

Vegetación potencial de los bosques de Yungas en Bolivia, basado en datos climáticos

Potential vegetation based on climate-data in the Bolivian Yungas-forests

Robert Mueller¹, Stephan G. Beck² & Raúl Lara³

¹TROPICO-Asociación Boliviana para la Conservación, calle Campos 296/5a, La Paz, Bolivia, Fundación Amigos de la Naturaleza, casilla 2241, Santa Cruz, Bolivia, robemule@yahoo.com

²Herbario Nacional de Bolivia, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés Casilla 10077, Correo Central, La Paz, Bolivia, becks@ceibo.entelnet.bo

³Calle Reseguín 1978, La Paz, Bolivia, hecsan@caoba.entelnet.bo

Resumen

Se presenta un análisis generalizado de factores climáticos y de la vegetación potencial de los Yungas Bolivianos (bosques húmedos de la cordillera nor-oriental) en Bolivia.

Se propone y aplica una fórmula para calcular el número de meses áridos con valores de precipitación anual y altitud, esta última como indicadora de temperatura. Estos valores se toman de un mapa de precipitación anual, basado en registros de 48 estaciones pluviométricas y estimaciones según orografía y observaciones del campo y de un modelo de elevación, generado con las curvas de nivel del mapa físico de Bolivia (IGM 1993).

En base a las estimaciones de meses áridos y de altitud se genera un mapa de la vegetación potencial, es decir de vegetación que supuestamente se encontraría en la región sin influencia del hombre. La vegetación potencial es generalizada a 22 tipos de bosque, que consisten en combinaciones de seis clases de humedad con cuatro clases altitudinales.

Palabras clave: Vegetación potencial, Yungas, humedad, meses áridos, precipitación.

Abstract

The patterns of precipitation, humidity and potential vegetation in the Bolivian Yungas-Forests (humid montane-forests of the north-eastern Andean cordillera) are analyzed in a general way in this article.

We propose a simple formula to calculate the number of arid months only from precipitation- and altitude-data. These data are taken from a map of annual precipitation, based on 48 meteorological stations, estimations from topographic patterns and field-observations, and a model of elevation based on the physical map of Bolivia (IGM 1993).

From the calculated number of arid months and from altitudes we generate a map of potential vegetation, i.e. the vegetation one would find without human influence. Potential vegetation is generalized by 22 forest-types, which consist of combinations of six classes of humidity with four classes of elevation.

Keywords: Potential vegetation, Yungas, humidity, arid months, precipitation.

Introducción

Los Yungas bolivianos son la región más diversa en Bolivia, con respecto a diversidad florística, endemismo, variedad topográfica y climática (Ibisch 1996, Ibisch et al. 2001, Kessler & Beck 2001). Esta diversidad, el difícil acceso y el bajo grado de exploración de grandes partes de la región, generan varias dificultades para el mapeo de la vegetación. La interpretación de imágenes de satélite lleva a resultados poco exactos, debido a la complejidad del terreno y la sombra topográfica.

Por eso, el objetivo del análisis presentado no es lograr una nueva clasificación de la vegetación de los Yungas bolivianos, sino de dar una estimación que sirva como referencia para proyectos futuros, basándose en los factores de altura y humedad y en observaciones de campo acumulados por varios biólogos que conocen la zona, principalmente por el segundo y tercer autor. Así, el estudio también intenta documentar y hacer accesible los conocimientos y experiencias acumulados durante décadas de trabajo de campo.

Hasta la fecha, el mapa de precipitación más exacto para los Yungas de Bolivia fue presentado por Montes de Oca (1997), basándose en el mapa de isoyetas de Roche & Rocha (1985, citado por Hanagarth 1993). Es un mapa a nivel nacional que presenta poca exactitud en los Yungas, debido a la extrema variedad topográfica y baja densidad de estaciones pluviométricas. Los mapas topográficos existentes a una escala 1:250.000 o más fina, son incompletos para los Yungas Bolivianos, solo el mapa físico de Bolivia (IGM 1993 a escala 1:1.000.000) cubre toda la región.

Mapas de vegetación incluyendo toda la región también existen sólo a nivel nacional (MDSMA 1995, Ribera et al. 1996). A mayor escala y con mayor exactitud existen mapas de vegetación para el Parque Nacional Amboró (Navarro 1996) y para la cuenca del Río Ichilo (Navarro & Ferreira 2000).

Navarro también presenta una clasificación preliminar de los bosques de Bolivia (Navarro 1997), sin dar un mapa correspondiente. Esa clasificación se basa en un modelo bioclimático (Rivas-Martínez et al. 1999), algo diferente del método que se propone en este artículo (ver discusión). El primer paso para el mapeo de la vegetación en Bolivia es el Mapa Ecológico de Bolivia (MACA 1975), en base al sistema de Holdridge (1978).

Con este estudio no se pretende desarrollar métodos o clasificaciones que tengan valencia global. A diferencia de los sistemas globales de clasificación climática de Holdridge (1978), Koeppen (1936), Rivas-Martínez et al. (1999) y otros, en el presente estudio se desarrolla una fórmula específica para el área de estudio, basándose en los dos únicos parámetros disponibles con exactitud aceptable: Altitud y precipitación.

Área de estudio

Para este estudio, los Yungas de Bolivia se definen como la región de los bosques (pre-) montanos (mayormente) húmedos de la Cordillera nor-oriental, incluyendo partes de los departamentos de La Paz, Beni, Cochabamba y Santa Cruz, sin tomar en cuenta la formación del Bosque Tucumano-Boliviano (Figs. 1 y 2).

Al sur, el área de estudio se delimita hacia bosques más secos (Bosques Secos Interandinos, Bosques Chaqueños y Bosque Tucumano-Boliviano), según el Mapa de Vegetación de Bolivia (Ribera et al. 1996) y el Mapa Forestal de Bolivia (MDSMA 1995), al oeste hacia el límite altitudinal de bosque (aproximadamente 3.500 m) y hacia la frontera con Perú. Se incluye el valle de Sorata – Chuma, por ser más húmedo que los típicos valles interandinos y se excluye la parte alta del valle del Río La Paz (hacia Sapahaqui) por ser un típico valle seco interandino. Al norte y noreste, la zona de estudio se delimita hacia bosques y sabanas de llanura, que prácticamente están fuera de la

influencia de la cordillera (por ejemplo sobre el régimen pluviométrico). Esta última delimitación también se basa en el Mapa de Vegetación de Bolivia (Ribera et al. 1996) y el Mapa Forestal de Bolivia (MDSMA 1995), pero es relativa, debido a la suave transición de la vegetación.

Existe una larga tradición de asentamientos humanos. Las actividades de mayor importancia económica son agricultura (café, coca, frutales y otros) y minería (principalmente de oro). Hay algunos centros más poblados (Villa Tunari y alrededores, Chulumani, Caranavi, Coroico, Guanay, entre otros), pero a pesar de eso grandes partes quedan prácticamente inexploradas.

Métodos

Todos los mapas presentados están en cuadrícula con celdas de 2 por 2 minutos, lo que corresponde a aproximadamente 3.6 km, siendo la superficie aproximada de 13 km² por cada celda.

Los mapas básicos para los análisis presentados son: el modelo de elevación (Fig. 1) y el mapa de precipitación anual (Fig. 2). El modelo de elevación se generó en base a las curvas de nivel del mapa físico de Bolivia (IGM 1993). Las curvas de nivel, que hasta los 500 m presentan intervalos de 100 m y arriba de los 500 m de 500 m fueron interpoladas, para llegar a un mapa que para cada celda indique la presencia de pisos altitudinales con una exactitud de 250 m. La mayoría de celdas incluye varios pisos altitudinales (por ejemplo todas las altitudes entre 750 y 1.500 m). Por eso, para cada celda, se calculó la elevación mínima, la máxima y la promedio. Esta última fue redondeada a clases de 500 m (como se muestra en la figura 1), junto con una tabla indicando los pisos climáticos altitudinales según Lauer (1973).

Para la elaboración del mapa de precipitación se utilizaron los promedios anuales de precipitación de 48 estaciones pluviométricas. En áreas que cuentan con buena información de estaciones pluviométricas, se

analizaron las relaciones entre los patrones de precipitación y la orografía, para después estimar la precipitación en gran parte del área de estudio que no cuenta con información suficiente. Para estas estimaciones no se aplicó un método de cálculo, sino que de manera empírica, se tomaron en cuenta efectos de sombra de lluvia, efectos de precipitación incrementada por barreras orográficas y observaciones de vegetación en el campo, principalmente del segundo y tercer autor. Encontramos que, en la escala de trabajo aplicada, es posible predecir los patrones de precipitación con una exactitud aceptable.

También se utilizaron los siguientes mapas como referencia: Mapa de Vegetación de Bolivia (Ribera et al. 1996), Mapa Forestal de Bolivia (MDSMA 1995), Mapa de Vegetación del Parque Nacional Amboró (Navarro 1996), Mapa de Vegetación de la Cuenca del Río Ichilo (Navarro & Ferreira 2000), un mapa de los bosques deciduos de Bolivia (Bach et al. 1999) y un mapa de los bosques secos del valle del Río Tuichi (Perry et al. 1996).

Todos los valores se adaptaron a una escala generalizada, cuyas clases se incrementan hacia valores más altos: 800, 1.000, 1.200, 1.400, 1.700, 2.000, 2.500, 3.000, 3.500, 4.000, 5.000 y por encima de 6.000 milímetros anuales.

Las estimaciones del mapa resultante de precipitación se corrigieron según observaciones de campo.

El factor climático que muy probablemente tiene mayor importancia para la vegetación de los Yungas bolivianos es la duración de la época seca. Para estimar el número de meses áridos en cada celda en base a precipitación y altitud, se estudiaron registros pluviométricos de 48 estaciones en la región y alrededores. Para la definición de un mes árido se utilizó una fórmula de Lauer (1995):

$$I_x = (p_x * 12) / (t_x + 10)$$

Donde, I_x es un índice de humedad, p_x la precipitación media del mes analizado y t_x la temperatura media del mismo mes. Si I_x es

mayor a 20, este mes se clasifica como húmedo.

La temperatura se tomó directamente de registros termométricos. En caso contrario, se estimó según la altitud de la estación analizada, suponiendo una disminución de la temperatura media anual por 4.6°C por cada 1.000 m de altitud, siendo la temperatura a nivel del mar de 26.5°C. Esta relación se encontró al analizar varias estaciones dentro del área de estudio. Para tomar en cuenta la oscilación anual de la temperatura media mensual, se redujo la temperatura media anual en dos grados centígrados para los meses de junio y julio y en un grado centígrado para los meses de mayo y agosto, esto de acuerdo a un análisis de las estaciones que cuentan con datos termométricos. Para el resto de los meses, se utilizó la temperatura media anual, ya que un ajuste en ningún caso hubiera cambiado los resultados.

Es importante mencionar que, para cada estación, se calculó el promedio del número de meses áridos a lo largo de los años. Este método es más exacto que un cálculo basado en promedios mensuales. Por ejemplo, resulta que también en estaciones extremadamente húmedas como San Mateo Bajo en el Chapare (precipitación media anual 7.150 mm) ocurren meses áridos.

El número de meses áridos es correlacionado no solamente con la precipitación anual, sino también con la temperatura media en la época seca del lugar estudiado, esta última dependiendo linealmente de la altitud. La evaporación disminuye cuando disminuye la temperatura, lo que hace que una misma cantidad de precipitación crea un ambiente más húmedo en un lugar más elevado.

Con los resultados de 48 estaciones pluviométricas en diferentes altitudes y condiciones de humedad, se ajustó una fórmula para calcular el número de meses áridos directamente con la precipitación anual y la altitud:

$$MA = \frac{6}{\left(\frac{prec_{an} + (alt * 0.15)}{1000}\right)^{1.5}}$$

Donde, *MA* significa número de meses áridos, $prec_{an}$ es la precipitación anual en mm y *alt* la altitud en m. La fórmula se diseñó especialmente para los Yungas bolivianos y podría ser aplicable para regiones tropicales en altitudes bajo 3.500 m, donde el término $prec_{an} + (alt * 0.15)$ es mayor a 1000. Se podría deducir, que con cada 1.000 m de altitud, la evaporación anual baja a 150 mm. (Sin embargo, el régimen de evaporación es mucho más complejo). De acuerdo a eso, una precipitación anual de 1.500 mm a 2.500 m causaría el mismo número de meses áridos como una precipitación anual de 1.800 mm en 500 m. Para lugares a nivel del mar con una precipitación anual de 1.000 mm, resultarían seis meses áridos.

Comparando valores de meses áridos calculados en base a esta fórmula con valores medidos en las 48 estaciones analizadas, se encontró una buena correlación, con un error promedio de 19%, que se mantiene estable para toda la escala aplicada de valores de altitud y precipitación, es decir no presenta un error sistemático.

Factores edáficos e inundaciones periódicas supuestamente no tienen mucha importancia sobre la vegetación en la zona de estudio y tampoco se encuentran disponibles con una confiabilidad y resolución aceptable. Por eso, para generar un mapa generalizado de la vegetación potencial, en cada celda, se combinaron altitud promedio y número de meses áridos, según los mapas ya mencionados.

Se definieron seis clases de bosque según diferentes niveles de humedad, que principalmente se basan en criterios de la clasificación global de vegetación de la UNESCO (1973), añadiendo la clase del "Bosque siempreverde muy húmedo" y redefiniendo las clases del "Bosque mayormente deciduo" y del "Bosque deciduo" (ver tabla 1). Para especificar, se estimó un porcentaje aproximado de especies arbóreas deciduas (en paréntesis). No tienen validez estas estimaciones para matorrales secos altimontanos, formados mayormente por arbustos escleromórficos siempreverdes.

Tabla 1: Clasificación de bosques según humedad y altitud.

Meses áridos	Tipo de bosque	% de especies arbóreas deciduas
0.5-1 mes áridos:	Bosque siempreverde muy húmedo	(0-2%)
1.5-2 meses áridos:	Bosque siempreverde	(02-10%)
2.5-3 meses áridos:	Bosque siempreverde estacional	(10-30%)
3.5 meses áridos:	Bosque semideciduo	(30-60%)
4 meses áridos:	Bosque mayormente deciduo	(60-85%)
4.5 y más meses áridos	Bosque deciduo	(85-100%)
Altitud:		
0-750 m:	Bosque de llanura y pie de monte	
750-1.750 m:	Bosque montano bajo	
1.750-2.750 m:	Bosque montano	
2.750-3.500 m	Bosque altimontano	

También se definieron cuatro tipos altitudinales de bosque (Tabla 1).

Combinando estas clasificaciones, se identificaron 22 tipos potenciales de bosque dentro del área de estudio.

Resultados

Se presenta un mapa de elevación (Fig. 1), un mapa de precipitación (Fig. 2), un mapa de humedad (número de meses áridos, Fig. 3) y un mapa de vegetación potencial (Fig. 4).

Observando los mapas de precipitación y de elevación, se notan las relaciones entre orografía y precipitaciones: los valles secos, por ejemplo en Sud Yungas, se encuentran en sombra de lluvia, mientras la zona de altísimas precipitaciones en Chapare coincide con la pendiente muy abrupta que forma la cordillera, acumulando la humedad que llega desde el noreste.

Comparando el mapa de meses áridos con el mapa de precipitación, se nota la influencia de la altura sobre la humedad: Una precipitación de 1.200 mm corresponde a cuatro meses áridos al norte de Apolo (aproximadamente 1.000 m), pero a 2.5 meses áridos alrededor de Quime (3.000-3.500 m).

El mapa resultante de vegetación potencial es algo más generalizado que los mapas de

altitud y de meses áridos, este último permite una diferenciación más fina del grado de humedad. Resulta que la mayor parte del área de estudio está potencialmente cubierta por bosques siempreverdes y se identifican tres zonas importantes de muy alta humedad: El Chapare (Cochabamba), las vertientes orientales de la Cordillera Real en las provincias Murillo y Larejaca (La Paz) y la parte fronteriza con Perú en el Parque Nacional Madidi (La Paz).

Los valles secos importantes se destacan en el límite sureste del área de estudio y también en las provincias Ayopaya y Inquisivi (cuenca alta y media del Río Cotacajes), Sud Yungas (Río La Paz-Boopi y algunos afluentes, Río Inicua), Larejaca (Río Coroico, Río Consata) y Franz Tamayo (Río Tuichi y algunos afluentes).

Una comparación con mapas que indican la intervención humana (MDSMA 1995, Ribera et al. 1996, Superintendencia Agraria 2001), muestra que, especialmente en los alrededores de Apolo, Sorata, Circuata y en Sud Yungas, la vegetación actual se encuentra fuertemente alterada por el hombre, por lo que aparece más seca que la supuesta vegetación original (ver Parker & Bailey 1991, Kessler & Beck 2001). Especialmente quemas antrópicas juegan un papel importante sobre el aspecto

de la vegetación (ver Beck 1993). En los alrededores de Apolo, la vegetación actual puede ser confundida con sabanas arboladas naturales.

Es un hecho interesante que las áreas con mayor tradición de asentamientos humanos generalmente coinciden con áreas relativamente secas y viceversa, los centros de extrema humedad son áreas que solo recientemente fueron colonizadas o siguen casi despobladas e inexploradas hasta hoy en día.

Breve caracterización de los tipos de bosque identificados

Morfológicamente, los bosques siempreverdes y siempreverdes muy húmedos son bosques latifoliados, mientras en tipos estacionales hasta mayormente deciduos dominan especies microfoliadas. En los tipos más secos (mayormente deciduo a deciduo), elementos suculentos (especialmente Cactaceae) y xeromórficos ganan importancia. La altura del dosel baja hacia zonas más elevadas y más secas. La abundancia de epífitas aumenta hacia zonas más elevadas y más húmedas.

La siguiente caracterización mediante taxa típicos necesariamente es algo general, porque existen solamente pocas especies características y vistosas, que se restringen exclusivamente a uno solo de los tipos de bosque definidos aquí (ver también Beck et al. 1993). Tampoco se toman en cuenta diferencias biogeográficas entre las diferentes subregiones. Sin embargo, existen estas diferencias, especialmente entre las partes al este y al oeste de la cordillera Tunari-Cocapata.

Taxa típicos por niveles altitudinales

A) Todos los niveles altitudinales:

Familias leñosas con importancia en todos los niveles altitudinales son Anacardiaceae, Clusiaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Leguminosae, Melastomataceae, Myrtaceae, Piperaceae, Rubiaceae y Solanaceae.

Melastomataceae, Rubiaceae y en menor grado Clusiaceae muestran preferencia para bosques húmedos, Anacardiaceae para ambientes más secos. Las familias sempervirentes Lauraceae y Myrtaceae son muy importantes en bosques húmedos y estacionales, pero prácticamente faltan en bosques deciduos.

B) Bosque de llanura y pie de monte:

En sus partes siempreverdes, familias indicadoras para bosques de llanura y pie de monte son Annonaceae, Chrysobalanaceae, Lecythidaceae, Moraceae y Sapotaceae. Palmeras típicas son *Iriartea deltoidea* (copa) y *Socratea exorrhiza* (pachiuba).

Las partes muy húmedas presentan influencia de elementos típicamente andinos, como por ejemplo helechos arbóreos u orquídeas epífitas, mientras estos elementos están casi ausentes en los demás tipos de bosque. Especies deciduas existen hasta en tipos siempreverdes muy húmedos, típicamente son árboles emergentes como *Ceiba pentandra* (mapajo), *Hura crepitans* (ochoó, solimán) o *Swietenia macrophylla* (mara). La abundancia de estas últimas dos especies incrementa significativamente hacia tipos estacionales y semideciduos, así como también aumenta la dominancia y abundancia de especies leguminosas.

Anadenanthera colubrina (curupaú, wilka) es un elemento típico de bosques semideciduos, a menudo presente en bosques estacionales y abundante en bosques semideciduos hasta deciduos, igual que el género *Chorisia* (toborocho). Una palmera característica de bosques estacionales hasta semideciduos es *Attalea phalerata* (motacú). *Astronium urundeuva* (cuchi) y *Schinopsis brasiliensis* (soto) generalmente están presentes en bosques semideciduos y abundantes en bosques deciduos, igual que Cactaceae columnares (*Cereus*). En bosques mayormente deciduos a deciduos faltan especies de *Cecropia* (ambaibo), muy típicas como pioneras para bosques más húmedos.

C) Bosque montano bajo:

Presenta una mezcla de elementos de llanura y elementos montañosos-andinos, generalmente son más ricos en epífitas, que bosques de llanura y de pie de monte. En las partes húmedas son importantes las familias mencionadas como típicas para bosques de llanura y pie de monte, con excepción de Lecythidaceae y Chrysobalanaceae, pero también son diversos los taxa mencionados como típicos para bosques húmedos montañosos (ver próximo párrafo). Un género muy típico para las partes húmedas es *Inga* (pacay).

Las palmeras *Iriartea deltoidea* (copa) y *Socratea exorrhiza* (pachiuba), típicas para bosques de llanura, también están presentes en bosques húmedos montañosos bajos.

Sus partes siempreverdes muy húmedas generalmente muestran presencia del género *Lepanthes* (Orchidiaceae, ver Vasquez & Ibsch 2000). *Anadenanthera colubrina* (curupaú, wilka), *Attalea phalerata* (motacú), *Astronium urundeuva* (cuchi) y Cactaceae columnares indican el grado de estacionalidad como en los bosques de llanura y piedemonte. Elementos montañosos típicos para bosques montañosos bajos semidecíduos hasta decíduos son *Ceiba mandonii* (huironco, jorocho), *Parapiptadenia excelsa*, *Schinopsis haenkeana* (en la parte sur, soto) y *Schinopsis brasiliensis* (en la parte norte, soto).

D) Bosque montano:

En las partes húmedas, las familias mencionadas como típicas para bosques de llanura ya no tienen mucha importancia. Familias típicas para bosques montañosos son Actinidiaceae, Araliaceae, Chloranthaceae, Clethraceae, Cyatheaceae, Ericaceae, Podocarpaceae, Symplocaceae y Theaceae. Géneros típicos (pero sin falta en la llanura) son *Solanum* y *Clusia*, y una especie muy típica es *Alnus acuminata* (aliso).

Las partes siempreverdes muy húmedas se caracterizan por la abundancia y diversidad de epífitas, por ejemplo orquídeas de la subtribu Pleurothallidinae como *Pleurothallis*, *Stelis* y

Lepanthes (Vasquez & Ibsch 2000) y musgos (terrestres y epífitas, sobre todo Musci), que bajan ligeramente hacia bosques montañosos siempreverdes. Palmeras de las partes húmedas y muy húmedas son *Geonoma weberbaueri* y *Ceroxylon pityrophyllum*. Hacia bosques montañosos estacionales, la importancia de Rubiaceae y Melastomataceae baja, mientras la diversidad de Lauraceae y Myrtaceae aumenta. Típico para bosques estacionales hasta semidecíduos es el género *Juglans* (nogal).

En zonas semidecíduas hasta decíduas, se encuentran por ejemplo *Tecoma*, *Parapiptadenia excelsa*, *Schinopsis haenkeana*, (principalmente en la parte sur, soto), *Ceiba mandonii* (huironco, jorocho), como pionera *Dodonaea viscosa* y como epífitas *Tillandsia usneoides* y otras especies grises de *Tillandsia*.

E) Bosque altimontano:

En su versión húmeda, el bosque altimontano corresponde a la ceja de monte. Son bosques y muy distintos de los bosques de llanura y bosques montañosos bajos, prácticamente faltan las familias mencionadas como indicadores para aquellos y son ausentes *Cecropia* (ambaibo) y *Heliconia* (patujú). Son importantes las familias y los géneros mencionados para caracterizar los bosques húmedos montañosos, con la excepción de Actinidiaceae. Helechos, musgos (aquí especialmente Hepaticae) y líquenes abundan en el suelo y como epífitas; otros criptógamos muy típicos son Lycopodiaceae y Selaginellaceae.

El tipo muy húmedo se puede distinguir por *Blechnum buchtienii*, un helecho arbóreo pequeño que se parece a *Cycas* y hace recordar la forma de vida del frailejón elemento característico del páramo de Colombia.

Elementos típicos para bosques altimontanos siempreverdes muy húmedos y siempreverdes son *Brunellia* (cedrillo), *Weinmannia* (huaycha) y *Polylepis pepeii* (keñua), en tipos semidecíduos hasta decíduos se encuentran *Polylepis besseri* (keñua), *Citharexylum*, como pionera *Dodonaea viscosa*

(chacataya) y exclusivamente en bosques deciduos *Prosopis laevigata* (taco).

Discusión

Debido a la escasez de datos pluviométricos exactos en el área de estudio, se hicieron varias generalizaciones y simplificaciones:

Por el tamaño de las celdas de la cuadrícula, todos los mapas presentan cierto margen de error y no captan cambios muy locales. Por ejemplo, algunos valles secos muy estrechos (como en la provincia de Inquisivi - La Paz), en su fondo pueden ser algo más secos de lo que muestran los mapas.

La generalización de la escala del mapa de precipitación también disminuye en algo la exactitud del estudio.

El límite de bosque de altura se definió en 3.500 m, sintomarencuenta variaciones del mismo.

Como ya se mencionó arriba, se supone que factores edáficos y de inundación no tienen mayor importancia en los Yungas bolivianos. Sin embargo, existen tales formaciones. Por ejemplo, algunas áreas pequeñas al límite noreste del área de estudio se clasifican como bosques inundables en el Mapa Forestal de Bolivia (MDSMA 1995) y algunas formaciones de Cerrado en el extremo sureste del área de estudio parecen tener origen edáfico.

Otros factores que no se incluyeron en el estudio son: Condensación de neblina en lugares con importante influencia de nubes (por ejemplo Siberia - Santa Cruz), los mayores efectos de vientos antárticos (surazos) en la parte sur del área de estudio y los factores de la exposición de vertientes y de vientos fuertes que aumentan la evaporación en ciertas áreas (ver Richter & Lauer 1987, Bach et al. 1999 para el valle seco de Consata - La Paz).

El mapa de vegetación potencial tampoco es un mapa biogeográfico, por ejemplo no refleja la mayor importancia de elementos australes en las áreas al lado sur de la cordillera Tunari - Copacata.

A pesar de estas limitaciones, la buena correlación que generalmente se encontró entre

las extrapolaciones y las observaciones del campo, indican un grado de confiabilidad bastante alto. El modelo bioclimático presentado aquí para calcular el número de meses áridos muestra algunas diferencias con el modelo global de Rivas-Martínez et al. (1999). Este último trabaja con dos variables climáticas, un índice de humedad (índice ombrófilo), que se calcula de la temperatura media anual y la precipitación: $I_o = p / (t * 12)$, donde I_o es el índice ombrófilo, p la precipitación anual en milímetros y t la temperatura media anual en centígrados, y un índice de estacionalidad: $I_{od} = p_{2min} / t_{2min}$, donde I_{od} es el índice de estacionalidad, p_{2min} es la precipitación media de los dos meses seguidos más secos en milímetros y t_{2min} la temperatura media de los dos meses seguidos más secos en centígrados.

La fórmula aplicada aquí es algo más simple, porque trabaja con un solo índice climático, la duración de la época seca, que se calcula directamente de la precipitación anual y de la altitud (en vez de basarse en la temperatura). Eso facilita su aplicación para estudios generalizados como éste, porque en áreas donde faltan datos climáticos parece más factible estimar la precipitación media anual. Sin embargo, la fórmula se desarrolló especialmente para la región estudiada en base a datos de la misma. Solo es aplicable para regiones con la misma estacionalidad. Por eso, sería importante comprobarla con datos más amplios y para otras regiones.

Una comparación de la fórmula propuesta aquí con el índice ombrófilo de Rivas-Martínez et al. (1999) muestra que, comparando áreas con la misma precipitación anual en diferentes alturas, el aumento de la humedad con la altura según Rivas-Martínez es mucho más fuerte que según la fórmula que se propone aquí (al menos en zonas semiáridas a muy húmedas). Eso se debe al hecho que estos autores dividen la precipitación media por la temperatura media anual, mientras la fórmula propuesta aquí trabaja con una precipitación virtual, incrementando la precipitación anual real en

forma linear según la altitud. Así se logró una buena correlación en la comparación de datos encontrados empíricamente y datos calculados para la región de estudio.

Conclusiones

Se mostró la posibilidad de deducir patrones de vegetación potencial en los Yungas bolivianos analizando patrones de altura y humedad. El componente de la humedad con mayor importancia para la vegetación, la duración de la época seca, puede ser medido por el número de meses áridos y ser aproximado con datos de altitud y precipitación. La precipitación a su vez puede ser estimada analizando la orografía para llenar los grandes vacíos de información en el área de estudio. Sin embargo, es crucial verificar y adaptar los resultados mediante observaciones de campo.

Los resultados del estudio presentado muestran la gran diversidad de ecosistemas que presentan los Yungas Bolivianos. La información brindada sobre humedad presenta una base importante para diferentes tipos de estudios, por ejemplo para la estimación de rangos de distribución de especies. Una comparación del estado actual de la vegetación con el mapa de vegetación potencial presentado ayuda en la identificación de áreas que han sido fuertemente disturbadas por el hombre, así como los tipos de vegetación que corren mayores riesgos de desaparición y por eso merecen esfuerzos especiales de conservación.

Esperamos que el estudio presentado pueda servir como base para clasificaciones futuras de un carácter más biogeográfico-florístico, así como para otros estudios y proyectos.

Agradecimientos

Agradecemos a las siguientes personas por contribuir sus conocimientos de los Yungas bolivianos: Humberto Gómez, Inés Hinojosa, Marcelo Hinojosa, Pierre Ibisch, Maximo Liberman, Freddy Miranda, Juan Carlos Montero, Christoph Nowicki, Narel Paniagua,

Jaime Quispe, Renate Seidel, Israel Vargas y Blanca Vega. Se agradece a COBEE por brindar datos pluviométricos. La gran parte de datos pluviométricos originalmente provinieron del SENAMHI, y fueron recopilados por fuentes bibliográficas. A la Fundación Amigos de la Naturaleza, PAFBOL, el Herbario Nacional de Bolivia y TROPICO se agradece por su apoyo logístico. Por las sugerencias importantes y la revisión del manuscrito agradecemos a Alejandra Briançon, Patricia Ergueta, Inés Hinojosa, Pierre Ibisch, Michael Richter, Henning Sommer, Anna Spector, Ramiro Villarando y Paola Zurita. El estudio fue parcialmente incluido en el proyecto "Identificación de áreas prioritarias para la conservación en cinco ecoregiones de América Latina", financiado por el GEF, ejecutado a nivel internacional por TNC y en Bolivia por TROPICO con contribuciones de FAN.

Referencias

- Bach, K., Kessler, M. & J. Gonzales. 1999. Caracterización preliminar de los bosques deciduos andinos de Bolivia en base a grupos indicadores botánicos. *Ecología en Bolivia* 32: 7-22.
- Beck, S. 1993. Bergsavannen am feuchten Ostabhang der bolivianischen Anden – anthropogene Ersatzgesellschaften? *Scripta Geobotanica* 20: 11-20.
- Beck, S., Killeen, T. & E. García. 1993. Vegetación de Bolivia. pp. 6-24. En: Killeen T., García E. & Beck, S. (eds.). *Guía de Árboles de Bolivia*. Herbario Nacional de Bolivia / Missouri Botanical Garden. La Paz.
- Hanagarth, W. 1993. Acerca de la Geoecología de las Sabanas del Beni en el noreste de Bolivia. Instituto de Ecología, La Paz. 186 p.
- Holdridge, L. 1978. *Ecología Basada en Zonas de Vida*. Centro Científico Tropical, IICA. San José.
- Ibisch, P. 1996. *Neotropische Epiphyten-diversität - das Beispiel Bolivien*. Martina-Galunder-Verlag. Wiehl.

- Ibisch P., Nowicki C. & R. Müller. 2001. El biocorredor Amboró-Madidi – primeros insumos botánicos para un Plan de Conservación. *Revista de la Sociedad Boliviana de Botánica* 3(1/2): 64-103.
- IGM (Instituto Geográfico Militar de Bolivia). 1993. Mapa físico de Bolivia. Escala 1:1.000.000. Edición I. La Paz.
- Kessler, M. & S. G. Beck 2001. Bolivia. pp. 581-622. En: M. Kappelle & A. Braun (eds.). *Bosques nublados del Neotropico*. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Santo Domingo de Heredia.
- Koeppen, W. 1936. Das geographische System der Klimate. Vol. 5, parte C. En: Koeppen W. & Geiger, R. (eds.) *Handbuch der Klimatologie*. Gebrueder Borntraeger. Berlin.
- Lauer, W. 1973. Zusammenhänge zwischen Klima und Vegetation am Ostabfall der mexikanischen Meseta. *Erdkunde* 27:192-213.
- Lauer, W. 1995. *Klimatologie*. Geographisches Seminar. Braunschweig.
- MACA (Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios). 1975. Mapa ecológico de Bolivia. Escala 1:2.500.000. La Paz.
- MDSMA (Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente). 1995. Mapa Forestal de Bolivia. Escala 1:1.000.000. La Paz.
- Montes de Oca, I. 1997. Geografía y recursos naturales de Bolivia. 3. Edición. EDOBOL. La Paz. 614 p.
- Navarro, G. 1996. Parque Nacional y Area Natural de Manejo Integrado Amboró - Mapa de Vegetación del Plan de Manejo. Escala 1:175.000. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. La Paz.
- Navarro, G. 1997. Contribución a la clasificación ecológica y florística de los bosques de Bolivia. *Rev. Bol. de Ecol.* 2: 3-37.
- Navarro, G. & W. Ferreira. 2000. Caracterización ecológica y biodiversidad de la cuenca oeste del Río Ichilo (Cochabamba, La Paz). *Rev. Bol. de Ecol.* 7: 3-23.
- Parker, T. & B. Bailey (eds). 1991. A biological assessment of the Alto Madidi region and adjacent areas of northwestern Bolivia, May 18–June 15, 1990. *Conservation International. RAP Working Papers* 1 . 108 p.
- Perry, A., Kessler, M., Helme, N., Mitton J., Valder, B. & B. Rios. 1996. A biological and environmental assessment of the inner-andean dry tropical forest of the central Rio Tuichi valley. *TREX Field Report* 1, La Paz. 129 p.
- Ribera, M.O., Liberman, M., Beck, S. & M. Moraes. 1996. Vegetación de Bolivia. pp. 169-222. En: Mihotek K. (ed.). *Comunidades, Territorios Indígenas y Biodiversidad en Bolivia*. Escala 1:2.000.000. UAGRM/CIMAR, Santa Cruz.
- Richter, M. & W. Lauer. 1987. Pflanzenmorphologische Merkmale der hygri-schen Vielfalt in der Ost-Kordillere Boliviens. *Aachener Geographische Arbeiten* 19: 71-108.
- Rivas-Martínez, S., Sanchez-Mata D. & M. Costa. 1999. North American boreal and western temperate forest vegetation. *Itinera Geobotanica* 12: 5-316.
- Roche, M. & N. Rocha. 1985. Precipitaciones anuales. PHICAB: SENAMHI-ORSTOM, La Paz, 1 mapa.
- Superintendencia Agraria. 2001. Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra. Mapa y Memoria. Escala 1:1.000.000. La Paz.
- UNESCO. 1973. Clasificación internacional y cartografía de la vegetación. *Serie Ecología y Conservación* 6: 67-93.
- Vásquez R. & P. Ibisch. 2000. Orquídeas de Bolivia / Orchids of Bolivia. *Diversidad y estado de conservación / Diversity and conservation status*. Vol. 1 Pleurothallidinae. Editorial F.A.N., Santa Cruz de la Sierra, 550 p.

Artículo manejado por: Stephan Halloy

Recibido en: Marzo de 2002.

Aceptado en: Septiembre de 2002.