Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung **Band 41 / 2006** pp. 49 - 58

Aplicación de Técnicas Cartográficas y de Teledetección en la Investigación y Conservación de los Yungas Bolivianos

M. Carolina García-Lino and Arely N. Palabral-Aquilera
Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia

Abstract

"Cartography and remote sensing techniques applied to the investigation and conservation of the Bolivian Yungas region."

The Yungas region is located in the eastern side of the Cordillera Oriental of Bolivia, in the cordilleran slope faced to the Amazonian plain. Its altitude varies between 200 and some 5,000 masl and it is considered as an important ecologic zone because of the high biodiversity. Although this region is relatively well preserved, in the last time it have undergone an increasing impact of the human activities. This new conditions, and the urgency to know the ecologic characteristics of this region, have moved to carry out many studies mainly based on remote sensing data. Some results of these studies have opened the discussion about older criteria. For example, traditionally, the altitude was considered as the principal control of the biodiversity, but also the angle of the slope, the sun exposition, and vegetation cover have a role in the ecologic characteristics. The rough relief of this region, with several braided ranges and valleys, originates a mosaic of habitats with different intensity of both precipitation and fog, and wind impact. This relief also contributes to the preservation of the region since many zones are inaccessible. These peculiarities make difficult the study of this region. In spite of many efforts that have been made in the last years to understand the ecologic systems and the impact of the human activity, our knowledge of this vast region is insufficient. Undoubtedly, in the future, the remote sensing techniques will continue to help as an important tool in the study of the Yungas region, but a number of factors must be kept in mind when models and extrapolations will be done.

KEYWORDS: Yungas, mountain forest, biodiversity, altitude levels

1. Introducción

A lo largo de las faldas orientales de los Andes bolivianos, se distinguen una serie de ecoregiones: los Yungas, bosque tucumano-boliviano, Chaco serrano, bosques secos interandinos y prepuna. Cada una de estas ecoregiones es un área con una agrupación característica de comunidades naturales que comparte muchos taxa, dinámicas ecológicas y condiciones ambientales. De todas ellas se destacan los Yungas Bolivianos por su gran diversidad biológica, variedad topográfica y climática (Ibisch & Rojas, 1994)

El término "Yungas" tiene una historia larga e interesante. Según Fossa (1999), en el imperio incaico se clasificó el territorio según criterios geográficos. Los Yungas (Yunca) representaban los llanos o cualquier tierra calurosa, mientras Quechua era la tierra templada y Puna la tierra fría; además los españoles acostumbraron a llamar Yungas a los nativos de esta zona del oriente del imperio.

Esta ecoregión se encuentra entre los 200-300 y 3500 m snm, con una latitud de 13°08' - 18°14' sur y una longitud de 69°02' - 63°23' oeste, donde se incluyen parte de los departamentos de La Paz, Beni, Cochabamba y Santa Cruz. En términos hidrográficos abarca la cuenca del Amazonas, comprendiendo las subcuencas del río Beni y Mamoré (Montes de Oca, 1989). El clima depende fuertemente de la orografía; las temperaturas promedio varían entre unos 26°C en las partes bajas y unos 10°C en el límite superior. Las precipitaciones llegan desde menos de 800 mm (por ejemplo en los valles secos de Inquisivi) hasta más de 7000 mm (por ejemplo al sur de Villa Tunari). Esta variación se debe a la topografía muy accidentada que crea un mosaico entre laderas húmedas y valles secos por efectos de sombra de lluvia, especialmente en la parte que corresponde al departamento de La Paz (Montes de Oca, 1989). Es un centro de diversidad de especies y de endemismo en Bolivia, distinguiéndose varios pisos altitudinales, florísticamente muy distintos. Es, además, la zona de los bosques (pre) montanos (mayormente) húmedos de la cordillera nororiental, con una vegetación formada mayormente por bosques húmedos de pie de monte, bosques montanos y de ceja de monte interrumpidos por varios valles secos interandinos.

2. Área de estudio

La cordillera de los Andes es la segunda cadena montañosa más alta del mundo, extendiéndose paralelamente a la costa del Pacífico, desde Cabo de Hornos hasta las proximidades de Panamá, con 7.240 km de longitud, 241 km de ancho y un promedio de 3.660 m de altura. Los Andes se elevaron por encima de los 1.500 m sólo en últimos 28 millones de años, debido a esfuerzos tectónicos produciendo una división en dos cadenas paralelas (Occidental y Oriental) que se extienden por Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia.

Propiamente en la cadena oriental que atraviesa Bolivia, se encuentran los Yungas Bolivianos. Aquí pueden distinguirse tres subregiones latitudinales: los Yungas paceños (de la frontera con Perú hasta la cordillera de Cocapata); los Yungas cochabambinos (desde la cordillera de Cocapata hasta la Siberia) y los Yungas cruceños (coincidiendo gran parte con el parque Amboró). Aunque en Bolivia, popularmente, el área de Yungas se refiere sobre todo a los Yungas de La Paz (provincia Nor y Sud Yungas).

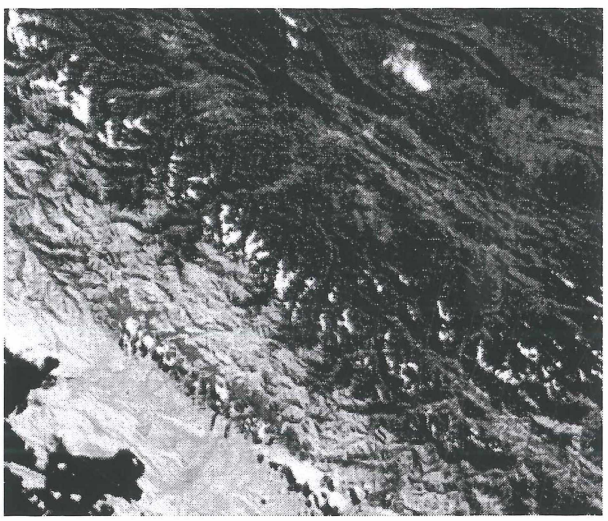

Figure 1: Satellite images of the Cordillera Oriental and Yungas region.

3. Justificación

En Bolivia, a diferencia de Perú, Ecuador y Colombia, los bosques montanos se encuentran relativamente bien conservados, lo que significa una gran oportunidad para su estudio manteniendo su estado de conservación. La región de los Yungas bolivianos reúne varias condiciones vinculadas con una alta especiación, lo que provoca un alto endemismo y una diversidad beta elevada, especialmente en el bosque montano medio e inferior donde existen diferentes pisos altitudinales con diferentes características ecológicas que varían de acuerdo a rangos de altitud, relieve, exposición y cubierta vegetal.

Sin embargo, algunas zonas de importante valor ecológico de la región se encuentran afectadas por el impacto directo e indirecto de diversas actividades antrópicas como la agricultura, el pastoreo, la construcción de caminos, y el turismo desordenado, entre las más importantes, las que ejercen un impacto relativamente fuerte sobre las cuencas y la fauna de esta zona.

Es así que han surgido problemas en conservación asociadas a la competencia espacial entre el humano y las especies que habitan áreas con recursos importantes para el desarrollo económico. Debido a estas amenazas y a su

condición privilegiada en diversidad de especies y ecosistemas, los Yungas son catalogados como prioritarios en la conservación (Trópico 2004). Por esta razón el presente trabajo desea mostrar el valor del lugar como un centro potencial de recursos naturales de alta montaña, para ser considerado en futuros estudios aplicando novedosas herramientas de teledetección.

4. Marco teórico

Los bosques montanos tropicales son un complejo de comunidades biológicas poco documentadas pero enormemente ricas en biodiversidad. Aunque es de conocimiento común que representan un conjunto de hábitats diversos en dimensiones múltiples con respecto a su precipitación, humedad atmosférica, viento, textura, fertilidad y profundidad de suelos, la duración e intensidad de insolación, disturbios naturales frecuentes, y otros factores a menudo están relacionados entre sí. Esta complejidad es también reflejada en una fragmentación natural sumamente alta debido a la topografía, donde dos sitios con condiciones ambientales similares y separados por una distancia relativamente corta, pueden estar efectivamente aislados debido a factores topográficos.

4.1. Pisos altitudinales

Tradicionalmente, los bosques de montaña están estratificados por los botánicos en "pisos altitudinales" debido al conocido efecto de la elevación sobre la temperatura y la precipitación, y la influencia de estos factores sobre la distribución de especies (Troll, 1959, Beck et al., 1993; Kessler, 2000, 2002; Patterson et al., 1998). Esta estratificación tradicional se fundamenta, en parte, en el supuesto de que los pisos superiores del bosque montano soportan el impacto de las nubes y representan un mapa de los bosques nublados. En parte esto es verdad y fácil de validar, pero la formación de las nubes está también relacionada al paisaje del entorno y suelen formarse sobre cimas de serranías, independientemente de su elevación, mientras son menos frecuentes encima de los valles, también independientemente de su elevación.

Los yungas son una región ancha en extensión con una serie de colinas y valles que se entrelazan en un mosaico de hábitats que varían en intensidad de precipitación, impacto por vientos, frecuencia de disturbios e intensidad y duración de neblina. Por ello, la estratificación de los bosques montanos en pisos altitudinales ha sido considerada demasiado simplista. Sin embargo cada piso altitudinal cuenta con características bióticas-flora, fauna- y abióticas -temperatura, precipitación, etc.- que las identifican y por este motivo a continuación realizaremos una breve descripción de cada uno.

4.1.1. Piso nival (> 4800 m snm)

Corresponde a las cumbres y laderas glaciales de nieves eternas. Se caracteriza por tener poca vegetación, casi exclusivamente líquenes y musgos saxícolas (que crecen sobre rocas) y algunas fanerógamas que crecen protegidas entre rocas sin formar comunidades reales.

4.1.2. Piso subnival (4600/4700 - 4800 m snm)

Existen pequeños grupos de vegetación creciendo debajo de paredes de rocas escarpadas. Aquí se desarrollan las primeras manchas de vegetación en lugares con filtración de agua, siendo las familias principales *Poaceae, Asteraceae* (con el género Senecio ampliamente representado), *Caryophyllaceae* y *Apiaceae*.

4.1.3. Piso altoandino (4100/4200 – 4600/4700 m snm)

Es la zona por encima del límite de crecimiento de los árboles y arbustos altos, con frecuente alternancia de heladas, precipitaciones, laderas de fuertes pendientes y afloramientos rocosos. Dominan en esta zona gramíneas de hojas duras como "paja brava" (*Stipa ichu*), algunas tholas (*Baccharis incarum, Parastrephia lepidophylla*), entremezcladas con hierbas, plantas en roseta y en las partes altas y menos húmedas dominan cojines de *Pycnophyllum*. Uno de los recursos más importantes son los bofedales o vegas de altura que se desarrollan en zonas permanentemente húmedas por la presencia de manantiales y aguas de deshielo. Aquí se encuentra una variedad de especies importantes para el pastoreo de llamas, alpacas y principalmente ovejas.

Es característico de este piso la viscacha (*Lagidium viscaccia*) y el zorro o kamake (*Pseudalopex culpaeus*), en los pajonales son comunes las aves como las perdices y águilas (*Circus cinereus* y *Buteo poecilochrous*) y el leke leke (*Vanellus resplendens*).

4.1.4. Páramo Yungueño (3500 – 4200 m snm)

Esta zona se encuentra por debajo del límite de escasa vegetación. Se caracteriza por bosques siempreverdes de arbustos coriáceos y esclerófilos, además de la presencia de epífitas, plantas en roseta y plantas en cojín, siendo algunas características la queñua (*Polylepis*), kiswara (*Budleja*), chachacoma (*Escallonia*), thola (*Baccharis spp.*) y otras.

Algunos animales como la "cabrilla" (Mazama brincenii), "gato de pajonal" (*Oreailurus jacobita*), colibríes (*Glaucidium jardín, Ocreatus underwoodi*), y el carismático "jukumari" u "oso de anteojos" (*Tremarctos ornatus*) son típicos de este piso.

4.1.5. Ceja de Montaña (2800 – 3500 m snm)

Es un bosque nublado de altura con bajo porte y mucho menos cálido en comparación a otras formaciones nubladas, llegando a sufrir heladas periódicas asociadas con vientos abíaticos que bajan de las alturas de las Cordilleras. La ceja de monte es un un ecotono que corresponde al borde entre los bosques montanos y los pastizales alto andinos. Los ecotonos típicamente contienen especies que pertenecen a los dos hábitat colindantes, pero, a menudo, cuentan con un conjunto de especies "especializado" a la zona de transición. Este segundo supuesto es especialmente válido para la ceja de monte, porque corresponda también a un piso altitudinal donde la distribución de las especies leñosas están limitadas por factores bioclimáticos.

Aquí existe predominancia de plantas epífitas. Las principales especies son "bambú" (*Chusquea*), "yarisana" (*Weinmannia*), aliso (*Alnus acuminata*) y muchos helechos. Algunos animales representativos son el "pato de las torrenteras" (*Merganetta armata*), y el zorro en lugares altos.

4.1.6. Bosque húmedo de montaña (1500 - 2800 m snm)

Es una zona de transición entre lugares húmedos y perhúmedos. El lugar esta dividido en 3 regiones altitudinales: bosque montano bajo, bosque montano y altimontano. La vegetación más representativa son *Melastomataceae*, *Rubiaceae*, muchos helechos y epífitas.

La diversidad de animales es muy significativa con una extraordinaria comunidad faunística que también alcanza otros pisos altitudinales, como ejemplo se pueden citar al "jukumari", venados (*Mazama americana*), puma (*Pelis concolor*), casi extinto en al área, monos y arriba de 400 especies de aves.

4.2. Aplicando la teledetección en la conservación de ecosistemas

La elaboración de un mapa de vegetación se basa en el supuesto de que se puede caracterizar comunidades vegetales como unidades naturales según su fisonomía y composición florística. Las comunidades vegetales son un reflejo de las características ambientales, incluyendo clima, suelos, regímenes hídricos y otros factores ambientales.

La vegetación proporciona gran parte de la arquitectura de un hábitat, influye en la formación de la comunidad faunística y puede ser considerada como un inventario que muestra espacialmente la ubicación, extensión y distribución de las unidades de vegetación, importantes para la creación de áreas protegidas, conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos. Por esta razón un buen mapa de vegetación proporciona información resumida y gráfica sobre los paisajes, los ecosistemas y su biodiversidad (Hueck y Siebert 1988).

4.2.1. Imágenes Satelitales

Originalmente, los mapas de vegetación fueron elaborados con cartografía tradicional y estudios de campo, y cuando la escala lo permitía, aprovechando fotos aéreas para especializar la información. La metodología fue evolucionando a mediados de los setenta con la disponibilidad de imágenes satelitales.

Varios sistemas e instrumentos conocidos en su conjunto como sensores remotos se han desarrollado y mejoran paulatinamente en sus características. El sistema de imágenes más utilizado hasta el momento ha sido el sistema Landsat de los EE.UU, pero existen otros tipos de sensores remotos e imágenes que facilitan diferentes tipos de información útiles para caracterizar paisajes y ecosistemas, por ejemplo, imágenes derivadas de instrumentos de radar proveen información topográfica y de inundación temporal mientras las de monitoreo meteorológico han proporcionado mucha información sobre la fenología de ecosistemas e incendios forestales (Setzer y Malingreau, 1996; Giglio et al., 2003). Las imágenes satelitales no son fotografías, son una tabla de datos con valores que registran una medida de la intensidad de reflexión de luz (o de microondas en el caso de radares) en ciertas regiones definidas del espectro electromagnético conocidos como bandas, que van desde la luz visible hasta la infrarroja. Las imágenes son una representación visual del conjunto de estas bandas, las cuales están proyectadas por filtros de color (rojo, verde y azul) en la pantalla de un monitor de video o en impresión en papel (Lillesand y Kiefer, 1996). Los colores varían debido a la variación en la reflexión de luz, que a su vez se relaciona con características estructurales y edáficas del paisaje, la complejidad del dosel, el espesor de hojas verdes, la presencia de agua (tanto de la superficie como de las hojas) y el color del suelo, entre otras. La idea siempre ha sido aprovechar información sobre un área conocida, para luego extrapolar este conocimiento a paisajes menos conocidos y, a menudo, inaccesibles.

Una de las más importantes utilidades de la clasificación digital de imágenes es documentar el cambio en el uso del suelo mediante la comparación temporal de imágenes de la misma área, por ejemplo la deforestación que es reconocida fácilmente desde el espacio debido a los dramáticos cambios en la estructura de la vegetación. Pueden documentarse tasas de deforestación regional, impactos de la construcción carretera, emisiones de carbono debido a la deforestación, fragmentación de hábitats, abandono de campos agrícolas, rotación de tierras mediante bosques secundarios, aprovechamiento forestal y hasta relacionar

políticas económicas con el desarrollo regional (Skole y Tucker, 1993; Steininger et al., 2001a, 2001b; Lawrence et al., 2001; Pacheco, 1998; Pacheco y Mertens, 2004). También es usada como herramienta en la elaboración de estrategias de conservación, especialmente cuando las áreas protegidas son amenazadas.

4.2.2. Sistemas de Información Geográfica (SIG) y modelos de vegetación

Simultáneamente con el desarrollo de los sistemas de interpretación de imágenes se han desarrollado los SIG, que permiten juntar información con referencia espacial geográfica e identificar patrones que los relacionan entre las diferentes fuentes de información. Permite, por ejemplo, correlacionar la deforestación con la cercanía a las carreteras o centros poblacionales, o con la calidad de suelos (Hecht y Cochburn, 1984).

Varios autores han estratificado los bosques montanos utilizando criterios de elevación debido a que algunas especies de plantas tienen una distribución relacionada a la elevación (Troll, 1959; Beck et al, 1993). Ahora, con la disponibilidad de modelos digitales de elevación derivados de sensores remotos (NASA/JPL 2043), estos mapas tienen mayor precisión, por lo menos con respecto a su proyección espacial geográfica. El SIG como principal instrumento en la planificación regional para la conservación (SURAPA 1999), desarrollo de corredores de transporte (PRIME 2001, CONDOR 2004) y para el ordenamiento territorial, esta siendo utilizado en algunos estudios relacionados con teledetección y conservación de espacios naturales en la región de los Yungas. Por ejemplo:

1) "Catalizando acciones de conservación en América Latina: identificación de sitios prioritarios y mejores alternativas de manejo en 5 ecoregiones de importancia global, Yungas Bolivianos" ejecutado por Trópico, con contribuciones técnicas de FAN, Herbario Nacional de Bolivia, Conservation International, Museo de Historia Natural, WCS y CLAS.

Este estudio identifica áreas prioritarias para la conservación en los Yungas Bolivianos, utilizando una metodología basada en un análisis de vacíos (Gap analysis), mediante SIG. Trabajando con varias capas de información, se agrupan en 3 "criterios": i) criterios ecológicos (principalmente basados en información biológica), ii) criterios de paisaje (principalmente basados en información sobre la intervención humana) y iii) criterios de conservación (principalmente basados en la ubicación actual de áreas protegidas en los Yungas Bolivianos). Según éstos, se elaboran mapas indicando patrones de diversidad, endemismo, especies amenazadas, etc.

Para el análisis de criterios ecológicos primero se realizó una predicción de rangos de distribución de especies y se extrapoló según criterios ecológicos-biogeográficos. Así se generaron mapas temáticos de riqueza de especies, endemismo, contribución, estatus de conservación, pérdida de hábitat y sensibilidad. En el análisis de criterios de paisaje, se consideró la remanencia, fragmentación y diversidad de ecosistemas. Finalmente, para criterios de conservación se tomó en cuenta la representatividad de ecosistemas y especies en áreas protegidas. Se obtuvo una valorización final y alternativas de conservación que pueden ser utilizadas para su manejo a diferentes escalas.

2) "Vegetación potencial de los bosque de Yungas en Bolivia, basado en datos climáticos", realizado por Müller, R, Beck, S., Lara, R., Se efectuó un análisis generalizado de factores climáticos y de vegetación potencial en los Yungas Bolivianos.

El trabajo propone y aplica una fórmula para calcular el número de meses áridos con valores de precipitación anual y altitud, ésta 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 de campo y de un modelo de elevación generado con las curvas de nivel del mapa físico de Bolivia. En base a estas estimaciones de meses áridos y de altitud se genera un mapa de la vegetación potencial generalizada para 22 tipos de bosque, que consisten en combinaciones de seis clases de humedad con cuatro clases altitudinales.

3) "Mapa de vegetación de los alrededores de la Estación Biológica de Tunquini-Bolivia", estudio realizado por investigadores asociados del Instituto de Ecología. Se elaboró un mapa de vegetación a escala 1:50 000 como una herramienta para la base de futuros estudios. Se diferenciaron ocho unidades de vegetación: cinco correspondientes a unidades naturales (páramo yungueño, sub-páramo yungueño, ceja de montaña, bosque nublado y bosque húmedo montano), dos originadas por influencia antrópica (bosque intervenido, zona de cultivos y pastizales de origen antrópico) y una producto tanto de las actividades antrópicas como de alteraciones naturales (vegetación pionera de derrumbes) .

4) "Modelos de Vegetación en las Áreas Protegidas de Madidi, Pilón Lajas, Apolobamba y Cotapata y El Cambio de Uso de Suelo en Los Yungas y El Alto Beni de La Paz" realizado por T. J. Killeen, T. M. Siles, L. Soria y L. Correa. Este estudio presenta una serie de mapas producidos mediante interpretación de imágenes satelitales y clasificación digital modificados por criterios objetivos para identificar unidades ecológicas. No se ha intentado identificar unidades vegetales en base a la composición florística, aunque existen estudios que identifican algunas especies dominantes o abundantes en lugares específicos. Esta información no es aún suficiente para caracterizar con certeza la composición y distribución espacial de las comunidades

principales de la vegetación y extrapolar sobre un área tan grande y poco estudiada como la vertiente oriental de la cordillera Oriental de Los Andes en Bolivia. No obstante, proporciona información sobre las formaciones vegetales que podría guiar una eventual clasificación vegetal tradicional, proveyendo información ambiental que se puede relacionar con la distribución de especies y la formación de comunidades vegetales.

Uno de los objetivos principales de este trabajo fue documentar el cambio de uso de suelo en la zona yungueña y el pie de monte andino en las últimas dos décadas, utilizando para ello imágenes de distintas fechas con el propósito de contrastarlas y así calcular la tasa de deforestación anual. Esto puede realizarse con un solo proceso de clasificación digital, combinando las bandas múltiples de las dos fechas e identificando los píxeles que experimentan un cambio directo en sus características espectrales. Esta metodología funcionó bien en tierras bajas donde la deforestación es clara, fácil de identificar y donde la nubosidad no llegó a ser un problema, pero debido a la complejidad topográfica (con sombra y albedo fuerte) y la presencia de nubes en casi todas las imágenes disponibles para la zona montañosa, la metodología de combinar imágenes en un solo proceso de clasificación no es práctica. Por eso es necesario seleccionar imágenes de varias fechas para lograr una cobertura aceptable de las zonas clasificando cada imagen por separado y juntando la información en dos diferentes mapas temáticos.

5) "Distribución y diversidad potencial de la avifauna en un complejo de áreas protegidas del Noroeste de La Paz: implicaciones para la conservación" Tesis de grado realizada por C. Zambrana. Este trabajo utilizó rangos altitudinales y formaciones vegetales como variables ecogeográficas para explicar la distribución de 1005 especies de aves en la zona del PN ANMI Madidi, ANMIN Apolobamba, RB TCO Pilón Lajas y la TCO Tacana localizado al Noreste de los Yungas. Sobreponiendo todos los modelos se determinan los patrones de riqueza de especies. para determinar áreas prioritarias para la investigación y/o conservación, en base a patrones de endemismo.

En general los patrones de distribución coinciden con las unidades de vegetación, excepto para la zona de los bosques montanos, donde existirían los valores mas altos de riqueza (331 a 427 especies) y de endemismos de especies (entre un 69 a 100 %). Las zonas prioritarias para la conservación y/o investigación coinciden con lugares con baja densidad poblacional y por lo tanto con una baja accesibilidad, lo que en cierta medida podría asegurar su conservación a largo plazo pero al mismo tiempo dificulta su investigación. Si bien el modelo tiene una validación estadística (32 % de precisión) el autor sugiere realizar verificaciones de campo.

6) "Aplicación de tecnologías de información geográfica para la conservación del PN ANMI– Cotapata". La investigación de M. Sevilla trata de explicar los cambios recientes en el uso del suelo en el parque nacional Cotapata y sus retos en la conservación, aplicando fotografías aéreas antiguas, imágenes de satélite más recientes, trabajo de campo y la utilización de diferentes Técnicas de Información Geográfica (TIG).

Esta caracterización identifica diferentes variables geoecológicas y socioeconómicas, reflexionando sobre las tendencias detectadas y la realización de algunas propuestas para la gestión y planificación del área. En conclusión la propuesta fundamental se basa en las nuevas acciones que deben centrarse en la mejora de la calidad de vida de la población del Parque.

5. Implicaciones en la conservación

Los estudios de caso anteriormente descritos muestran el interés de muchos investigadores por comprender la región de los Yungas y demostrar que los sistemas de información geográfica pueden ser una herramienta en el momento de tomar decisiones de planificación y conservación. Tradicionalmente los esfuerzos de conservación, especialmente la creación de áreas protegidas, se ha enfocado en criterios poco objetivos como belleza paisajística o especies "banderas" o "carismáticas", lo que ha sido calificado de poco eficiente y costoso.

Entre los intentos de basar la conservación en criterios más científicos esta el gap-análisis, herramienta aplicada en la ubicación de áreas prioritarias para la conservación, asegurando su estado óptimo en un sistema viable de áreas protegidas y corredores biológicos. Los resultados, según los criterios de biodiversidad, son muy claros: Zonas con mayor biodiversidad son prioritarias. Sin embargo surge la interrogante ¿es más urgente proteger los ecosistemas extensos "vírgenes" restantes o los que enfrentan una amenaza fuerte? O hay que priorizar lo intacto pero amenazado, tomando en cuenta una variedad de factores que son difíciles de analizar de manera sistemática.

Probablemente, la amenaza más importante para especies de fauna y flora es la alteración o pérdida de su hábitat. Ibisch et al. (en prensa) proponen una definición del estatus de conservación de una especie basada en la pérdida de hábitat, que permite basarse en un solo criterio verificable y cuantificable.

Según el estudio realizado por Sevilla y otros trabajos, el PNANMI Cotapata merece una atención especial, ya que alcanza los mayores valores de contribución específica a la biodiversidad entre todas las áreas protegidas y se encuentra fuertemente amenazado. Por tanto, la aplicación de las tecnologías de la información geográfica en territorios complejos y poco accesibles como el PN-ANMI Cotapata, contribuyen en la medida de sus posibilidades

al conocimiento de las relaciones dialécticas entre conservación y desarrollo, y aportan elementos y criterios para la planificación de este espacio.

Finalmente, se debe mencionar que el uso de SIG y sensores remotos en las últimas décadas está permitiendo realizar diversas interpretaciones sobre unidades de paisaje y comunidades naturales (Ohmann y Spies, 1998), produciendo un acercamiento etno-geográfico a partir del conocimiento ambiental indígena.

5.1. Prioridades para la Conservación

La importancia de la aplicación de los sensores remotos en la conservación es evidente por la rapidez con la que se logra la ubicación de unidades ecológicas, su distribución en el paisaje y por la posibilidad que ofrecen de analizar los procesos de cambio de uso de suelo. Los datos así obtenidos pueden derivar en acciones prioritarias para la conservación favoreciendo la planificación de estrategias que contemplen la distribución de especies y la probabilidad de predecir los cambios climáticos y antrópicos mitigando los impactos sobre estos ecosistemas.

Si bien es difícil establecer prioridades para la conservación en una zona tan inmensa y diversa como la región de Yungas, a pesar de que sea una de las áreas mejor estudiada del país, la información sobre su flora es aun demasiado preliminar para seleccionar áreas prioritarias utilizando la presencia de especies endémicas o en peligro de extinción, por la simple razón de que más de 90 % de la región queda sin explorar. Existe información detallada sobre taxas y lugares específicos (Kessler, 1999, 2000, 2002a, 2002b) y modelos predictivos que establecen prioridades para la conservación a nivel nacional aprovechando grupos seleccionados con un estado de conocimiento bueno (Ibisch et al., 2003a, 200b). Pero estos mismos estudios muestran que es difícil llegar a conclusiones generales, porque diferentes grupos funcionales cuentan con diferentes patrones de distribución, por ejemplo anfibios y epifitas pueden tener su mayor diversidad y endemismo en bosques nublados, mientras que pastizales y hierbas cuentan con mayor diversidad y endemismo en los pastizales andinos y los árboles tienen una mayor diversidad en bosques montanos.

5.2. Prioridades para la Investigación Científica

La ecología vegetal tiene, como uno de sus objetivos principales, la meta de explicar la distribución de las especies debido a factores ambientales que controlan su desarrollo y reproducción. Con base en estos conocimientos se pretende describir comunidades vegetales donde un conjunto de especies con requerimientos similares se forman repetidamente, en diferentes sitios, mediante procesos naturales similares. En la práctica, se hace al revés. Se identifican comunidades de plantas para luego deducir los factores ambientales que supuestamente controlan la distribución de las especies (Beck et al., 1983).

Esta tarea es bastante difícil en los Yungas por varias razones, entre ellas la gran diversidad florística, el difícil acceso y la falta de información fidedigna sobre los fenómenos ambientales regionales que influyen en la distribución de especies y los factores micro-climáticos y edáficos locales que tienen un rol mayor en el establecimiento y reproducción de las especies. Las descripciones de las unidades vegetales, y su composición florística está en sus primeros años de esfuerzo científico, típicamente basadas en colecciones botánicas, la compilación de listas florísticas por sitios específicos, las impresiones de botánicos experimentados y algunos estudios cuantitativos utilizando parcelas (Smith y Killeen, 1996; Siedel, 1995; deWaalt et al., 1999).

Esperemos que en un futuro no muy lejano, con la integración de un mayor número de estudios cuantitativos y la captación de mejor información sobre las condiciones climáticas y micro-climáticas, se puedan elaborar modelos predictivos para especies individuales y comunidades biológicas en su conjunto.

También sería indicado tomar en cuenta escenarios futuros como migración, desarrollo rural, servicios ambientales y la conectividad entre ecosistemas bien conservados. Una automatización de los análisis de biodiversidad será un paso importante para la realización de estudios ecológicos: relaciones planta-ambiente, planta-animal; mapeos a nivel predial de la vegetación, impactos y otros.

6. Algunas recomendaciones

A pesar de su gran utilidad y objetividad, la información captada por sensores remotos y su clasificación digital automática puede introducir errores en la clasificación debido a que píxeles con características espectrales similares pueden tener estructura o composición totalmente diferentes, por ejemplo en bosques tropicales, caracterizados por su composición extremadamente heterogénea en términos de composición florística; dos sitios muy diferentes pueden tener una estructura muy similar, porque poseen un dosel estratificado y una fenología siempre verde. Situaciones similares llevan a la confusión de píxeles representativos de diferentes clases de pastizales (Ej. sabanas, páramo y puna) y entre bosques secundarios y bosques montanos. La solución es identificar las clases que mayormente pertenecían a una de los unidades naturales y reasignar los píxeles erróneamente clasificados, basándose en criterios objetivos (topográfico y bioclimático) para colocarlos en la unidad ecológica correcta.

Otra clase de error se produce debido al posicionamien-

to del satélite y el momento en que se registran los datos espectrales de las imágenes. En el caso de las imágenes Landsat, la órbita del instrumento tiene una orientación "polar", que va desde el polo norte hacia el polo sur durante su paso sobre el planeta (en sentido contrario de su paso sobre el lado oscuro del planeta). La órbita está sincronizada con la rotación del planeta de tal manera que el instrumento está arriba de la zona donde se toman los datos aproximadamente a las 9:00 horas de la mañana. Esta hora fue seleccionada porque meteorológicamente es cuando existe menor probabilidad de encontrar la superficie nublada. Debido a esta órbita, el sol está situado aproximadamente a 45° sobre el horizonte oriental, lo que introduce una distorsión en la reflexión de luz en zonas con un relieve topográfico pronunciado; las laderas orientadas al Este tienen una fuerte reflexión de luz (albedo fuerte), mientras las orientadas al Oeste están en la sombra (Lillesand y Kiefer, 1996). Consecuentemente, sus características espectrales representan más un artificio, resultado de su topografía, que información sobre la estructura de la vegetación. Existen varias correcciones digitales que se pueden realizar a las imágenes pero al final no son suficientes para solucionar el problema.

En zonas montañosas obtener una imagen totalmente libre de nubes para toda el área es casi imposible y esto dificulta la identificación del cambio de uso de suelos ya que la comparación entre dos fechas distintas es esencial para poder documentar el cambio temporal.

Como el procedimiento esencial para cartografiar la distribución potencial es la extrapolación de rangos basados en variables ecogeográficas, es muy importante seleccionar adecuadamente dichas variables. Muchos estudios se han realizado para determinar cuales serían las características que determinan la distribución de especies. Por ejemplo, Jaberg y Guisan (2001) y Wang et al. (2003) propusieron que la distribución potencial de murciélagos estaría explicada por la temperatura, altitud y tipo de vegetación. Algunas de las variables ecogeográficas utilizadas para modelar la distribución de aves fueron el tipo de vegetación y algunas características climáticas como la precipitación, humedad relativa, temperatura, tipo de suelo, altitud, entre otros. Es importante reconocer todos estos factores para la clasificación al momento de elaborar los productos finales.

Bibliografía

CONDOR V.2 2004: Proyecto Condor. Conservation International, Corporación Andina de Fomento (CAF). http://www.caf.com/view/index.asp?ms=11&pageMs=14890

BECK, S.G., PANIAGUA, N., YEVARA, M., and LIBERMAN, M., 2001: La vegetación y uso de la tierra del altiplano y de los valles en el oeste del departamento de Tarija Bolivia: En: Beck, S. G., Paniagua, N. and Preston, D., (eds.): Historia ambiente y sociedad en Tarija , Bolivia.- Instituto de Ecología. Herbario Nacional de Bolivia , Missouri Botanical Garden . La PAZ 6-24.

FOSSA, L., 1999: Los agentes de la representación andino en el siglo XVI: Autores, interpretes e informantes. Coloquio internacional sobre el discurso colonial "La consatrucción de una diferencia Americana". Universidad de Montreal.

GIGLIO, L., DESCLOITRES, J., JUSTICE, C.O. and KAUFMAN, V., 2003: An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. Remote Sensing of Environment, 47:1311-1318.

HECHT, S. and. COCHBURN, A., 1984: The Fate of the Forest. London, UK Verso. 240 pp.

HUECK, K. and SIEBERT, 1988: Mapa de la Vegetación de América del Sur. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ). GmbH. Eschorn 16 p 1 Mapa 1:8,000,000.

IBISCH, P. L. and ROJAS, N., 1994: Flora y vegetación de la Provincia Arque, Departamento de Cochabamba, Bolivia – I. Flora. Ecología ne Bolivia 22: 1-14.

IBISCH, P.L., S. G. BECK, GERKMANN, B., and CARRETERO, S., 2003a: La Diversidad biológica. Ecoregiones y ecosistemas. Pp. 47–88. en: Ibisch, P. y G. Mérida. (eds). Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de Conocimiento y Conservación. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Editorial FAN, Santa Cruz, Bolivia.

IBISCH, P. L., GERKMAN, B., KREFT, S., BECK, S. G., HERZOGG, S. K., KOIHLER, J., MULLER, R., REICHLE, S. and VASQUEZ, R., 2003b: Consideraciones comparativas de patrones interecoregionales de diversidad de especies y de endemismo. pp. 148-161, en: Ibisch, P. y G. Mérida. (eds). Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de Conocimiento y Conservación. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Editorial FAN, Santa Cruz, Bolivia.

KESSLER, M., 1999: Plant species richness and endemism during natural landslide succession in a perhumid montane forest in the Bolivian Andes. Ecotropica 5, 123-136.

IBISCH, P. L., CARRETERO, A., BECK, S. G., CUELLAR, S., ESPINOZA, S. D. and ARAUJO, N. V., 2003: Estado de conservación de la biodiversidad. El caso de los bosques andinos. P. 272 –285. en: Ibisch, P. y G.

Mérida. (eds). Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de Conocimiento y Conservación. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Editorial FAN, Santa Cruz, Bolivia.

KESSLER, M., 2000: Elevational gradients in species richness and endemism of selected plant groups in the central Bolivian Andes. Plant Ecology, August, 2000, Vol. 149 (2), pp. 181-193.

KESSLER, M., 2002a: Environmental patterns and ecological correlates of range size among Bromeliad communities of Andean forests in Bolivia. Botanical Review, January-March, 2002, Vol. 68 (1), pp. 100-127.

KESSLER, M., 2002b: The elevational gradient of Andean plant endemism: Varying influences of taxon-specific traits and topography at different taxonomic levels. Journal of Biogeography, September, 2002, Vol. 29, (9), pp. 1159-1165.

LAWRENCE, W. F., COCHRANE, M. A., BERGEN, S., FEARNSIDE, P. M., DELAMÔNICA, P., BARBER, C., D'ANGELO, S. and T. FERNANDEs., 2001: The Future of the Brazilian Amazon. Science 19 291: 438-439.

LAWTON, R. O., NAIR, U. S., PIELKE, R. A. and WELCH, R. M., 2001: Climatic Impact of Tropical Lowland Deforestation on Nearby Montane Cloud Forests. Science 294: 584-587.

LILLESAND, T.M. and KIEFER, R.W., 1996: Remote sensing and Image Interpretation. (3rd Edition). John Wiley & Sons, Inc. New York, 750 p.

MONTES DE OCA, I., 1989: Geografía y recursos naturals d e Bolivia. 1. edición. La Paz.

PACHECO, P., 1998: Estilos de desarrollo, deforestación y degradación de los bosques en las tierras bajas de Bolivia. Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario, Fundación Tierra, Centro de Investigación Forestal Internacional, La Paz.

PACHECO, P. and MERTENS, B., 2004: Land use change and agriculture development in Santa Cruz. Bois et Forêt des Tropiques 280: 29-40.

PATTERSON, B.D., STOTZ, D.F., SOLARI, S., FITZPATRICK, J.W. and PACHECO, V., 1998: Contrasting patterns of elevational zonation for birds and mammals in the Andes of southeastern Peru. Journal of Biogeography, May, 1998, Vol. 25 (3), pp. 593-607.

PENNINGTON, R.T., LAVIN, M., PRADO, D.E., PENDRY, C.A., PELL, S. and BUTTERWORTH, C.A. (accepted). Neotropical seasonally dry forest plants show Society (Biological Sciences).

PENNINGTON, R. T., PRADO, D. A. and PENDRY, C., 2000: Neotropical seasonally dry forests and Pleistocene vegetation changes. Journal of Biogeography 27: 261-273.

PRIME 2001: Evaluación Ambiental Estratégica del Corredor Santa Cruz – Puerto Suárez, Bolivia. Banco Interamerican de Desarrollo (BID). 1999 – 2000. TC-9904003-BO). PRIME Engenharia – Museo Noel Kempff Mercado – Asociación Potlatch, 8 volúmenes.

SETZER, A. W. and MALINGREAU, J. P., 1996: AVHRR monitoring of vegetation fires in the tropics: towards a global product. In Biomass Burning and Global Change; ed. J. Levine, MIT Press, Cambridge, pp. 25-39.

SKOLE, D. and TUCKER, J. C., 1993: Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. Science 260: 1905 – 1910.

STEININGER, M. K., TUCKER, C. J., ERSTS, P., KILLEEN, T J., VILLEGAS, Z. and HECHT, S.B. 2001a: Clearance and fragmentation of tropical deciduous forest in the Tierras Bajas, Santa Cruz, Bolivia. Conservation Biology 15 (4): 127-134.

STEININGER, M. K., TUCKER, C. J., TOWNSHEND, J. R. G, KILLEEN, T. J., DESCH, A., BELL, V. and P. ERSTS., 2001b: Tropical Deforestation in the Bolivian Amazon. Environmental Conservation 28 (2): 127-134.

SURAPA, 1999: Sub-Network of Amazonian Protected Areas, CD. Center For Applied Biodiversity Science, Conservation International.

TROLL, C., 1959: Die tropischen Gebirge. Ihre dreidimensionale klimatische und pflanzengeographische Zonierung. Bonner Geogr. Abh. 25:1-93.al conocimiento de las relaciones dialécticas entre conservación y desarrollo, y aportan elementos y criterios para la planificación de este espacio.

Correspondence to:

M. Carolina García-Lino

Carrera de Biología

Universidad Mayor de San Andrés

Villazón Av. 1995

La Paz, Bolivia

E-mail: amapoti@gmail.com

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung

Jahr/Year: 2006

Band/Volume: 41

Autor(en)/Author(s): Garcia-Lino M. Carolina, Palabral-Aquilera Arely N.

Artikel/Article: Aplicación de Técnicas Cartográficas y de Teledetección en la Investigación y Conservación de los Yungas Bolivianos 49-58