
Informe Técnico Final

Preparando Corredores de Conservación para los Cambios Climáticos

Región Amazonía-Andes, un estudio de caso

Presentado a:



Santa Cruz, enero de 2009

Datos generales del Proyecto:

Título:

Preparando Corredores de Conservación para los Cambios Climáticos

Región Amazonía-Andes, un estudio de caso

Responsables:

Fundación Amigos del Museo Noel Kempff:

Aspectos Técnicos: Liséte Correa (lcorrea@museonoelkempff.org)

Aspectos Administrativos: Maria Esther Montaña (mmontano@museonoelkempff.org)

Fecha de inicio: 01 de junio 2008

Duración: 6 meses

Introducción

Es importante que se entienda la Amazonía como un repositorio de biodiversidad y como proveedora de servicios ambientales a nivel global, y que errores en la evaluación de la naturaleza de los cambios climáticos en la Amazonia tendrán repercusiones en todos los continentes y sociedades (Killeen & Solórzano, 2007).

Las consecuencias del calentamiento global están siendo estudiadas en forma de modelos y diferentes modelos están siendo utilizados para correlacionar los factores climáticos. Todos ellos predicen un aumento del calentamiento en la Amazonía; uno de estos modelos predice que un cambio climático global iniciará un ciclo que llevará a la gran mayoría de la Amazonía de una floresta tropical a un sistema de sabanas antes del próximo siglo (Betts *et al.* 2004). Aunque los modelos pueden ser altamente hipotéticos son importantes para identificar las áreas más vulnerables o las que sufren menores riesgos con los cambios climáticos.

Según Killeen y Solórzano 2007, los sistemas de áreas protegidas a larga escala pueden ayudar a mitigar los efectos de los cambios climáticos en la biodiversidad a través de la identificación de potenciales refugios y su incorporación en corredores de conservación, que permitirán la permanencia de las especies y su adaptación al cambio climático.

El presente trabajo pretende analizar, en el contexto de los cambios climáticos del futuro, los paisajes de las tierras bajas de la Amazonia, identificando corredores de conservación que permitan el desplazamiento de especies de plantas. En los Andes, se intentará identificar corredores que permitan el desplazamiento de las especies sobre gradientes altitudinales.

Objetivo General del Proyecto

Analizar los paisajes de tierras bajas de la Amazonía utilizando la hipótesis de que algunas unidades de hábitat son más estables que otras debido a sus características topográficas y edáficas, identificando los paisajes aptos para corredores de conservación que permitan el desplazamiento de especies de plantas, así como la relación entre topografía y cobertura de bosque en las tierras altas de los Andes, que permitan identificar corredores de desplazamiento de especies sobre gradientes altitudinales, como respuesta a los cambios climáticos del futuro, basando los análisis en productos satelitales MODIS.

Objetivos específicos

1. Identificar los “refugios potenciales” que puedan ayudar a las especies a adaptarse a los cambios climáticos debido a la reducción de la precipitación y la ampliación de la época seca, y componentes estratégicos de áreas protegidas y corredores de conservación en la Amazonia.
2. Identificar sitios estratégicos en los Andes que puedan funcionar como “puentes migratorios”, permitiendo a las especies adaptarse a los cambios climáticos relacionados con el aumento de la temperatura.
3. Relacionar los sitios de “refugios potenciales” y “puentes migratorios” identificados con actuales estrategias de sistemas de áreas Protegidas y Corredores de Conservación.

Área del estudio

El área de estudio abarca desde la costa caribeña de Venezuela y Colombia hasta la frontera de Bolivia con Paraguay para la identificación de **refugios potenciales** y desde Venezuela hasta norte de Argentina para la identificación de sitios estratégicos que servirán como **puentes migratorios**, como muestra la Figura 1.

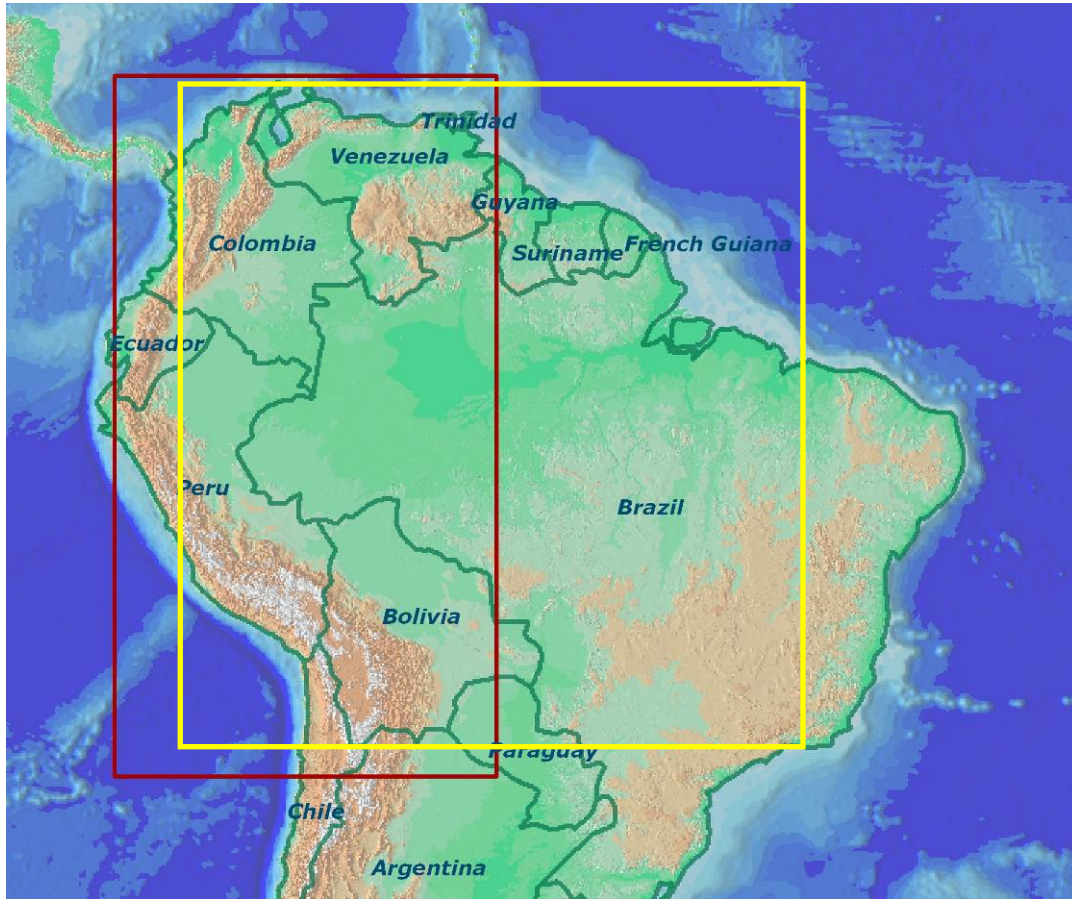


Figura 1. Área de Estudio. El recuadro amarillo muestra el área para el análisis de “refugios potenciales” en la Amazonía, y el recuadro rojo el área para el análisis de “puentes migratorios” en los Andes.

Fuentes de información

A continuación se detalla la información que se ha utilizado para generar los Mapas sobre “refugios potenciales” y “puentes migratorios” en la región Amazonía-Andes.

Imágenes satelitales

Dentro de la variedad de imágenes satelitales disponibles actualmente para aplicación en estudios de diferentes disciplinas, las imágenes MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) que incluye dos satélites (MODIS-Terra y MODIS-Aqua) juegan un papel importante en el desarrollo de sistemas de tierras, monitoreo de la deforestación, predicción en el cambio global entre otros, convirtiéndose en un gran aporte para asistir a políticas de protección ambiental. Sus índices de vegetación (IV) están diseñados para proveer una comparación permanente y consistente de los cambios temporales y espaciales de la vegetación al responder a la cantidad de radiación fotosintéticamente

activa en determinado píxel, al contenido de clorofila, área foliar y a las características estructurales de las plantas.

En este estudio se ha utilizado el producto MODIS Terra **NDVI** - Normalized Difference Vegetation Index (MOD13Q1.005), sensible a la clorofila, y que caracteriza efectivamente el estado y los procesos biofísicos y bioquímicos de las coberturas vegetales.

También se ha utilizado el producto MODIS Terra **LAI** - Leaf Area Index (MOD15A2.005), que define una importante propiedad estructural del dosel y está relacionado con el ritmo de los procesos funcionales de intercambio de masa y energía.

Específicamente para el **Objetivo 1**, se utilizaron los productos MODIS NDVI y LAI, para la Amazonía en el período 2000 /2007, para identificar áreas con mayor verdor durante la época seca tanto en el hemisferio Norte (diciembre, enero y febrero) como en el Sur (julio, agosto y septiembre). Para el **Objetivo 2** se ha utilizado información de la capa Reliability del Producto MODIS NDVI, que muestra presencia de nubes.

De acuerdo a la disponibilidad, las imágenes analizadas hacen un total de 305 imágenes para el producto MODIS NDVI y 305 para el producto LAI, las cuales se detallan en la Figura 2 y Anexo 1. Todas estas imágenes fueron obtenidas de forma gratuita y descargadas vía FTP (<ftp://e4ftl01u.ocs.nasa.gov/MOLT/>).

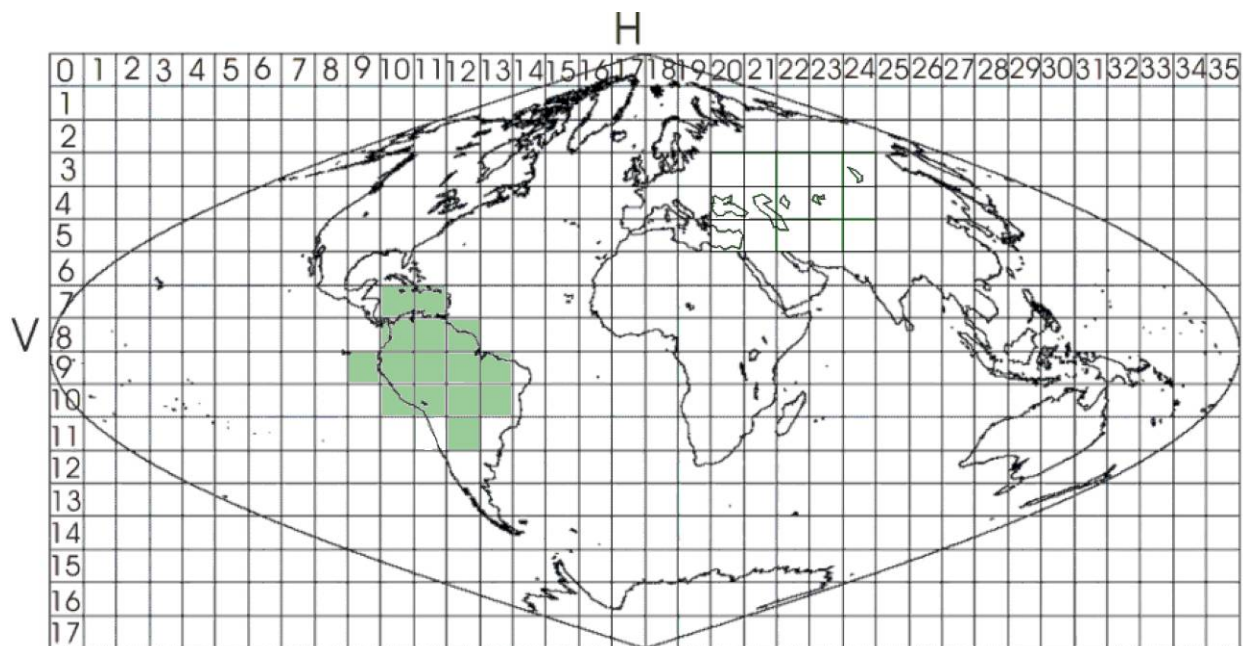


Figura 2. Tiles de imágenes MODIS analizadas.

Información temática existente para el análisis

Para la identificación de áreas de **bosques y áreas antropogénicas** hasta el año 2000, se ha utilizado el Mapa de cobertura de la Tierra y cambios en la cobertura para Bolivia, Perú, Ecuador, Venezuela, Colombia y Guyana, realizado por **CI-CABS (Conservación Internacional- Center for Applied Biodiversity Science)**, para Bolivia realizado por el **Museo HNNKM** (Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado), y para Brasil se ha utilizado el estudio del área de Amazonía Legal, realizado por el **INPE-PRODES** (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia, Brasil), 2005 (<http://www.obt.inpe.br/prodes/>).

En lo referido a **información climática** se ha trabajado con los datos del WORLDCLIM (<http://biogeo.berkeley.edu/worldclim/bioclim.htm>).

La **información topográfica** proviene del **SRTM** (Shuttle Radar Topography Mission, **NGA-NASA-2000**), el cual proporciona los datos de elevación con la mejor resolución espacial a escala global, de 90 m. (<http://srtm.csi.cgiar.org/>)

Además se analiza cartografía temática sobre Áreas de Conservación, Infraestructura de Integración de IIRSA, entre otras.

Metodología de trabajo

La metodología utilizada en el presente estudio, se basa en el procesamiento y análisis de información geográfica, imágenes satelitales e información temática existente de la región.

Para el análisis de paisajes de las tierras bajas de la Amazonía y la identificación de corredores de conservación, se trabajó en base a productos MODIS Terra, NDVI y LAI, identificando las áreas que presentan los índices más altos. La información generada fue luego comparada con características topográficas (SRTM) y edáficas (Mapa de Sistemas de Tierras) de los sitios para comprobar la relación existente.

Para la identificación de corredores que podrían permitir el desplazamiento de especies sobre gradientes altitudinales en los Andes se evaluó la relación entre topografía y cobertura del bosque, enfocándose en las serranías de la faja subandina y la conexión entre las serranías orientales y occidentales. El Mapa de bosques nublados ha sido generado a partir del análisis de cobertura de nubes del producto MODIS NDVI capa Reliability.

Los “refugios potenciales” y “puentes migratorios” identificados han sido finalmente relacionados, mediante el uso de SIG, con los actuales sistemas de áreas protegidas en la región y otras iniciativas existentes, para promover la gestión de estos sitios mediante el diseño de corredores funcionales y estrategias de conservación que permitan la permanencia de las especies.

A continuación se presentan de forma resumida las actividades realizadas para la realización del estudio, y en el Anexo 2 se da una explicación más detallada de los procesos.

Objetivos	Actividades
<p>Objetivo 1 Identificar los “refugios potenciales” que podrán ayudar a las especies a adaptarse a los cambios climáticos relacionados con la reducción de la precipitación y la ampliación de la época seca, a través de componentes estratégicos como áreas protegidas y corredores de conservación en la Amazonía.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Selección y adquisición vía FTP, de Imágenes MODIS (Productos NDVI & LAI) ▪ Referenciación de las imágenes MODIS con el programa HEGTool, que importa como Geotiff y en coordenadas geográficas ▪ Definir la cobertura de bosques en base a la información generada por CI-CABS y Museo Noel Kempff Mercado para los países (Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela y Guyana), y PRODES-INPE (Brasil) ▪ Análisis de las imágenes para generar la cobertura de Áreas de mayor Verdor en la época seca, “refugios potenciales”, tanto en Hemisferio Norte como en el Sur, enfocando en los años de sequías y lluvias extremas ▪ Relacionar las áreas identificadas con información topográfica (SRTM), y climática (Worldclim) ▪ Generar un Mapa de “refugios potenciales” en la Amazonía
<p>Objetivo 2 Identificar sitios estratégicos en los Andes que puedan funcionar como “puentes migratorios”, permitiendo a las especies adaptarse a los cambios climáticos relacionados con el aumento de la temperatura</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Selección y adquisición vía FTP, de Imágenes satelitales MODIS (Producto NDVI, Pixel Reliability) ▪ Definir la cobertura vegetal en base a la información generada por CI-CABS y Museo Noel Kempff Mercado para los países (Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela), recodificando las clases que contienen bosque y nubes. ▪ Referenciación de las imágenes MODIS NDVI Capa de Fiabilidad (Pixel reliability) con el programa HEGTool, que importa como Geotiff y en coordenadas geográficas ▪ Generar el mapa de frecuencia de nubes identificando la clase que contiene nubes y realizar el mosaico para

	<p>los Andes.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar el mapa de nubes y cruzarlo con el mapa de cobertura vegetal para obtener el mapa de bosque nublado. ▪ Relacionar las áreas identificadas como bosque nublado con información topográfica (SRTM). ▪ Analizar el mapa de bosque nublado con datos de temperatura y precipitación (WORLDCLIM) ▪ Generar el Mapa de sitios estratégicos de conservación en los Andes utilizando los mapas con información topográfica y con datos climáticos.
<p>Objetivo 3 Relacionar los sitios estratégicos identificados con las actuales estrategias de conservación, sistemas de áreas protegidas y Corredores de CI.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elaborar un Mapa con los sitios identificados de importancia para la conservación en Amazonía y Andes y su relación con actuales estrategias de conservación, analizando con: <ul style="list-style-type: none"> - Sistema actual de áreas protegidas y corredores de conservación. - Corredores de transporte, e inversiones previstas por IIRSA.

Resultados

A continuación se presentan los análisis realizados para la identificación de Corredores de Conservación para el Cambio Climático en la región Amazonía-Andes. También se adjunta un CD con toda la información generada y analizada en el estudio (Anexo 3).

Resultado 1. Identificación de sitios estratégicos de conservación en la Amazonía, “refugios potenciales”

Para la identificación de “refugios potenciales”, áreas que puedan permanecer estables ante posibles cambios climáticos, se han determinado las áreas de bosque que presentan mayor verdor, y se analiza su relación con características físicas y climáticas.

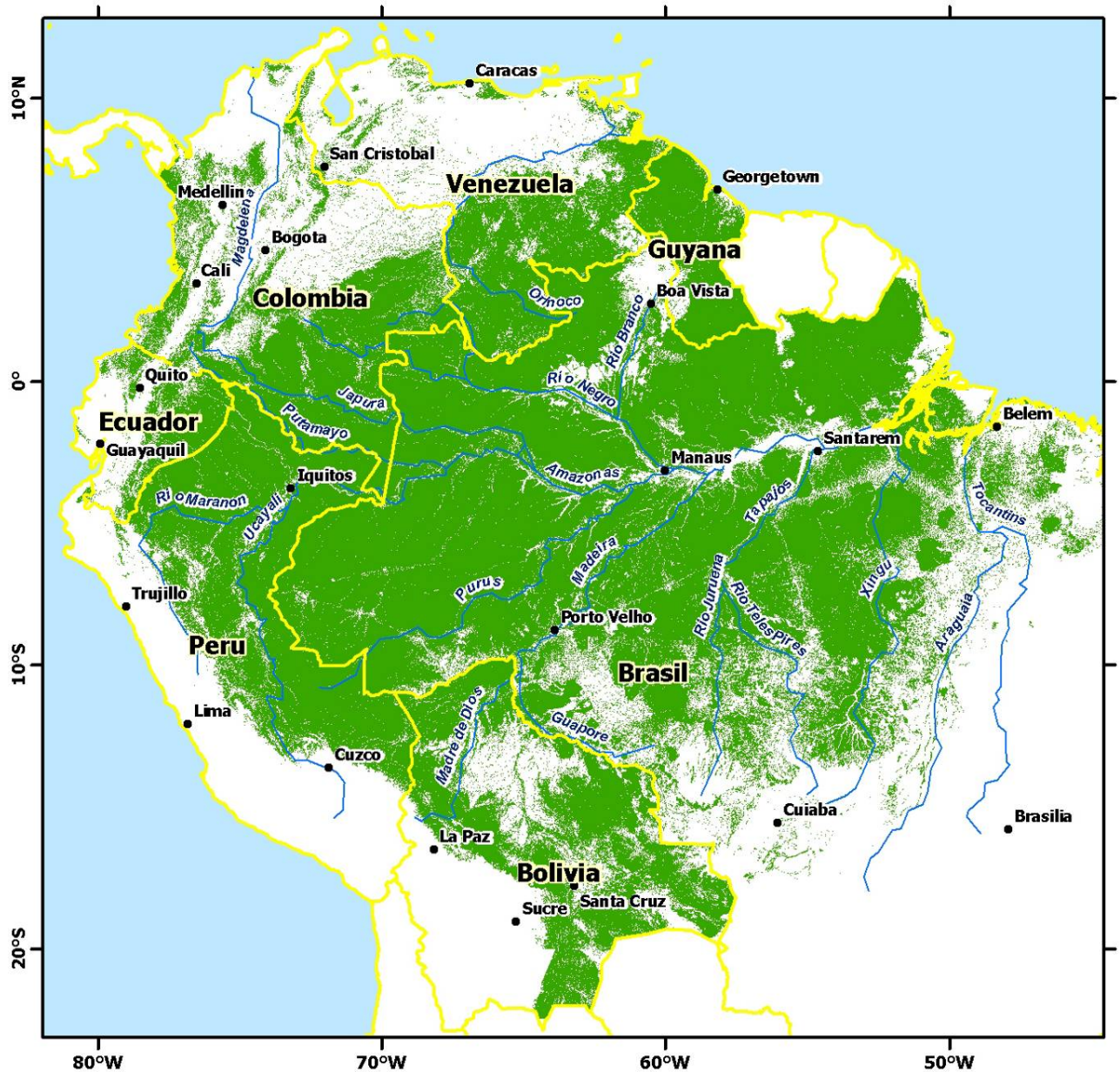
Determinación de áreas de bosque con mayores índices de verdor

▪ Identificación de áreas de bosque

Se han determinado las áreas que presentan bosques naturales hasta el año 2.000 (Figura 3 y Cuadro 1), a partir de mapas de coberturas de la tierra elaborados para los

países que forman parte de la Amazonía, los cuales están basados en clasificaciones de imágenes Landsat con una resolución espacial de 30 m. Estos mapas han sido generados por el Museo Noel Kempff, para Bolivia; CI-CABS, para Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela y Guyana; y por el INPE-PRODES para Brasil.

Figura 3. Áreas con bosques naturales, al 2.000.



Cuadro 1. Cobertura boscosa por país, al 2.000.

País	Área de bosque (Km²)	% del país con bosque
Bolivia	544.571	50
Perú	702.198	54
Ecuador	114.396	45
Colombia	552.846	48
Venezuela	402.685	44
Guyana	191.275	91
Brasil	3.163.315	37

▪ **Identificación de áreas de bosques con mayor verdor, a través de Índices de Vegetación MODIS NDVI y LAI**

Para identificar las áreas de bosque que presentan mayor verdor en época seca, se utilizaron los índices de vegetación de los productos MODIS NDVI (Índice Diferencial Normalizado de Vegetación) y LAI (Índice de Área Foliar), los cuales son ampliamente utilizados para caracterizar y monitorear la cobertura vegetal.

Al analizar los promedios anuales del NDVI para el período 2001/2007, se puede observar que existe una notoria variabilidad interanual en cuanto a la densidad de la vegetación en la Amazonía, identificándose como años extremos el 2003 y el 2006, los cuales presentan los valores más altos y más bajos respectivamente (Figuras 4 y 5). Lo observado para el año 2.003 podría estar asociado con la ocurrencia de El Niño en el 2002-2003, y lo que muestra el 2.006 se podría relacionar con un período más seco 2005-2006.

Figura 4. Mapas de densidad de la vegetación en la Amazonía, en base a MODIS NDVI. Los valores más altos se muestran en los tonos de verde más oscuros y representan los bosques más densos.

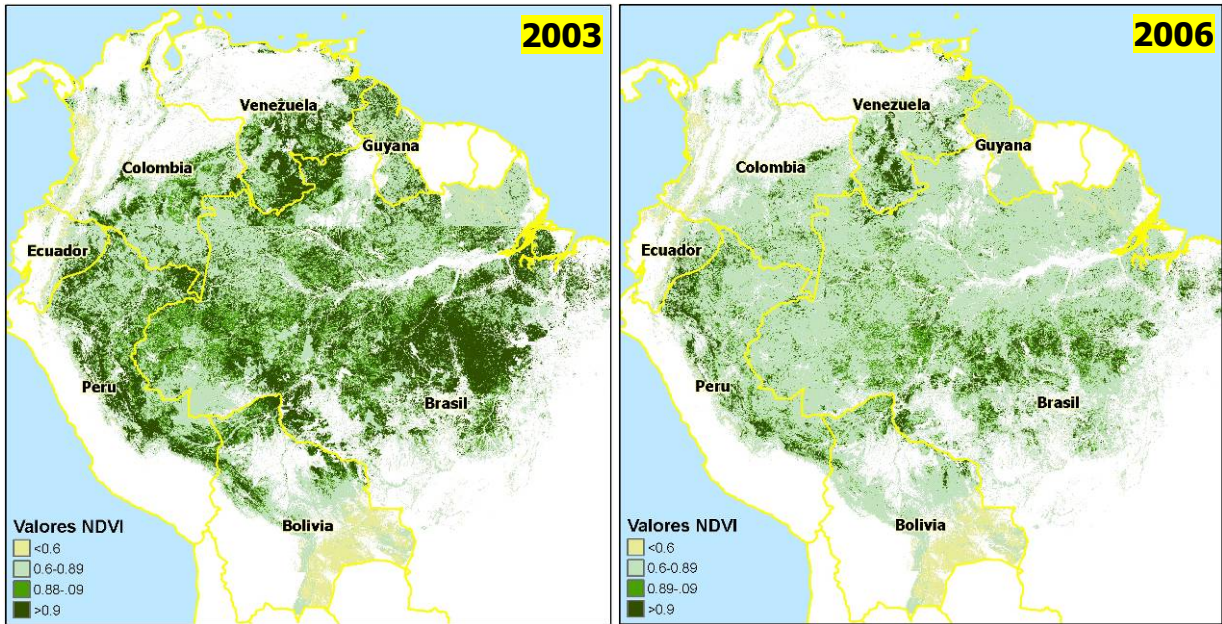
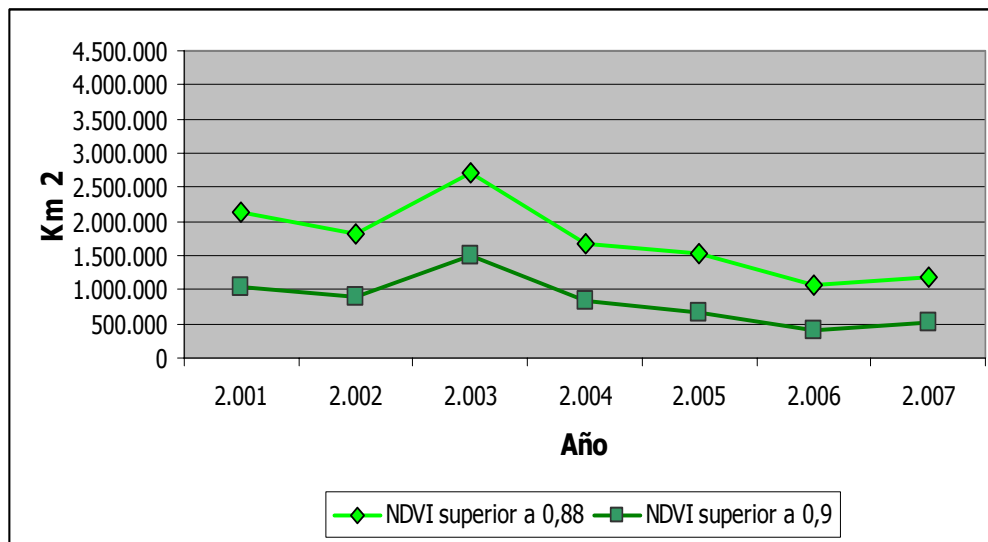


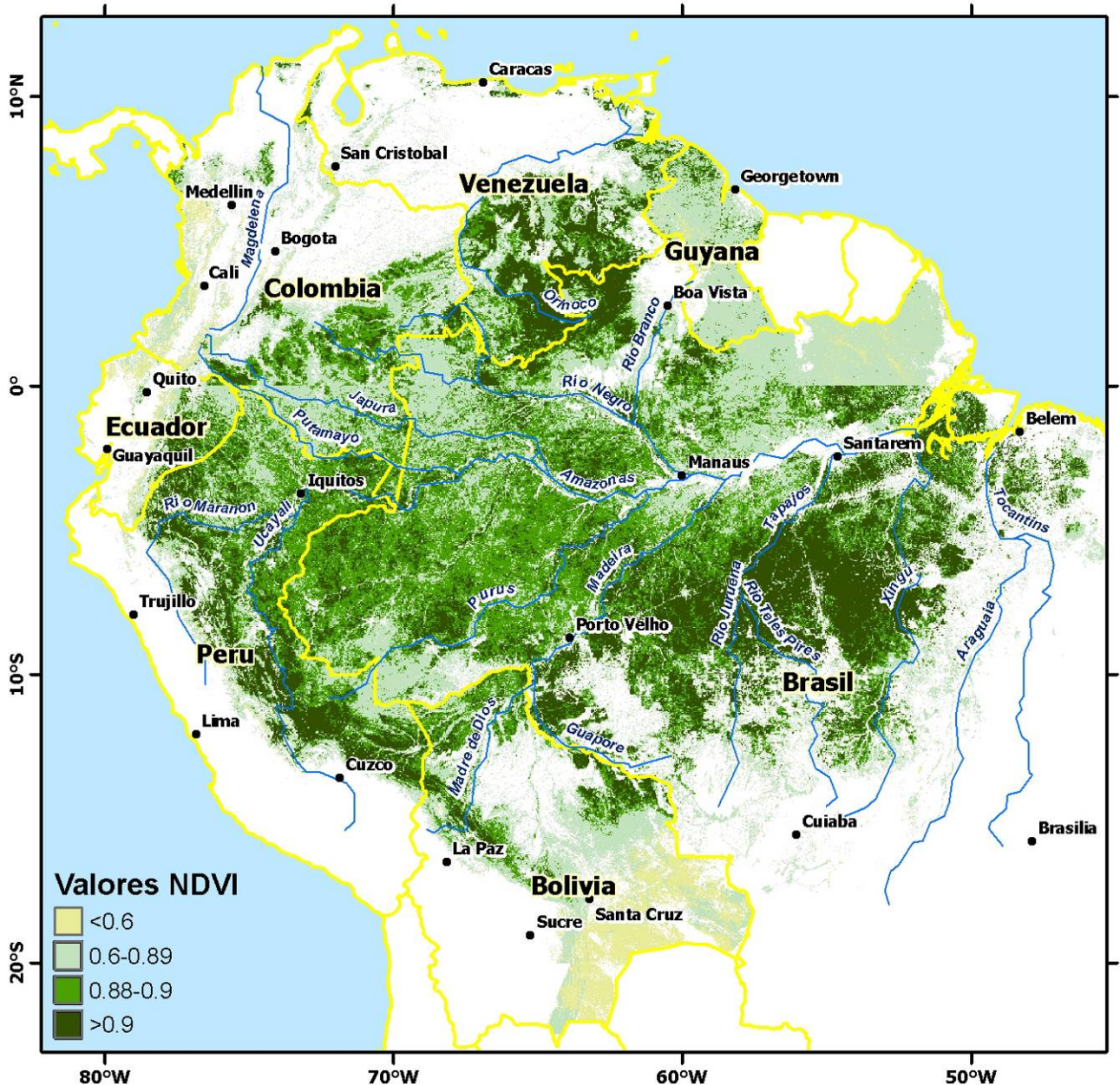
Figura 5. Áreas de mayor verdor según el NDVI, entre 2000 y 2007.



Al analizar los promedios anuales de NDVI para el período 2001/2007, se puede notar que el 95% de las áreas de bosque presentan valores superiores a 0,6, lo cual es bastante conocido para la Amazonía. Para la identificación de las áreas que presentan mayor verdor en la época seca se han seleccionando los sitios que presentan valores

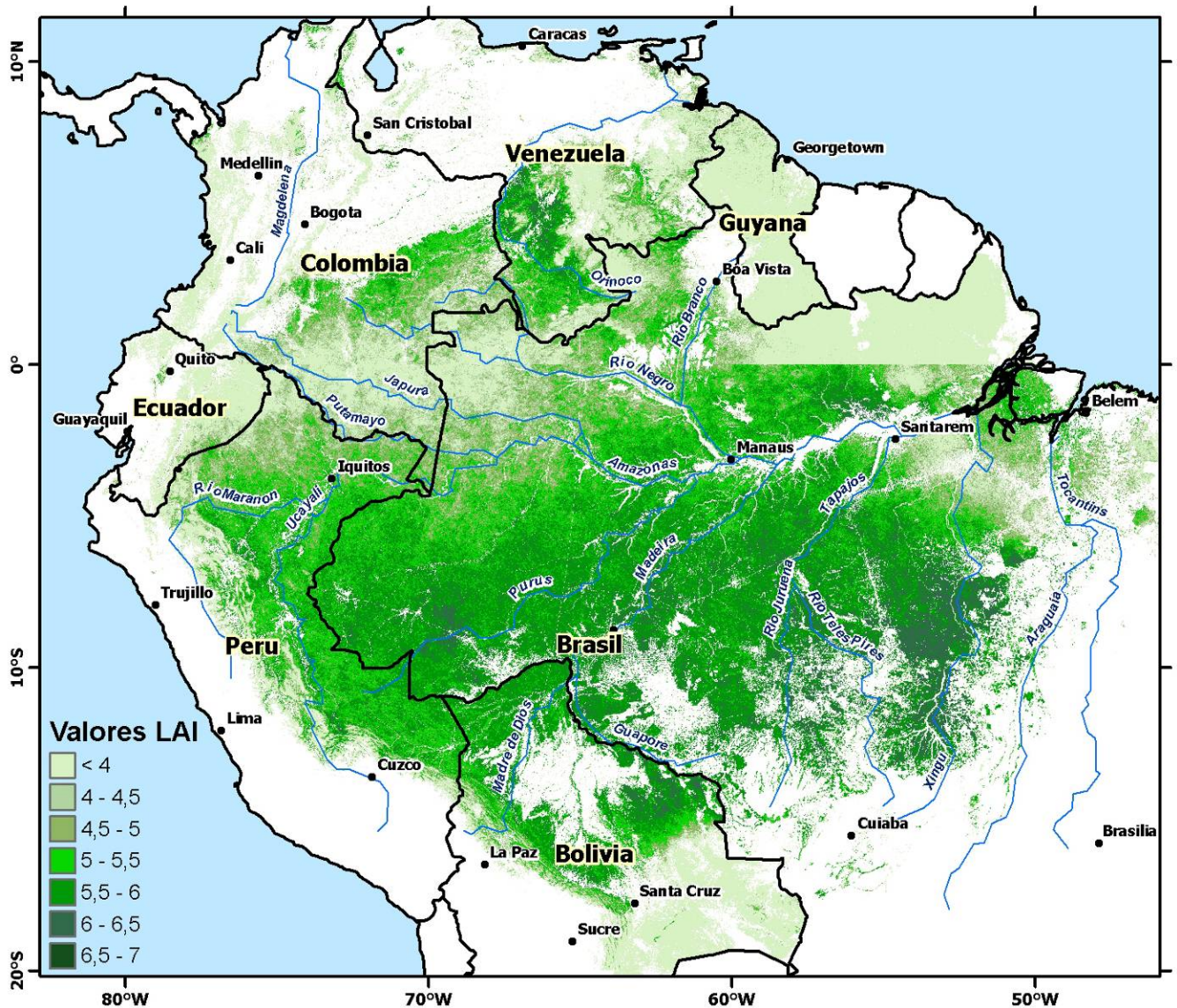
superiores a 0,9 en dos o más años; estas áreas representan un 22% de los bosques con valor de NDVI superior a 0,6, considerados como amazónicos, y están distribuidas mayormente en el norte y sudeste de la Amazonía, así como también en la región sudoeste (Figura 6).

Figura 6. Mapa de densidad de la vegetación en la Amazonía, mostrando con el tono de verde más oscuro las áreas que presentan valores de NDVI superiores a 0,9 en dos años o más, las cuales representan los bosques más densos.



El análisis de los promedios anuales del Índice de Área Foliar (LAI) ha mostrado similar comportamiento en cuanto a variabilidad (Figura 7).

Figura 7. Mapa de Índice de Área Foliar en la Amazonía, promedio para el período 2001/2007.

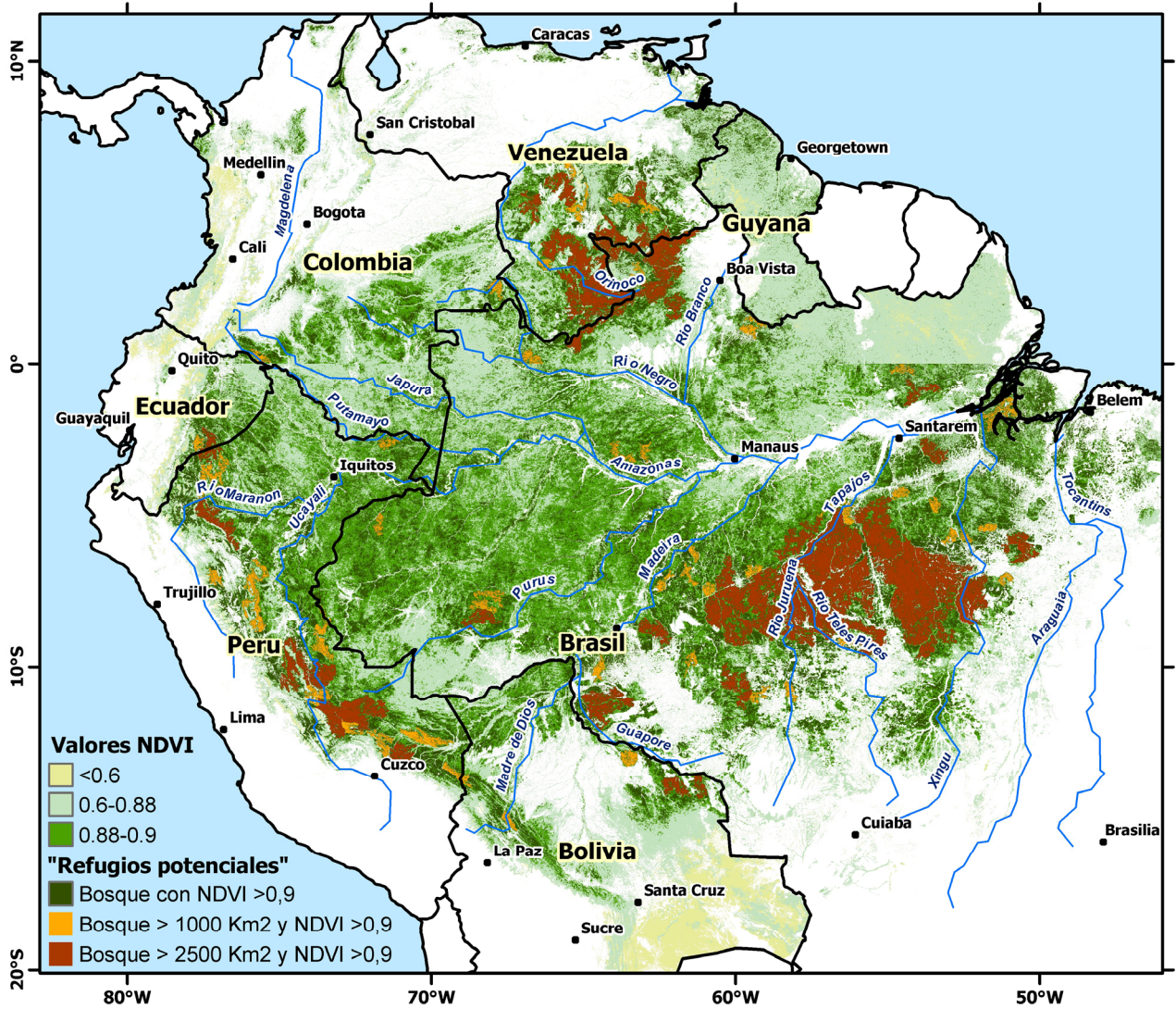


Identificación de "refugios potenciales"

La identificación de sitios importantes de conservación, los "refugios potenciales", ha sido realizada en base a la información anteriormente analizada, determinando sitios que podrían ser estables, o menos vulnerables que otros, a los cambios climáticos.

Se consideraron las áreas de bosques que presentan los valores más altos en cuanto a niveles verdor, ya que representan los bosques más densos, y se han seleccionado las áreas que presentan valores de NDVI superiores 0,9 en dos años o más. Para localizar los lugares donde se presentan "refugios potenciales" de forma más continua se han seleccionado bloques de bosques superiores a 1.000 Km² y superiores a 2.500 Km² (Figura 8).

Figura 8. Mapa de "refugios potenciales" en la Amazonía



Las áreas que sobresalen están presentes principalmente en el sudeste de la Amazonía, en la región del sur de Venezuela, así como en sectores contiguos a los Andes en Bolivia, Perú y Ecuador.

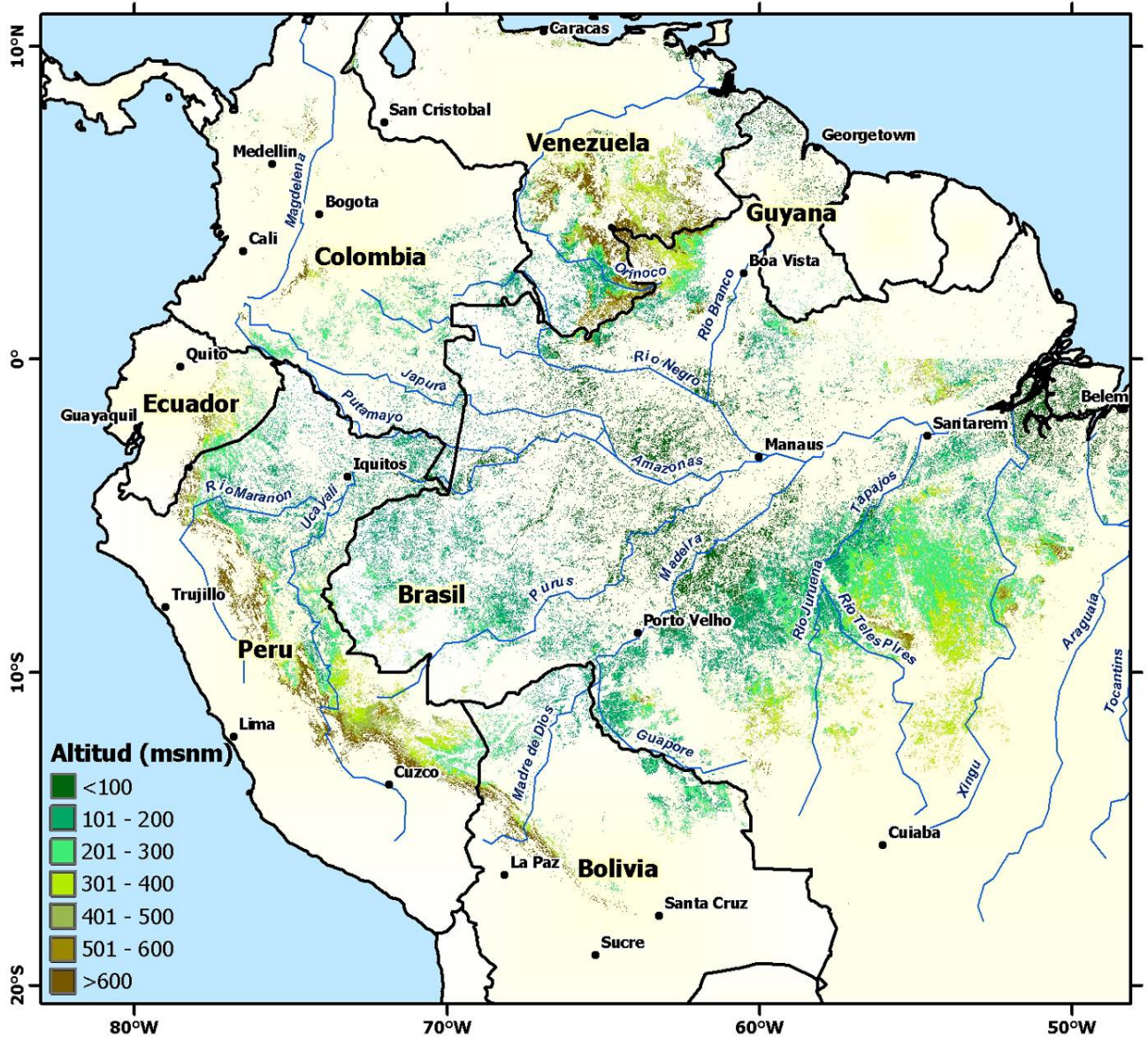
Relación de las áreas de "refugios potenciales" con características físicas y climáticas

Las áreas identificadas como "refugios potenciales" han sido analizadas para observar relaciones en cuanto a topografía, suelo y factores climáticos. Para estos análisis se consideraron como "refugios potenciales" las áreas de bosque con mayor verdor (NDVI superior a 0,9).

▪ Topografía

Al analizar la relación de la localización de "refugios potenciales" con datos topográficos del SRTM de 90 m de resolución, se pudo observar que mayormente se distribuyen hasta los 600 msnm, localizándose principalmente en altitudes que van entre 100 a 300 msnm (60%). Los sectores más bajos donde se sitúan corresponden a áreas cercanas al Río Amazonas, y los sitios más altos se encuentran en la región de los bosques húmedos de tierras altas al sur de Venezuela, y en la región de los Andes donde alcanzan altitudes de hasta 2.000 msnm (Figura 9).

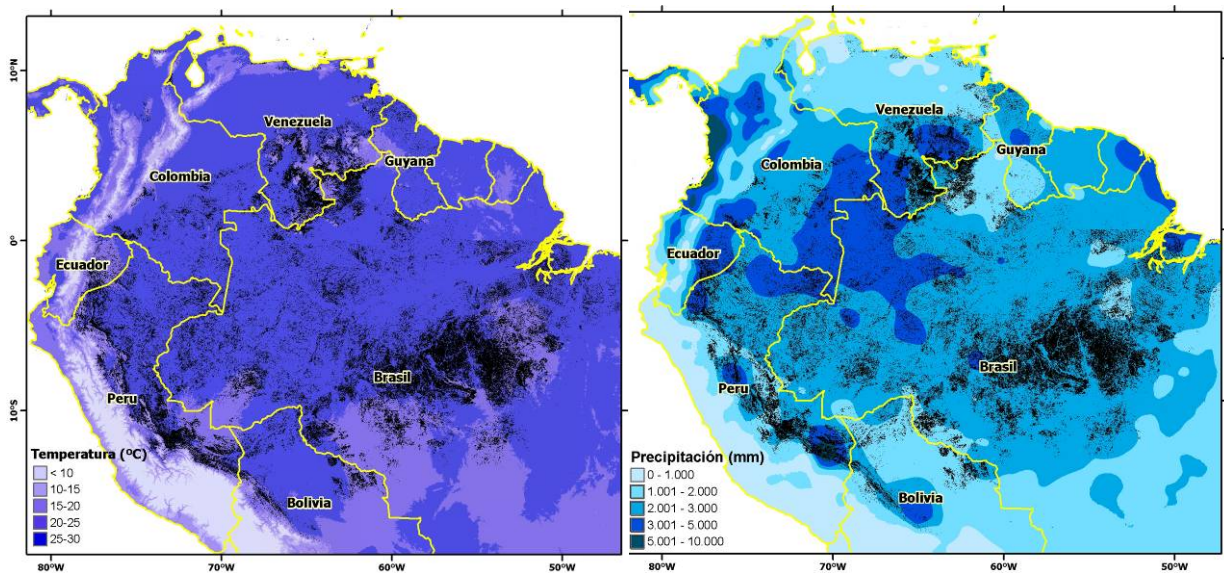
Figura 9. Localización de "refugios potenciales" y su relación con la topografía.



▪ **Clima**

En cuanto a la relación de la localización de “refugios potenciales” con aspectos climáticos, la información ha sido analizada con los datos del Worldclim para Temperatura media anual y Precipitación media anual (Figura 10). Se ha observado que mayormente se distribuyen en rangos de precipitación entre 2000 a 3000 mm (75%), y en rangos de temperatura entre 25 a 30° C (70%).

Figura 10. Localización de “refugios potenciales” y su relación con factores climáticos, temperatura y precipitación. En negro se muestran las áreas de “refugios potenciales”



Resultado 2. Identificando Sitios estratégicos que pueden funcionar como “puentes migratorios” en los Andes.

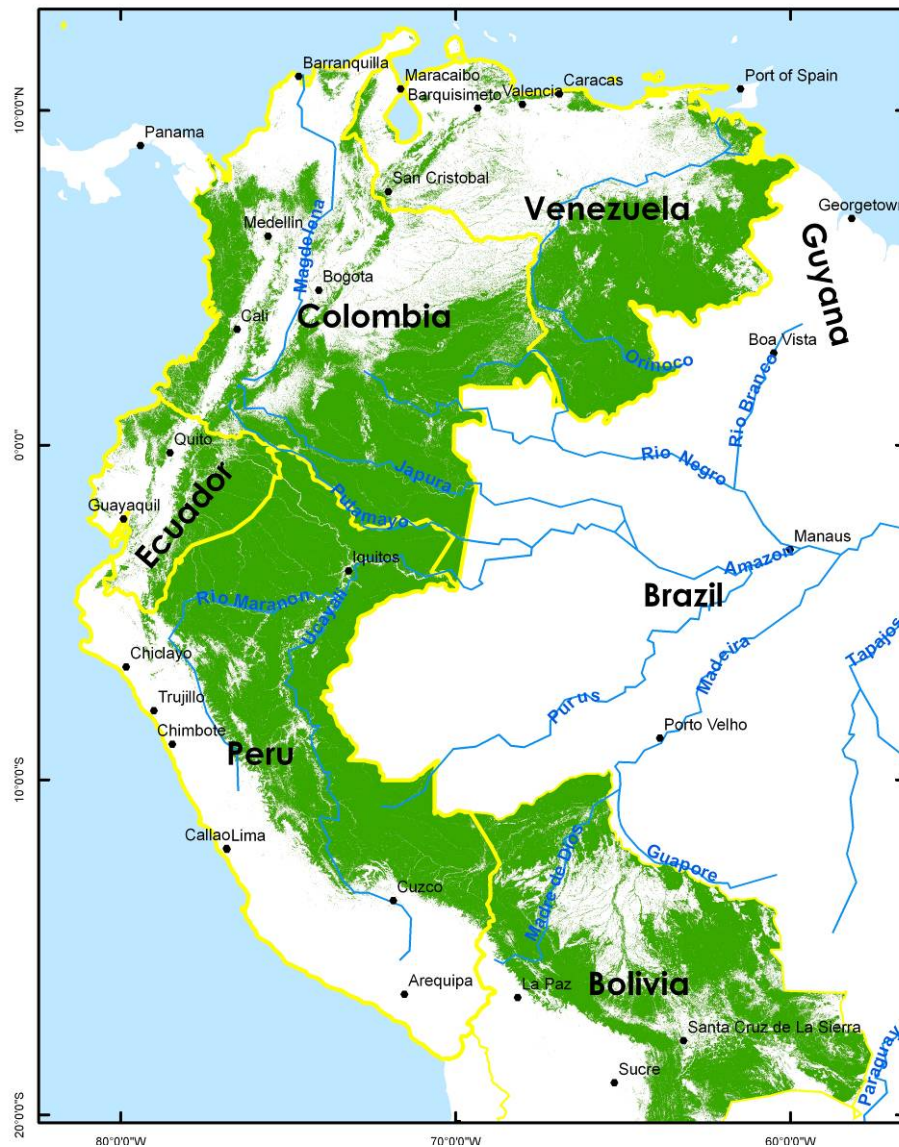
La identificación de “puentes migratorios” fue desarrollada a partir de la caracterización y distribución del bosque nublado en la cordillera de los Andes; estos bosques se caracterizan por la presencia frecuente de nubes. Sin embargo, al ser definidos no se habla sobre frecuencia, intensidad o persistencia de nubes necesariamente para que un bosque sea calificado como “bosque nublado”. Estos bosques, dependen de las nubes como un recurso vital de abastecimiento de agua para la flora y fauna, incluso en ausencia de lluvia. No obstante estos bosques son amenazados por presiones como la deforestación y el calentamiento global. En particular, la periodicidad, intensidad y frecuencia en la cobertura de nubes esta cambiando debido al aumento del nivel del mar y las temperaturas de la superficie terrestre. Estos cambios en los patrones de nubosidad se han correlacionado con extinciones locales y cambios de distribución de comunidades de algunas especies.

Identificación de Bosque Nublado

- **Definiendo Cobertura Vegetal**

El bosque nublado solo puede existir donde hay bosque (como opuesto al uso de tierras antrópicas). Para esto se utilizó la clasificación de cobertura de la tierra y cambios en la cobertura realizada a partir de imágenes satelitales LANDSAT con resolución de 30 metros hasta el año 2000. Estos mapas fueron generados por el Museo Noel Kempff, para Bolivia; CI-CABS, para Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela. La Figura 11 muestra el área de los andes ocupada por Bosque hasta el 2000.

Figura 11. Área con Cobertura Vegetal hasta el año 2000



▪ **Identificación de la Frecuencia de Nubes**

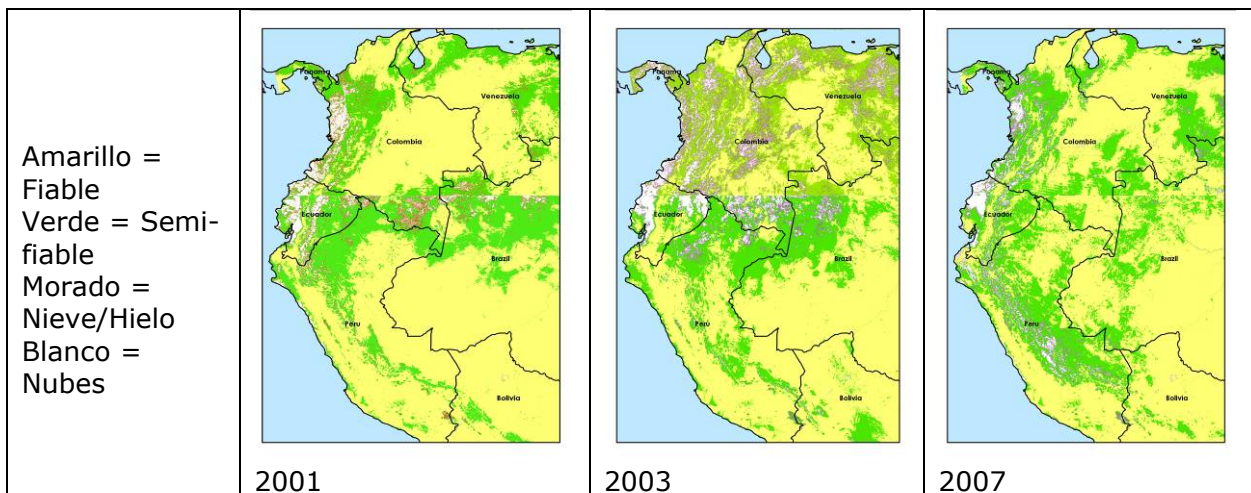
El bosque nublado, es uno de los ecosistemas más frágiles e importantes de las biomasas de montañas en todo el mundo. Se caracteriza por estar cubierto frecuentemente por nubes o neblinas, recibiendo una cantidad de humedad adicional por medio de la captación y condensación de gotitas de agua, llamándole a este fenómeno "precipitación horizontal".

Para obtener áreas donde se muestre la frecuencia y distribución de nubes, se utilizaron las imágenes MODIS MOD13Q01 a una resolución de 250 m y con una periodicidad de 16 días que contienen varias capas de información relacionadas con los índices de vegetación, pero que también están relacionadas con nubes las cuales son el objetivo en este producto.

Al analizar las imágenes MODIS se pudo observar que se incorpora una capa (Pixel Reliability) que contiene información resumida sobre la fiabilidad de los datos, en donde contiene una clase donde muestra la presencia total o parcial de nubes.

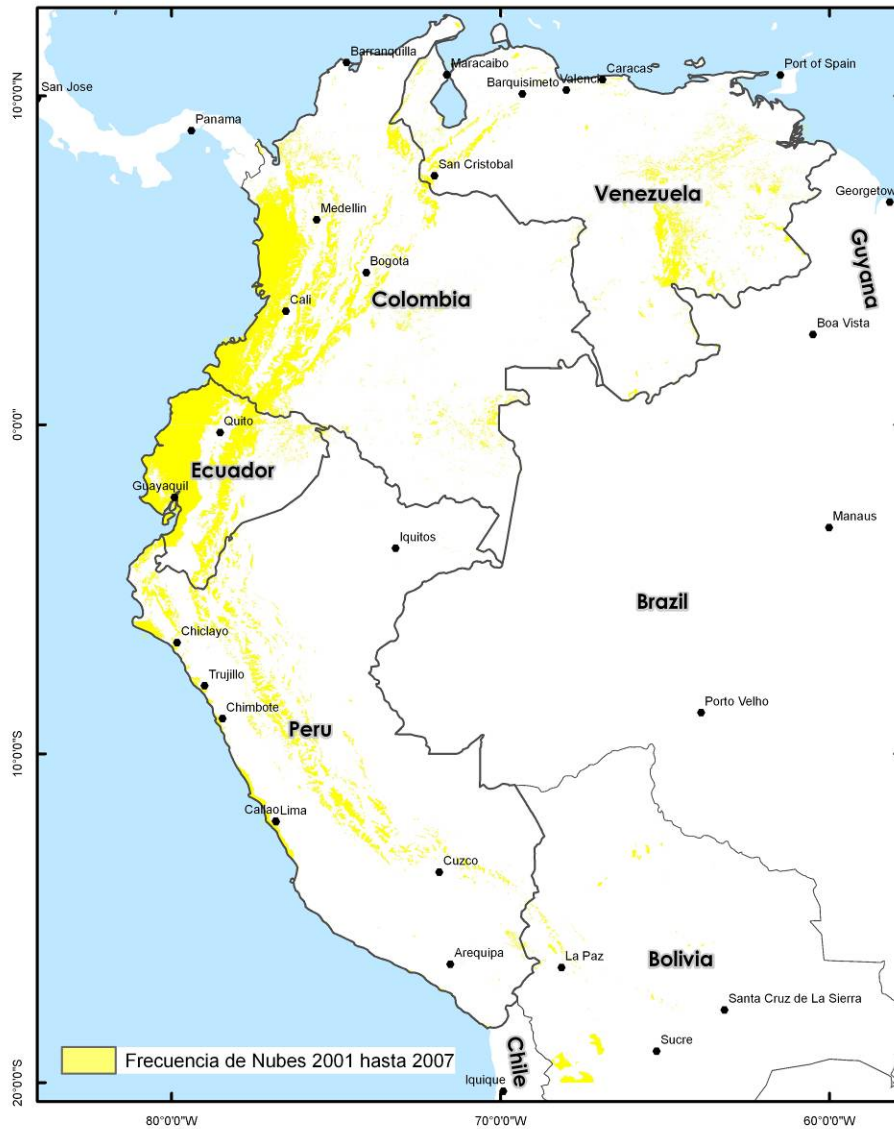
La Figura 12 muestra la capa de fiabilidad (Pixel Reliability) cuando se las obtiene en su estado original donde:

Figura 12. Capa de Fiabilidad



Al analizar la sumatoria de las imágenes para el periodo 2001 al 2007, la mayor concentración de nubes se encuentra a lo largo de la cordillera de los Andes como se observa en la Figura 13.

Figura 13. Frecuencia de nubes en los Andes desde el 2001 hasta el 2007

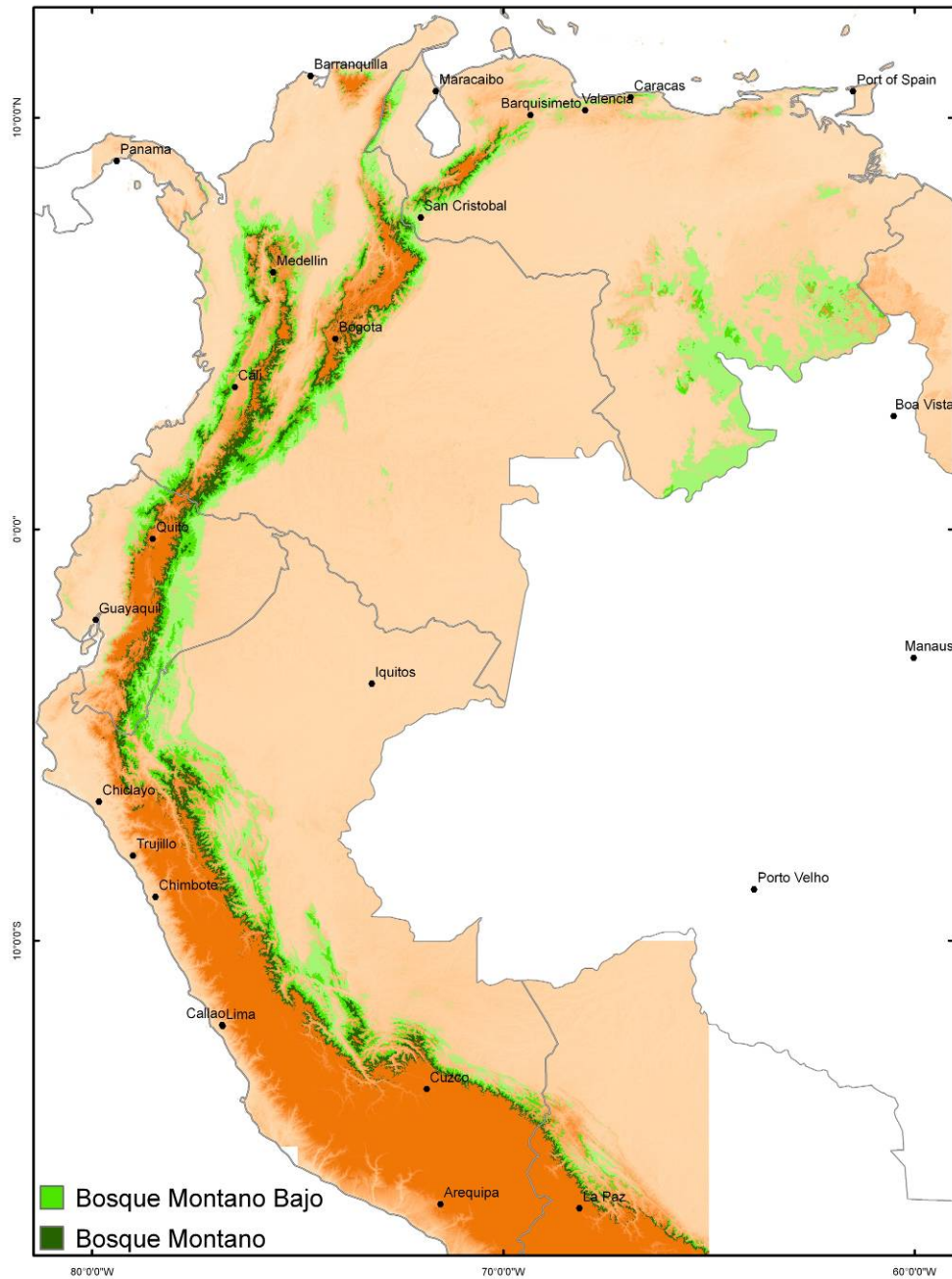


▪ **Relacionando con Topografía**

Es importante notar la relación del bosque nublado con el terreno montañoso, pero la altitud solamente no discrimina bosque nublado de otro tipo de bosque. La altitud puede mostrar un rango de frecuencias de la nube a un 100 % pero esto dependerá también de otros factores como ser las condiciones de humedad, la temperatura y presión atmosférica. Según los análisis del bosque, con la frecuencia de nubes y con el SRTM, el Bosque nublado reside en alturas entre 500 a 3500 msnm, como se lo muestra en la Figura 14, y se lo ha clasificado de la siguiente manera:

-38 – 500 m	Bosque de Llanura y Pie de monte
500 – 1500 m	Bosque Montano Bajo
1500 – 3500 m	Bosque Montano
3500 – 4500 m	Bosque Altimontano

Figura 14. Distribución del bosque nublado en los Andes



Los resultados están detallados en el Cuadro 2 donde se muestra la superficie en Km² de bosque nublado en cada país y el porcentaje que corresponde dentro del territorio. Podemos observar que Venezuela tiene la mayor superficie de bosque nublado en relación a los otros países pero este no presenta alturas mayores a 1500 msnm, esto quiere decir que la frecuencia de nubes en estos lugares iría disminuyendo en el caso de un aumento de temperaturas y disminución de la precipitación.

Cuadro 2. Área de Bosque nublado por países

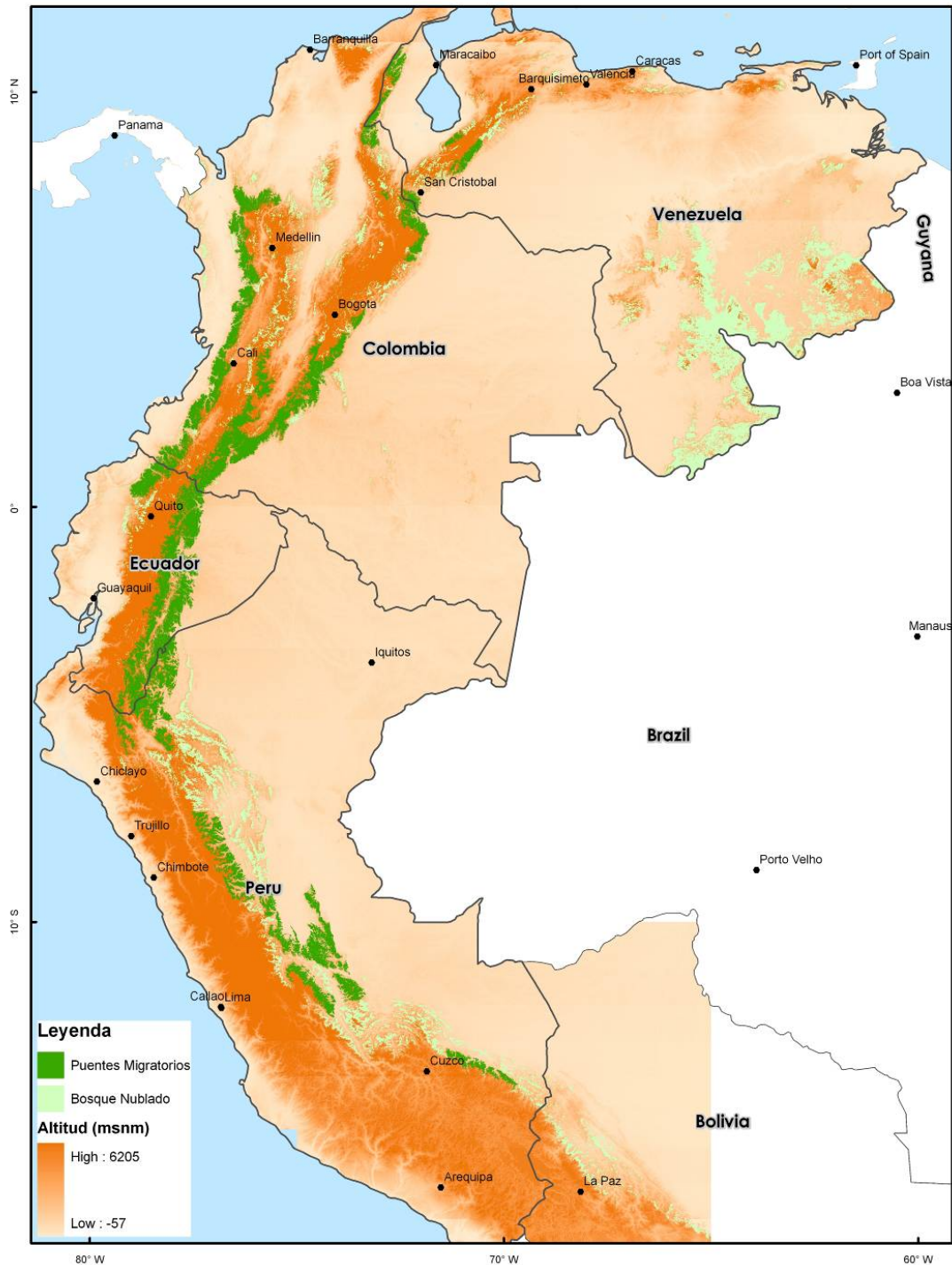
Nombre del País	Área de Bosque Nublado (Km ²)	Bosque Nublado como un % del territorio nacional
Bolivia	7,715	0,70
Perú	89,792	6,99
Ecuador	44,336	15,64
Colombia	90,701	7,94
Venezuela	104,191	11,42

Identificación de "puentes migratorios"

La Figura 15 muestra la identificación de los "puentes migratorios" que se realizó a partir de la información anteriormente mencionada; se analizaron áreas de bosques nublados que son continuos y que siguen una gradiente altitudinal, es decir que van desde los 500 hasta los 3500 msnm. Para la identificación de los "puentes migratorios" no se han tomado en cuenta las áreas intervenidas por el hombre ya que estas dificultan el paso de especies, además que pueden presentar mayor estabilidad ante los cambios climáticos.

Los sitios identificados se ubican principalmente en los países de Colombia, Ecuador y Perú, sobre todo enfocándose en las serranías de la faja subandina y la conexión entre las serranías orientales y occidentales.

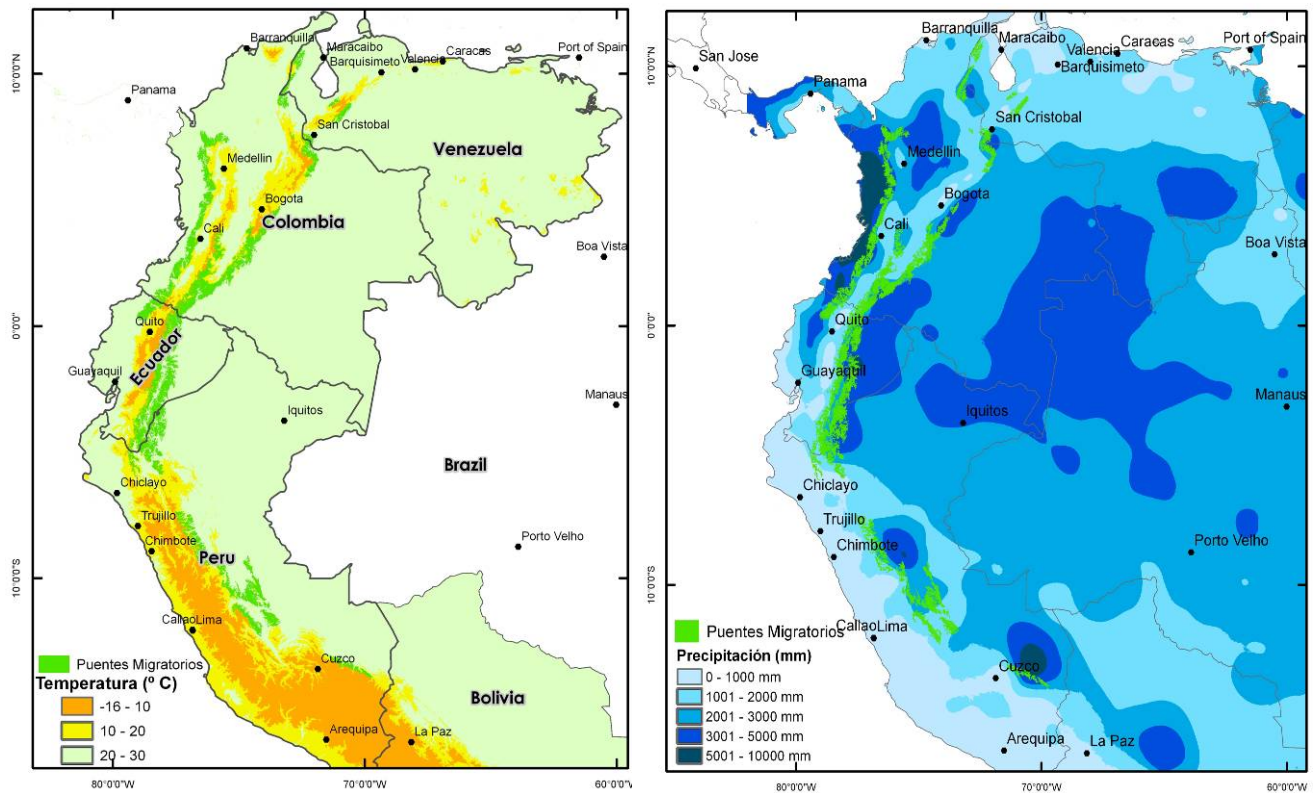
Figura 15. Mapa de “puentes migratorios” en los Andes



Relación de los "puentes migratorios" con características climáticas

Según los análisis de relación de los "puentes migratorios" con datos climáticos, se analizaron datos de temperatura y precipitación media anual obtenida del WorldClim; se observa que estos sitios tienen lugar en un rango de temperatura entre 12 y 18° C y entre 1000 a 10000 mm de precipitación, como aparecen reflejados en la Figura 16.

Figura 16. Localización de los "puentes migratorios" y su relación con datos climáticos de Temperatura y Precipitación



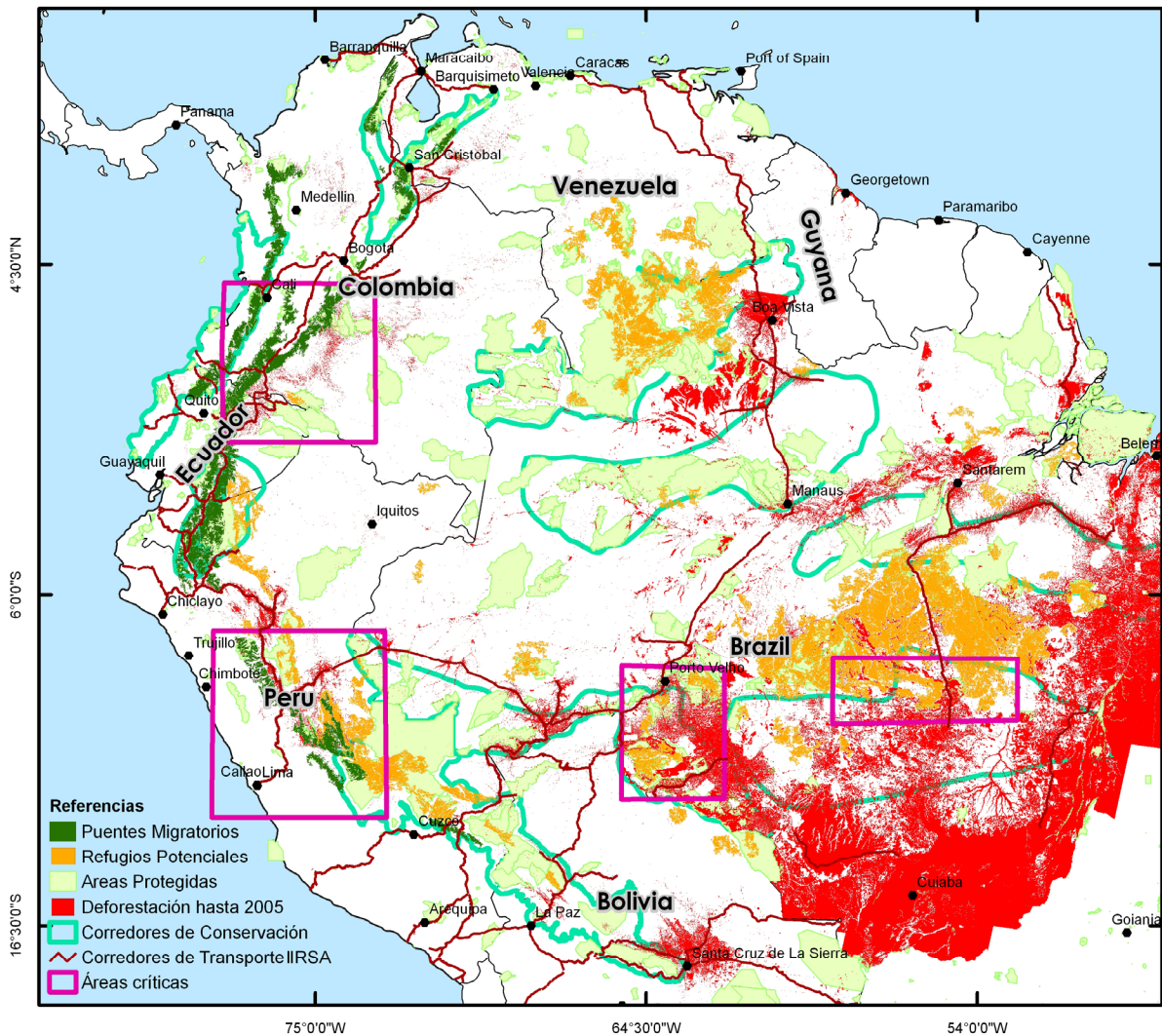
Resultado 3. Áreas identificadas de importancia para la conservación en Amazonía y Andes y su relación con actuales estrategias de Conservación

Considerando que los sitios identificados como "refugios potenciales" en la Amazonía y "puentes migratorios" en los Andes, representan áreas importantes de bosques que podrían permanecer ante cambios climáticos, y que la conservación de la vegetación infiere la conservación de otras especies, se identifica a estos sitios como prioritarios para el establecimiento de áreas que conecten las actuales áreas protegidas en corredores de

conservación ya identificados, a través de la planificación y establecimiento de diversas figuras como áreas de conservación y manejo de los recursos naturales.

Analizando la localización de estas áreas importantes para la conservación, con la presencia de grandes proyectos como corredores viales y la cercanía a sitios que presentan una gran dinámica de cambio de cobertura, se identifican áreas críticas que serían las más vulnerables de continuar las actuales tendencias de cambios antropogénicos (Figura 17).

Figura 17. Sitios identificados de importancia para la conservación en la Amazonía y los Andes.



Referencias bibliográficas

Betts, R. A., Cox, P. M. & Collins, M. 2004 The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global climate warming. *Theor. Appl. Climatol.* 78, 157-175 (doi:10.1007/s00704-004-0050-y).

Eva, H. D. et al. 2002 A vegetation map of South America. Brussels, Belgium: Joint Research Center, European Commission. EUR 20159 EN.

Harper, G.J., M.K. Steininger, Y. Talero, M. Sanabria, T.J. Killeen, L.A. Solorzano. 2009. Forest Cover and Deforestation in the Tropical Andes and Non-Brazilian Amazonia, c. 1990 - c. 2000. En preparación.

Hijmans, R.J., S. Cameron, J. Parra, 2004. WorldClim, version 1.2. A square kilometer resolution database of global terrestrial surface climate. Disponible en <http://biogeo.berkeley.edu/>

INPE-PRODES . 2008. Monitoramento Ambiental da Floresta Amazônia por Satélite. Brasil. Disponible en <http://www.obt.inpe.br/prodes>.

Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2008, Hole-filled SRTM for the globe Version 4, Disponible en CGIAR-CSI SRTM 90m Database: <http://srtm.csi.cgiar.org>

Killeen, T. J. 2007 A perfect storm in the Amazon wilderness, development and conservation in the context of the Initiative for Integration of the Regional Infrastructure of South America (IIRSA). Applications in applied biodiversity science, vol. 7. Washington, DC: Conservation International.

Killeen, T. J., L. A. Solorzano. 2007. Conservation strategies to mitigate impacts from climate change in Amazonia. *Phil. Trans. R. Soc. B* (doi: 10.1098/rstb.2007.0018)

Mulligan, Mark. and Burke, S. M. 2005 DFID FRP Projet ZF0216. Global cloud forest and enviromental change in a hidrological contex, Final Report.

NASA - U.S. Geological Survey, LP DAAC Land (Processes Distributed Ative Archive Center). 2008. MODIS Terra Products. MOD13Q1 and MOD15A2. Disponible en https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_product_table

Anexos

Anexo 1

Listado de los productos MODIS Terra que han sido procesados

Vegetation Index NDVI (MOD13Q1 V5)

Norte

Tiles

h10v07 h11v07
h10v08 h11v08 h12v08

Sur

Tiles

h09v09 h10v09 h11v09 h12v09 h13v09
h10v10 h11v10 h12v10 h13v10
h12v11

Fechas

	Año	Mes	Día	Julian Day
1	2001	1	1	1
2		2	2	33
3		12	3	337
4	2002	1	1	1
5		2	2	33
6		12	19	353
7	2003	1	17	17
8		12	3	337
9			19	353
10	2004	1	17	17
11		12	2	337
12			18	353
13	2005	1	1	1
14			17	17
15		2	2	33
16		12	19	353
17	2006	1	17	17
18		2	18	49
19		12	19	353
20	2007	1	17	17
21		2	18	49

Fechas

	Año	Mes	Día	Julian Day
1	2001	7	28	209
2		8	13	225
3		9	14	257
4	2002	7	12	193
5		8	13	225
6		9	14	257
7	2003	7	12	193
8		8	13	225
9		9	14	257
10	2004	7	11	193
11		8	12	225
12		9	13	257
13	2005	7	12	193
14		8	13	225
15		9	14	257
16	2006	7	12	193
17		8	13	225
18		9	14	257
19	2007	7	12	193
20		8	13	225
21		9	14	257

Leaf Area Index LAI (MOD15A2 V5)

Norte

Tiles

h10v07 h11v07
h10v08 h11v08 h12v08

Sur

Tiles

h09v09 h10v09 h11v09 h12v09 h13v09
h10v10 h11v10 h12v10 h13v10
h12v11

Fechas

	Año	Mes	Día	Julian Day
1	2000	12	18	353
2	2001	1	17	17
3		2	18	18
4		12	19	353
5	2002	1	17	17
6		2	18	49
7		12	19	353
8	2003	1	17	17
9		2	18	49
10		12	19	353
11	2004	1	17	17
12		2	18	49
13		12	18	353
14	2005	1	17	17
15		2	10	41
16		12	19	353
17	2006	1	17	17
18		2	18	49
19		12	19	353
20	2007	1	17	17
21		2	18	49

Fechas

	Año	Mes	Día	Julian Day
1	2001	7	28	209
2		8	13	225
3		9	14	257
4	2002	7	12	193
5		8	13	225
6		9	14	257
7	2003	7	12	193
8		8	13	225
9		9	14	257
10	2004	7	11	193
11		8	12	225
12		9	13	257
13	2005	7	12	193
14		8	13	225
15		9	14	257
16	2006	7	12	193
17		8	13	225
18		9	14	257
19	2007	7	12	193
20		8	13	225
21		9	14	257

Anexo 2

Metodología utilizada para la generación de los productos

A seguir se presenta un resumen de la metodología utilizada y las actividades realizadas en el desarrollo del estudio.

Resultado 1. Identificación de sitios estratégicos de conservación en la Amazonía, "refugios potenciales"

Determinación de áreas de bosque con mayores índices de verdor

- **Identificación de áreas de bosque**
 - Se utilizó como base los mapas de cobertura y cambios de uso de la tierra hasta el año 2000, basados en procesamiento de imágenes del satélite Landsat con una resolución de 30 m; estos mapas han sido elaborados por CI-CABS (Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela y Guyana), Museo HNNKM (Bolivia), y el INPE-PRODES (Brasil).
 - Mediante el uso del programa ArcGIS se seleccionó de estos mapas sólo la clase correspondiente a bosques, generando archivos en formato GRID y re proyectados al Sistema de Coordenadas Geográficas (Datum y esferoide WGS 84), y finalmente creando un sólo mosaico de cobertura de bosques.

- **Identificación de áreas de bosques con mayor verdor, a través de Índices de Vegetación MODIS NDVI y LAI**
 - Adquisición del producto MODIS Terra sobre Índices de Vegetación, NDVI (MOD13Q1 V5) y LAI (MOD15A2 V5), vía FTP (<ftp://e4ftl01u.ocs.nasa.gov>), para el período 2001-2007. Se obtuvieron 21 fechas para los 15 tiles que abarcan el área de estudio, 3 fechas de época seca por año, de diciembre a febrero para el hemisferio Norte y de julio a septiembre para el Hemisferio Sur.
 - Creación de mosaicos de los productos MODIS NDVI y LAI, de las 21 fechas para el Hemisferio Norte y Sur, mediante la utilización del programa HEGTool diseñado especialmente para este fin (<http://eosweb.larc.nasa.gov/PRODOCS/misr/geotifftool.html>). A su vez los datos fueron re proyectados desde Sinusoidal al Sistema de Coordenadas Geográficas, y exportados de su formato original HDF al formato GeoTIFF que es compatible con la mayoría de los programas utilizados para analizar información geográfica.
 - Obtención de promedios anuales, mosaicos en formato GRID, con la utilización del módulo de análisis espacial del programa ArcGIS.

- Unión de la cobertura de bosques con los promedios anuales de NDVI y LAI, mediante multiplicación con la herramienta de Raster Calculator del módulo Spatial Analyst del programa ArcGIS.
- Selección de las áreas que presentan valores promedios de NDVI superiores a 0,9 para cada año. Esto basado en estudios realizados por la Universidad de Maryland para la Amazonía donde señalan los siguientes valores y su correspondencia de cobertura del suelo.

Valor NDVI	Indica
<= 0.1	suelo desnudo, arena o nieve
0,2 a 0,3	pastizales y matorrales
0.6 a 0.8 y superiores	bosques tropicales
cercanos a +1	mayor densidad de hojas verdes

Identificación de "refugios potenciales"

- Se han generado coberturas en formato GRID y Shapefile, en base a las áreas de bosque de mayor verdor, con valores de NDVI superiores a 0,9 en dos años o más, mediante sumas con la herramienta de Raster Calculator del módulo Spatial Analyst del programa ArcGIS.
- Para localizar los lugares donde se presentan "refugios potenciales" de forma más continua se han seleccionado bloques de bosques superiores a 1.000 Km² y superiores a 2.500 Km², identificando áreas de importancia para el establecimiento de nuevas áreas protegidas. Estas coberturas han sido generadas en formato GRID y Shapefile.

Relación de las áreas de "refugios potenciales" con características físicas y climáticas

- **Topografía**

- Análisis de las áreas identificadas como "refugios potenciales" con información topográfica SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), mediante multiplicación con la herramienta de Raster Calculator del módulo Spatial Analyst del programa ArcGIS, para la identificación de los rangos altitudinales en que se localizan estos sitios.

- **Clima**

- Análisis de las áreas identificadas como “refugios potenciales” con información climática de Promedio anual de Temperatura y Precipitación del WORLDCLIM, mediante multiplicación con la herramienta de Raster Calculator del módulo Spatial Analyst del programa ArcGIS, para la identificación de los rangos en que se localizan estos sitios.

Resultado 2. Identificando Sitios estratégicos que pueden funcionar como “puentes migratorios” en los Andes

Identificación de Bosque Nublado

Definiendo Cobertura Vegetal

- Se utilizó como base los mapas de cobertura y cambios de uso de la tierra hasta el año 2000, basados en procesamiento de imágenes del satélite Landsat con una resolución de 30 m; estos mapas han sido elaborados por CI-CABS (Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela y Guyana), Museo HNNKM (Bolivia).
- Mediante el uso del programa ArcGIS se seleccionó de estos mapas sólo la clase correspondiente a bosques y bosques que habían cambiado a nubes, generando archivos en formato GRID y re proyectados al Sistema de Coordenadas Geográficas (Datum y esferoide WGS 84), y finalmente creando un sólo mosaico de cobertura de bosques.

Frecuencia de Nubes

- Adquisición del producto MODIS Terra la capa de fiabilidad (Pixel Reliability), (MOD13Q1 V5), vía FTP (<ftp://e4ftl01u.ecs.nasa.gov>), para el período 2001-2007. Se obtuvieron 21 fechas para los 15 tiles que abarcan el área de estudio, 3 fechas de época seca por año, de diciembre a febrero para el hemisferio Norte y de julio a septiembre para el Hemisferio Sur.
- Las imágenes vienen en un formato especial (*.hdf) que no leen la mayoría de los SIG y software de teledetección, la información contenida en las distintas bandas de las imágenes MODIS viene en un tipo de proyección (Sinusoidal) bastante atípico, por lo que suele ser necesaria la reproyección de esta información. Para exportarlas se usó la herramienta HEGTOOLS que reproyecta la imagen con datum WGS 84 y la convierte en formato (*.tif) para luego realizar los análisis mediante herramientas SIG en este caso ArcView y ArcGis.

- De cada una de las imágenes se obtuvo solo la clase 3 que contiene nubes, se las exportó a formato grid, utilizando el análisis espacial de ArcGIS. Se realizó la suma de las 21 fechas para ambas zonas.
- Las áreas obtenidas con frecuencia de nubes fueron analizadas con la cobertura vegetal para obtener un mapa preliminar de bosque nublado.

Relacionando con Topografía

- Las áreas identificadas como bosque con nubes fue analizada con información topográfica SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), mediante multiplicación con la herramienta de Raster Calculator del módulo Spatial Analyst del programa ArcGIS, para la identificación de los rangos altitudinales en que se localiza el bosque nublado.

Identificación de “puentes migratorios”

- Se identificaron áreas continuas en función a la gradiente altitudinal desde los 500 hasta los 3500 msnm, estas áreas identificadas funcionarían como “puentes migratorios”. Estas coberturas han sido generadas en formato GRID y Shapefile.

Relación de “puentes migratorios” con características climáticas con datos

- Las áreas identificadas como “puentes migratorios” fueron analizadas con información climática usando el promedio anual de temperatura y precipitación datos obtenidos del WORDLCLIM, se usó herramienta de multiplicación del Raster Calculator del módulo de Spatial analyst del programa ArcGIS para identificar los rangos en que se encuentran estos sitios.

Resultado 3. Áreas identificadas de importancia para la conservación en Amazonía y Andes y su relación con actuales estrategias de Conservación

Las áreas identificadas como “refugios potenciales” en la Amazonía y “puentes migratorios” en los Andes, fueron analizadas con los sistemas actuales de Áreas Protegidas y Corredores de Conservación así como también con áreas antrópicas y corredores de transporte, identificando áreas prioritarias para conservación y áreas críticas.

Anexo 3

Información generada y analizada en el estudio

Se presenta en formato digital toda la información generada y analizada en el presente estudio

- **Informe**

Informe Técnico sobre el desarrollo del estudio, en formato PDF.

- **Información geográfica**

Coberturas en formato GRID y Shapefile, generadas en los análisis sobre "refugios potenciales" y "puentes migratorios". Toda la información está en Coordenadas Geográficas, WGS 84.

- **Figuras**

Figuras en formato JPG, de los Mapas elaborados en el estudio.

Nota. En el Servidor de Información Geográfica del Museo de Historia Natural Noel Kempff M., se encuentra disponible toda la información analizada para los productos MODIS NDVI y LAI en el período 2001-2007, todos los tiles y mosaicos procesados para las 21 fechas (los cuales se detallan en el Anexo 1), y los promedios anuales que han sido generados; así también se cuenta con la información temática que se ha utilizado en los diversos análisis. Esta información no ha sido copiada para el presente informe debido al elevado peso de los archivos digitales, de aproximadamente 100 GB.