



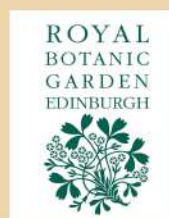


Este libro, enfocado en el territorio peruano, está elaborado como un conjunto de láminas, y desea poner al alcance de muchos, conceptos relacionados a la diversidad biológica, ecología y biología de la conservación en el Perú. Cada idea está acompañada con fotografías e ilustraciones seleccionadas. Trae también, al final, un acápite con fuentes bibliográficas, útiles para profundizar cada contenido, y un glosario de los términos empleados.

ISBN: 978-612-00-9112-8



Con el auspicio de:



# Conceptos sobre biodiversidad y ecología del Perú mostrados en láminas

Editor: Carlos Reynel Rodríguez  
Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales  
Universidad Nacional Agraria La Molina  
Av. La Molina s.n. La Molina, Lima - Perú

## Autores

C. Reynel R.

R.T. Pennington

## © Los autores

Las fotos e ilustraciones son propiedad de  
los autores salvo cuando se indica otra fuente

## Concepto gráfico y diagramación

C. Reynel R.

Primera edición digital noviembre 2023

Hecho el depósito legal en la  
Biblioteca Nacional del Perú  
No 2023-111-83

ISBN: 978-612-00-9112-8

Libro electrónico disponible en:

[www.lamolina.edu.pe/facultad/forestales/herbario](http://www.lamolina.edu.pe/facultad/forestales/herbario)

# Índice

	Pág.
CONTEXTO INTRODUCTORIO .....	1
Dimensión de la megadiversidad biológica del Perú .....	2
El Perú, un país vasto, maravilloso y desconocido.....	3
Cuántas especies de árboles existen en el Perú ... ..	4
GÉNESIS DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA DEL PERÚ ...	5
Un territorio que actúa como un crisol .....	6
Levantamiento de los Andes y su influencia en la ecología ..	7
Teoría de los refugios del pleistoceno .....	8
Mosaico edáfico de la Amazonía .....	9
La deflexión de Huancabamba determina varios rasgos ecológicos del Perú .....	10
La Cresta de Nazca, una cordillera submarina que influye en el relieve y la ecología .....	11
Procesos macroevolutivos determinan la formación de especies .....	12
Un bosque que se congeló en el tiempo, historia del bosque petrificado Piedra Chamana .....	13
CLASIFICACIÓN Y TAXONOMÍA .....	14
Linneo y la catalogación de la biodiversidad .....	15
Ruiz y Pavón, la primera exploración botánica del Perú ....	16
Cómo se detectan y describen nuevas especies de plantas y animales .....	17

Conceptos de especie y sus implicancias .....	18
Sistemática filogenética y cambios actuales en la clasificación de organismos vivientes .....	19
Coevolución .....	20
Las Leguminosas y la actualización de su taxonomía .....	21
Las especies peruanas de Cedros ( <i>Cedrela</i> spp.) y su potencial (1) Especies de la Costa, el Ande y la Amazonía andina .....	22
Las especies peruanas de Cedros ( <i>Cedrela</i> spp.) y su potencial (2) Especies de la Llanura de Amazonía .....	23
 ENDEMISMOS Y DISTRIBUCIONES ESPECIALES .....	 24
 Tres niveles de biodiversidad .....	 25
La distribución de especies no es uniforme en el territorio peruano - en muchos casos está caracterizada por endemismos .....	26
Áreas de concentración de especies endémicas en el Perú .....	27
Una estrategia para el avance en la identificación de los árboles del Perú .....	28
¿Un bosque seco, o varios bosques secos? .....	29
Ecosistemas alóctonos .....	30
Especies clave (Especies Piedra angular) en un ecosistema .....	31
Biogeografía de las islas .....	32
Augusto Weberbauer y su mapa de la vegetación del Perú .....	33

<b>EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA .....</b>	<b>34</b>
<b>Ciencia e investigación en biodiversidad</b>	
<b>consideraciones y fundamentos .....</b>	<b>35</b>
<b>La vegetación arbórea y leñosa como estructura</b>	
<b>fundamental en los ecosistemas forestales .....</b>	<b>36</b>
<b>Evaluación de la Diversidad Alfa (1) Unidad</b>	
<b>de Muestra .....</b>	<b>37</b>
<b>Parcelas Permanentes (PP) y evaluación de</b>	
<b>la diversidad arbórea .....</b>	<b>38</b>
<b>Evaluación de la Diversidad arbórea (D<math>\alpha</math>)</b>	
<b>metodología de Transectos Gentry .....</b>	<b>39</b>
<b>Dinámica forestal .....</b>	<b>40</b>
<b>Cuánto demora en recuperarse la diversidad del</b>	
<b>bosque luego que es arrasado .....</b>	<b>41</b>
<b>PERÚ - MAPAS TEMÁTICOS</b>	
<b>COMPLEMENTARIOS.....</b>	<b>42</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>60</b>

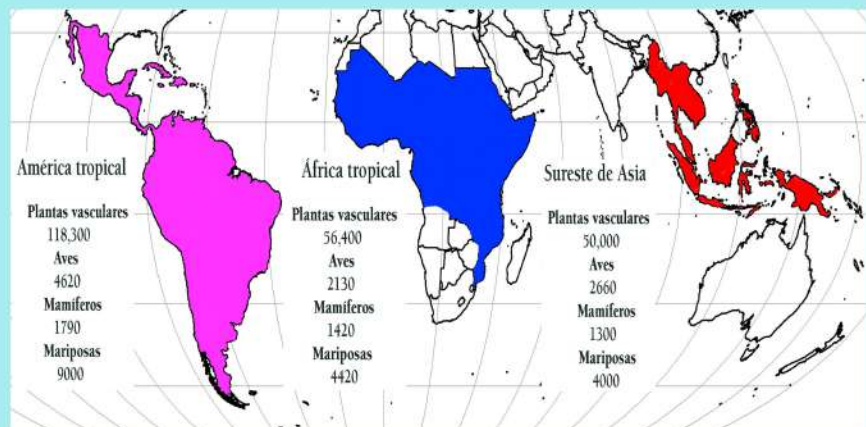
**1**

**Contexto  
introdutorio**

## Dimensión de la megadiversidad biológica del Perú

- Los países andinos, y el Perú de manera especial, son un epicentro mundial de diversidad biológica. El neotrópico duplica en diversidad de especies a la de África Tropical, y también a la del sudeste de Asia. El análisis de estos datos comparativos ha desconcertado a biólogos y ecólogos desde hace mucho tiempo. ¿Cuál es la razón de esta explosión de biodiversidad neotropical?
- En láminas que están a continuación se aborda esta pregunta. Es claro que la respuesta se halla más en el pasado, en la génesis de los continentes, territorios y cuencas hidrográficas, que en el presente.

La diversidad de especies de plantas vasculares en América tropical duplica a la existente en África tropical y el Sureste de Asia. La tendencia es similar para otros grupos de organismos.



El Perú posee en su territorio unas 20,000 especies de plantas con flores, y casi un 30% de ellas son endémicas. Es el primer o segundo país más diverso del mundo para grupos como mariposas y aves. Su contenido de especies de mamíferos, reptiles y anfibios está también dentro de valores que son récords mundiales.

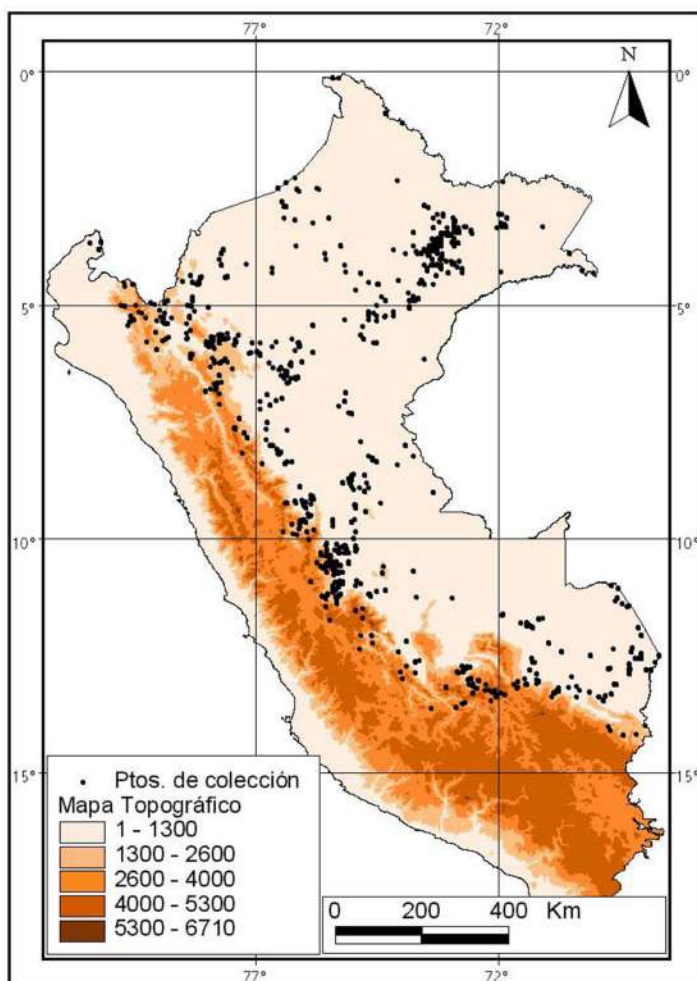
Adicionalmente, conteos del número de especies en algunas localizaciones son también récords mundiales. Para el caso de especies arbóreas, hay registros de más de 300 especies en una sola hectárea en las cercanías de Iquitos; los Bosques Montanos más diversos del planeta (156 especies en una hectárea) se hallan en el valle de Chanchamayo en el Departamento de Junín.

En Costa Rica, los valores máximos de diversidad de árboles por hectárea están alrededor de 80 especies.



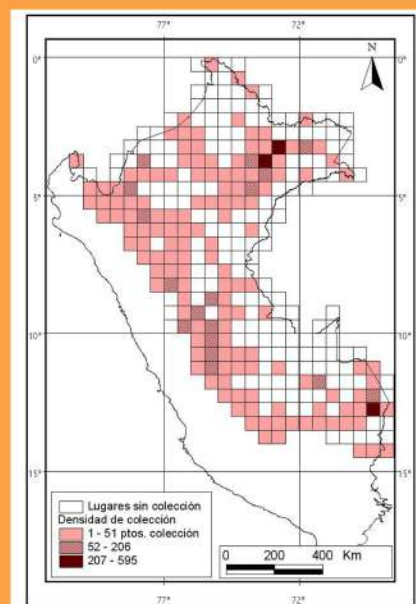
# El Perú, un país vasto, maravilloso y desconocido

- En la perspectiva de las especies existentes, el Perú es un país que está lejos de haber sido completamente prospeccionado. Por ejemplo, los bosques amazónicos muestran vacíos significativos de exploración, colección y registro de especies.
- Al igual que otros países de la Amazonía andina, gran parte de las especies tienen una distribución regional (endemismos regionales), y no extendida uniformemente en el territorio.
- Muchas áreas están siendo destruidas sin que conozcamos las plantas y animales que habitan allí. En ellas podrían existir valores medicinales, alimenticios u otros de gran interés para la sociedad humana y la conservación de los ambientes. También, especies importantes, con capacidad para adaptarse al clima del futuro.



Izq.: Mapa de vacíos de colección de la flora de los bosques húmedos del Perú.

Abajo, el mapa de densidades de colección para el mismo ámbito.



## Cuántas especies de árboles existen en el Perú

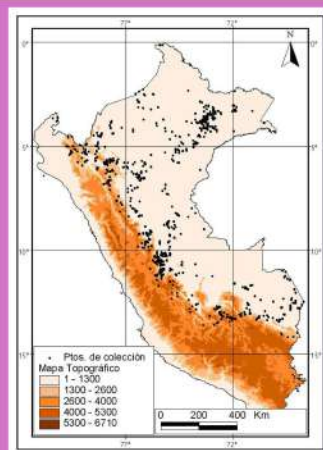
En realidad no lo sabemos con exactitud, porque:

- La prospección y colecciones botánicas en el el país está lejos de cubrir todo su territorio. Los expertos calculan que entre el 20-30% de la flora arbórea en países de la Amazonía andina no está descrita, y que en toda la Amazonía hay aun 10,000 especies no conocidas por la ciencia.
- La definición de árbol es generalmente subjetiva, por lo cual en las bases de datos y registros, algunas especies arbóreas podrían o no estar incluidas. Reflexionemos en la dificultad para separar los conceptos de arbusto y árbol, que están más en nuestra mente que en la naturaleza.
- Hay muchas plantas que pueden adoptar portes arbustivos o arbóreos dependiendo de las condiciones de sitio (ej. la Retama, y muchas especies dentro de familias vastas, como Rubiaceae, Piperaceae y Melastomataceae).

Por ello, en torno a este tema, tenemos una noción aproximada.

Dado que el número de especies de árboles registrados para el Perú es alrededor de 4200, el número total posiblemente se encuentre entre 5500 a 5800.

El Perú es un país incompletamente conocido desde el punto de vista de su diversidad biológica, como se aprecia en el mapa de vacíos de colección de flora en la Amazonía (der.)



### Catálogo de las Angiospermas y Gimnospermas del Perú

Lois Brako  
 Jim Zarucchi

Missouri Botanical Garden

Instituciones de investigación del Perú y el mundo dan continuidad al inventario de la flora peruana, dentro de ellas las Universidades nacionales (UNMSM, UNALM, etc.), e instituciones extranjeras como el Missouri Botanical Garden (USA), Royal Botanic Gardens Kew y R.B.G. Edinburgh (UK)



2

# Génesis de la diversidad biológica del Perú

# Génesis de la biodiversidad del Perú

## (1) Un territorio que actúa como un crisol

- A inicios de 1900, el geógrafo alemán Alfred Wegener se hallaba trabajando la cartografía de la costa oeste de Africa, y en ese quehacer descubrió que ella engarza perfectamente con la costa este de suramérica. Comprendió que los continentes se desplazan lentamente en el tiempo, e integró muchas líneas de evidencia bajo la *Teoría de la deriva continental*.
- El hallazgo de Wegener fue trasladado al estudio de la distribución de plantas y animales, sumándose al conocimiento de *dominios originarios* de biota, reafirmando el hecho de que continentes actualmente separados habían estado unidos, a veces brevemente, por puentes. Entre territorios a veces alejados, sabemos ahora que se ha producido un corto trasvase de flora y fauna migrante, que se desplazaba en busca de mejores condiciones climáticas.
- Al igual que un crisol, el recipiente usado en metalurgia para fundir metales de diferente procedencia, los Andes tropicales han constituido un territorio receptor de plantas y animales de procedencias lejanas, los cuales han sumado significativamente a la extraordinaria biodiversidad existente.

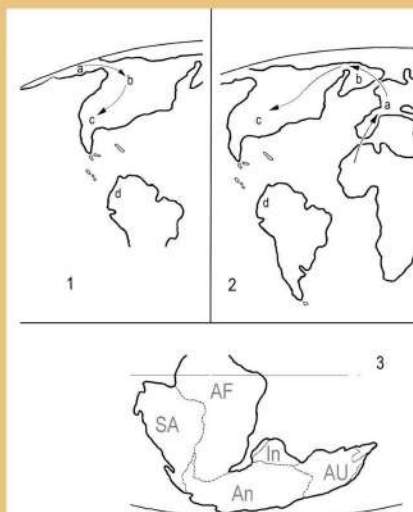
Varios dominios originarios de biota han aportado linajes de procedencia lejana a la biodiversidad del Perú.

Ya en la era moderna (Cenozoico), desde el dominio austral-antártico, se desplazaron hacia el norte grupos como los *Podocarpus*, únicas coníferas peruanas, y los Quinales altoandinos del género *Polylepis*.

Desde el norte, del dominio holártico, arribaron representantes de la familia Asteráceas (derecha abajo). El árbol nacional del Perú, la Quina, y sus relativos, proceden del dominio boreotropical, emplazado entre África y Europa.

Los arbustos de *Lupinus* (en fondo negro), dentro de los cuales destaca el alimento andino de Tarwi, son procedentes de norte América.

### Puentes intercontinentales



Cinchona, árbol de la Quina



Podocarpus

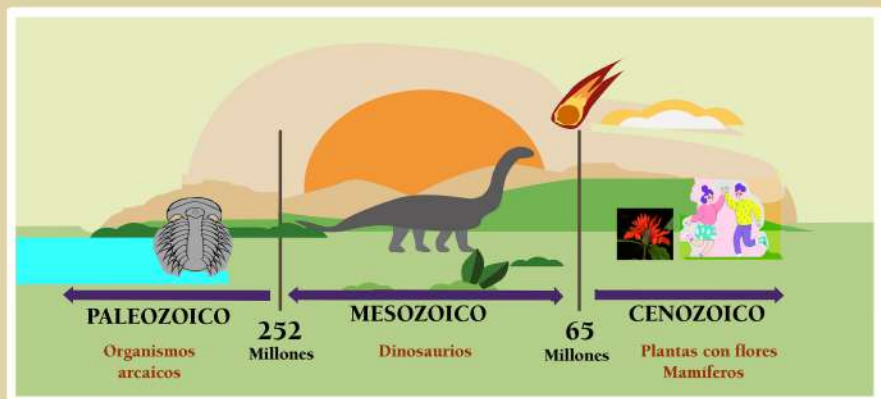


# Génesis de la biodiversidad del Perú

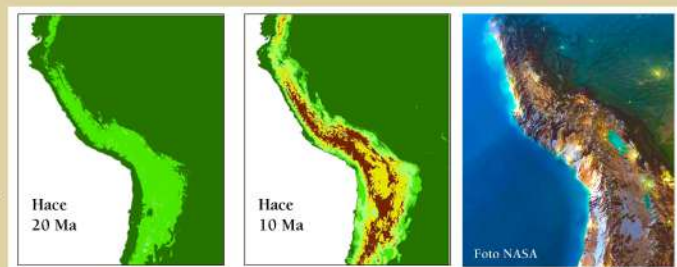
## (2) Levantamiento de los Andes y su influencia en la ecología

- La era moderna, Cenozoico, se inicia hace unos 66 millones de años (Ma), y trae la expansión de nuevos grupos de organismos, dentro de ellos las plantas con flores y los mamíferos. Hace 58 Ma ya existen bosques modernos tapizando el continente suramericano.
- En ese escenario, los Andes inician su levantamiento activamente hace 30 Ma, como resultado del proceso de subducción, que enfrenta a la placa geológica continental o suramericana, con la placa de Nazca, situada en el fondo del Océano Pacífico. Entonces la flora tropical característica de la Amazonía se extiende hasta el Océano Pacífico, y las alturas de los Andes aún no son significativas.
- Hace 10 Ma, luego de un proceso de elevación gradual, los Andes alcanzaron alturas similares a las actuales. Varias formaciones ecológicas han resultado del levantamiento de los Andes, puesto que ellos interceptaron o cambiaron de rumbo la humedad procedente de la cuenca amazónica: el desierto hiperárido de la Costa sur, los bosques montanos nublados, las formaciones del altiplano. Pero su influencia ha ido más allá, al modificar los cursos hidrográficos, la naturaleza de los suelos, etc.

A la derecha, reconocemos tres grandes eras en la historia de la vida sobre el planeta. La más reciente, el cenozoico, es en la que se desarrollaron eventos críticos para la biodiversidad de nuestro país.



Hace 58 Ma, antes del levantamiento de los Andes, ya existían bosques modernos en el Perú, caracterizados por ser multiestratos, a diferencia de los del mesozoico, que tuvieron un perfil monoestratificado (abajo). Ya había presencia de las familias y géneros botánicos de hoy, como Leguminosas, Moráceas (*Ficus*), Lauráceas, etc.



© wikipedia



El levantamiento de los Andes formó un retículo de espacios que se aislaron, promoviendo la formación de nuevas especies. También, muchos organismos de las tierras bajas fueron cargados hacia zonas elevadas, con condiciones muy distintas, donde tuvieron que adaptarse para no sucumbir.

# Génesis de la biodiversidad del Perú

## (3) Teoría de los refugios del pleistoceno

- En momentos recientes de la era moderna (Cenozoico), se desencadenó un ciclo de glaciaciones afectando todos los ambientes terrestres. Ellas se iniciaron en el período pleistoceno, hace 2 Ma. Recordemos que el linaje de los homínidos se origina más o menos con el período mencionado, y el ser humano ya está presente en la tierra hace unos 200,000 años.
- Desde los inicios del pleistoceno, se han producido unos 20 ciclos glaciares, espaciados unos 100,000 años entre sí. El Último Máximo Glaciar (UMG) se registra hace 20,000 años, y actualmente nos hallamos en un momento interglaciar con elevación de la temperatura del planeta.
- Durante los períodos glaciares, hubo un descenso de temperatura global, agravado por el hecho de que los casquetes polares se expandieron, aumentando la reflexión de la luz solar. Los paleoecólogos calculan que la temperatura en la zona andina habría descendido 8-12°C, durante los momentos glaciares máximos.
- En el Ande, los aumentos y disminuciones de temperatura ocasionaron que plantas y animales de las tierras bajas expandieran o retrajeran su distribución altitudinal, ocupando nuevos espacios en los cuales se vieron forzados a adaptarse cuando dicha situación se revertía.

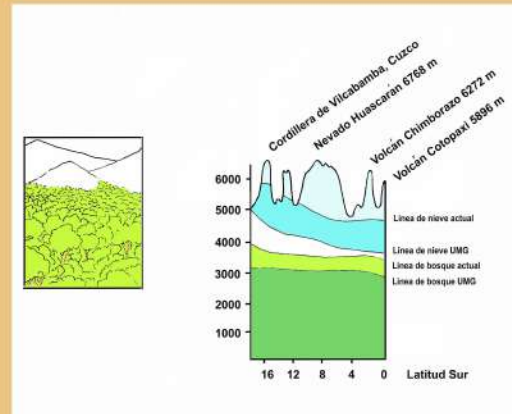
El confinamiento y aislamiento de las poblaciones de especies en áreas relictuales o *refugios*, habría actuado como un promotor de los procesos de formación de nuevas especies.

Para el territorio de la Amazonía, el conocimiento de lo sucedido es aún impreciso.

Durante las expansiones glaciares, los hielos se extendieron notoriamente en la zona andina. Estudios en la cordillera de Vilcabamba evidencian los movimientos de plantas en la gradiente altitudinal, como resultado de este proceso. Al ocupar espacios nuevos una y otra vez, los procesos adaptativos dieron lugar a la proliferación de nuevas especies.



Fuente: Scotese maps



Una megafauna de mastodontes, tigres dientes de sable y otros animales de gran tamaño, fue característica a lo largo del pleistoceno; algunos de ellos alcanzaron a convivir con el ser humano antes de extinguirse.



Fuente: National Geographic

# Génesis de la biodiversidad del Perú

## (4) Mosaico edáfico de la Amazonía

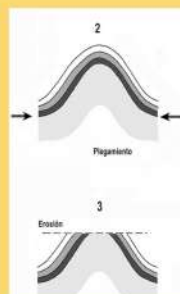
- El efecto geológico denominado *subsidiencia* se produce por la acción de la placa de Nazca, que actuando como una cuña, levanta el macizo de los Andes desde una línea occidental. Como reflejo de esta tensión, el piedemonte oriental sufre un hundimiento, que genera tramos con plegamientos.
- Los suelos de la llanura de la Amazonía están formados por la acumulación de depósitos en capas, arrastrados desde los Andes por la erosión. Algunos de estos depósitos pueden ser muy antiguos, y otros bastante jóvenes, con propiedades diferenciadas en sus nutrientes.
- Al ser plegados, y luego erosionados laminarmente por los cursos de agua, se configura un mosaico edáfico, similar al de un piso con losetas. Esto es visible al transectar áreas de la llanura amazónica, en las cuales encontramos tramos con arcillas rojas, luego gredas amarillas o blancas, y también arenas cristalinas como en los *varillales*.
- Presumiblemente, las diversas condiciones edáficas de la Amazonía han determinado procesos de especiación de la flora.

En la zona de subsidiencia se ha generado un hundimiento, y como reflejo de éste, plegamientos, que al ser erosionados horizontalmente, configuran el mosaico edáfico característico en muchos sectores de la llanura de la Amazonía.

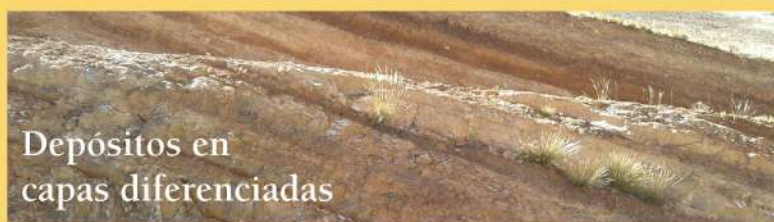
En la foto de la derecha se aprecia el depósito de capas de suelo con colores y características diferenciadas, procedentes de erosión en los espacios del Ande.

Plegamientos verticalizados son visibles en muchos espacios andinos (der.). Un ejemplo emblemático de depósitos de suelos en capas diferenciadas es la Vinicunca, montaña de siete colores, en Cuzco.

### PLEGAMIENTOS

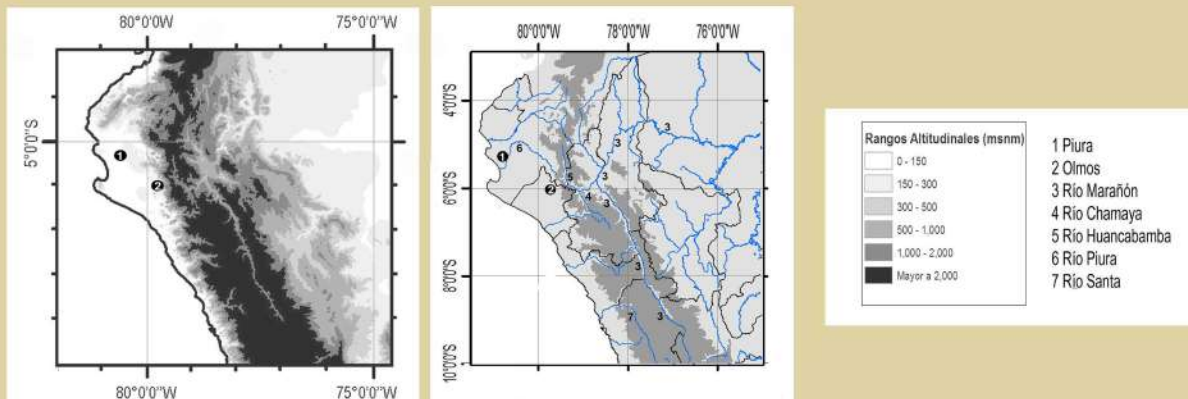


### SUBSIDIENCIA



## La deflexión de Huancabamba determina varios rasgos ecológicos del Perú

- Si observamos la cordillera de los Andes en el Perú, notamos que es más ancha y elevada en el tercio sur, muy elevada en el tercio central, y su menor elevación se halla en el tercio norte. Allí, en la localidad de Porculla, su altitud es solamente unos 2000 msnm. Esto es ocasionado por la deflexión de Huancabamba, una gran falla geológica. En los momentos iniciales del levantamiento de los Andes, ésta se mantuvo por mucho tiempo como una zona de tierras bajas.
- El sector mencionado, caracterizado por ser el menos elevado, actuó como un portal por el cual ingresaron trasvases de agua oceánica hacia la Amazonía, acarreando una flora y fauna propia de los medios salinos, dentro de ellos delfines, manatíes, caracoles y mantarrayas, que quedaron atrapados en la llanura amazónica; esto sucedió durante el eoceno, hace unos 35 Ma. Luego, el proceso de levantamiento de los Andes cerró el portal mencionado durante el mioceno, hace unos 15 Ma. Así se formó el extenso *Sistema Acuático Pebas*, que con el tiempo, afectado por las lluvias recurrentes, fue transformándose en un ambiente de agua dulce. Allí, los animales tuvieron que adaptarse a estas nuevas condiciones o sucumbir. El SAP alcanzó su máxima expansión hace unos 15 Ma.



El ámbito de la deflexión de Huancabamba, que afecta los departamentos de Lambayeque, Cajamarca y Loreto, (mapas), conformó un territorio de muy baja elevación en el proceso de levantamiento de los Andes. Fue un portal de ingreso de aguas oceánicas, que acarrearón linajes de animales marinos a la Amazonía. Este Sistema



© perutravel

© NaturaLista Colombia



Acuático alcanzó su máxima expansión hace unos 15 Ma, abarcando el centro del departamento de Loreto y extendiéndose hasta Ucayali. El Arco de Fitzcarrald actuó como una barrera que impidió la distribución de muchas especies hacia los bosques de Madre de Dios, que poseen una flora y fauna diferenciada.

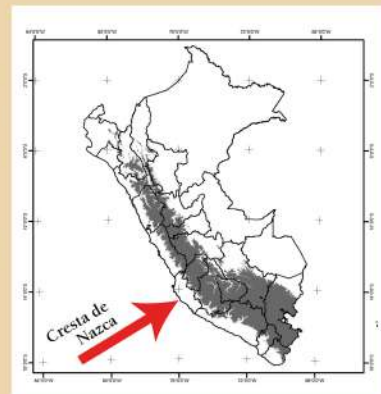
## La Cresta de Nazca, una cordillera submarina que influye en el relieve y la ecología

- La Cresta o Dorsal de Nazca es una cordillera submarina emplazada sobre la placa geológica que está en el océano, frente al Perú (placa de Nazca). Recibe ese nombre por hallarse perpendicular al litoral, frente a dicha localidad. Su elevación fluctúa entre 1000-1500 m sobre el fondo del océano.
- En 2021 fue reconocida como la primera Reserva Nacional submarina en el país. Su relieve intrincado provee un retículo de ambientes para una rica flora y fauna marina.
- Su elevación se produjo en un momento bastante reciente de la orogenia andina, hace 5 Ma. La tensión desplegada por su levantamiento ha sido tal, que se trasladó al flanco este y la Amazonía sur del Perú, resultando en la formación del Arco de Fitzcarrald entre los departamentos de Ucayali y Madre de Dios. El levantamiento de éste invirtió el flujo del río del mismo nombre, que antiguamente corría de sur a norte.



El mapa muestra la posición de la Cresta de Nazca, que es una cordillera submarina.

A la izquierda hay una representación del proceso de subducción.



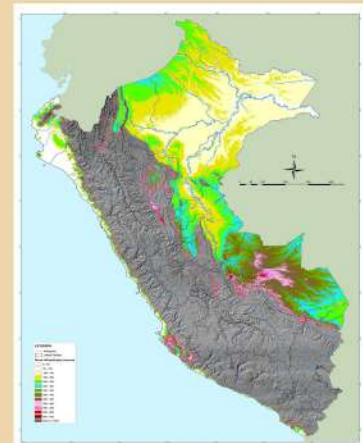
Los árboles de Castaña de Madre de Dios, y también la Shiringa hacen rodales en el tercio sur de la Amazonía peruana, y no más al norte, porque las condiciones ecológicas son diferentes.



Fuente: PeruInfo  
Fuente: Wikipedia



En el mapa de abajo, elaborado con cotas de elevación cada 50 m, se aprecia cómo el tercio sur de la Amazonía peruana (colores rosado y marrón) se halla varios centenares de metros por encima de la Amazonía norte y centro (colores crema y amarillo)



## Procesos macroevolutivos originan la formación de especies

- La macroevolución estudia los procesos por los cuales se originan las especies y linajes de organismos vivientes. La escala de tiempo en que se producen estos procesos es de millones de años, y corresponde a lo que conocemos como *tiempo evolutivo*, el tiempo en la escala del despliegue de la vida sobre la tierra.
- En el Perú, los estudios documentan que varios procesos macroevolutivos se han desarrollado con intensidad y recurrentemente. Ellos explican un componente importante de la biodiversidad existente
- El más importante de ellos es tal vez la *especiación alopátrica*, que se produce cuando la población de una especie queda dividida por una barrera natural, anulando la posibilidad de reproducción entre las poblaciones separadas. Este tipo de especiación también se observa cuando pocos individuos logran dispersarse más allá de una barrera natural, produciendo un *efecto fundador*.

Valles profundos y antiguos, con montañas divisorias elevadas, son el escenario perfecto para que poblaciones de una especie queden aisladas, con el consecuente cambio a través del tiempo, muchas veces conducente a diferenciación y especiación.



(Izq.) Procesos de desertificación pueden también constituir la causa del aislamiento y separación de poblaciones. Valles encañonados como el del Apurímac (centro) y el Marañón (der.), con divorcios de agua inaccesibles, son también un escenario ideal para la especiación alopátrica.

## Un bosque que se congeló en el tiempo historia del bosque petrificado Piedra Chamana

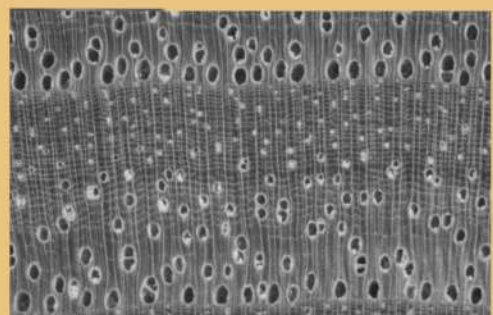
- Si bien es cierto, descubrir trozos aislados de madera fosilizada no es totalmente inusual, sí lo es encontrar un área completa de bosque con todas sus maderas petrificadas. Esta situación se ha dado en el norte del Perú, en la localidad de Piedra Chamana en el Departamento de Cajamarca, actualmente a unos 2300 msnm. El estudio profundo, realizado por una anatomista de madera fósil, ha revelado la historia de lo que allí ocurrió.
- Piedra Chamana, hace 27 Ma, era una localización situada a nivel del mar. Esto fue claro al identificar la comunidad de árboles existentes, todas especies propias de la llanura de Amazonía, incluyendo muchas palmeras, y las dimensiones de sus elementos vasculares, propias de especies de tierras cálidas. Una explosión volcánica a varios Km de distancia ocasionó que una nube de ceniza tapara el bosque, que se encontraba en una hondonada. Por miles de años, las maderas, e inclusive algunas hojas, sufrieron un proceso de mineralización paulatina.
- Posteriormente, el levantamiento de los Andes, actuando como un montacargas, llevó este territorio desde ese nivel hasta su elevación actual. Piedra Chamana es la evidencia de que comunidades de bosques modernos, existentes al inicio de levantamiento de los Andes, han sido cargadas a altitudes significativamente mayores. Si bien en este caso el bosque quedó petrificado y nos sirve como una imagen congelada en el tiempo, en otros, especies vivientes de plantas y animales fueron desplazadas hacia arriba, siendo forzadas a adaptarse o sucumbir.



El arbusto de Chamana, de bellas flores rosadas, es común en la localización, que a él debe su nombre.

Fósiles de madera y hojas han ayudado a reconstruir la

comunidad vegetal que existió en el lugar, y el estudio anatómico de la madera confirma que se trataba de un ámbito cálido y lluvioso de la llanura de Amazonía.



3

# Clasificación y taxonomía

# Linneo y la catalogación de la biodiversidad

Para comprender el momento en que vivió Linneo, podemos señalar que:

- La medicina se hacía mayormente con plantas, y los profesionales médicos requerían un alto entrenamiento botánico para reconocerlas.
- Hacía falta un sistema estandarizado para la denominación y verificación de las especies de seres vivos
- Viajes alrededor del mundo añadían conocimiento impreciso sobre plantas y animales de nuevos continentes y sus bondades.
- En este escenario, Linneo plantea con lucidez un procedimiento único y para la descripción y catalogación de nuevas especies, basado en la nomenclatura binomial, la clasificación jerarquizante, descripciones diagnósticas y la asignación de un espécimen de verificación.

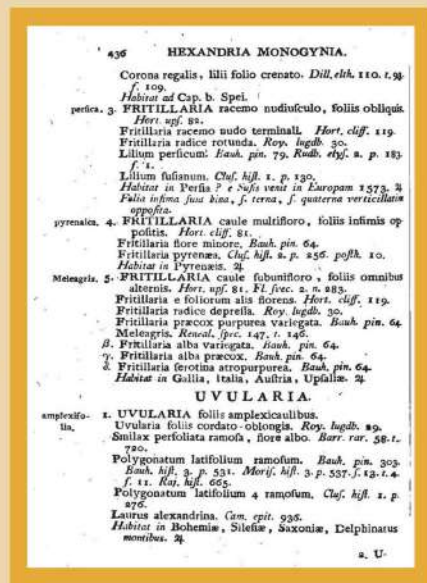


Fuente: Wikipedia

En 1753, Linneo publica su libro *Species plantarum* (ver una página a la derecha)



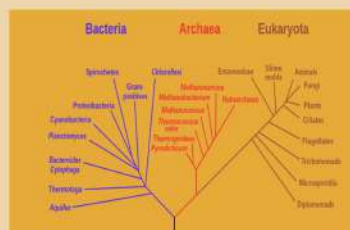
Uno de los objetivos importantes de las colecciones de material biológico es generar especímenes que servirán como elementos de verificación



Una especie de *Uvularia*



Los especímenes son custodiados en depositarios como los Herbarios, donde se estudian y quedan accesibles



Fuente: Wikipedia

Linneo propuso la clasificación jerarquizante, que ha sido un fundamento para comprender la formación de los linajes de seres vivos.

A la derecha, la planta de *Cicuta*, un potente veneno, es muy parecida a las zanahorias silvestres. Un buen ejemplo de la urgencia que se vivía en la época de Linneo, por catalogar sistemáticamente al reino de las plantas y proveer descripciones sumariadas que permitieran diferenciar las especies

## Dos especies muy parecidas

La *Cicuta*, un potente veneno



*Conium maculatum*

Una Zanahoria silvestre, comestible



*Daucus pusillus*

# Ruiz y Pavón, la primera exploración botánica del Perú

- En el año 1778 arribaron a Perú Hipólito Ruiz y José Pavón, botánicos enviados por el rey Carlos III de España. Ambos tenían 24 años, y habían sido seleccionados por su mentor entre los mejores alumnos de la Universidad de Madrid.
- Venían provistos de una cédula real, acompañados de tres ilustradores y un médico, con la misión de documentar las plantas valiosas, entre ellas las especies de Quinas, de gran importancia medicinal y estratégica por el brote de una pandemia de malaria en las zonas tropicales.
- Permanecieron en el Perú por 11 años, colectando más de 3000 especies de plantas, las cuales describieron, nombraron e ilustraron, a lo largo de un viaje lleno de peripecias.



Izq. Carlos III niño, en su gabinete de naturalista



Der. Flores del árbol de la Quina o Cascarilla, árbol nacional del Perú

Hipólito Ruiz, líder de la expedición botánica al Perú



Der. Una de las ilustraciones de la Quina, y el fármaco usado actualmente



## Cómo se detectan y describen nuevas especies de plantas y animales

- Taxónomos de todo el mundo dedican sus vidas al estudio de determinados grupos de organismos. Cuando ellos detectan en las colecciones de museos o en el campo, especies muy distintas a las ya conocidas, las estudian para confirmar que son diferentes y darlas a conocer.
- En el caso de plantas, las pautas para lo mencionado se hallan en el Código Internacional de Nomenclatura Botánica (CINB o ICBN), actualmente en línea.
- Para que tengan validez, deben ser publicadas en una revista científica especializada (ISSN), incluyendo al menos una descripción diagnóstica y una detallada, una ilustración diagnóstica y la indicación de en qué herbario se halla depositado el espécimen de verificación (*especimen tipo*), con los datos precisos de éste. Se debe asignar un nombre científico a la especie.
- Una vez que la publicación se difunde, la especie es considerada aceptada.
- Si una especie carece de nombre, es imposible acumular información sobre ella. Los ambientes con especies desconocidas están siendo rápidamente destruidos. El Código promueve que haya rapidez en la catalogación y descripción.

Foto © Diego Aliaga B.



Gran cantidad de árboles del Perú no son conocidos por la ciencia



Las colecciones en campo permiten acopiar especímenes perdurablemente



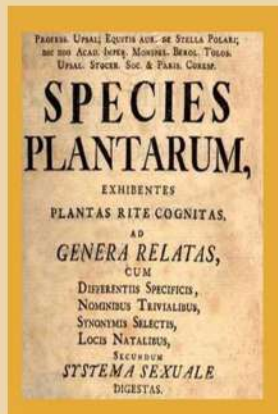
***Zanthoxylum lepidopteriphilum* Reynel, sp. nov.**  
 Type. Ecuador. Pichincha, Reserva Pululahua, camino a los reales, 1800-200 m, 20Dic 2016.  
 D. Neill & C. del Pino 7551 (holotype MO, isotypes QCA, QCNE).

Los datos precisos del *especimen Tipo* son imprescindibles

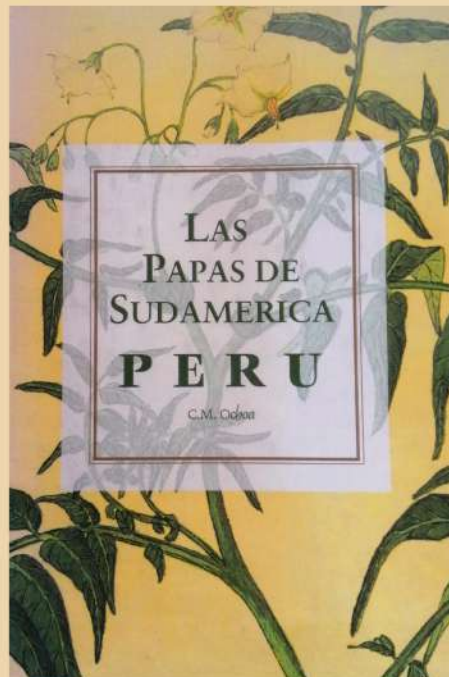
Las especies nuevas son publicadas en revistas científicas especializadas

# Conceptos de especie y sus implicancias

- Cuando Linneo propuso el procedimiento actual de catalogación y descripción de especies y taxones nuevos (1753), solamente existían lupas con buen aumento. Durante mucho tiempo, la clasificación de los seres vivos se basó en un **concepto morfológico**, entendiendo las especies como conjuntos de individuos con caracteres comunes entre sí, pero diferenciales a otras especies.
- Posteriormente, a raíz de los estudios genéticos de Gregor Mendel (1822-1864), se inició el desarrollo de un **concepto reproductivo** (o *biológico-reproductivo*), comprendiendo a las especies como conjuntos de individuos interfecundos.
- De manera particular, a partir de los años 1960s, se desarrolla el **análisis filogenético** enfocado en la reconstrucción de las historias evolutivas de los taxones. Este ha sido facilitado grandemente por la secuenciación de ADN.
- Mayormente, hay congruencia entre los tres conceptos mencionados, pero en algunos grupos de organismos existen discrepancias, que ocasionan que actualmente predomine el concepto más reciente, acarreando cambios en la clasificación.



En 1753, Linneo publica el libro *Species plantarum* (*Las especies de plantas*), con gran cantidad de descripciones diferenciales basadas en la morfología de las especies



En 1999, C. Ochoa publica *Las Papas del Perú*, con un esquema de clasificación basado en pruebas de cruzamiento entre las especies, realizadas por él en el CIP

En la lámina siguiente hay más información sobre el análisis filogenético y sus conceptos asociados

# Sistemática filogenética y cambios actuales en la clasificación de organismos vivientes

- Una nueva corriente en la sistemática fue propuesta en la segunda mitad de los 1900s por el entomólogo alemán W. Hennig, basada en conceptos y planteamientos analíticos, y se ha robustecido en la actualidad. Un aspecto central de ésta es el análisis de caracteres, con el objetivo de resolver filogenias.

La filogenia es el estudio de la ancestralidad o genealogía de los taxones de un grupo dado, a lo largo del tiempo.

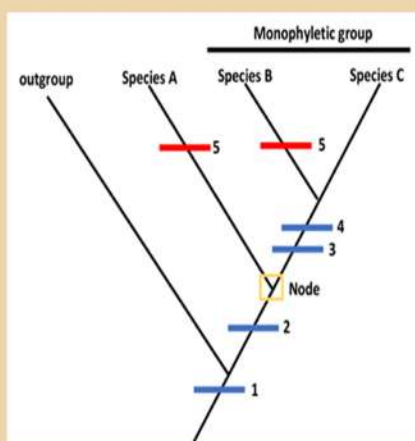
- Un concepto central de su desarrollo es el reconocimiento de los caracteres llamados *homólogos*, que son los verdaderamente comparables en el sentido de tener una naturaleza similar por su estructura y origen. Un ejemplo de esta verdadera comparabilidad es la que existe entre la aleta de un cetáceo, el brazo de un mamífero y el ala de un ave. La sistemática filogenética propone que las clasificaciones deben basarse exclusivamente en caracteres homólogos.
- Un concepto adicional es el de *parsimonia*, el cual propone que la marcha evolutiva de un grupo a través del tiempo, ha seguido el camino más corto.



Diferentes tipos de frutos en la familia Leguminosae, todos procedentes de un diseño común (arriba).

## Caracteres homólogos y no-homólogos

Los agujones (derecha) son estructuras originadas en la parte exterior de la corteza de algunos árboles. En ese sentido, se hallan más relacionados a una placa de corteza, que a una espina. La última brota desde la madera, y por ello es más comparable con ramitas que brotan lateralmente.



(Izquierda) El análisis filogenético se fundamenta en la selección de caracteres, los cuales se interpretan como homología en base a sus similitudes morfológicas / anatómicas. Empleando el principio de parsimonia, éstos son usados para escoger el diagrama (cladograma) que minimiza el número de cambios de dichos caracteres. En muchos casos, en la actualidad, los caracteres provienen de secuencias de ADN. Si uno de ellos aparece solamente una vez en el cladograma, es una homología verdadera. Los grupos en el cladograma que contienen a todos los descendientes de un ancestro común son llamados monofiléticos o clades.

En el diagrama de la izquierda, de acuerdo al principio de parsimonia, identificamos que el carácter 5 no es una homología que haga a las especies A y B un grupo monofilético, porque la alternativa de B y C está sustentada por más caracteres, 3 y 4.

# Coevolución

- Dos eventos de vital importancia para las plantas, son la *polinización* y la *dispersión*. A través de ellos, consiguen mover su carga genética por distancias significativas. De esa manera, crean una barrera contra la autofecundación, que tiene más chance de suceder cuando se fecundan individuos que están cercanos, con alta chance de ser consanguíneos.
- En la escala del *tiempo evolutivo*, el de la vida sobre el planeta tierra a lo largo de millones de años, las plantas con flores han luchado por consolidar alianzas con vectores del reino animal, para que las ayuden en este menester. Y en esa escala de tiempo, especies de plantas y animales han ajustado sus morfologías y comportamientos, llegando, en algunos casos, a una gran especificidad mutua, mediante un mecanismo de *coevolución*. Mucho del gran despliegue de formas, tamaños, colores, fragancias y otras características de flores y frutos, pueden solamente ser comprendidas a la luz del concepto mencionado.

Algunas morfologías florales asociadas a vectores de polinización específicos.

A-C En un *Solanum*, una abeja se prende de las anteras y vibra, consiguiendo la salida de polen, que recubre su cuerpo.

D-G Las flores de la familia Rubiáceas suelen ser polinizadas por mariposas, que poseen un aparato bucal con una larga proboscis o sorbete, que introducen en las flores con corolas tubulares y estrechas.

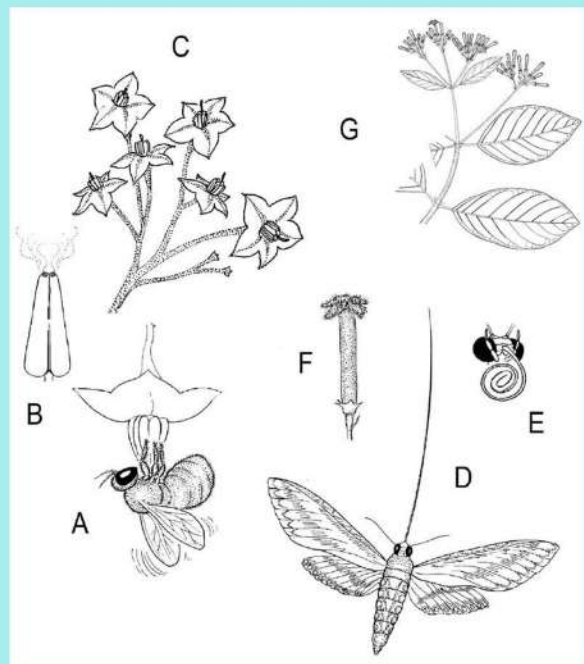


Foto: Moisés Cavero B.



Los picaflores son únicos en su habilidad para polinizar flores cuya corola abre hacia abajo, como es el caso de la flor nacional del Perú, *Cantua buxifolia*.

## Las Leguminosas y la actualización de su taxonomía

- Grupo botánico de gran importancia, con un enorme número de especies, muchas de ellas con uso económico (alimenticias como los Frijoles, Habas, Pallares, Arvejas, etc.; maderas como el Tornillo, Estoraque, Ishpingo, Huayruros, Shihuahuacos; taninos como la Tara; medicinales como la Copaiba, etc.). Pero tal vez su capacidad más importante, y ausente en otros grupos de plantas, es la de fijar nitrógeno en el suelo mediante sus nódulos radiculares, lo que las convierte en abonadoras y recuperadoras naturales de los suelos y ecosistemas.
- Es considerada por muchos taxónomos como una familia, Fabáceas, nombre basado en el primer género descrito para la familia, y que le corresponde de acuerdo a las estrictas normas nomenclaturales. Leguminosas, un nombre anterior a Linneo, es también aceptado como alternativo válido por la nomenclatura.
- La familia estuvo tradicionalmente dividida en tres subfamilias, Caesalpinoídeas, Mimosoídeas y Papilionoídeas. La reciente integración de información de ADN y morfología ha permitido precisar 6 subfamilias dentro de este grupo, de las cuales hay 5 en el Perú, Cercidoideae (ejm. *Bauhinia*), Dialoideae (ejm. *Dialium*), Detarioideae (ejm. *Hymenaea*), Caesalpinioideae (ejm. *Tara*), y Papilionoideae (ejm. *Lupinus*). La subfamilia Mimosoideae (ejm. *Inga*) es, a la luz de esta información, una clade dentro de las Caesalpinioideae. Estas últimas han sido divididas en cinco grupos.
- Cambios nomenclaturales adicionales han sido la desagregación de *Prosopis* (Algarrobos) en varios géneros, así como la de *Acacia* en dos géneros, lo que ha ocasionado que muchas de sus especies queden actualmente bajo los nombres *Senegalia* y *Vachellia*.

Izq. a Der. y arriba a abajo:  
Muchas Leguminosas son ornamentales, como la Ponciana (*Delonix*); las hay alimenticias y recuperadoras del suelo (*Inga*, *Erythrina*).



*Neltuma pallida* (sinónimo: *Prosopis pallida*) y *Vachellia macracantha* (sinón. *Acacia macracantha*) ilustran cambios de nomenclatura producidos por estudios de ADN integrados a la morfología. El diverso grupo de los *Lupinus*,





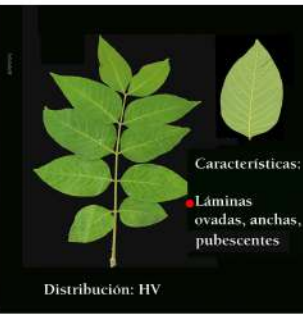


el Tarwi o Chochos, es una muestra de los cultivos alimenticios domesticados en el Ande.

# Las especies peruanas de Cedros (*Cedrela* spp.) y su potencial

## (1) Especies de la Costa, el Ande y la Amazonía andina

- El Perú es el centro mundial de diversidad de especies de *Cedrela*. Los árboles de Cedros constituyen uno de los recursos maderables más cotizados del neotrópico. De un total de 17 especies, 10 existen en nuestro territorio.
- Entre la Costa, el Ande y la Amazonía andina, existen 7 especies, ocupando pisos altitudinales hasta los 3000 msnm. Al menos 5 de las especies mencionadas están adaptadas a formaciones de bosques secos o semisecos. Esto abre una gran posibilidad para la reforestación con retornos económicos, cara al Cambio Climático Global y las tendencias a la desecación.
- Dos de las especies están actualmente en grave peligro de extinción.

S= Especies adaptadas a ambientes secos E= Especies endémicas del Perú V= Especies en situación vulnerable

<p><b>S, E, V</b></p> <p><i>Cedrela molinensis</i></p>  <p>Distribución: LÁ, PI</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterizada por sus frutos de gran tamaño</li> </ul>	<p><b>S</b></p> <p><i>Cedrela angustifolia</i> (= lilloi)</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Láminas con acumen prolongado</li> <li>• Sin mechones de pelos en la axila de nervios por el envés</li> </ul> <p>Distribución: Toda la Sierra y Ceja de</p>	<p><b>S</b></p> <p><i>Cedrela kuelapensis</i></p>  <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Láminas ovadas, anchas, sin pelos</li> </ul> <p>Distribución: AM, CA, LL</p>	<p><b>S</b></p> <p><i>Cedrela montana</i></p> <p>Característica:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Láminas con acumen prolongado</li> <li>• Con mechones de pelos en la axila de nervios por el envés</li> </ul> <p>Distribución: AM, CA, JU, PA, SM,</p>
<p><i>Cedrela nebulosa</i></p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hojas sin pelos, con gran número de láminas</li> </ul> <p>Distribución: AM, CA, JU, SM</p>	<p><b>S, V</b></p> <p><i>Cedrela weberbaueri</i></p>  <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Láminas ovadas, anchas, pubescentes</li> </ul> <p>Distribución: HV</p>	<p><i>Cedrela saltensis</i></p>  <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Láminas ovadas, anchas, pubescencia blanquecina</li> </ul>	 <p>1 Láminas con Domatios en la axila de los nervios: muy pequeñas estructuras como bolsillos.</p> <p>2 Láminas con pelos en la axila de los nervios. Carácter de <i>Cedrela montana</i> (ver con 10x)</p> <p>Caracteres que deben verse con lupa de 10x.</p> <p>Se observan en el reverso (envés) de las láminas foliares.</p>

# Las especies peruanas de Cedros (*Cedrela* spp.) y su potencial

## (2) Especies de la llanura de la Amazonía

- Contrariamente a idea generalizada, la mayor diversidad de especies de *Cedrela* se concentra en el Ande y la Amazonía andina (7 especies). Las especies propias de la llanura de la Amazonía en el Perú son solamente tres; algunas de ellas pueden alcanzar la altitud de los bosques premontanos (unos 1000 msnm).
- En este ámbito, la más importante especie maderable es *Cedrela odorata*, extensamente distribuida en la llanura amazónica.
- Este grupo tan importante de especies, es una muestra de las carencias existentes en investigación básica. Si consideramos la *tecnología de la madera*, la *propagación* y la *sanidad*, solamente 4 de las 10 especies existentes en el Perú han sido investigadas. Constituyen una prioridad inmediata para la investigación forestal.

*Cedrela odorata*, la especie Amazónica, se adapta también en la Costa, por lo cual representa un potencial para la forestación en los valles costeros.

Su distribución alcanza Centroamérica y el Caribe.

Seis especies de *Cedrela* peruanas no han sido investigadas desde el punto de vista de las propiedades de su madera, la propagación y manejo en vivero, y su resistencia a la plaga del insecto barrenador del brote, *Hypsipyla grandella*.

Foto: Wikipedia



La madera de *Cedrela* procedente de la llanura de la Amazonía es una de las dos más cotizadas a nivel nacional



Foto: Hugo Carrillo V.



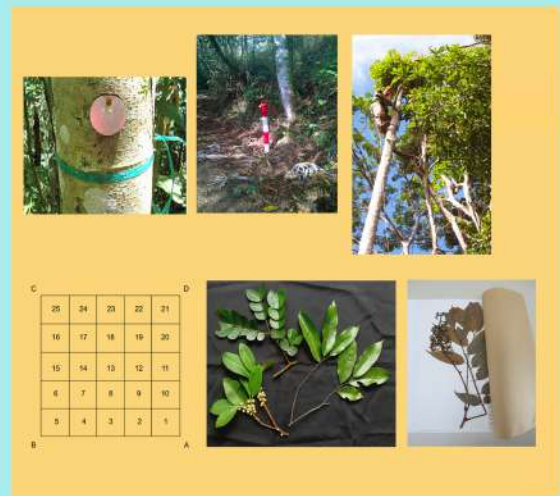
4

**Endemismos y  
distribuciones  
especiales**

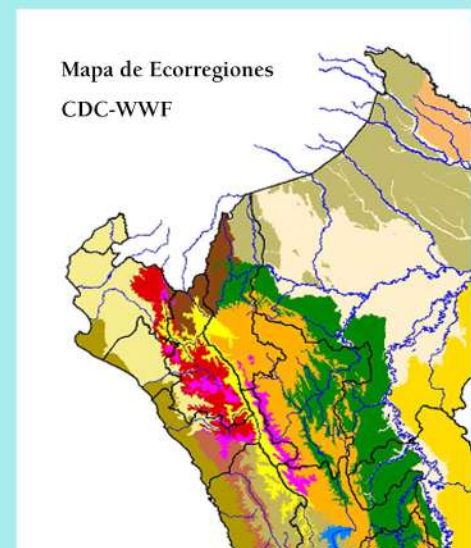
# Tres niveles de biodiversidad

- Una definición general de biodiversidad (BD) la refiere como la sumatoria de la variedad o diversidad viviente en el nivel genético, el de especies, de comunidades y de sistemas ecológicos.
- Cuando nos referimos coloquialmente a la BD, aludimos frecuentemente al número de especies presentes en un ámbito. Un primer nivel de diversidad, llamado **Diversidad Alfa** ( $D\alpha$ ), es el número de especies de determinado grupo de organismos existente en una comunidad única y uniforme.
- Un segundo nivel de análisis corresponde a la **Diversidad Beta** ( $D\beta$ ), representada por el número de comunidades diferenciadas, existentes en un ámbito dado.
- Finalmente, una tercera acepción de este término es la **Diversidad Gama** ( $D\gamma$ ), que corresponde al número total de especies de todas las comunidades existentes en un área geográfica mayor, tal como una ecorregión.

Mediante el establecimiento de Unidades de Muestra (UM) apropiadas, podemos cuantificar la Diversidad Alfa ( $D\alpha$ ) arbórea existente en una formación vegetal, como los bosques megadiversos de la llanura de Amazonía. La cantidad de especies es tan alta, que se precisan UM de gran tamaño, 1 ha (ej. 100 x 100 m) en las que todos los árboles son placados y colectados para poder identificarlos.



Algunos ámbitos, como el cuadrante nor-occidental del Perú, se caracterizan por tener una elevada Diversidad Beta, aunque la Diversidad Alfa no es necesariamente alta.



## La distribución de especies no es uniforme en el territorio peruano - en muchos casos está caracterizada por endemismos

- Hasta los años 1980s, resultado de la escasez de información, se asumía que la distribución de una especie, en cada una de las tres regiones naturales del país, era normalmente extendida y homogénea.
- Desde la década de 1990 en adelante, muchos datos se han añadido a la distribución de las especies de flora y fauna en el Perú. Recordemos en ese sentido el intenso trabajo del CDC UNALM, el Jardín Botánico de Missouri y muchas otras instituciones que han sumado a ir completando información.
- Ahora sabemos que muchas especies tienen distribuciones confinadas a ámbitos más localizados. Por la razón mencionada, es erróneo tratar la distribución de especies como si todas tuvieran una distribución extendida. Un ejemplo de este error son los listados de dos columnas, que pretenden que un nombre común, tal como el asignado a los árboles en una localización, pueda traducirse en nombres específicos. Ver la solución a este dilema en la lámina *Una estrategia para el avance en la identificación de los árboles del Perú*



Fuente: Roncal et al., incl. Millán, B. y Kahn, F. 2015

Arriba: las distribuciones de algunos taxones pueden estar muy localizadas en el territorio

El trabajo de muchas instituciones ha aportado al conocimiento de la distribución de especies a partir de los años 1990s

**ESPECIES DE Cedrela (CEDROS) DEL PERÚ**  
Tercio Norte del Perú

Sierra y Ceja de selva

<i>Cedrela angustifolia</i>	<i>Cedrela kuelapensis</i>	<i>Cedrela montana</i>	<i>Cedrela nebulosa</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hojas de parte mediana o grande. Cortes agitados.</li> <li>• Hojas con 7-8 pares de láminas.</li> <li>• Láminas oblongas a lanceoladas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Láminas con forma ovada, con peciolo y base en el ápice.</li> <li>• Hojas con 7-8 pares de láminas.</li> <li>• Láminas ovadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hojas de parte mediana o grande. Cortes agitados.</li> <li>• Hojas con 10-12 pares de láminas.</li> <li>• Láminas oblongas a lanceoladas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Láminas de parte mediana o grande. Cortes agitados.</li> <li>• Hojas con 8-12 pares de láminas.</li> <li>• Láminas oblongas a lanceoladas.</li> </ul>

Especies de *Cedrela* del tercio norte del Perú

**ESPECIES DE Cedrela (CEDROS) DEL PERÚ**  
Departamentos: Madre de Dios, Huánuco

Características diferenciales

<i>Cedrela odorata</i>	<i>Cedrela fissalis</i>	<i>Cedrela longipetiolulata</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Láminas con forma oblonga a ovada, y sin abarcar más que el ápice (1/4).</li> <li>• Hojas con 8-10 pares de láminas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Láminas con forma oblonga a ovada, y abarcan más que el ápice.</li> <li>• Hojas con 10-12 pares de láminas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Láminas con forma oblonga, y de color blanco o blanquecino por el envés.</li> <li>• Hojas con 10-12 pares de láminas.</li> </ul>

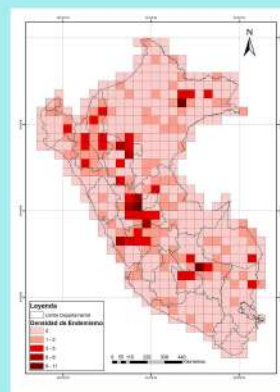
Especies de *Cedrela* del tercio sur del Perú

Derecha: un claro ejemplo de lo mencionado es el de las especies de *Cedrela*, caracterizadas por su distribución localizada

## Áreas de concentración de especies endémicas en el Perú

- En la perspectiva de la conservación, la detección de áreas en las cuales existen concentraciones de organismos únicos, es una prioridad. Varios estudios se han enfocado en este particular.
- En el Perú, el ámbito de los Bosques Montanos Nublados, tanto en la vertiente oriental como occidental de los Andes, es significativamente rico en especies únicas. También, formaciones fragmentadas en un pasado remoto, como las lomas y bosques relictuales de la vertiente occidental, son notables por su contenido de especies únicas.
- Dado que el Perú es un país vasto y no completamente explorado, la detección de áreas con altos contenidos de endemismos es una tarea que continúa en el presente.
- Valles aislados y geológicamente antiguos, como el Marañón y el Colca-Cotahuasi, tienen también elevados contenidos de endemismos, aunque no hay estudios integrativos que aclaren con precisión la dimensión de estos aspectos.

Los Bosques Montanos Nublados de la vertiente oriental de los Andes albergan altas cantidades de endemismos. A la derecha, un mapa de la distribución de endemismos arbóreos en el Perú, en tonos de rojo, y a su lado, uno de endemismos de la flora peruana.



Fuente: Young, B. (Ed.)

Las formaciones de Lomas costeras, distribuidas a manera de islas y nutridas por la niebla, también contienen muchas especies endémicas.



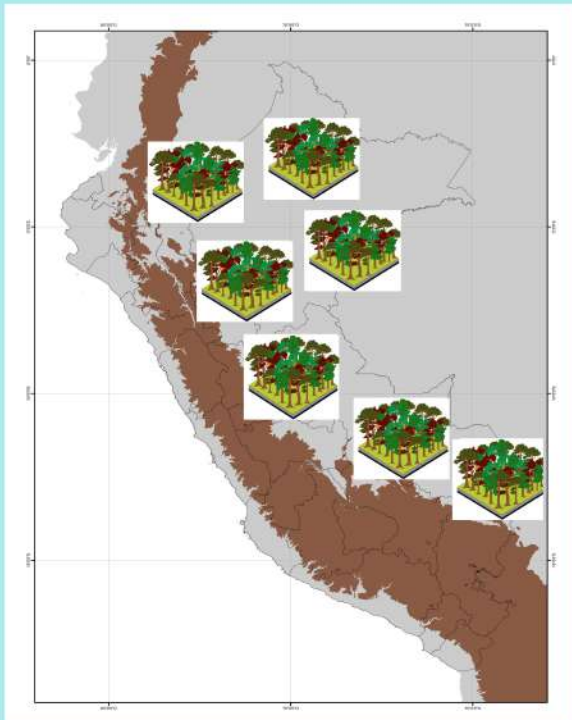
Foto: Humberto Zelada G.



Valles antiguos y aislados, como el del Marañón, albergan gran cantidad de especies endémicas.

# Una estrategia para el avance en la identificación de los árboles del Perú

- Dado que la distribución de las especies arbóreas en el país no es extendida, sino localizada en ámbitos reducidos, el establecimiento de Parcelas Permanentes (PP) (anteriormente llamadas arboretos) en diferentes ámbitos, es una clave para el correcto avance en la identificación de las especies.
- Un buen ejemplo de lo mencionado es el trabajo llevado a cabo en el arboreto de Jenaro Herrera, donde se ha efectuado colecciones de árboles marcados obteniendo secuencialmente hojas, flores y frutos, lográndose la identificación positiva, y el descubrimiento de muchas especies nuevas en este ámbito
- Los lineamientos originales de los Planes Generales de Manejo Forestal, hacían necesario el establecimiento de una PP de 1 ha. en una zona representativa de cada Concesión Forestal Maderable.
- La red RAINFOR, en conjunción con el Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM, tiene establecidas al presente más de 90 PP en el territorio del Perú. Constituyen un valioso avance en el sentido mencionado.
- Las PP permiten generar, de manera asociada, metadatos sobre la fenología, ubicación de árboles semilleros, etc. Es ideal la integración de todos los datos en una plataforma única y de acceso libre.
- Lo mencionado no debe restringir la continuidad de la exploración botánica del territorio peruano.



Redes de Parcelas Permanentes darán solución al problema de la identificación de las especies arbóreas del Perú, cuya distribución se caracteriza por ser localizada, y no extendida en el territorio.

Abajo: Labores usuales en el establecimiento de PP: placado de los árboles, ubicación precisa, y colección botánica reiterativa.

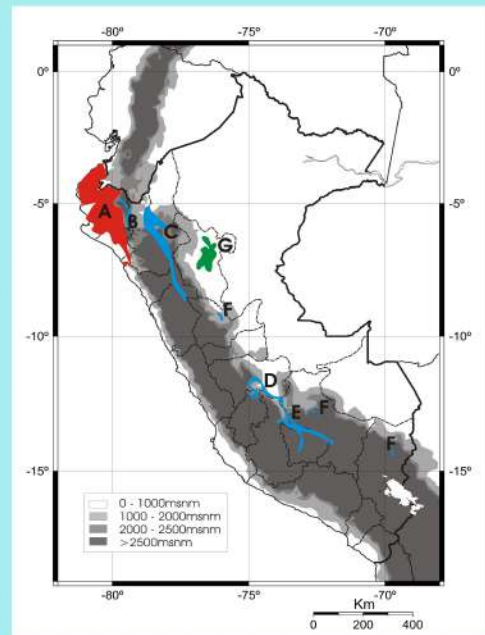


## ¿Un bosque seco, o varios bosques secos?

- El concepto de *bosque seco*, definido por su fisionomía rala y su escasa dotación de lluvia, había sido empleado de manera irrestricta en el Perú, hasta que el estudio de los ensamblajes de flora presentes, reveló la existencia de varios tipos de bosques diferenciados.
- Los bosques secos del noroeste, con predominio de Algarrobos (ahora correspondientes al género *Neltuma*), son muy diferentes a los del Marañón, el Apurímac y Tarapoto, puesto que las especies son otras, así como sus características edáficas.

Especies como Algarrobos (*Neltuma pallida*) o Tara (*Tara spinosa*) son característicamente predominantes en algunos bosques secos.

El mapa de la derecha muestra bosques secos muy parecidos en su fisionomía, pero diferenciados en su flora, al igual que las fotos de abajo.



## Ecosistemas alóctonos

- El concepto de *alóctono* es opuesto a *autóctono* (lo que es nativo de un lugar), y se utiliza para referirse a sistemas ecológicos en los cuales los insumos principales para el mantenimiento del sistema proceden de lugares lejanos.
- Un buen ejemplo de ecosistemas alóctonos son aquellos que dependen de la humedad de la niebla, como es el caso de los Bosques Montanos Nublados (BMN). Ellos se caracterizan por una alta presencia de plantas *epífitas* (plantas que crecen sobre otras). Nuestro esfuerzo por conservar estos ambientes rara vez ha incluido el análisis de los aportadores de los insumos que los mantienen. La protección podría ser muy estricta hacia el interior del área, pero si no se da la conservación de las áreas que son cruciales como aportadoras de insumos vitales, el declive del sistema viviente en el largo plazo será inevitable.

Plantas epífitas, como las bromelias, son uno de los alimentos predilectos del Oso de anteojos.



A la derecha se observa un comedero del Oso en el BMN Puyu Sacha, en la selva central del Perú. La niebla es un insumo vital para estos ecosistemas, en los cuales son característicos los árboles con una gran carga de epífitas. En algunos árboles de gran tamaño se ha cuantificado más de mil especies diferentes de epífitas.



Foto del oso © TeleAmazonas



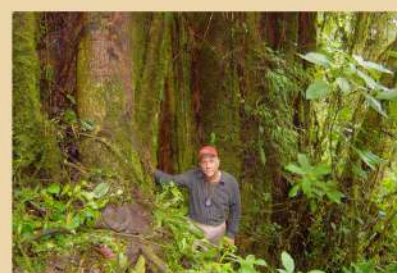
Otros ejemplos de ecosistemas alóctonos son las lomas costeras, y también los ecosistemas dulceacuícolas que dependen de sedimentos ricos en nutrientes, producidos en las tierras altas.

## Especies clave (Especies piedra angular) en un ecosistema

- Este concepto fue desarrollado a raíz de estudios enfocados en primates y sus árboles alimenticios, en el Parque Nacional del Manu.
- El hallazgo es que árboles de algunas especies producen toneladas de fruta, constituyendo auténticos “supermercados”, que mantienen una cadena trófica de muchos animales, desde aquellos que consumen la fruta en la copa, hasta los que la toman cuando cae al suelo, y aun cuando se descompone. Especies como *Ficus* colosales, palmeras y otras, se suceden a lo largo del tiempo conformando una despensa clave para el ecosistema.
- La destrucción de estas especies, que muchas veces son las más valoradas comercialmente por su tamaño, ocasiona daños irreparables para la fauna asociada. También para la flora, que muchas veces depende de los animales para su dispersión y polinización.



Arboles colosales de *Ficus* en el bosque montano nublado Puyu Sacha (valle de Chanchamayo), donde existen al menos tres especies diferentes de este género. Cargados de epífitas, algunos *Ficus* en esta localización alcanzan más de 3 m de diámetro. Conjuntos de animales dependen de la producción de biomasa comestible de éstos. Pero el concepto de *Especie clave* se extiende a más funciones, como espacios para anidamiento y refugio.



## Biogeografía de las islas

- El estudio de los procesos biológicos que suceden en islas, ha enriquecido los conocimientos ecológicos y de la biología de la conservación.
- Un primer nivel de estos procesos se relaciona a lo que sucede en conjuntos de islas a lo largo del tiempo evolutivo. En esa escala, la adaptación y cambios en las poblaciones que arribaron desde tierra firme, puede conducir a la formación de especies diferenciadas, como observó Charles Darwin para el caso de aves (Pinzones) en el archipiélago de las islas Galápagos.
- En un segundo nivel, de tiempos relativamente más cortos, se observa que la tasa de extinción de especies en islas se hace mayor cuando ellas son más pequeñas. Este hallazgo ha servido para comprender la gravedad de la destrucción de los bosques cuando son arrasados y fragmentados por el ser humano.
- Una alternativa ante la fragmentación de los bosques, y la extinción que se produce subsecuentemente en los fragmentos, es la recuperación de la conectividad entre ellos, por medio de corredores biológicos.



En la escala del tiempo evolutivo, el retículo de la cordillera de los Andes, lleno espacios con condiciones distintas, ha actuado como un archipiélago en el cual poblaciones de seres vivos se establecieron y diferenciaron.

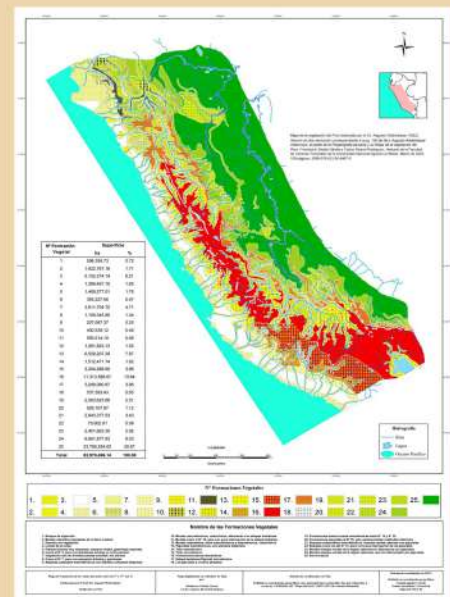
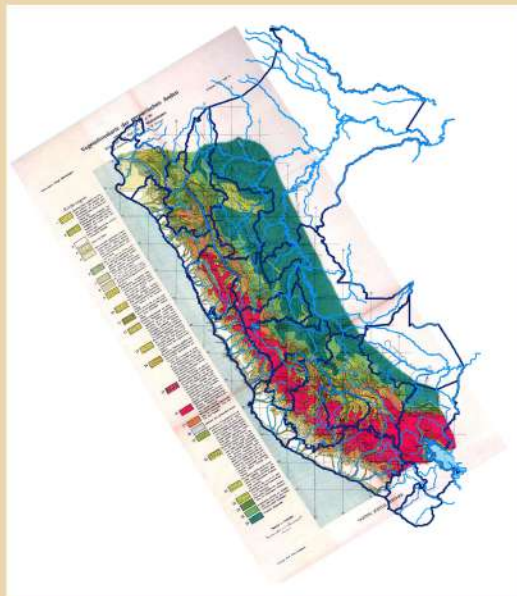


El actual arrasamiento y fragmentación de los bosques, promueve la extinción de especies en los fragmentos pequeños. Se busca establecer corredores biológicos entre fragmentos para revertir este efecto.

## Augusto Weberbauer y su mapa de la vegetación del Perú (1922)

- Weberbauer arribó desde Alemania al Perú en el año 1901, enviado por su profesor A. Engler, líder de la escuela botánica alemana, quien dirigía el Herbario de Berlín, entonces el más grande del mundo.
- Afortunadamente, en su momento ya existía un mapa base de excelente calidad para el territorio peruano, lo que le permitió un registro muy exacto de la vegetación.
- Weberbauer transectó los Andes partiendo de la Costa, mediante 49 líneas, sumando 39,000 Km de recorridos, registrando distancias y tipos de formaciones vegetales.
- El mapa de Weberbauer, publicado en 1922, ha sido digitalizado y compensado, lo cual permite una comparación del estado de la vegetación entre ese momento y la actualidad.

Una auténtica joya cartográfica, este mapa elaborado en 1922 por un botánico y fitogeógrafo experto, que buscó una total exactitud en su trabajo



Weberbauer es también conocido por otra obra monumental, su libro *El Mundo Vegetal de los Andes peruanos* (1945)

5

# Evaluación de la diversidad biológica

# Ciencia e investigación en biodiversidad

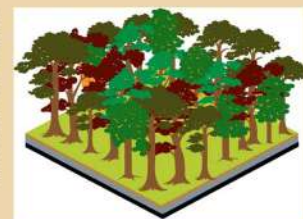
## Consideraciones y fundamentos

- El marco de trabajo fundamental de ambas lo constituye el *pensamiento lógico*. Como recordamos, la lógica es la rama del conocimiento que analiza los razonamientos correctos e incorrectos. Entre otros, uno de sus focos de análisis es *la falacia*, el razonamiento que superficialmente parece correcto, pero en realidad no lo es.
- En el contexto mencionado, son propiedades fundamentales de la investigación científica, la *replicabilidad* y la *verificabilidad*.
- Existen dos vías procedimentales para desarrollar nuestra investigación. La primera es la *deducción*, por la cual partiendo de premisas lógicas y de definiciones claras de las realidades a estudiar, arribamos a conclusiones categóricas. La segunda es la *inducción*, en la cual mediante la toma de un número de muestras de un universo dado, y su análisis, inferimos propiedades de éste, con ciertos márgenes de confianza. Ambas vías son igualmente válidas.
- La ciencia cuyo objeto de estudio es la ciencia, con sus posibilidades, propiedades y limitaciones, es la *epistemología*.

Uno de los ejes fundamentales en la investigación científica sobre biodiversidad, es la producción de especímenes que permitan la verificabilidad de las identidades de las especies. Depositarios como Herbarios, y colecciones en museos, aseguran dicho estándar de calidad científica.



Es frecuente en los estudios sobre diversidad biológica, la necesidad de resolver preguntas sobre universos que son complejos, como los ecosistemas de los bosques



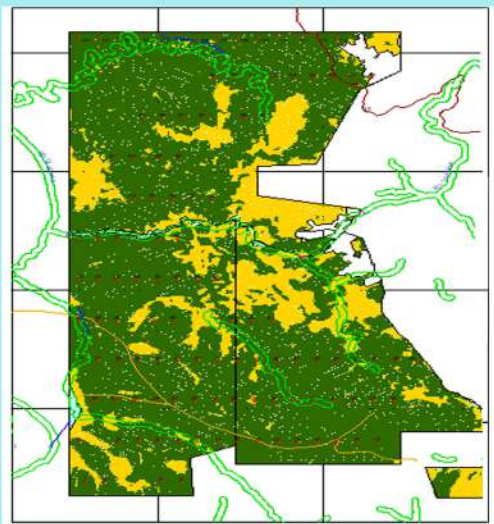
tropicales. El levantamiento de Unidades de Muestra, tales como Parcelas Permanentes, permiten, mediante una estadística apropiada, lograr inferencias satisfactorias sobre las propiedades de estos ecosistemas complejos.

## La vegetación arbórea y leñosa como estructura fundamental en los ecosistemas forestales

- Las plantas arbóreas y leñosas constituyen la estructura usualmente empleada para la definición de las formaciones boscosas, y para su mapeo. Ellas conforman el soporte en el cual muchas otras especies se albergan. La riqueza estructural de esta vegetación suele guardar relación con la Diversidad ( $D\alpha$ ) de otros grupos de organismos.
- Adicionalmente, son un componente captado de manera inmediata en la aerofotografía y las imágenes satelitales, lo cual determina que en la actualidad constituyan el referente para la determinación y clasificación de los espacios forestales.

La estructura de las plantas leñosas determina espacios que son ocupados por un sinnúmero de organismos, como las especies epífitas (derecha).

El mapeo de las formaciones naturales está usualmente basado en las características de la vegetación forestal. El uso de tecnologías actuales como la percepción remota (imágenes satelitales) y drones, la facilita.



# Evaluación de la Diversidad Alfa

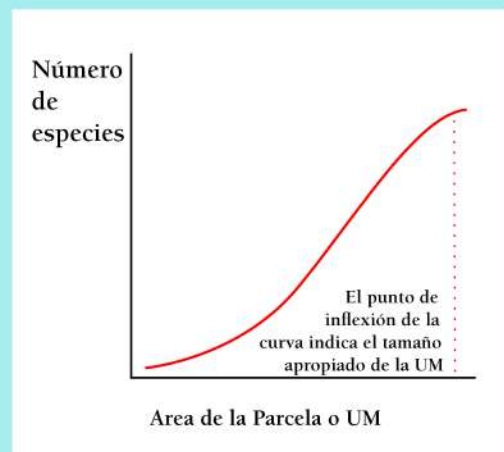
## (1) Unidad de Muestra

- Cuando evaluamos la cantidad de especies de determinado grupo de organismos, existente en un área dada, nuestra primera consideración tiene que ver con las características de la Unidad de Muestra (UM) que vamos a emplear. Ella debe tener la capacidad de reflejar la existencia de especies sin subestimar su cantidad.
- El criterio estadístico en el que nos basamos para determinar su tamaño, es el comportamiento de la llamada *curva especies-área*, o *curva de acumulación de especies*, que inflexiona en el punto en que ya no se añade un número significativo de nuevos registros de especies a la UM.

Si estamos levantando una UM como una parcela de muestreo, en la medida que hacemos mayor el área de la parcela, el número de especies que registramos aumenta. Esto sucede hasta llegar al punto de inflexión de la curva especies-área, que nos indica que el tamaño de la UM es apropiado.

Este criterio, mostrado para una parcela establecida en el terreno, es el mismo para otros tipos de UM, como registros de cantos de aves, visualizaciones de animales, etc.

El concepto de UM implica eso, una unidad, por lo cual las UM no pueden ser desagregadas. En el caso de Parcelas Permanentes o Transectos establecidos para el muestreo de la Diversidad Alfa ( $D\alpha$ ) arbórea, se prefieren formas de Parcelas que sean prácticas, como cuadrados o rectángulos, para lograr un levantamiento fácil y preciso en el campo.

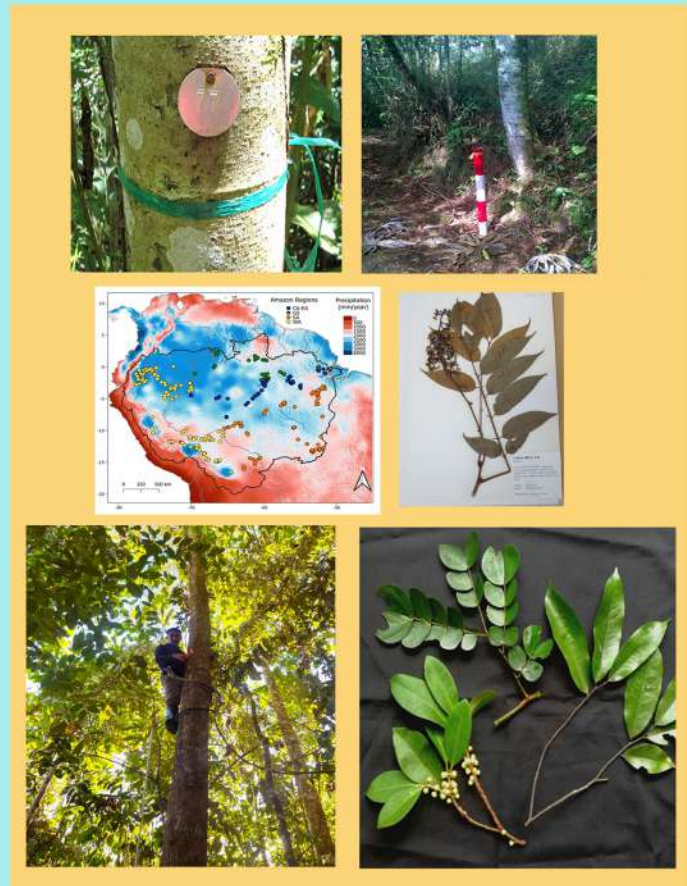


## Parcelas Permanentes (PP) y evaluación de la diversidad arbórea

- A mediados de los años 1970s, se estableció el *Arboretum* de Jenaro Herrera, en bosques de la llanura Amazónica del Dpto. de Loreto, pues las primeras investigaciones orientadas a un manejo forestal sostenible, reconocieron la identificación de las especies arbóreas como una prioridad por resolver.
- El Arboretum está conformado por parcelas de 1 hectárea (100 x 100 m); al interior de ellas todos los árboles  $\geq 10$  cm DAP son marcados. Este tamaño de parcelas asegura la representatividad apropiada de la diversidad de especies. Los árboles fueron monitoreados por más de una década para coleccionar sus hojas, flores y frutos. Muchas especies nuevas fueron descritas.
- Con el paso del tiempo, estas áreas se han convertido en Parcelas Permanentes (PP), en las cuales se estudia no solamente la botánica y Diversidad (D $\alpha$ ) de las especies, sino también los cambios que suceden en el bosque con el paso del tiempo, es decir la *dinámica forestal*.

La metodología de PP está basada en el placado y seguimiento de los árboles a lo largo del tiempo. Permite la identificación positiva de las especies, y el estudio de los cambios y tendencias del bosque en el tiempo.

Actualmente, hay establecidas redes que agrupan a Herbarios e instituciones de varios países, con el objetivo de cubrir áreas extensas con PP levantadas con una metodología validada. Tal es el caso de la red RAINFOR, que reúne información de PP de países de suramérica, y la actualiza en línea.



# Evaluación de la diversidad arbórea (D $\alpha$ ) metodología de Transectos Gentry

- Concebida por el botánico y estudioso de la diversidad arbórea peruana, Dr. A. Gentry, en conjunción con estadísticos.
- Consiste en la colección y registro, a lo largo de una línea de 2 x 500 m, de todas las plantas con DAP  $\geq 2.5$  cm.

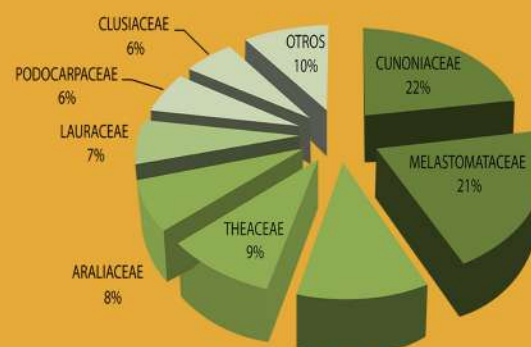
Es práctica en el campo, y en zonas de la llanura amazónica permite el levantamiento de 3 o más unidades de muestra por día.

- La ventaja es que incluye también las plantas del sotobosque, que pueden ser importantes por sus productos diferentes de la madera. La desventaja es que las plantas no quedan placadas.



Todas las plantas mayores a 2.5 cm DAP son registradas y colectadas

Permite la evaluación rápida de localizaciones con alta Diversidad Alfa

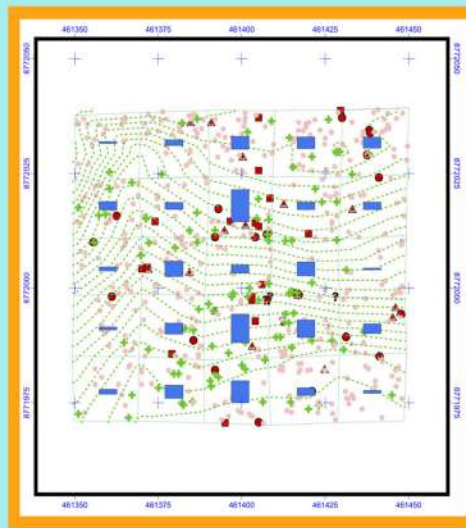


# Dinámica Forestal

- Es el estudio de los cambios y tendencias del bosque en el tiempo
- Podemos estudiarla mediante el establecimiento de Parcelas Permanentes, y el registro de parámetros de los árboles, tales como la mortalidad, el crecimiento y el recambio de especies, cada cierto tiempo.
- El estudio de la dinámica forestal nos informa sobre el futuro posible de los bosques.

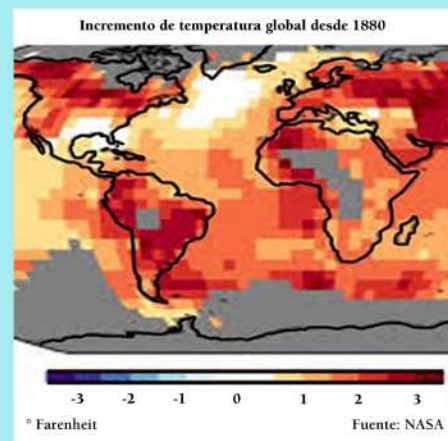
Para la llanura de Amazonía, son apropiadas Parcelas Permanentes de 1 ha. (arriba), en las que se incluye todos los árboles  $\geq 10$  cm DAP. En dichas PP todos los árboles son posicionados, placados y colectados para su identificación. Las remediciones de las PP permiten registrar los cambios que suceden en la *mortalidad*, *crecimiento* y *reclutamiento*; esto último se refiere a los árboles que van alcanzando el diámetro mínimo considerado, y por ello son incluidos en la PP con el paso del tiempo.

25	24	23	22	21
16	17	18	19	20
15	14	13	12	11
6	7	8	9	10
5	4	3	2	1



Para el caso de bosques secos, PP más pequeñas pueden ser suficientes, pues ellos son menos diversos y los árboles son más pequeños.

El incremento de la lluvia o la sequía puede percibirse desde el registro del crecimiento de los árboles, al igual que otras tendencias, como el enriquecimiento del bosque con especies valiosas, o su empobrecimiento.



## Cuánto demora en recuperarse la diversidad del bosque luego que es arrasado

- Estudios conducidos en la selva central del Perú muestran hallazgos importantes en este tema. El primero de ellos es confirmar que la vegetación secundaria que surge luego de la destrucción, es propia de cada tipo de bosque. Asimismo, como es conocido, la tala con quema del bosque hace que la recuperación se vuelva significativamente más lenta que aquella sin quema.
- Para los bosques estudiados, se halló que a partir de los 30 años luego de la destrucción, la diversidad de especies arbóreas se aproxima en un 70% a la de bosques maduros, y luego de los 40 años, ésta se hace similar.

Hay pocos estudios para el Perú sobre los tiempos de recomposición de la diversidad arbórea en los bosques de la Amazonía.



El arrasamiento sumado a quemas, práctica común para obtener más tierra agrícola, es el más destructivo, pues ocasiona impactos de difícil reversión en el suelo.



Es necesario que se produzca una secuencia definida de ensamblajes de especies, la *sucesión vegetal*, a lo largo de la cual se va alcanzando la recuperación del suelo, y el ingreso de las especies propias del bosque maduro.

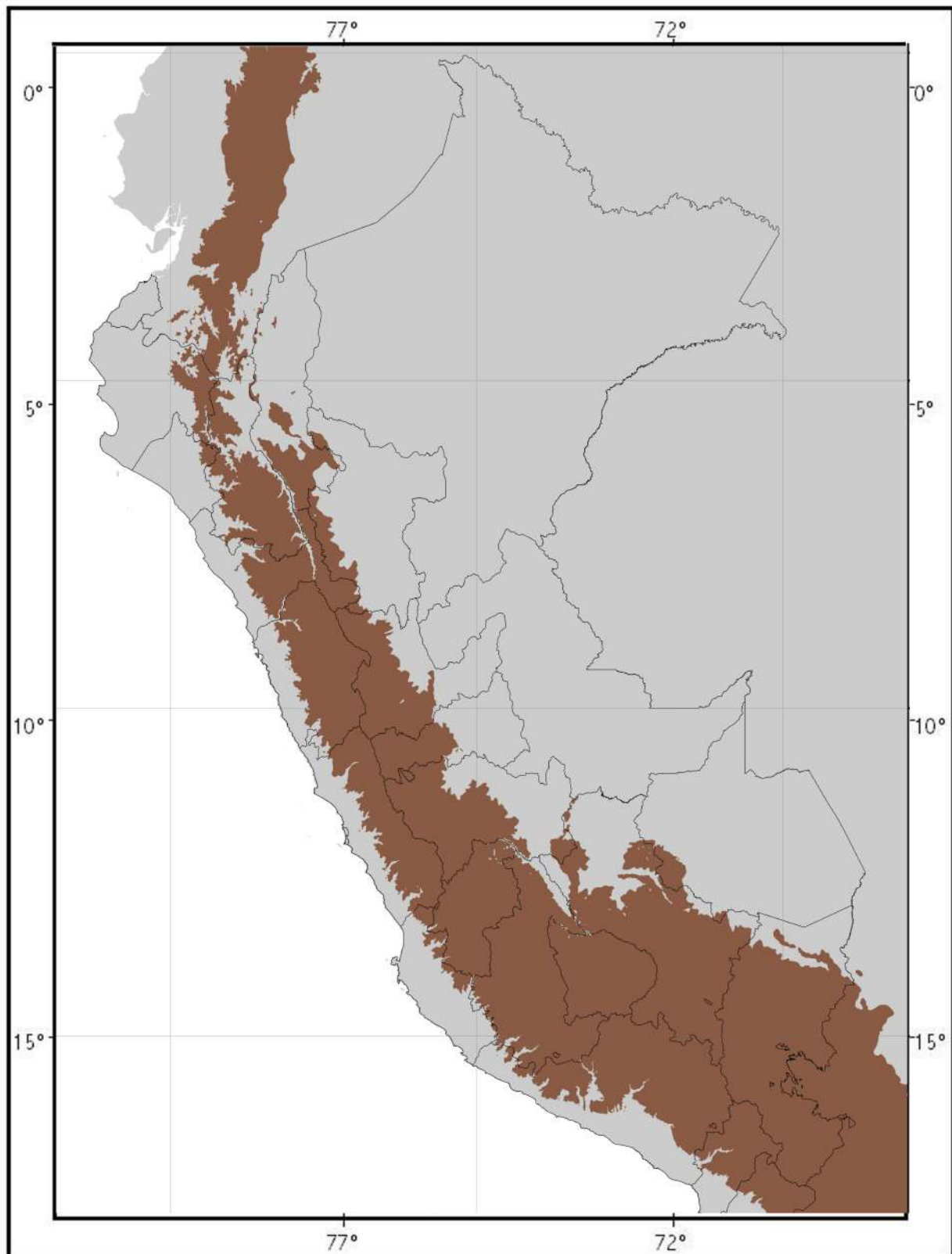


6

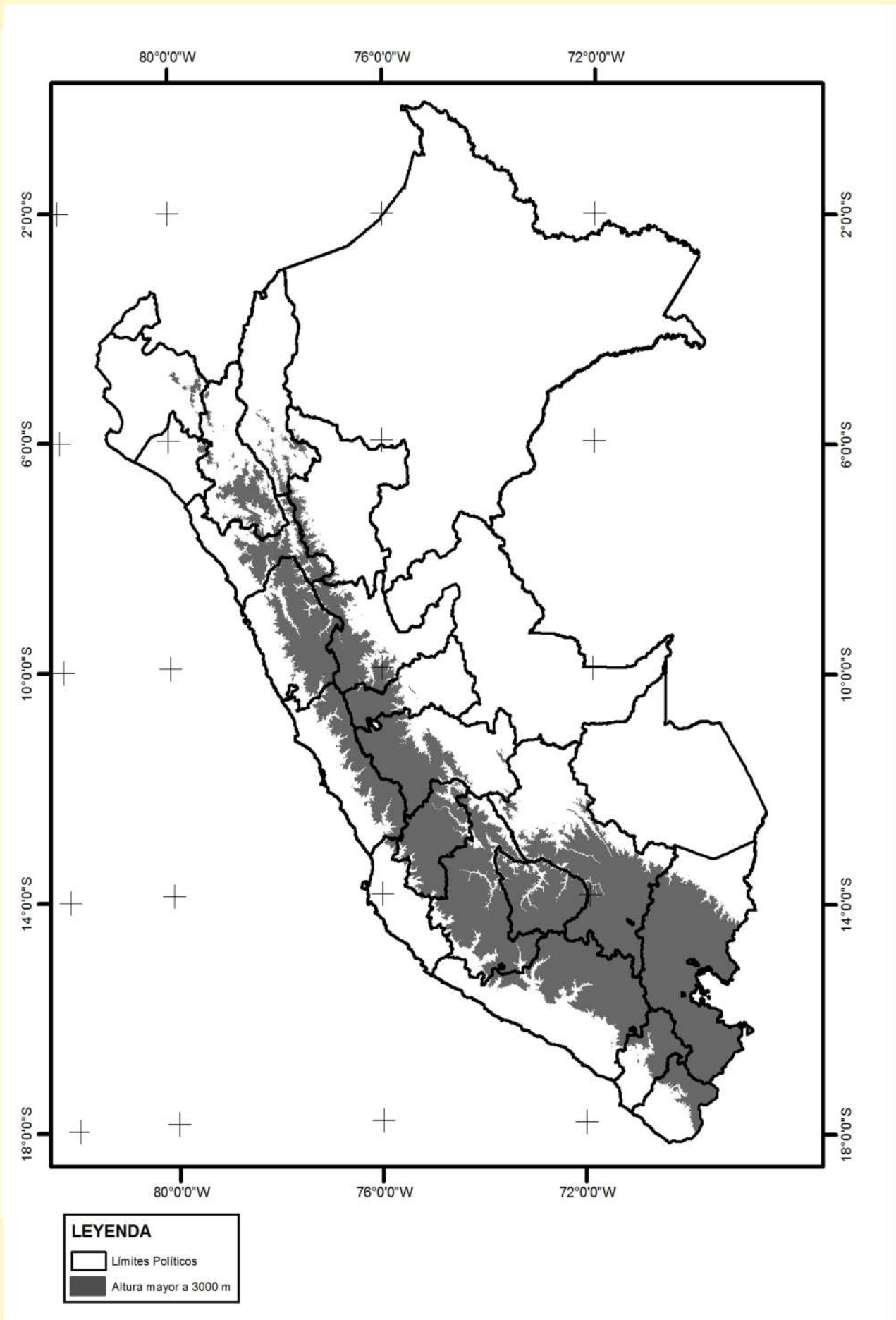
Perú

**Mapas temáticos  
complementarios**

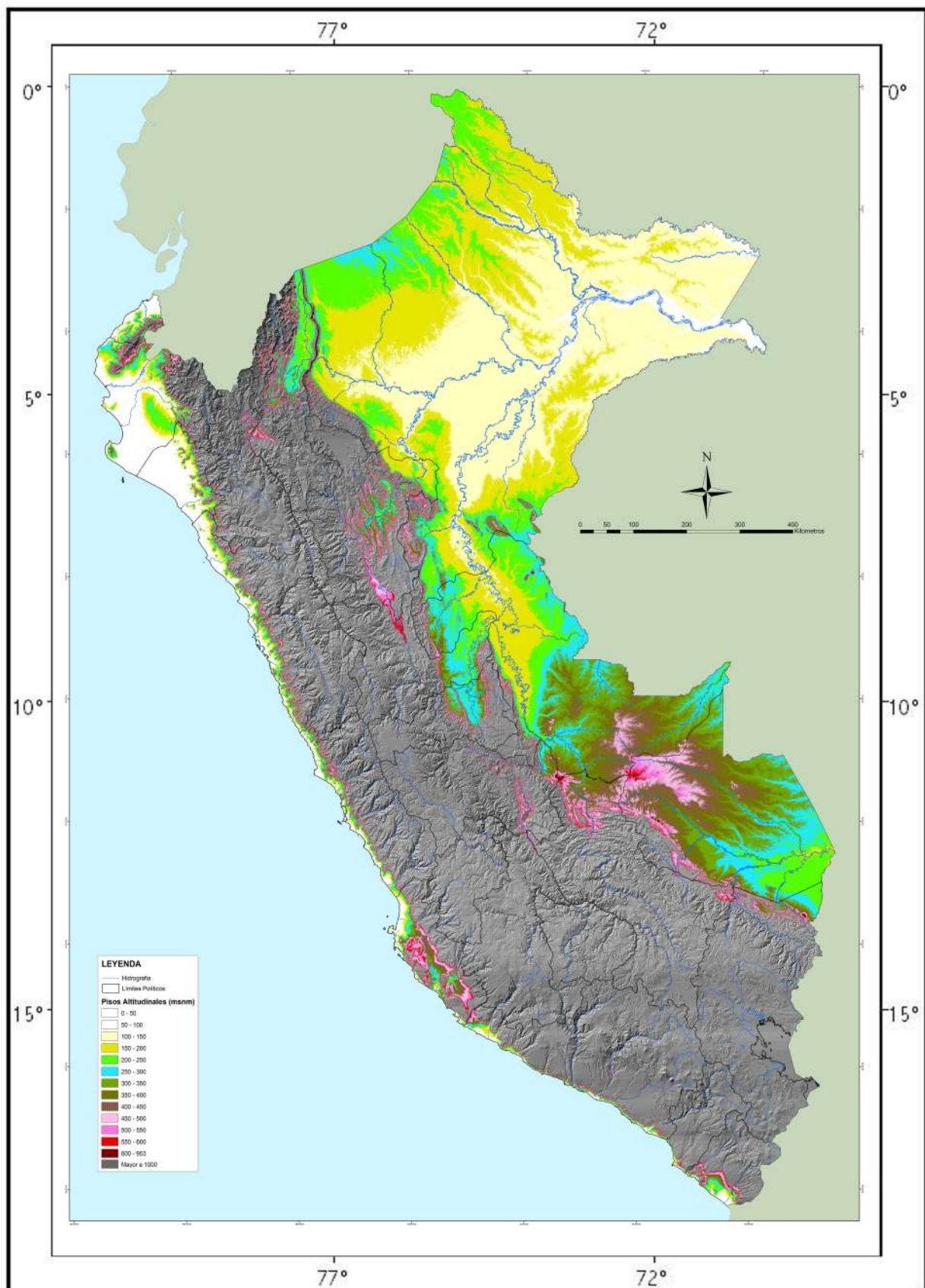
# Mapa 1 . Areas encima de 1800 msnm



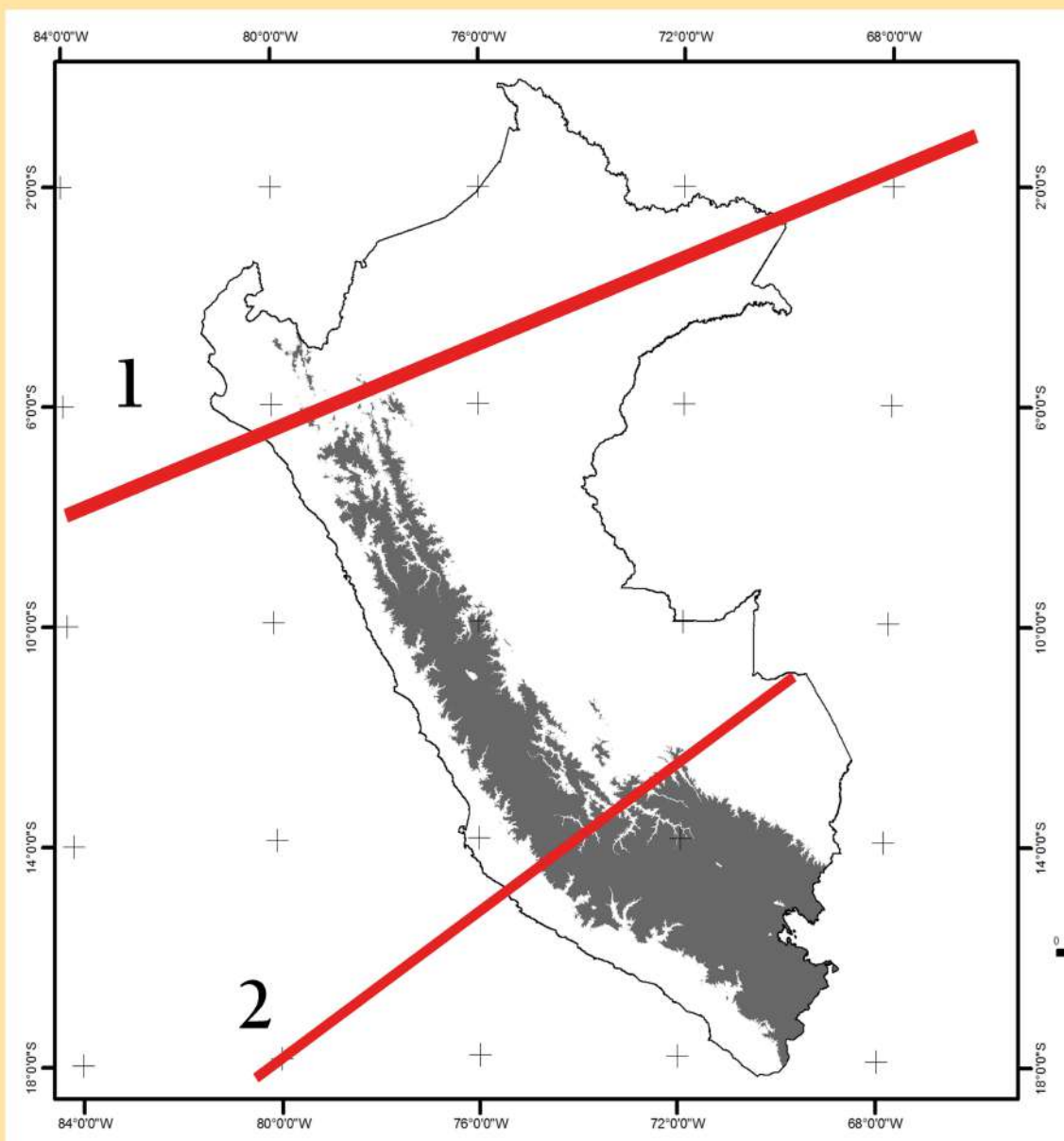
## Mapa 2. Areas por encima de 3000 msnm



## Mapa 3. . Relieve cada 50 m, para áreas bajo 600 msnm

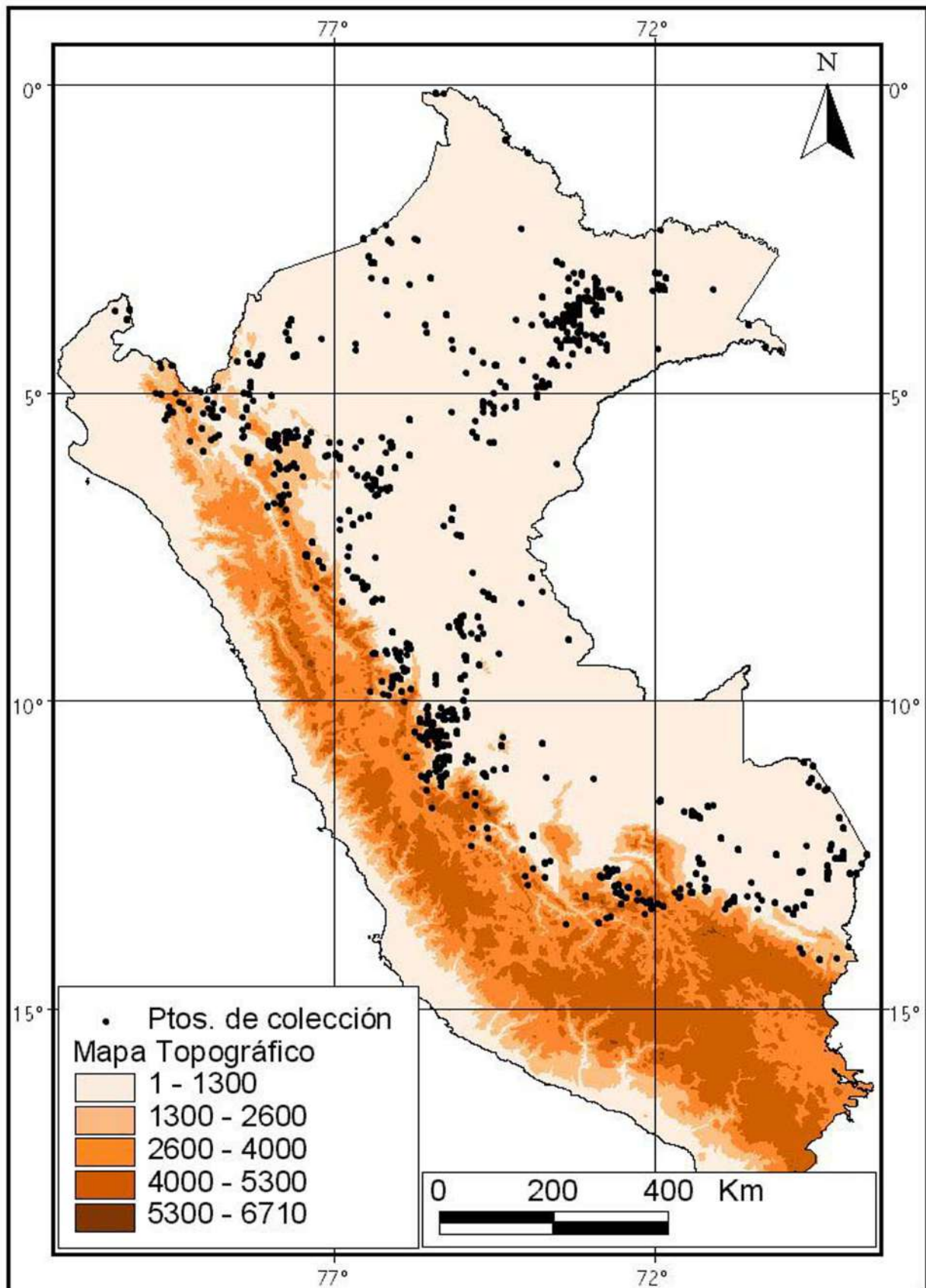


## Mapa 4. Rasgos geológicos importantes, con implicancias en la ecología

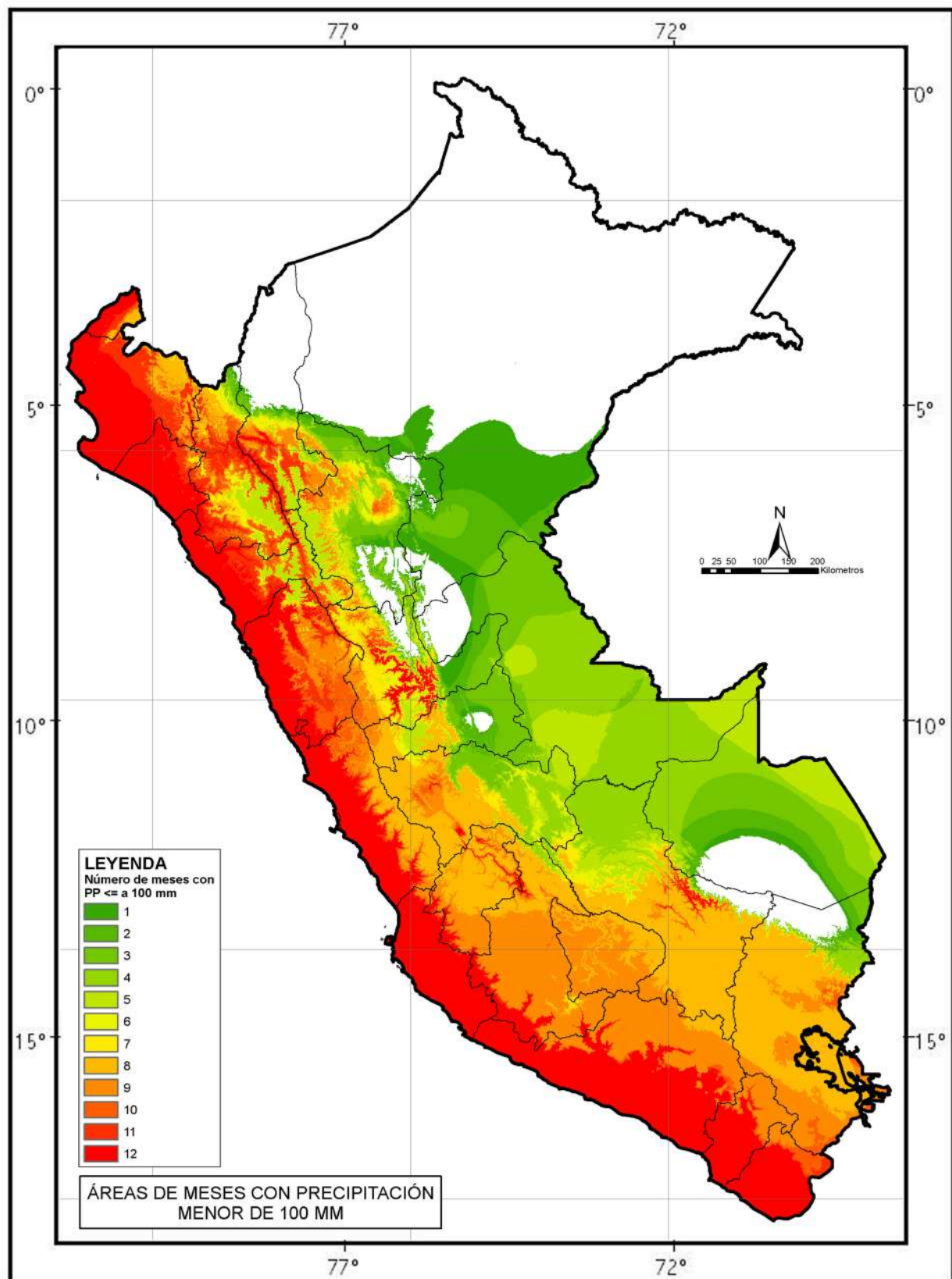


- 1 Deflexión de Huancabamba
- 2 Deflexión de Abancay / Cresta de Nazca

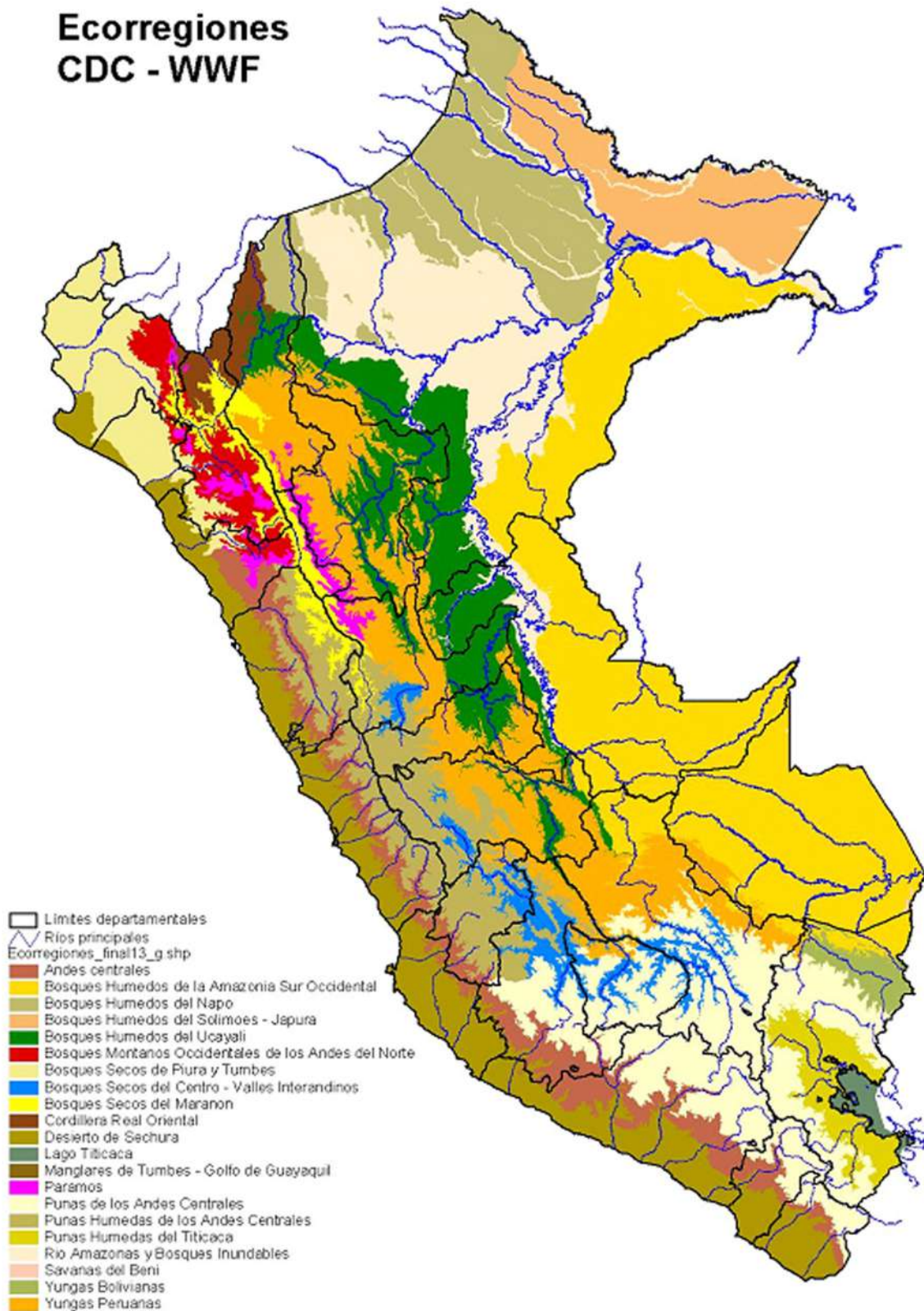
## Mapa 5 . Vacíos de colección de la flora de los bosques húmedos



## Mapa 6 . Meses con precipitación menor a 100 mm

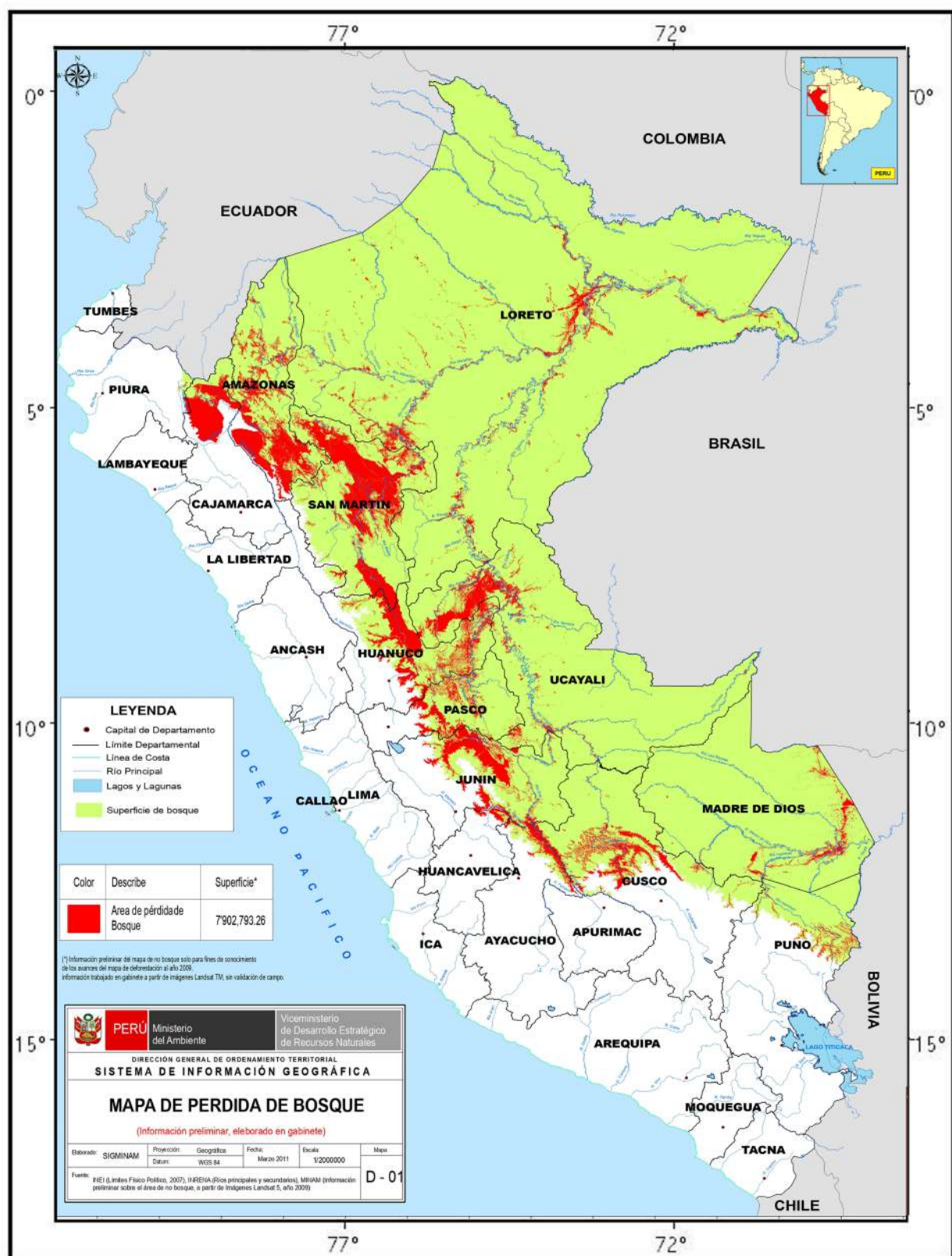


# Mapa 7 . Ecorregiones CDC - WWF



Fuente: CDC-WWF, 2006

# Mapa 8 . Pérdida de bosques



Fuente: MINAM, 2011

## 9. Imagen satelital mostrando el relieve desde el sur



Fuente: NASA, 2020

7

# Glosario

**ADN:** Ácido Desoxiribonucleico; molécula muy larga, directriz de la herencia, estructurada como una fibra; se halla en el núcleo celular; adicionalmente, en los cloroplastos y los mitocondrios. El ADN de cada célula puede medir unos 2 m de longitud, y almacena la información necesaria para controlar toda su química y dictar su funcionamiento. Salvo en los gametos, en los que tiene una copia única, el ADN es una molécula conformada por una doble cadena o hélice.

**Alóctono:** En el contexto biogeográfico, dicese de una formación ecológica cuyos insumos principales proceden de un lugar distante, como por ejemplo los Bosques Montanos Nublados.

**Alopátrico:** Ver **Especiación alopátrica**.

**Árbol filogenético:** Representación gráfica de una Filogenia mediante un conjunto de Clades o ramificaciones; se conoce también como **cladoograma**.

**Arboreto, Arboretum:** Área delimitada de bosque natural, en la que se colectan los árboles para identificarlos, y se estudian aspectos relacionados.

**Asteráceas:** Grupo de plantas caracterizadas por sus flores tubulares y estrechas, dispuestas en conjuntos de muchas flores; éstos constituyen las inflorescencias llamadas Cabezuelas o Capítulos, que a menudo tienen en las flores periféricas la corola con una lámina de regular tamaño. Ejemplos de plantas en esta familia son el girasol, la margarita y la manzanilla.

**Austral-antártico:** PaleoBioma emplazado entre los actuales territorios de Suramérica, Antártica y Australia en los momentos en que se hallaban coalescentes, caracterizado por una flora y fauna ya diferenciadas hacia mediados del cretáceo, unos 100 Ma.

**Beta, Diversidad:** Ver **Diversidad beta**.

**Biota:** Conjunto de la flora y fauna propias de una formación ecológica.

**Boreotropical:** Paleobioma emplazado entre África y Eurasia, que se expandió hasta el extremo norte de esta última, con una flora y fauna ya diferenciadas hace unos 100 Ma.

**Bosque Montano Nublado (BMN):** Para el Perú, ámbito usualmente entre 1800-3500 msnm en los flancos andinos. Allí se produce la condensación de la humedad contenida en el aire cálido que asciende desde menores altitudes, y condiciona una formación ecológica particular.

**Bosque secundario:** ver Vegetación Secundaria.

**Bosque tropical estacionalmente seco (BTES):** Bioma caracterizado por una precipitación pluvial promedio anual menor a 1600 mm, y un período de por lo menos 5-6 meses con menos de 100 mm, con vegetación arbórea mayormente decidua durante la estación seca. Los BTES se establecen en suelos fértiles; poseen una vegetación predominantemente leñosa, sin una cubierta continua de Gramíneas; las especies espinosas son frecuentes. En esta formación en Suramérica, se incluyen Bosques Tropicales Deciduos, Selvas Bajas Caducifolias, y Caatingas.

**Clade, Clado:** Conjunto o ramal de especies que descienden de una ancestral.

**Coevolución:** Profundización del vínculo entre dos especies, expresado por ajustes mutuos en la morfología o funcionamiento de ambas, ocurrido en la escala del tiempo evolutivo. Las especies involucradas resultan haciéndose mutuamente interdependientes para sobrevivir.

**Código Internacional de Nomenclatura Botánica** (International Code of Botanical Nomenclature, **ICBN**, en Inglés). Texto que norma la nomenclatura, tipificación, y su aplicación en la taxonomía de las plantas.

**Comunidad (Biológica, Ecológica):** Ensamblaje característico y definido de especies, propio de un entorno ecológico. Conjunto de especies simpátricas que compiten real o potencialmente por recursos similares, en un área dada.

**Conectividad:** En el contexto de la ecología del paisaje, se llama así a la conexión territorial entre formaciones ecológicas, que permite la expansión de éstas y el intercambio genético entre las poblaciones de los organismos presentes.

**Cresta de Nazca:** Prominencia geológica en la placa tectónica de Nazca, ubicada frente a las costas del Departamento de Ica. Su límite norte coincide aproximadamente con el ámbito de la Deflexión de Abancay. Se eleva alrededor de 1.8 Km por encima del fondo oceánico; su amplitud se estima en unos 200 Km. Enfrenta oblicuamente a la Placa Suramericana; es determinante de un proceso de subducción muy activo, y de permanente actividad sísmica.

**Cromosoma:** Estructura situada al interior del núcleo de la célula; contiene el ADN, conformante del genoma de cada organismo.

**Deflexión de Huancabamba:** Falla geológica transversal existente en el extremo norte de los andes peruanos. Se traduce en las menores elevaciones existentes en toda ésta, y constituyó en el pasado un Portal de acceso de incursiones marinas hacia el territorio de la Amazonía.

**Deriva Continental:** Desplazamiento, a lo largo del tiempo, de las placas tectónicas que constituyen los continentes.

**Dinámica Forestal:** Estudio de los cambios y tendencias del bosque en el tiempo.

**Dispersión:** En el contexto ecológico, traslado de los frutos de una planta a algún lugar más o menos alejado, por algún animal u otro agente.

**Diversidad Alfa:** Cantidad de especies en una unidad de área determinada.

**Diversidad Beta:** Cambio en la composición de especies a lo largo de un transecto que disecta un área dada. Recambio o diferencia de especies entre un hábitat y el siguiente.

**Diversidad Gamma:** Cantidad de formaciones ecológicas reconocibles en una porción usualmente grande de territorio. Diversidad en escala ecoregional.

**Dominios originarios de biota:** Territorios en los que, a inicios del cenozoico, se originaron linajes modernos de plantas y animales.

**Especie:** Conjunto de individuos con características morfológicas comunes; también, poseedores de atributos que los diferencian de otras especies; son interfecundos, y su descendencia es fértil. Algunas de las diferentes acepciones de este término se muestran a continuación.

**Especie, Concepto Filogenético:** Concepto que comprende a una especie en el sentido de un conjunto de individuos con una genealogía común.

**Especie, Concepto Morfológico:** Entendimiento de una especie empleando como defintorios sus caracteres morfológicos.

**Especie, Concepto Reproductivo:** Entendimiento de lo que es una especie, empleando como criterio defintorio la interfecundidad y viabilidad de la descendencia de los individuos que la conforman.

**Especiación Alopátrica:** Aquella que ocurre por la diferenciación de poblaciones emplazadas en lugares geográficos alejados, de modo tal que no hay intercambio genético entre ellas.

**Eurasia:** Protocontinente desagregado desde Pangea, conformado por los territorios coalescentes de Europa y Asia.

**Filogenia:** Estudio de las relaciones evolutivas entre organismos, y de su inferencia.

**Gama, Diversidad:** Ver **Diversidad Gama**.

**Gen:** Unidad funcional de la herencia de los seres vivos. Región o **Locus** en la doble cadena de ADN o ARN, que especifica la formación y estructura de proteínas; éstas controlan la química celular y conforman la estructura de las células. Conjunto de alelos posibles en un preciso locus.

**Glaciación:** Evento de expansión del hielo de los Polos en dirección al Ecuador. A lo largo del pleistoceno, que se inicia hace unos 2 Ma, se produjeron varios ciclos de glaciación, o ciclos glaciares.

**Holártico:** Paleobioma emplazado en el extremo septentrional del planeta, caracterizado por una flora y fauna ya diferenciadas hacia mediados del cretáceo, unos 100 Ma.

**Homología:** Comparabilidad entre símiles. Son caracteres morfológicos Homólogos, aquellos que por tener naturaleza similar por su origen y estructura, resultan verdaderamente comparables cuando se analizan en la perspectiva de su evolución.

**ICBN** (International Code of Botanical Nomenclature): ver Código Internacional de Nomenclatura Botánica.

**Homología Secundaria:** En la perspectiva filogenética, una homología que define a un grupo taxonómico dado. También es llamada **sinapomorfia**.

**Interglaciario:** Lapso entre dos glaciaciones, usualmente referido a la época del pleistoceno, desde 2 Ma al presente.

**ISSN:** En inglés, International Standard Serial Number, código empleado para identificar las publicaciones seriadas, tales como revistas científicas, cuando cumplen con determinados requerimientos.

**Leguminosas:** Grupo de plantas con flores, caracterizado por sus frutos legumbres y por la propiedad de formar nódulos especiales en sus raíces, en los cuales proliferan bacterias fertilizadoras del suelo. A él pertenecen plantas como los Frijoles, Habas, Arvejas, y también árboles como los Pacaes, los Huayruros y las Acacias. Son tratadas como una familia botánica única por algunos autores (Familia Fabáceas).

**Macroevolución:** Proceso evolutivo en la escala de géneros o jerarquías taxonómicas mayores, en el contexto del **tiempo evolutivo** y los espacios geográficos y ecológicos de la tierra.

**Máximo Glacial:** Momento en que un episodio glaciario alcanza su pico de bajas temperaturas.

**Multiestrato:** En el contexto de la vegetación y los bosques, el término se emplea para designar un perfil conformado por diferentes niveles, como los peldaños de una escalera.

**Neotrópico:** Ámbito tropical del nuevo mundo, es decir de las Américas.

**Nomenclatura:** En biología, rama del conocimiento que estudia y guía la asignación correcta de nombres a las especies o taxones.

**Orogenia:** Proceso de levantamiento de las cadenas montañosas.

**Parcela Permanente:** Área delimitada de bosque natural, en la que se colectan los árboles para identificarlos, y se hace el seguimiento en el tiempo de parámetros como el crecimiento, mortalidad, recambio de especies, etc.

**Piedemonte:** Ámbito situado al pie del flanco de una cordillera.

**Placa de Nazca:** Placa tectónica ubicada en el Pacífico sur, que desplazándose con dirección oeste-Este enfrenta a la placa continental suramericana. La confrontación entre ambas ha provocado el levantamiento de los andes.

**Placa Suramericana:** Placa tectónica que conforma el continente suramericano, y que desplazándose con dirección Este-oeste enfrenta a la placa de Nazca. La confrontación entre ambas ha provocado el levantamiento de los andes.

**Pleistoceno:** Época en la historia geológica de la tierra, iniciada hace unos 2.5-2 Ma, y extendida hasta el holoceno, 10,000 años atrás, marcada por la alternancia de glaciaciones y momentos interglaciares.

**Puente de Behring, Estrecho de Behring:** Franja de territorio situada en el extremo noroeste de Norteamérica, que conectó a este continente y Asia entre 50-30 Ma, constituyendo un corredor que hacía posible la migración de plantas y animales entre ambos continentes.

**Refugio, Refugio de Biota:** Ambiente en el cual se mantienen condiciones bioclimáticas apropiadas para la sobrevivencia de algunas especies, en un entorno en el cual las condiciones benignas se retraen; se entiende que plantas y animales persistirían en áreas con estas condiciones, ante el retroceso de sus ambientes propicios.

**Selva Alta:** Nombre que se da en el Perú a la ecorregión de la Amazonía andina, de bosques húmedos en el flanco Este de los andes, cuyo rango altitudinal se encuentra aproximadamente entre 600-3200 m.

**Selva Baja:** En el Perú, denominación de la ecorregión de la llanura de la Amazonía, al Este de los Andes (hasta 600 m).

**Selva Central:** Nombre que se da en el Perú al ámbito de bosques húmedos de la Amazonía ubicados en el tercio central del país, entre altitudes 100-3200 m.

**Sinonimia (Taxonómica):** Proceso por el cual las normas de nomenclatura biológica se aplican para asimilar cambios en la delimitación o posición taxonómica de los organismos motivados por el avance de la investigación. Conduce a la priorización de un nombre científico sobre otros.

**Sistema Acuático Pebas:** Longevo y vasto sistema acuático iniciado por incursiones marinas hacia las tierras bajas de Suramérica, metamorfoseado luego a un sistema fluvio-lacustre y fluvial; estuvo emplazado en el ámbito de la actual llanura de la Amazonía, incluyendo la región de Iquitos y varias

otras, aproximadamente 53-10 Ma. Ha sido descrito, en algunas de sus fases, como un megahumedal. Durante su fase final, drenó hacia el mar e involucionó.

**Sotobosque:** Componente arbustivo y de pequeño porte en la estructura de un bosque.

**Subandino:** Término referido al ámbito inmediatamente al Este de la cordillera de los andes, influenciado por el proceso de subsidencia generado por su levantamiento.

**Subducción:** Forma de enfrentamiento de placas tectónicas en el cual una de ellas se desliza por debajo de la otra, oponiéndose a ella.

**Subsidencia:** En geología, hundimiento paulatino de un relieve, ocasionado por la acumulación de cargas en un área relacionada.

**Sucesión:** En ecología, dícese de la secuencia de fases o ensamblajes de especies, que se van sustituyendo en el tiempo desde que el bosque maduro es cortado o destruido, hasta que se recompone.

**Taxón:** Cualquier unidad taxonómica, por ejemplo una especie, un género, una familia, un orden, etc. En nuestro texto empleamos **taxones** como forma plural de este término, siguiendo al **Código Internacional de Nomenclatura Botánica** (versión en Español). Algunos autores también emplean la forma plural derivada del griego, **taxa**, como plural de taxón.

**Taxonomía:** Ciencia de la clasificación de los seres vivos, enfocándose, entre otros aspectos, en la delimitación de los taxones y en sus relaciones de afinidad o parentesco.

**Teoría de las islas, Teoría biogeográfica de las islas** (McArthur y Wilson, 1967): Teoría que explica las relaciones existentes entre la diversidad de especies de plantas y animales en un archipiélago, y variables como el tamaño de las islas, su distancia a tierra firme, y las tasas de migración, especiación y extinción.

**Teoría de los refugios del pleistoceno** (Haffer, 1969, 1971, 1982): Hipótesis que relaciona el devenir y la diferenciación de linajes de seres vivos a los ciclos glaciares ocurridos a lo largo del pleistoceno, desde unos 2 Ma en adelante. Durante éstos, el intenso frío y sequedad habrían ocasionado la retracción de la vegetación húmeda hacia áreas interpretadas como refugios de biota, llamadas Refugios del Pleistoceno.

**Tiempo Geológico:** Tiempo en la escala de la historia de la tierra.

**Tiempo Evolutivo:** Tiempo en la escala de los procesos de evolución de los seres vivos.

**Tipo nomenclatural:** espécimen biológico, como una muestra botánica en un herbario o museo, que respalda la descripción de una especie descrita, catalogada y poseedora de un nombre válido asignado.

**Último Máximo Glaciar:** Pico de bajas temperaturas ocurrido hace aproximadamente 20,000 años, correspondiente al último episodio glaciar.

**Varillal:** Tipo de vegetación visible en la llanura de la Amazonía peruana, conformada por árboles de pocos cm. de diámetro, establecidos en suelos con escasos nutrientes.

**Vegetación Secundaria, Bosque secundario:** Aquella que crece luego que el bosque maduro es cortado o destruido.

# 8

**Bibliografía consultada,  
y adicional sugerida por  
lámina**

## BIBLIOGRAFÍA EMPLEADA, Y ADICIONAL SUGERIDA POR LÁMINA

(entre paréntesis se indica el número de página)

La fuente primaria de este libro es nuestro texto publicado previamente, que se encuentra disponible en línea y se puede acceder vía google. Al final de dicho texto hay un *Índice Analítico* (pg. 399), que también lleva a referencias en las que se desarrollan diferentes temas.

Reynel, C., Pennington, R. T. y Sämiken, T. 2013. *Cómo se formó la diversidad ecológica del Perú*. Fundación para el Desarrollo Agrario, Centro de Estudios en Dendrología / Royal Botanic Garden Edinburgh. Lima. 472 pp.

### (1) CONTEXTO INTRODUCTORIO

#### (2) DIMENSIÓN DE LA MEGADIVERSIDAD BIOLÓGICA DEL PERÚ

Gentry, A. 1982. Neotropical floristic diversity: phytogeographical connections between Central and South America, Pleistocene climatic fluctuations or an accident in the Andean orogeny? *Annals of the Missouri Botanical Garden* 69: 557-593.

INRENA. 1995. *Mapa Ecológico del Perú*. Guía explicativa y Mapa (Actualización y reimpresión del mismo elaborado por ONERN, 1976). Instituto Nacional de Recursos Naturales, Lima. 220 pp.

Perú. Ministerio del Ambiente. Dirección General de Diversidad Biológica. *Estrategia nacional de diversidad biológica al 2021. Plan de acción 2014-2018*. 114 pp (versión digital en línea).

Raven, P., Gereau, R., Phillipson, P., Chatellain, C., Jenkins, C. & Ulloa, C. 2020. The distribution of biodiversity richness in the tropics. *Science Advances Review (Ecology)*. *Sci. Adv.* 2020, 6: eabc6228 9sept2020

#### (3) EL PERÚ, UN PAÍS VASTO, MARAVILLOSO Y DESCONOCIDO

Honorio, E. & Reynel, C. 2003. *Vacios en la colección de la flora de los bosques húmedos del Perú*. Universidad Nacional Agraria-La Molina, Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales. Lima. 87 pp.

Tobler, M., Honorio, E., Janovec, J. & Reynel, C. 2007. Implications of collection patterns of botanical specimens on their usefulness for conservation planning: an example of two neotropical plant families (Moraceae and Myristicaceae) in Peru. *Biodiversity and Conservation* 16: 659-677

#### (4) CUÁNTAS ESPECIES DE ÁRBOLES EXISTEN EN EL PERÚ

Brako, L. & J. Zarucchi. 1993. *Catálogo de las Angiospermas y Gimnospermas del Perú*. Missouri Botanical Garden Monographs in Systematic Botany 45. St. Louis, Missouri, U.S.A. 1286 pp.

Cardoso, D., Särkinen, T., Alexander, S., Amorim, A., Bittrich, V., Celis, M., Daly, D., Fläsch, P., Funk, V., Giacomini, L., Goldenberg, R., Heiden, G., Iganci, J., Keloff, C., Knapp, S. y varios otros. 2017. Amazon plant diversity revealed by a taxonomically verified species list. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(40): 10695-10700. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1706756114](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1706756114)

Pennington, T., Reynel, C. & Daza, A. 2004. *Illustrated guide to the trees of Peru*. D. Hunt, Publ., England. 848 pp.

Reynel, C. Pennington, T. & Pennington, R. 2016. *Árboles del Perú*. Lima, Imprenta Bellido, 1047 pp.

Joppa, L., Roberts, L., Myers, N. & Pimpe, S. 2010. Biodiversity hotspots house most undiscovered plant species. *Proceedings of the National Academy of Science of the U.S.A.* 32 (108): 13171-13176.

Vásquez, R., Rojas, R., Monteagudo A. & Huamantupa, I. 2018. Catálogo de los árboles del Perú. *Q'euña, Revista de la Sociedad Botánica del Cuzco* 9(1): 1-607.

Ter Steege, H. et al. 2013 Hyperdominance in the Amazonian tree flora. *Science* 342. DOI: 10.1126/science.1243092

## (5) GÉNESIS DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA DEL PERÚ

### (6) GÉNESIS DE LA BIODIVERSIDAD DEL PERÚ (1) UN TERRITORIO QUE ACTÚA COMO UN CRISOL

Bacon C. et al. 2015. Biological evidence supports an early and complex emergence of the Isthmus of Panama. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112: 6110-15

Cody, S., Richardson, J., Rull, V., Ellis, C. & Pennington, R. 2010. The Great American Biotic Interchange revisited. *Ecography* 33: 326-332.

Davies, C., Bell, C., Mathews, S. & Donoghue, M. 2002. Laurasian migration explains Gondwanan disjunctions: evidence from Malpighiaceae. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.* 99(10): 6833-6837.

Hughes, C.E. & Eastwood, R. 2006. Island radiation on a continental scale: exceptional rates of plant diversification after uplift of the Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103: 10334-10339.

Pennington, R. & Dick, C. 2004. The role of immigrants in the assembly of the South American rain forest tree flora. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B Biological Sciences*. doi: 10.1098/rstb.2004.1532.

Dick, C.W. & Pennington, R.T. (2019). History and geography of Neotropical tree diversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 50. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062314>.

Webb, D. 2006. The Great American Biotic Interchange: patterns and processes. *Annals of The Missouri Botanical Garden* 93: 245-257.

### (7) GÉNESIS DE LA BIODIVERSIDAD DEL PERÚ (2) HISTORIA DE LOS ANDES Y SU INFLUENCIA EN LA ECOLOGÍA DEL PERÚ

Berry, E. 1927. Petrified fruits and seeds from the Oligocene of Peru. *Pan-American Geology* 47: 121-132.

Bloom, D. & Lovejoy, N. 2011. The Biogeography of Marine incursions in South America. Pp. 137-144 In Albert, J. & Reis, R. (Eds.): *Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes*. University of California Press, Berkeley, California.

Campbell, K., Frailey, J. & Romero, L. 2006. The Pan-Amazonian Ucayali peneplain, late neogene sedimentation in Amazonia, and the birth of the modern Amazon river system. *Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 239: 166-219.

Dick, C. y Wright, S. 2005. Tropical mountain cradles of dry forest diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.* 102(31): 10757-10758.

Hoorn, C., Wesselingh, F., Hovikoski, J. y Guerrero, J. 2010. The development of the Amazonian megawetland (Mocene; Brazil, Colombia, Peru, Bolivia). Pp. 123-142 En Hoorn, C. y Wesselingh, P. (Eds.): Amazonia, Landscape and Species Evolution: A Look into the Past. Wiley-Blackwell Publishing, Reino Unido.

Koenen, E., Ojeda, D., Bakker, F., Wieringa, J., Kidner, C., Hardy, O., Pennington, R., Herendeen, P., Bruneau, A. & Hughes, C. 2020. The origin of the legumes is a complex paleopolyploid phylogenomic tangle closely associated with the cretaceous-paleogene (K-Pg) mass extinction event. *Systematic Biology* <https://academic.oup.com/sysbio/advance-article/doi/10.1093/sysbio/syaa041/5850071>

Pérez-Escobar, O.A., Zizka, A., Bermúdez, M.A., Meseguer, A.S., Condamine, F.L., Hoorn, C., Hooghiemstra, H., Pu, Y., Bogarin, D., Boschman, L.M., Pennington, R.T., Antonelli, A., Chomicki, G. 2022. The Andes through time: evolution and distribution of Andean floras. *Trends in Plant Science* <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.09.010>

Wesselingh, F., Kaandorp, R., Vonhof, H., Rasanen, M., Renema, W. & Gingras, M. 2006. The nature of aquatic landscapes in the Miocene of western Amazonia: an integrated palaeontological and geochemical approach. *Scripta Geologica*, 133: 363-393.

### **(8) GÉNESIS DE LA BIODIVERSIDAD DEL PERÚ (3) TEORÍA DE LOS REFUGIOS DEL PLEISTOCENO**

Cárdenas, M., Gosling, W., Sherlock, S., Poole, I., Pennington, R.T. y Mothes, P. 2011. The response of vegetation on the Andean flank in western Amazonia to pleistocene climate change. *Science* 331: 1055-1058.

Duellman, W. 1982. Compresión climática cuaternaria en los Andes, efectos sobre la especiación. Pp. 177-278 In P. Salinas (Ed.) Zoología Neotropical, Actas del VIII Congreso Latinoamericano de Zoología. Mérida, Venezuela.

Farrera, I., Harrison, S., Prentice, I., Ramstein, G., Guiot, J., Bartlein, P., Bonnefille, R., Bush, M., Cramer, W., Von Grafenstein, U., Holmgren, K., Hooghiemstra, H., Hope, G., Jolly, D., Lauritzen, S., Ono, Y., Pinot, S., Stute, M. & Yu, G. 1999. Tropical climates at the Last Glacial Maximum: a new synthesis of terrestrial palaeoclimate data. *Climate Dynamics* 15: 823-856.

Flantua, S., O'Dea, A., Onstein, R., Giraldo, C. & Hooghiemstra, H. 2019. The flickering connectivity system of the north Andean páramos. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jbi.13607>

Head, J., Bloch, J., Hastings, A., Bourque, J., Cadena, E., Herrera, F., Polly, D. & Jaramillo, C. 2009. Giant boid snake from the palaeocene neotropics reveals hotter past equatorial temperatures. *Nature* 457(7230): 715-717.

Vonhof, H. & Kaandorp, R. 2010. Climate variation in Amazonia during the Neogene and the Quaternary. Pp 201-210 In Hoorn, C. y Wesselingh, P. (Eds.): Amazonia, landscape and species evolution: a look into the past. Wiley-Blackwell Publishing, UK

### **(9) GÉNESIS DE LA BIODIVERSIDAD DEL PERÚ (4) MOSAICO EDÁFICO DE LA AMAZONÍA**

Fine, P., Daly, D. & Cameron, K. 2007. The contribution of edaphic heterogeneity to the evolution and diversity of Burseraceae trees in the western Amazon. *Evolution* 59(7): 1464-1478. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.0014-3820.2005.tb01796.x>

Fine, P.V.A., Zapata, F., Daly, D.C.. 2014. Investigating processes of Neotropical rain forest tree diversification by examining the evolution and historical biogeography of *Protieae* (Burseraceae). *Evolution*. doi:10.1111/evo.12414

García-Villacorta, R., Dexter, K.G. & Pennington, R.T. (2016). Amazonian White-Sand Forests Show Strong Floristic Links with Surrounding Oligotrophic Habitats and the Guiana Shield. *Biotropica* 48: 47–57.

Misiewicz, T.M. & Fine, P.V.A. 2014. Evidence for ecological divergence across a mosaic of soil types in an Amazonian tropical tree: *Protium subserratum* (Burseraceae). *Molecular Ecology* 23: 2543–2558.

#### **(10) LA DEFLEXIÓN DE HUANCABAMBA DETERMINA VARIOS RASGOS ECOLÓGICOS DEL PERÚ**

Antonelli, A., Nylander, J., Persson, C. y Sanmartín, I. 2009. Tracing the impact of the Andean uplift on Neotropical plant evolution. *Proceedings of the National Academy of Science of the U.S.A.* 24(106): 9749–9754.

Horn, C., Wesselingh, F., Hovikoski, J. & Guerrero, J. 2010. The development of the Amazonian megawetland (Mocene; Brazil, Colombia, Peru, Bolivia). Pp. 123–142 *In* Horn, C. & Wesselingh, P. (Eds.): *Amazonia, Landscape and Species Evolution: A Look into the Past*. Wiley-Blackwell Publishing, UK.

Horn, C. et al. Amazonia Through Time: Andean Uplift, Climate Change, Landscape Evolution, and Biodiversity. *Science* 330: 927–931

Lovejoy, N., Albert, J. & Crampton, W. 2006. Miocene marine incursions and marine / freshwater transitions: Evidence from Neotropical fishes. *Journal of South American Earth Sciences* 21: 5–13.

Quintana, C., Pennington, R.T., Ulloa Ulloa, C., Balslev, H. 2017. Biogeographic barriers in the Andes: is the Huancabamba depression a dispersal barrier for dry forest plants? *Annals of the Missouri Botanical Garden* 102:542–550. <https://doi.org/10.3417/D-17-00003A>

#### **11) LA CRESTA DE NAZCA, UNA CORDILLERA SUBMARINA QUE INFLUYE EN EL RELIEVE Y LA ECOLOGÍA**

Esput, N., Baby, P., Brusset, S., Roddaz, M., Hemoza, W. & Barbarand, J. 2010. The Nazca Ridge and uplift of the Fitzcarrald Arch: implications for regional geology in northern South America. Pp. 89–100 *In* Horn, C. y Wesselingh, P. (Eds.): *Amazonia, landscape and species evolution: a look into the past*. Wiley-Blackwell Publishing, UK.

Esput, N., Baby, P., Brusset, S., Roddaz, M., Hemoza, W., Regard, V., Antoine, P., Salas-Gismondi, R. & Bolaños, R. 2007. Influence of the Nazca ridge subduction on the modern Amazonian retro-foreland basin. *Geology* 35(6): 515–518.

#### **(12) PROCESOS MACROEVOLUTIVOS ORIGINAN LA FORMACIÓN DE ESPECIES**

Coyne J.A. & H.A. Orr. 2004. *Speciation*. Sinauer. 545 pp.

Erwin, T. 1985. The taxon pulse: a general pattern of lineage radiation and extinction among Carabid Beetles. Pp. 437–488 *In* Ball, G. (Ed.): *Taxonomy, phylogeny and biogeography of beetles and ants*. W. Junk Publisher, The Hague, Netherlands.

Gascon, C., Malcom, J., Patton, J., Da Silva, M., Bogarti, J., Lougheed, S., Peres, C., Neckel, S. & Boag, P. 2000. Riverine barriers and the geographic distribution of Amazonian species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.* 97(25): 13672–13677.

Johnson, T., Scholz, C., Talbot, M., Kelts, K., Ricketts, R., Ngobi, G., Beuning, K., Ssemmanda, I. & McGill, J. 1996. Late Pleistocene desiccation of Lake Victoria and rapid evolution of Cichlid fishes. *Science* 273(5278): 1091-1093.

Kursar, T., Dexter, K., Lokvama, J., Pennington, T., Richardson, J., Weber, M., Murakamia, E., Draked, C., McGregor, R. & Coley, P. 2009. The evolution of antiherbivore defenses and their contribution to species coexistence in the Tropical tree genus *Inga*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 106(43): 18073-18078.

Lessios, H. 2006. Utilización de los erizos panameños para poner a prueba el reloj molecular. Pp. 397-401 *In* Leight, E., Herre, E., Jackson, J. & Santos-Granero, F. (Eds.): *Ecología y Evolución en los Trópicos*. Smithsonian Tropical Research Institute, Panamá.

Pennington, R. & Dick, C. 2010. Diversification of the Amazonian flora in relation to key ecological and environmental events: a molecular perspective. Pp. 373-385 *In* Hoorn, C. & Wesselingh, P. (Eds.): *Amazonia, landscape and species evolution: a look into the past*. Wiley-Blackwell Publishing, Reino Unido.

Särkinen, T., Pennington, R.T., Lavin, M., Simon, M.F. & Hughes, C.E. (2012). Evolutionary islands in the Andes: persistence and isolation explain high endemism in Andean dry tropical forests. *Journal of Biogeography* 39: 884-900

### **(13) UN BOSQUE QUE SE CONGELÓ EN EL TIEMPO, HISTORIA DEL BOSQUE PETRIFICADO PIEDRA CHAMANA**

Woodcock, D., Meyer, H., Dunbar, N., McIntosh, W., Pardo I. y Morales, G. 2009. Geologic and taphonomic context of el bosque petrificado Piedra Chamana (Cajamarca, Peru). *Geological Society of America Bulletin* 121: 1172-1178.

## **(14) CLASIFICACIÓN Y TAXONOMÍA**

### **(15) LINNEO Y LA CATALOGACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD**

Linnaeus, C. 1753. *Species Plantarum: exhibente plantas rite cognitatas, ad genera relatas, cum differentiis specificis, nominis trivialibus, synonymis selectis, locis natalibus, secundum sistema sexuale digestas*. Estocolmo, imprenta Laurentius Salvius (2 volúmenes).

Turland, N., Wiersema, J., Barrie, F., Greuter, W., Hawksworth, D., Herendeen, P., Knapp, S., Kusber, W., Li, D., Marhold, K., May, T., McNeill, J., Monro, A., Prado, J., Price, M. & Smith, G. (julio de 2017). [International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants \(Shenzhen Code\)](#). [Regnum Vegetabile 159 Glashütten: Koeltz Botanical Books](#), adopted by the Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen, China. doi:10.12705/Code.2018

### **(16) RUIZ Y PAVÓN, LA PRIMERA EXPLORACIÓN BOTÁNICA DEL PERÚ**

Steele, A. 1982. *Flores para el Rey: la expedición de Ruiz y Pavón y la flora del Perú*. Ediciones del Serbal, España. 348 pp.

**(17) CÓMO SE DETECTAN Y DESCRIBEN NUEVAS ESPECIES DE PLANTAS Y ANIMALES**

Delves, J., Gonzáles, P., Knapp, S., León, B., Reynel, C., Sarkinen, T. & Moonlight, P. 2003. Small and in-country herbaria are vital for accurate plant threat assessments: a case study from Peru. *Plants, People, Planet* 2023: 1-12. doi: 10.1002/ppp3.10425

Hopkins, H., Huxley, C., Pannell, C., Prance, G. & White, F. 1998. The biological monograph. The importance of field studies and functional plant syndromes for taxonomy and evolution of tropical plants. Royal Botanic Gardens Kew. 236 pp.

Reynel, C., Terreros, S. & Palacios, S. 2020. El Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM Lima, FCF UNALM (Ed. J. Chávez & A. Wong). 99 pp.

Reynel, C. 2017. *Zanthoxylum* (Rutaceae) Flora Neotropica Monograph No. 117. UNESCO, Organization for Flora Neotropica, The New York Botanical Garden Press. 263 pp.

**(18) CONCEPTOS DE ESPECIE Y SUS IMPLICANCIAS**

Coyne J.A. & H.A. Orr. 2004. *Speciation*. Sinauer. 545 pp.

De Queiroz K. 2007. Species concepts and species delimitation. *Systematic Biology* 56: 879-886.

**(19) SISTEMÁTICA FILOGENÉTICA**

Baum, D. et al. 2005. The Tree-Thinking Challenge. *Science* 310: 979-980. (recomendamos desarrollar la prueba complementaria)

Lomolino, M.V., Riddle B.R., Whittaker, R.J. 2016. *Biogeography*, Fifth Edition. OUP. Ch 11

**(20) COEVOLUCIÓN**

Abrahamson, W. (Ed.) 1989. *Plant-Animal interactions*. McGraw-Hill, USA.

Fenster, C., Armbruster, W., Wilson, P., Dudash, M y Thomson, J. 2004. Pollination syndromes and floral specialization. *Annual Review of Ecology and Systematics* 35: 375-403.

**(21) LAS LEGUMINOSAS Y LA ACTUALIZACIÓN DE SU TAXONOMÍA**

<https://www.legumedata.org/> [contiene información muy útil y actualizada sobre taxonomía de las Leguminosas]

Hughes, C., Ringelberg, J., Lewis, G. & Catalano, S. 2022. Disintegration of the genus *Prosopis* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae, mimosoid clade). *Phytokeys* 205: 147-189. doi: 10.3897/phytokeys.205.75379

LPWG 2017. A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny: The Legume Phylogeny Working Group (LPWG). <https://doi.org/10.12705/661.3>

Reynel, C. y Pennington, T. 1997. El género *Inga* (Leguminosae) en el Perú. *Morfología, distribución y usos*. Royal Botanic Gardens, Kew. 228 pp

**(22) ESPECIES PERUANAS DE CEDROS (*Cedrela* spp.) Y SU POTENCIAL (1) ESPECIES DE LA COSTA, EL ANDE Y LA AMAZONÍA ANDINA**

Pennington, T. y Muellner, A. 2010. A monograph of *Cedrela* (Meliaceae). DH Books, The Manse, Chapel Lane. Milborne Port, England. 112 pp.

PERÚ. SERFOR Y CÁMARA NACIONAL FORESTAL. 2016. Cartilla de precios y productos forestales, enero 2016. 5 pp.

Reynel, C., Palacios R., S., Terreros, S. & Reyes, C. 2023. *Cedrela domatifolia* (Meliaceae), un nuevo registro de Cedro para el Perú. Nota Técnica, Revista Peruana de Biología (aceptado).

**(23) ESPECIES PERUANAS DE CEDROS (*Cedrela* spp.) Y SU POTENCIAL (2) ESPECIES DE LA LLANURA DE AMAZONÍA**

BIOMODUS 2023. Talleres informativos para fortalecer las capacidades de identificación de especies del género *Cedrela*. BIOMODUS Tropical. Lima, Junio 2023. 61 pp.

Pennington, T. y Muellner, A. 2010. A monograph of *Cedrela* (Meliaceae). DH Books, The Manse, Chapel Lane. Milborne Port, England. 112 pp.

**(24) ENDEMISMOS Y DISTRIBUCIONES ESPECIALES**

**(25) TRES NIVELES DE BIODIVERSIDAD**

Brack, A. 1986. Ecología de un país complejo. In Manfer y Mejía Baca (Eds.). Gran Geografía del Perú, Naturaleza y Hombre. Volumen 2: 175-314. Barcelona, España.

Bridgewater, S., Pennington, R., Reynel, C., Daza, A. & Pennington, T. 2003. A preliminary floristic and phytogeographic analysis of the woody flora of seasonally dry forests in northern Peru. *Candollea* 58: 129-148.

Condit, R., Pitman, N., Leigh, E., Chavez, J., Terborgh, J., Foster, R., Nuñez, P., Aguilar, S., Valencia, R., Villa, G., Muller-landau, H., Losos, E. y Hubell, S. 2002. Beta-diversity in tropical forest trees. *Science* 295: 666-669.

Whittaker, R. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21: 213-251.

**(26) LA DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES NO ES UNIFORME EN EL TERRITORIO PERUANO, EN MUCHOS CASOS ESTÁ CARACTERIZADA POR ENDEMISMOS**

Young, K., Ulloa, C., Luteyn, J. y Knapp, S. 2002. Plant evolution and endemism in Andean South America: an introduction. *Botanical Review* 68: 4-21.

Young, K. y Reynel, C. 1997. Huancabamba Region, Peru and Ecuador. Pp 465-469 En Davis, S., Heywood, V., Herrera-Macbride, O., Villa-Lobos, J. y Hamilton, A. (Eds.): Centers of Plant diversity: a guide and strategy for their conservation, 3: North America, Middle America, South America, Caribbean Islands. IUCN, Cambridge, England.

**(27) ÁREAS DE CONCENTRACIÓN DE ESPECIES ENDÉMICAS EN EL PERÚ**

Koepke, H. 1961. Synökologische studien an der Westseite der peruanischen Anden. Bonner Geographische Abhandlungen 29: 1-320.

Marcelo, J., Reynel, C., Bulnes, F. y Pérez, A. 2007. Diversidad, composición florística y endemismos en los bosques estacionalmente secos alterados del distrito de Jaén, Perú. *Ecología Aplicada* 6(1-2): 9-22.

Van der Werff, H. y Consiglio, T. 2004. Distribution and conservation significance of endemic species of flowering plants in Peru. *Biodiversity and conservation* 13: 1699-1713.

Young, B. (Ed.) 2007. Distribución de las especies endémicas en la vertiente oriental de los Andes de Perú y Bolivia. NatureServe, Arlington, Virginia, USA. 89 pp.

**(28) UNA ESTRATEGIA PARA EL AVANCE EN LA IDENTIFICACIÓN DE LOS ÁRBOLES DEL PERÚ**

Baker, T.R., Pennington R.T. Dexter, K. G., Fine, P. V., Fortune-hopkins, H., Honorio, E. N., Huamantupa-chuquimaco, I., Klitgård, B. B., Lewis, G. P., De Lima, H. C., Ashton, P., Baraloto, C., Davies, S., Donoghue, M. J., Kaye, M., Kress, W. J., Lehmann, C. E., Monteagudo, A., Phillips, O. L. & Vasquez, R. (2017). Maximising synergy amongst tropical plant systematists, ecologists and evolutionary biologists. *Trends in Ecology and Evolution*. 32: 258-267. doi.org/10.1016/j.tree.2017.01.007

**(29) ¿UN BOSQUE SECO, O VARIOS BOSQUES SECOS?**

Bridgewater, S., Pennington, R.T., Reynel, C., Daza, A. & Pennington, T.D. 2003. A preliminary floristic and phytogeographic analysis of the woody flora of seasonally dry forests in northern Peru. *Candollea* 58: 129-148.

DRYFLOR (2016). Plant diversity patterns and their conservation implications in neotropical dry forests. *Science* 353: 1383-1387

Linares-Palomino, R. 2004b. Los Bosques Tropicales Estacionalmente Secos: I. Fitogeografía y composición florística. *Arnaldoa* 11(1): 85-102.

Linares-Palomino, R. 2004a. Los Bosques Tropicales Estacionalmente Secos: I. El concepto de los Bosques secos en el Perú. *Arnaldoa* 11(1): 103-138.

Linares-Palomino, R., Oliveira-Filho, A. y Pennington, R. 2011. Neotropical seasonally dry forests: diversity, endemism and biogeography of woody plants. Pp. 3-21. *En* Dirzo, R., Mboney, H., Ceballos, G. y Young, H. (Eds.). *Seasonally Dry Tropical Forests: Biology and conservation*. Island Press, Washington.

Milliken, W., Zappi, D., Reynel, C. y Hechenleitner, P. (Eds.) 2010. Whaley, O. y Orellana, A. Plantas y vegetación de Ica, Perú - Un recurso para su conservación y restauración. Darwin Initiative, Royal Botanic Gardens Kew, UNALM, febrero 2010. 94 pp.

Palacios, S. y Reynel, C. 2011. Una formación vegetal subxerófila en el valle de Chanchamayo, Dp. de Junín. Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria-La Molina / Centro de Estudios en Dendrología de la Fundación para el Desarrollo Agrario y Asociación peruana para la Promoción del Desarrollo Sostenible, febrero 2012. Lima, Imprenta Bellido. 72 pp.

**(30) ECOSISTEMAS ALÓCTONOS**

Dillon, M. 2005. The Solanaceae of the Lomas formations of Coastal Peru and Chile. *Missouri Botanical Garden Monographs in Systematic Botany* 104: 131-156.

Gonzales, F.N., Craven, D & Armesto, J, 2023. Islands in the mist: A systematic review of the coastal lomas of South America *Journal of Arid Environments* 211, 104942. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.104942>.

**(31) ESPECIES CLAVE (ESPECIES PIEDRA ANGULAR) EN UN ECOSISTEMA**

Catchpole, D. & Kirkpatrick, J. 2010. The outstandingly speciose epiphytic flora of a single strangler fig (*Ficus crassiuscula*) in a Peruvian montane cloud Forest. *In* Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management. Cambridge University Press, U.K. doi: [10.1017/CBO9780511778384.015](https://doi.org/10.1017/CBO9780511778384.015)

Mills, L., Soulé, M., & Doak, D. 1993. The key-stone species concept in ecology and conservation. *BioScience* 43(4): 219-224.

Terborgh, J. 1986. Keystone plant resources in the tropical forests. Pp. 330-344 *In* Soulé, M (Ed.) Conservation Biology, the science of scarcity and diversity. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 584 pp.

**(32) BIOGEOGRAFÍA DE LAS ISLAS**

Flantua, S., O'Dea, A., Onstein, R., Giraldo, C. & Hooghiemstra, H. 2019. The flickering connectivity system of the north Andean páramos. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jbi.13607>

Hughes, C., y Eastwood, R. 2006. Island radiation on a continental scale: exceptional rates of plant diversification after uplift of the Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.* 103(27): 10334-10339.

MacArthur, R. & Wilson, E. 1967. The theory of island biogeography. Monographs in Population Biology 1. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 204 pp.

Särkinen, T., Pennington, R., Lavin, M., Simon, M. y Hughes, C. 2011. Evolutionary islands in the Andes: persistence and isolation explain high endemism in Andean dry Tropical forests. *Journal of Biogeography* 39: 884-900.

**(33) AUGUSTO WEBERBAUER Y SU MAPA DE LA VEGETACIÓN DEL PERÚ (1922)**

Weberbauer, A. 1922. Vegetationskarte der peruanische Anden zwischen 5° und 7° S. Br. Petemans Geogr. Mitt., Jahrb. 1922, Tafel 13: 119-121. Gotha.

Weberbauer, A. 1945. El mundo vegetal de los Andes Peruanos. Ed. Lumen, Lima. 776 pp.

Zelada, H. y Reynel, C. 2023. Augusto Weberbauer Adamczyk, el padre de la Fitogeografía peruana y su mapa de la vegetación del Perú. Centro de Estudios en Dendrología de la Fundación para el Desarrollo Agrario CED FDA / Asociación peruana para la Promoción del Desarrollo Sostenible APRODES. 199 pg.

**(34) EVALUACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD****(35) CIENCIA E INVESTIGACIÓN EN BIODIVERSIDAD, CONSIDERACIONES Y FUNDAMENTOS**

Asimov, I. 2003 (4ª reimpresión, primera ed. 1979) Cien preguntas básicas sobre la ciencia. Libro de bolsillo - Física. Alianza Editorial, Madrid, España. 211 pp.

Copi, I. (14ª Ed. 1973, primera edición 1953) Introducción a la lógica. Editorial Universitaria de Buenos Aires.

Jacquard, A. 1998. Pequeña filosofía para no filósofos. Galaxia Gutenberg, Barcelona. 251 pp.

Russell, B. 1988. Diccionario del hombre contemporáneo (Dictionary of mind, matter and morals, primera edición 1952). Imprenta Rosgal, Montevideo. 327 pp.

**(37) EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD ALFA (1) UNIDAD DE MUESTRA**

Phillips, O. y Miller, J. 2002. Global patterns of plant diversity: Alwyn H. Gentry's forest transect data set. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden. St. Louis, Missouri. U.S.A. 319 pp.

**(38) PARCELAS PERMANENTES Y EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD ARBÓREA**

Antón, D. y Reynel, C. (Eds.) 2004. Relictos de bosques de excepcional diversidad en los Andes centrales del Perú. Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria-La Molina, Lima. 323 pp.

DRYFLOR website: <http://www.dryflor.info/files/ppp3.10112.pdf>. [DRYFLOR es un consorcio de investigadores enfocados en los Bosques Tropicales Estacionalmente Secos, con trabajos muy importantes en Perú, y pautas metodológicas especiales para estos ambientes, relacionadas por ejemplo a los tamaños de Unidades de muestra].

Phillips, O. & Baker, T. 2002. Manual de campo para la remediación y establecimiento de parcelas. Red Amazónica de Inventarios Forestales RAINFOR. Disponible en:

<http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/rainfor/rainforfieldmanualesp.doc>

RAINFOR sitio web: [www.rainfor.org](http://www.rainfor.org)

Ter Steege, H., Pitman, N., Sabatier, D., Castellanos, H., Van der Hout, P., Daly, D., Silveira, M., Phillips, O., Vasquez, R., Van Andel, T., Duivenvoorden, J., Adalardo, A., Ek, R., Lilwah, R., Thomas, R., Van Essen, J., Baider, C., Maas, J., Mori, S., Terborgh, J., Nuñez, P., Mogollon, H. y Morawetz, H. 2003. A spatial model of tree  $\alpha$ -diversity and tree density for the amazon. *Biodiversity and Conservation* 12: 2255-2277

Valencia, R., Balslev, H. y Paz y Miño, G. 1994. High tree  $\alpha$ -diversity in Amazonian Ecuador. *Biodiversity and Conservation* 3: 21-28.

Whittaker, R. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21: 213-251.

**(39) MUESTREO DE LA DIVERSIDAD ARBÓREA (DA), METODOLOGÍA DE TRANSECTOS GENTRY (TG)**

Clinebell, R., Phillips, O., Gentry, A., Stark, N. y Zuurig, H. 1995. Prediction of Neotropical tree and liana species richness from soil and climatic data. *Biodiversity and conservation* 4: 56-90.

Phillips, O. y Miller, J. 2002. Global patterns of plant diversity: Alwyn H. Gentry's forest transect data set. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden. St. Louis, Missouri. U.S.A. 319 pp.

**(40) DINÁMICA FORESTAL**

Giacomotti, J. & Reynel, C. Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque secundario tardío del valle de Chanchamayo, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 33 (1): 42-51. ISSN 0556-6592 (Versión impresa) / ISSN 2523-1855 (Versión electrónica). DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v33i1.1154>

Palacios, S., Montenegro, R., Linares-Palomino, R., & Reynel, C. 2018. Forest dynamics of a sub-xerophilous vegetation formation in central Peru - Chanchamayo valley, Perú. *Árvore* 42(6):

<http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882018000600003> (9 pp).

Báez, S., Malizia, A., Carilla, J., Blundo, C., Aguilar, M., Aguirre, N., Aguirre, Z., Álvarez, E., Cuesta, F., Duque, A., Farfán-Ríos, W., García-Cabrera, K., Grau, R., Homeier, J., Linares-Palomino, R., Malizia, L., Melo Cruz, O., Osinaga, O., Phillips, O., Reynel, C., Silman, M. & Feeley, K. 2015. Large-scale patterns of turnover and basal area change in andean forests. *PLOS ONE* 10(5): e0126594.

doi:10.1371/journal.pone.0126594