botanical Garden Press.
- Phillips, O.L. & Baker, T. (2002). Field manual for plot establishment and remeasurement RAINFOR. Amazon Forest Inventory Network, Sixth Framework Programme 2002-2006.
- Phillips, O.L., Aragão, Lewis, L.S. et al. (2009). Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. *Science* 323 5919: 1344-1347. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1164033>.
- Phillips, O.L., Baker, T.R., Laurance, W.F. et al. (2004). Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976-2001 in *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 359: 381-407pp. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2003.1438>.
- Pitman, N., Terborgh, J., Silman, M. et al. (2001). Dominance and distribution of tree species in upper Amazonian terra firme forests. *Ecology* 82 8: 2101-2117. [http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658\(2001\)082\[2101:DADOTS\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[2101:DADOTS]2.0.CO;2)
- Pitman, N., Widmer, J., Jerkins, C.N., Stocks G., Seales, L., Paniagua, F., (2011). Volume and Geographical Distribution of Ecological Research in the Andes and the Amazon, 1995-2008. *Tropical Conservation Science*. 4:64-81.
- Qian, H. (2017). Climatic correlates of phylogenetic relatedness of woody angiosperms in forest communities along a tropical elevational gradient in South America. *J Plant Ecol.* doi: 10.1093/jpe/rtx006
- Primack, R.B. (1985). Longevity of individual flowers. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 16, 15-37.
- Ramírez, L., Llambí, L.D., Schwarzkopf, T., Gámez, L.E. & Márquez, N.J. (2009). Vegetation structure along the forest páramo transition belt in the Sierra Nevada de Mérida: implications for understanding treeline dynamics. *Ecotrópicos*, 22, 83-98
- Red Amazónica de Inventarios Forestales (RAINFOR). <http://www.rainfor.org>
- Reynel, C. & Antón, D. (Eds.). (2004). Relictos de Bosques de Excepcional Diversidad en los Andes Centrales del Perú. Lima, PE: Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria-La Molina. 311p.
- Roman, L., Scatena, F.N. & Bruijnzeel, L.A. (2010). Global and local variations in tropical montane cloud forest soils. Pp. 77-89 in Bruijnzeel L. A., Scatena F. N. & Hamilton, L. S. (eds.). *Tropical montane cloud forests: science for conservation and management*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rollet, B. (1984). Études sur une forêt d'altitude des Andes Vénézuéliennes. *Revue Bios Forêts Des Tropique*, 205, 3-23.
- Romanski, J., Pharo, E.J. & Kirkpatrick, J.B. (2011). Epiphytic bryophytes and habitat variation in montane rainforest, Peru. *Bryologist*, 114, 720-731
- Scatena, F.N. (1995). The management of Luquillo elfin cloud forest ecosystems: irreversible decisions in a no substitutable ecosystem. *Tropical Montane Cloud Forests* (eds Hamilton, L.S., Juvik, J.O. & Scatena, F.N.), pp. 296-308. Springer Verlag, New York.
- Schwarzkopf, T., Riha, S.J., Fahey, T.J. & Degloria, S. (2010). Are cloud forest tree structure and environment related in the Venezuelan Andes? *Austral Ecology*, 36, 280-289.
- Scheer, M.B., Mochinski, A.Y. & Roderjan, C.V. (2011). Tree component structure of tropical upper montane rain forests in Southern Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 25, 735-750
- Silman, M. (2007). Plant Species Diversity in Amazonian Forest.
- Silman, M. R. (2014). Functional megadiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111:5763-4.
- Silva, C.E., Kellner, J.R., Clark, D.B., Clark, D.A. (2013). Response of an old-growth tropical rainforest to transient high temperature and drought. *Global Change Biology*. 19(11):3423-34
- Smith, A.R., Pryer, K.M., Schuettpelz, E., Korall, P., Schneider, H. & Wolf, P.G. (2006). A classification for extant ferns. *Taxon* 55(3), 705-731
- Spracklen, D.V., Righelato, R. (2014). Tropical montane forests are a larger expected global carbon store. *Biogeosciences*. 11(10):2741-54.
- Stiles, G.F. (1981). Geographical aspects of bird-flower coevolution, with particular reference to Central America. *Annals of the Missouri botanical Garden*, 68, 323-351.
- Sullivan, M.J.P., Lewis, S.L., Affum-Baffoe, K., Castilho, C., Costa, F., Cuni Sanchez, A., Ewango, C.E.N., Hubau, W., Marimon, B., Monteagudo-Mendoza, A., et al. (2020). Long-term thermal sensitivity of Earth's tropical forests. *Science* 368, 869-874. DOI: 10.1126/science.aaw7578.
- Sugden, A.M. (1982a). The vegetation of the Serranía de Macuira, Guajira, Colombia - a contrast of arid lowlands and an isolated cloud forest. *Journal of the Arnold Arboretum*, 63, 1-30.
- Takyu, M., Aiba, S.I. & Kitayama, K. (2002). Effects of topography on tropical lower montane forests under different geological conditions on Mount Kinabalu, Borneo. *Plant Ecology*, 159, 35-49.
- Taylor, M. (2008). The ecology of understory vegetation in a Peruvian cloud forest. Unpublished Honours Thesis, University of Tasmania, Hobart, Australia.
- Tejedor, G.A. (2018). Diversity and endemism of tree ferns (Cyatheaceae: Polypodiopsida) in the Central Andes along latitudinal and elevation gradients. *Acta Botanica Malacitana*. 42, p.41.
- Terborgh, J. & Andresen, E. (1998). The composition of Amazonian forests: patterns at regional and continental scales. *Journal of Tropical Ecology* 14: 645-664. <http://dx.doi.org/10.1017/S0266467498000455>
- ter Steege, H. (2009). Contribution of Current and Historical Processes to Patterns of Tree Diversity and Composition of the Amazon, in *Amazonia: Landscape and Species Evolution: A look into the past* (eds C. Hoorn and F. P. Wesselingh), Wiley-Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK. <http://dx.doi.org/10.1002/9781444306408.ch21>
- ter Steege, H. et al (2013). Hyperdominance in the Amazonian tree flora. *Science (New York, N.Y.)* 342:1243092.
- Ulloa, C.U., Zarucchi, J.L. y León B. (2004). Diez años de adiciones a la flora del Perú: 1993-2003. *Arnaldoa. Edición especial*: 1-242.
- Valencia, R. & Jørgensen, P.M. (1992). A quantitative inventory of a humid montane forest on the Pasochoa volcano, Ecuador. *Nordic Journal of Botany*, 12, 239-247.
- Valenzuela, L.G. et al. (2015). Línea base para el monitoreo de la vegetación en la Reserva Comunal El Sira. *Arnaldoa*. 22(1): 243-268.
- Valenzuela, L.G., Monteagudo, M.A., Calatayud, G.H., Farfán, J.V., Suelli, E.M. & Huamantupa, I.C. (2014). Árboles de MachuPicchu Cusco - Perú. O.N.G. Jardín Botánico de Missouri. RAINFOR, FotW y CCSD 1-290.
- van der Werff, H. & Consiglio, T. (2004). Distribution and Conservation Significance of Endemic Species of Flowering Plants in Peru. *Biodiversity and Conservation*.
- Vasquez, R. & Phillips, O.L. (2000). Allpahuayo: Floristics Structure, and Dynamics of a High-Diversity Forest in Amazonian Peru *Annals of the Missouri Botanical Garden*, Vol. 87, No. 4, pp. 499-527.

- Vásquez, R., Rojas, R., Monteagudo, M.A., Meza, K., Van der Werff, H., Ortiz, R. & Catchpole. D. (2005). Flora Vasculare de la selva central del Perú: Una aproximación de la composición florística de tres Áreas Naturales Protegidas. *Arnaldoa*. 12(1-2). 112-125.
- Vásquez, R. & Rojas, R. (2006). Plantas de la Amazonía Peruana: Clave para Identificar las Familias de Gymnospermae y Angiospermae. Segunda edición. *Arnaldoa*. 13(1). 09-258.
- Vásquez, M.R., Rojas, G.R., Monteagudo, M.A., Valenzuela, G.L. & Huamantupa, C.I. (2018). Catálogo de los árboles del Perú, Q'ueña. Volumen 9(1) 607 p.
- Vásquez, M.R., & Soto S.Y., (2020a). *Virola pseudosebifera* (Myristicaceae), una nueva especie para la Selva Alta del Perú, 10. *Revista Q'ueña*, pp. 7–12.
- Vásquez, M.R., & Soto S.Y., (2020). *Drypetes azulensis* (Putranjivaceae), una nueva especie del Perú *Rev. Q'ueña* 11 (1): 15–22.
- Villalba, V.M.I., (2015). Taxonomía y Distribución de Arecaceae del Flanco Oriental de la Cordillera del Yanachaga en el Parque Nacional Yanachaga Chemillen, Pasco.
- von Humboldt, A. (1838). Notice de Deux Tentatives d'Ascension du Chimborazo (A. Pihan de la Forest, Paris).
- Weaver, P.L. (2000). Environmental gradients affect structure in Puerto Rico's Luquillo Mountains. *Interciencia*, 25, 254-259.
- Weberbauer, A. (1945). El mundo vegetal de los andes peruanos. Ministerio de Agricultura, Lima.
- Whittaker, R. H. (1967). Gradient analysis of vegetation. *Biological Reviews* 42:207–264.
- Williams-Linera, G. (2002). Tree species richness complementarity, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical montane cloud forest. *Biodiversity and Conservation*, 11, 1825-1843.
- Wright, S.J. (2005). Tropical forests in a changing environment. *Trends in Ecology & Evolution*. 20:553-60
- Wood, S.N., 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 73(1), pp.3-36.
- Zanne A., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D.A., et al. (2009). Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum. *Dryad Digital Repository*. <http://dx.doi.org/10.5061/dryad.234>.
- Zelazowski, P., Malhi, Y., Huntingford, C., Sitch, S., Fisher, J.B. (2011). Changes in the potential distribution of humid tropical forests on a warmer planet. *Phil Trans Royal Society London B* 369, 137-160
- Young, K.R. (1991) Floristic diversity on the eastern slopes of the Peruvian Andes. *Candollea*, 46, 125-143.
- Young, K.R., Ulloa, C.U., Luteyn, J.L. & Knapp, S. (2002). Plant evolution and endemism in Andean South America: An introduction. *Botanical Review*, 68, 4-21.
- María Villalba Valdivia:
i.villalba.v@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2311-6829>
- Nadir Pallqui Camacho:
nadircarolina@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4596-0905>
- Oliver Phillips:
o.phillips@leeds.ac.uk
<https://orcid.org/0000-0002-8993-6168>
- Timothy Baker:
t.r.baker@leeds.ac.uk.
<https://orcid.org/0000-0002-3251-1679>
- Gabriela Lopez-Gonzalez:
g.lopez-gonzalez@leeds.ac.uk,
<https://orcid.org/0000-0002-0814-8830>
- Georgia Pickavance: g.c.pickavance@leeds.ac.uk
- Wilfredo Chávez Huamán:
wilycha@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4423-8806>
- Rodolfo Vásquez Martínez:
neotaxon@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0002-2282-5009>
- Rocio Rojas Gonzales:
gesneria@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0001-9494-1036>
- Luis Valenzuela Gamarra:
luis_gin@yahoo.es
<https://orcid.org/0000-0002-6191-0580>
- Víctor Chama Moscoso:
vicchama@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0002-4455-0157>
- Damien Catchpole:
damien@environment.pe
<https://orcid.org/0000-0002-5589-3876>
- Isau Huamantupa Chuquimaco:
ihuamantupac@unamad.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-4153-5875>
- Yahn Soto Shareva:
yahncarlos@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3072-0028>
- Álvaro Ramos Peña:
manuel75315987@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-1479-6972>
- Carolina Ramírez Méndez:
carolina.rm7@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-5363-5037>
- Miguel Pedraza Arando:
hm.montano.16@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6266-5639>
- Gisela Huari Jiménez:
guissel_a7@hotmail.com
- Karina Banda:
kbandar@gmail.com
- Eurídice Honorio Coronado:
eurihc@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0003-2314-590X>
- William Farfán Ríos:
wfarfan@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3196-0317>

CODIGOS ORCID DE LOS AUTORES

Hugo Dueñas Linares

huduli_hugo@yahoo.es

<https://orcid.org/0000-0002-5980-8974>

Rolando Monteagudo Begazo:

182029@unsaac.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0001-0096-1587>

Gloria Calatayud Hermoza:

gloria.calatayudh@unsaac.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0001-8003-9500>

Jorge Garate Quispe:

jgarate@unamad.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-7494-2274>

Manuel Marca Zevallos:

manuelj.marca@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9428-7441>