



## Impactos del cambio climático en la biodiversidad de los Andes tropicales: *Riesgo climático, vulnerabilidad y herramientas de toma de decisiones para la planificación de la conservación*

### BIODIVERSIDAD

La biodiversidad consiste en la variedad de especies que se encuentran en un área específica, su variabilidad genética y los ecosistemas que forman. La biodiversidad determina los procesos biológicos dentro, entre y más allá de los ecosistemas, que ofrecen una amplia variedad de servicios ecológicos (como el ciclo nutritivo o el suministro de agua) y de funciones ecosistémicas (como el mantenimiento de las redes alimenticias).

Los Andes tropicales se encuentran entre las áreas de mayor biodiversidad del planeta. Sus sociedades humanas dependen en muchos aspectos de los diferentes bienes y servicios (p.ej. agua, alimentos, plantas medicinales, polinización) que los **ecosistemas** andinos, con sus innumerables **especies**, les proveen. Las especies, y por lo tanto la integridad de estos ecosistemas, se encuentran seriamente amenazadas por el cambio climático y los cambios en el uso del suelo. Se espera que ambos factores, conjuntamente denominados “cambio global”, provoquen un profundo impacto en la supervivencia, distribución geográfica e interacciones ecológicas de las especies andinas. Como consecuencia de estos impactos, se prevé una lenta desintegración de los ecosistemas y una concomitante disminución en su capacidad de proveer bienes y servicios vitales a los seres humanos.

Por ello, es urgente desarrollar metodologías y proporcionar herramientas sólidas y eficaces basándose en el conocimiento técnico científico actual para la evaluación cuantitativa del **riesgo** y de la **vulnerabilidad** de la biodiversidad andina ante el cambio global. Estas evaluaciones cuantitativas constituyen insumos clave en el proceso de identificación estratégica de las áreas más prioritarias para la implementación de acciones de conservación, y en la formulación de planes y estrategias de conservación y adaptación al cambio climático que sean exitosos. El desarrollo de dichas herramientas aún es incipiente a nivel mundial.

Entonces, ¿cómo se puede determinar de manera cuantitativa la **vulnerabilidad de los ecosistemas andinos al cambio climático**?

Los ecosistemas son entornos sumamente complejos que incluyen miles de especies de bacterias, plantas, hongos y animales. Estas no solo interactúan entre sí de muchas formas diferentes, sino también con el medio físico en el que se encuentran. En regiones altamente biodiversas como los Andes tropicales, nuestro conocimiento sobre las especies y los ecosistemas existentes sigue siendo incipiente respecto a la composición de especies, las interacciones entre especies y las interacciones entre ellas y el medio físico en que se encuentran. Estas limitaciones impiden la aplicación de herramientas complejas, desarrolladas muy recientemente, que evalúan de forma directa la vulnerabilidad de los hábitats o ecosistemas en los Andes tropicales, como por ejemplo el *Habitat Climate Change Vulnerability Index* (Índice de Vulnerabilidad del Hábitat al Cambio Climático) de NatureServe (<http://www.natureserve.org/conservation-tools/climate-change-vulnerability-index-ecosystems-and-habitats>).

La evaluación de la vulnerabilidad de ciertas especies clave al cambio climático es una manera indirecta de obtener pautas confiables sobre la vulnerabilidad de los ecosistemas de los que forman parte. Para algunos grupos taxonómicos, nuestro conocimiento actual sobre la distribución, historia natural y ecología de la mayoría de sus especies en los Andes tropicales es lo suficientemente detallado para facilitar dicha evaluación indirecta de la vulnerabilidad de los hábitats y ecosistemas al cambio climático. Para la selección de los grupos taxonómicos clave deben considerarse los siguientes criterios:

- (1) Deben ser relativamente bien conocidos taxonómica y ecológicamente;
- (2) Deben tener importancia ecológica;
- (3) Deben comportarse como **bioindicadores** con una relación costo-rendimiento óptima, es decir, deben reflejar patrones de diversidad generales y su muestreo debe ser económico y rápido utilizando métodos estandarizados;
- (4) Deben comprometer un número significativo pero manejable de especies;
- (5) Deben haber sido estudiados o inventariados previamente en el área bajo consideración.

Consideramos que existen **tres grupos taxonómicos prioritarios** o idóneos para la evaluación de la vulnerabilidad de los ecosistemas andinos al cambio climático, ya que cumplen con todos estos requisitos y además abarcan un amplio espectro de formas de vida y rasgos biológicos: (1) grupos selectos de **plantas**, como por ejemplo helechos, bromeliáceas, asteráceas (compuestas), fabáceas (leguminosas) y palmeras; (2) los **escarabajos coprófagos** (Coleoptera: Scarabaeinae); y (3) las **aves**. Las plantas son los productores primarios que conforman el fundamento de los ecosistemas, mientras que las aves y los escarabajos coprófagos han sido identificados de manera objetiva como los grupos taxonómicos con la mejor relación costo-rendimiento entre todos los bioindicadores.

### **Resumen de la metodología en ocho pasos**

La metodología descrita aquí para evaluar la vulnerabilidad de la biodiversidad frente al cambio climático sigue los ocho pasos siguientes. En la mayoría de los casos debe utilizarse un sistema de información geográfica (SIG) y toda la información sobre la distribución de las especies y de los ecosistemas o hábitats debe estar georeferenciada.

- (1) Definición exacta del área bajo evaluación.
- (2) Selección de la clasificación de ecosistemas o de hábitats (las unidades espaciales de análisis) más apropiada para el área bajo evaluación.
- (3) Recopilación de datos existentes sobre la distribución de la biodiversidad (las especies en los grupos taxonómicos selectos) dentro del área bajo evaluación.
- (4) Análisis del conocimiento actual y de los vacíos de conocimiento sobre la distribución de las especies en los grupos taxonómicos seleccionados dentro del área bajo evaluación.
- (5) De acuerdo al análisis de vacíos de conocimiento, realización de inventarios biológicos en campo dentro de los ecosistemas o hábitats con menor volumen de datos disponibles en relación a su extensión espacial y a la diversidad esperada.
- (6) Compilación de listas de presencia (documentada y proyectada/esperada) o ausencia de las especies en los grupos taxonómicos selectos en cada unidad espacial de análisis (ecosistemas o hábitats).
- (7) Evaluación de todas las especies selectas con la versión andina del *Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático* (CCVI) de NatureServe (<http://www.natureserve.org/conservation-tools/andes-version-natureserve-climate-change-vulnerability-index>).
- (8) Análisis integral, calculándose un índice compuesto para cada ecosistema o hábitat con base en la vulnerabilidad de las especies presentes en cada unidad espacial de análisis.

## **Ecosistemas**

La clasificación de ecosistemas o hábitats a utilizarse en una evaluación de vulnerabilidad de la biodiversidad ante el cambio global depende de algunos factores principales. En primer lugar, ¿cuáles son las diferentes clasificaciones o mapas de ecosistemas ya existentes para el área de interés? ¿Cuáles son los alcances geográficos y resoluciones espaciales de estas clasificaciones? Segundo, ¿Qué extensión o superficie tiene mi área de interés? ¿Cuál es la resolución espacial mínima requerida para cumplir con las necesidades de información para las metas de conservación y/o la adaptación al cambio climático?

Por lo general, para la evaluación de áreas de menor tamaño se tiende a necesitar clasificaciones más refinadas con unidades de vegetación más finas y con una mayor resolución espacial. Un atlas de los ecosistemas de todos los Andes tropicales puede ser a una escala demasiado amplia y no adecuada para la evaluación de un área protegida municipal de 100 hectáreas. Del mismo modo, una clasificación refinada de las unidades de vegetación de un país o de una región puede ser a una escala demasiado fina y no adecuada para la evaluación de una cordillera entera o un área protegida nacional de miles de kilómetros cuadrados.

En el proyecto piloto presentado en el presente sitio se utilizó la clasificación de los ecosistemas según el *Atlas de los Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro* (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) publicado por la Secretaría General de la Comunidad Andina en 2009 ([www.comunidadandina.org/public/libro\\_92.htm](http://www.comunidadandina.org/public/libro_92.htm)) por ser una clasificación regional que abarca a todos los Andes tropicales.

## **Plantas**

En este proyecto piloto se seleccionaron los siguientes grupos taxonómicos de plantas: Pteridophyta, Bromeliaceae, Araceae, Cecropiaceae, Lecythidaceae, Fabaceae s.l., Asteraceae, Bignoniaceae, Passifloraceae, Moraceae, Gentianaceae, Malpighiaceae, Combretaceae, Clusiaceae, Juglandaceae y Arecaceae. Estos engloban desde pequeñas plantas epífitas o herbáceas terrestres hasta árboles, presentan una amplia variedad de tipos de reproducción, mecanismos de dispersión y diferentes tamaños de semilla y por lo tanto dispersión potencial.

## **Recopilación de datos existentes**

Datos georeferenciados sobre la distribución de las especies de plantas en las dos áreas de estudio del proyecto fueron obtenidos de las bases de datos del Missouri Botanical Garden a través del sistema Tropicos® (<http://www.tropicos.org/>), incluyéndose datos del Herbario Nacional de Bolivia (LPB); de las bases de datos del Herbario QCA (Pontifica Universidad Católica de Ecuador) y del Herbario PSO (Universidad de Nariño, Colombia); y por medio de una revisión de especímenes en los siguientes herbarios peruanos: Herbario Vargas, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (CUZ), Herbario de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (USM), Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (MOL), Herbario Gentry, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (GHMDD).

## **Colecciones en campo**

Las colecciones en campo se realizaron en un total de cinco ecosistemas en el área de estudio norte (Colombia-Ecuador) y en diez ecosistemas en el área de estudio sur (Perú-Bolivia). En cada ecosistema se establecieron transectos en banda con un largo variable dependiendo de las condiciones locales. En cada transecto se colectaron las especies pertenecientes a los grupos taxonómicos seleccionados para su posterior identificación. Se tomaron muestras de hasta un máximo de ocho individuos por especie. Las muestras fueron las más representativas de las especies en campo, preferiblemente con flores y frutos, y se

anotaron las características morfológicas relevantes de cada especie, que no son visibles fácilmente en las muestras colectadas o que se pierden al procesar la muestra.

Las flores fueron examinadas cuidadosamente cuando se las colectaba y se tomaron fotografías digitales de las mismas y de sus características internas que son importantes para la determinación taxonómica. Las inflorescencias largas o tubulares fueron abiertas, o parcialmente cortadas longitudinalmente, antes de ser prensadas de modo que las estructuras internas sean visibles. Los frutos largos fueron cortados en mitades o pequeñas rodajas y algunas semillas fueron secadas separadamente.

La determinación taxonómica de las muestras se realizó con la ayuda de literatura especializada usando claves dicotómicas, mediante comparación con las muestras preservadas en herbarios y en colaboración con expertos internacionales en los distintos grupos taxonómicos. Todos los registros obtenidos fueron incorporados en la base de datos georeferenciados de cada uno de las dos áreas de estudio. Las muestras colectadas fueron depositadas en herbarios nacionales (Bolivia: Herbario Nacional de Bolivia – LPB; Colombia: Herbario PSO, Universidad de Nariño; Ecuador: Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica de Ecuador; Perú: Herbario Vargas, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco – CUZ).

### **Selección de especies y revisión de sinonimia**

En cada una de las dos áreas de estudio, más de 2000 especies pertenecientes a los grupos taxonómicos seleccionados han sido registradas, un número demasiado alto para poder procesarlo dentro de los límites presupuestarios del presente proyecto. Además, muchas de estas especies contaban con un bajo número de registros. Por lo tanto, se excluyeron todas aquellas especies con menos de cinco registros georeferenciados por área de estudio. Entre las especies restantes se seleccionaron de manera aleatoria no más de 600, con la condición adicional de mantener constante la representación porcentual de cada grupo taxonómico respecto al número total de especies en cada área de estudio.

Una vez obtenida la lista de especies a ser analizadas con el *Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático* (CCVI) para cada una de las dos áreas de estudio, se procedió a la verificación de los nombres científicos mediante el Índice Internacional de Nombres de Plantas (IPNI). Para facilitar un análisis más eficaz y rápido se utilizó la herramienta: Taxonomic Name Resolution Service (TNRS) ver. 3.2 (<http://tnrs.iplantcollaborative.org/>) del iPlant Collaborative. El iPlant Collaborative es una iniciativa donde los científicos de todos los campos de las ciencias de la vida pueden acceder a bases de datos públicas, manejar y almacenar sus propios datos y experimentos, acceder computación de alto rendimiento y compartir sus resultados con colegas. La herramienta TNRS trabaja de forma automática, se le alimenta inicialmente con una lista de especies, la cual es contrastada con varias bases de datos para obtener el estado actual de cada nombre científico. Esta herramienta provee como resultado otra lista con la información inicialmente entregada, el estado del nombre científico (aceptado, sinónimo, ilegítimo o sin información), y el nombre aceptado actual, entre otros.

### **Compilación de listas de presencia de especies por ecosistema**

Para cada una de las especies seleccionadas se realizó un control de calidad de la georeferenciación de los registros. Dependiendo del número total de registros por especie, para los 2-4 registros de menor y mayor altura de cada especie, respectivamente, se revisó la coincidencia entre las coordenadas geográficas y la altura especificada usando Google Earth. A encontrarse discrepancias sustanciales entre las coordenadas y la altura, se revisó la descripción de la localidad de colecta en Tropicos® y de acuerdo a la información proporcionada se procedió a la corrección de las coordenadas y/o de la altura. En casos donde la información disponible fue insuficiente, los registros correspondientes fueron excluidos del análisis.

Luego del control de calidad, los registros georeferenciados de cada especie fueron sobrepuestos al mapa de ecosistemas de cada área de estudio usando un sistema de información geográfica (SIG). Para cada especie se anotaron los ecosistemas con registros de presencia. Registros aparentemente atípicos (outliers) fueron sometidos al mismo procedimiento de control de calidad descrito arriba. Con base en la distribución conocida de la especie dentro y fuera del área de estudio y el criterio o la opinión de experto, también se anotaron los ecosistemas con presencia proyectada o esperada de cada especie.

### **Base de datos de caracteres biológicos para el CCVI**

Se elaboró una base de datos para la recolección de los caracteres biológicos de las 600 especies seleccionadas para ser analizadas con el CCVI. Esta base de datos fue incorporada en el sistema de Tropicós® ([www.tropicos.org/](http://www.tropicos.org/)). Los campos de datos con un total de 28 entradas se crearon basados en el CCVI. Además se elaboró un manual para llenar la base de datos.

La información de los caracteres biológicos de cada especie necesarios para la alimentación del CCVI fue obtenida de bibliografía especializada para cada especie; de no encontrarse está disponible se consideró la del género o de la familia. Para obtener una lista bibliográfica de consulta para las especies seleccionadas en este estudio se revisó la lista de bibliografía disponible en Tropicós®.

### **Escarabajos Peloteros**

En este proyecto piloto se incluyeron a todas las especies de aves residentes en las dos áreas de estudio.

### **Recopilación de datos existentes**

Datos georeferenciados sobre la distribución de las especies de escarabajos coprófagos en las dos áreas de estudio del proyecto ([www.bioclimandes.org/Proyecto](http://www.bioclimandes.org/Proyecto)) fueron obtenidos de estudios publicados; las bases de datos personales de A.C. Hamel-Leigue (Bolivia), A. Lopera (Colombia) y T.H. Larsen (Perú); de una revisión de especímenes colombianos en las Colecciones Biológicas del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; y de especímenes ecuatorianos en el Museo de Zoología QCAZ (Pontificia Universidad Católica de Ecuador), en el Museo de Historia Natural Gustavo Orcés V. (Instituto de Ciencias Biológicas) y en la colección entomológica de la Universidad Politécnica Salesiana.

### **Obtención de datos en campo**

La obtención de datos en campo se realizó en un total de cinco ecosistemas en el área de estudio norte (Colombia-Ecuador) y en diez ecosistemas en el área de estudio sur (Perú-Bolivia). Para la colecta de los coleópteros coprófagos se colocaron trampas de caída (tipo pitfall), separadas por una distancia entre ellas de aproximadamente 50 metros. Las trampas fueron cebadas principalmente con excremento humano y ocasionalmente con excremento de vaca o con carne descompuesta cuando esta era disponible. El cebo se cambió cada día. Los coleópteros fueron colectados de todas las trampas cada 24 horas. Todas las muestras fueron preservadas separadamente en alcohol al 70 %.

### **Determinación taxonómica y revisión de sinonimia**

Se realizó un taller de identificación taxonómica y homologación de sinonimias en las Colecciones Biológicas del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) en Villa de Leyva, Colombia, llevándose a cabo una comparación directa de las colecciones de referencia para las dos áreas de estudio.

### **Compilación de listas de presencia de especies por ecosistema**

Para los datos obtenidos de la literatura y de museos o colecciones biológicas se realizó un control de calidad de la georeferenciación de los registros. Se revisó la coincidencia entre las coordenadas geográficas y la altura especificada usando Google Earth. A encontrarse discrepancias sustanciales entre las

coordinadas y la altura, se revisó la descripción de la localidad de colecta (especificada en la publicación o ficha del espécimen) y de acuerdo a la información proporcionada se procedió a la corrección de las coordenadas y/o de la altura. En casos donde la información disponible fue insuficiente, los registros correspondientes fueron excluidos del análisis. Las bases de datos personales de A.C. Hamel-Leigue (Bolivia), A. Lopera (Colombia) y T.H. Larsen (Perú) ya habían sido sometidas a controles de calidad de la georeferenciación previo al presente proyecto.

Los registros georeferenciados de cada especie fueron sobrepuestos al mapa de ecosistemas de cada área de estudio usando un sistema de información geográfica (SIG). Para cada especie se anotaron los ecosistemas con registros de presencia. Registros aparentemente atípicos (outliers) fueron sometidos al mismo procedimiento de control de calidad descrito arriba. Con base en la distribución conocida y preferencia de hábitat de la especie dentro y fuera del área de estudio y el criterio o la opinión de experto, también se anotaron los ecosistemas con presencia proyectada o esperada de cada especie.

### **Base de datos de caracteres biológicos para el CCVI**

Se elaboró una base de datos en Excel para la sistematización de los caracteres biológicos de las especies. Los campos de datos se crearon basados en el CCVI. La información de los caracteres biológicos de cada especie necesarios para la alimentación del CCVI fue obtenida de bibliografía especializada y de la experticia y el conocimiento de los entomólogos del proyecto sobre la biología y ecología de las especies bajo estudio. De no encontrarse información específica requerida se consideró la de otras especies del mismo género o de la misma tribu.

### **Aves**

En este proyecto piloto se incluyeron a todas las especies de aves residentes en las dos áreas de estudio con la excepción de las especies asociadas estrechamente con los ambientes acuáticos (p.ej. patos y garzas).

### **Recopilación de datos existentes**

Datos georeferenciados sobre la distribución de las especies de aves en las dos áreas de estudio del proyecto fueron obtenidos de las bases de datos institucionales de las siguientes organizaciones participantes del presente proyecto: Asociación GAICA (Pasto, Nariño) para la parte colombiana del área de estudio norte; Aves y Conservación (Quito) para la parte ecuatoriana del área de estudio norte; y Asociación Armonía (Santa Cruz) para la parte boliviana del área de estudio sur. Para la parte peruana del área de estudio sur, Asociación Armonía realizó una revisión bibliográfica (publicaciones indexadas, informes de ONGs y otras fuentes de la literatura gris), añadiéndose los registros correspondientes a la base de datos institucional. Adicionalmente se obtuvieron registros de las siguientes bases de datos en línea: eBird (<http://ebird.org/>), xeno-canto (<http://www.xeno-canto.org/>) y Map of Life (<http://mol.org/>).

### **Obtención de datos en campo**

La obtención de datos en campo se realizó en un total de cinco ecosistemas en el área de estudio norte (Colombia-Ecuador) y en diez ecosistemas en el área de estudio sur (Perú-Bolivia). Se realizaron relevamientos audiovisuales rápidos de las comunidades de aves en estos ecosistemas a lo largo de senderos preexistentes. La presencia del mayor número de especies posible fue documentada mediante la grabación de las vocalizaciones de las aves. Todos los registros obtenidos fueron incorporados en la base de datos de cada uno de las dos áreas de estudio.

### **Compilación de listas de presencia de especies por ecosistema**

Los registros georeferenciados de cada especie fueron sobrepuestos al mapa de ecosistemas de cada área de estudio usando un sistema de información geográfica (SIG). Para cada especie se anotaron los

ecosistemas con registros de presencia. Registros aparentemente atípicos (outliers) fueron sometidos a un control de calidad, revisándose la coincidencia entre las coordenadas geográficas y la altura especificada usando Google Earth. Las bases de datos institucionales de Asociación GAICA, Aves y Conservación y Asociación Armonía ya habían sido sometidas a controles de calidad de la georeferenciación previo al presente proyecto.

Con base en la distribución conocida y preferencia de hábitat de la especie dentro y fuera del área de estudio y el criterio o la opinión del experto, también se anotaron los ecosistemas con presencia proyectada o esperada de cada especie.

### **Base de datos de caracteres biológicos para el CCVI**

Se elaboró una base de datos en Excel para la sistematización de los caracteres biológicos de las especies. Los campos de datos se crearon basados en el CCVI. La información de los caracteres biológicos de cada especie necesarios para la alimentación del CCVI fue obtenida de bibliografía especializada (p.ej., Handbook of the Birds of the World, Lynx Edicions) y de la experticia y el conocimiento de los ornitólogos del proyecto sobre la biología y ecología de las especies de aves bajo estudio. De no encontrarse información específica requerida se consideró la de otras especies del mismo género o de la misma familia.

### **Análisis vacíos de conocimiento**

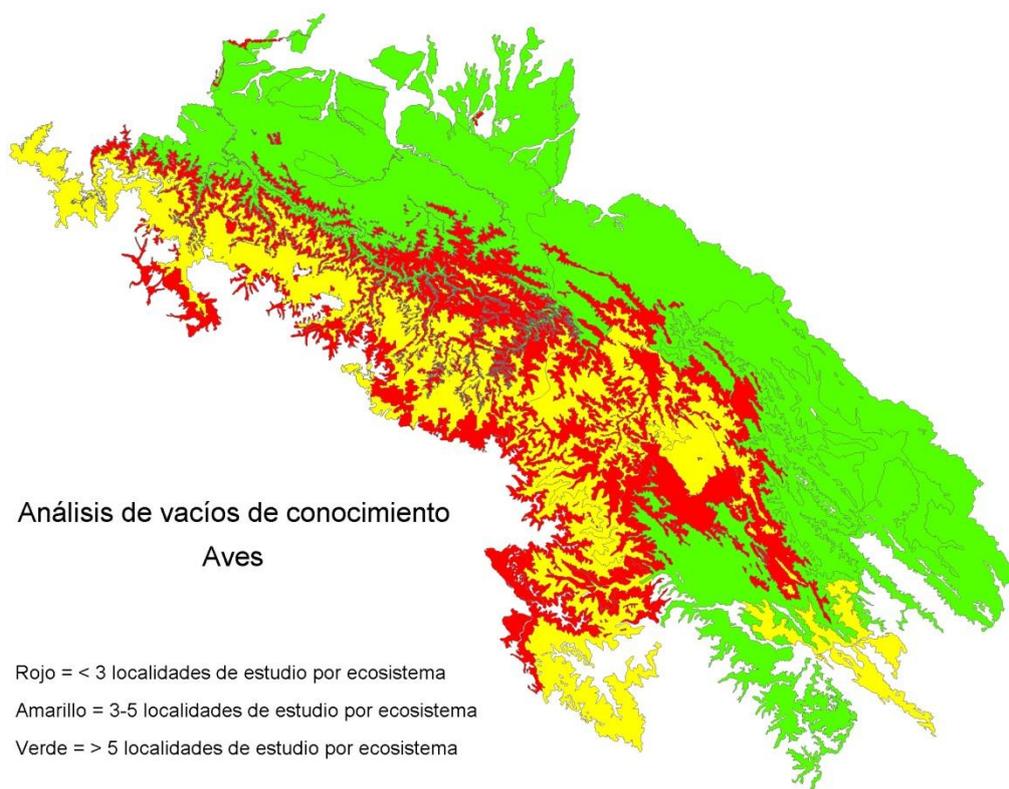
Después de haber realizado una recopilación de los datos existentes sobre la distribución de las especies en los grupos taxonómicos selectos dentro del área bajo evaluación, es necesario determinar si la información disponible para cada grupo taxonómico está distribuida más o menos equitativamente entre todos los ecosistemas presentes (es decir, si el esfuerzo de muestreo ha sido similar o comparable en todos los ecosistemas), o si existen algunos sesgos geográficos en la disponibilidad de datos sobre la presencia/ausencia de las especies por ecosistema. Por lo general, los datos de presencia de las especies de plantas y animales no son distribuidos de manera homogénea en los países de los Andes tropicales. Por ejemplo, las zonas cercanas a las ciudades principales y donde existe facilidad de acceso por medio de la red vial, se encuentran mucho mejor muestreadas que lugares remotos donde el acceso es únicamente por senderos o ríos.

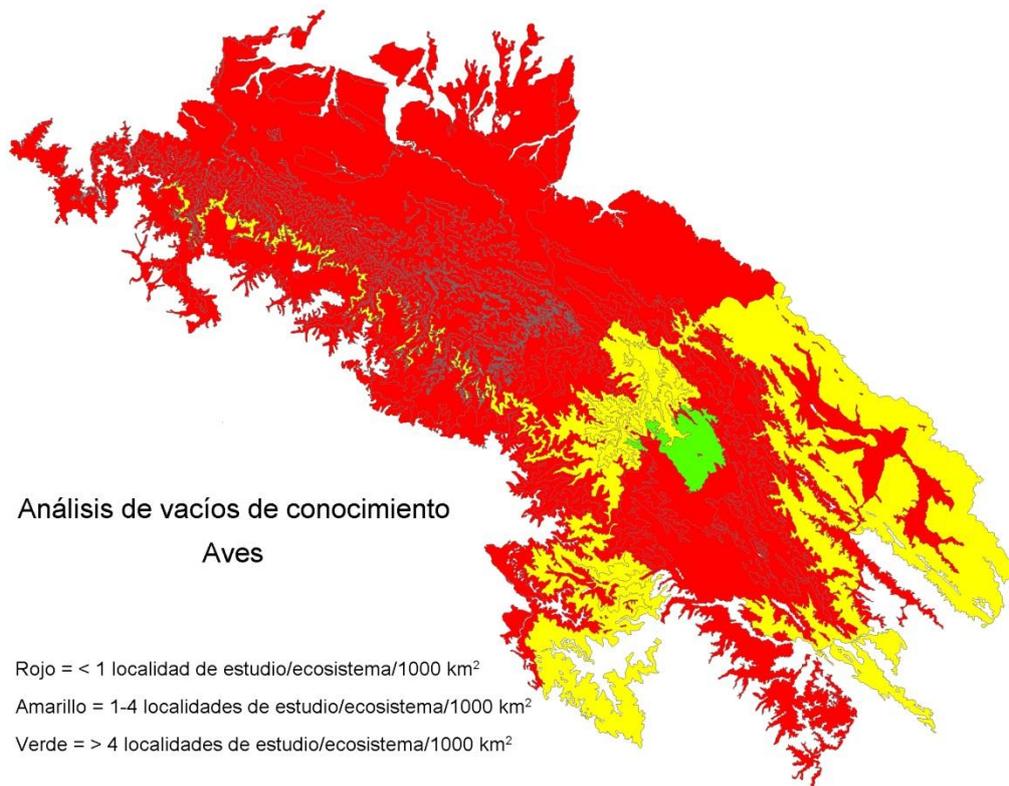
Existen varias opciones para analizar si existen vacíos de conocimiento o no; el método apropiado depende del grupo taxonómico y de la calidad de los datos disponibles. En todos los casos el objetivo principal es el de determinar si el esfuerzo de muestreo ha sido comparable en todos los ecosistemas, y si ha sido suficiente para la detección de un porcentaje significativo de las especies residentes en cada ecosistema.

Como primer paso, se debe determinar el número de registros, muestras, relevamientos, censos o inventarios existentes por ecosistema. En el caso de las plantas, por lo general la unidad de análisis es el espécimen de herbario, donde cada espécimen se constituye en un registro. En lo que concierne a las aves, la mayoría de los datos disponibles generalmente provienen de relevamientos o inventarios de la comunidad entera de aves (con o sin colecta de especímenes de museo) – en este caso la unidad de análisis es el número de localidades de inventario por ecosistema. Adicionalmente existen registros de aves más puntuales, como por ejemplo los especímenes de museo y las grabaciones de las vocalizaciones de las aves (ver p.ej. [www.xeno-canto.org](http://www.xeno-canto.org), <http://macaulaylibrary.org/>), pero estos tienden a tener un alcance mucho menor que los datos de inventarios para un análisis de vacíos de conocimiento. Por último, en el caso de los escarabajos coprófagos, ambas fuentes de datos (especímenes de museo, listas de especies provenientes de inventarios) pueden tener una importancia similar – aquí hay que evaluar cual unidad de análisis tiene mayor valor informativo, o realizar el análisis separadamente para ambas fuentes de datos.

Es probable que el área de extensión (superficie) varíe sustancialmente entre los diferentes ecosistemas dentro del área bajo evaluación. Dado que existe una relación estrecha y positiva entre la riqueza de especies y el área de extensión de un ecosistema, en este caso es necesario expresar el número de registros o el número de localidades de inventario en relación al área de extensión de cada ecosistema (p.ej., número de registros botánicos por cada 10 km<sup>2</sup>, número de localidades de estudio o inventario de aves por cada 1000 km<sup>2</sup>) para lograr una cuantificación objetiva y comparable del esfuerzo de muestreo.

Por último, un método diferente para evaluar el esfuerzo de muestreo es el uso de las curvas de acumulación de especies (tanto con base en individuos, como también con base en muestras o listas de inventario). La calidad de datos requerida es alta, por tanto la aplicación de este método no siempre es viable en los Andes tropicales.





## **Índice de vulnerabilidad al cambio climático (CCVI)**

### **Descripción general del CCVI**

El Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático (CCVI) es una herramienta para la evaluación de especies desarrollada por NatureServe y programada en MS Excel 2010 que incorpora las tres dimensiones de la vulnerabilidad al cambio climático: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Esta herramienta integra información sobre cambios proyectados en la temperatura y la humedad, el contexto paisajístico, rasgos de historia natural relacionados con la sensibilidad climática y capacidad adaptativa, y respuestas documentadas o modeladas al cambio climático. La herramienta permite evaluaciones de cualquier planta o animal terrestre (y acuático con algunas restricciones) dentro de un área geográfica específica.

Un sistema de puntuación utiliza la magnitud del cambio climático proyectado para ponderar subpuntuaciones de la manera en que cada factor de paisaje o historia natural influencia la vulnerabilidad al cambio climático. La herramienta provee definiciones, explicaciones, ejemplos y documentación para los diferentes factores que facilita la asignación de una categoría de respuesta para cada factor de vulnerabilidad. Permite seleccionar más de una categoría de respuesta para cada factor en el caso de que existan incertidumbres o vacíos de información.

Como resultado final de la evaluación de cada especie, se obtiene una categoría de vulnerabilidad (extremadamente vulnerable, altamente vulnerable, moderadamente vulnerable, no vulnerable/presumiblemente estable, o no vulnerable/probable incremento) asociada con un nivel de confianza. El nivel de confianza refleja como el haber seleccionado múltiples categorías de respuesta para uno o más factores puede influir en la categoría de vulnerabilidad obtenida. Se calcula mediante una simulación Monte Carlo para explorar gráficamente la manera en que la incertidumbre en la puntuación de factores individuales podría crear incertidumbre en la evaluación global de cada especie. Luego la

herramienta utiliza la proporción de pruebas Monte Carlo corridas que coinciden con la categoría de vulnerabilidad para producir una medición de confianza en la información de cada especie.

Los resultados de la evaluación de una o más especies son almacenados en una hoja de cálculo que permite realizar comparaciones entre especies y entre factores individuales para cada especie mediante codificación de colores. La versión andina del CCVI está disponible en: <http://www.natureserve.org/conservation-tools/andes-version-natureserve-climate-change-vulnerability-index>.

#### **Aplicación de la herramienta en este proyecto**

La versión más reciente del CCVI andino y que está disponible en el sitio web de NatureServe fue lanzada en julio de 2015. La versión usada en este proyecto (con algunos ajustes) fue la primera versión del CCVI andino lanzada en diciembre de 2012 que se basa en la versión 2.1 del CCVI en inglés. La adaptación de esta versión “norteamericana” y la traducción de la herramienta al español fue realizada en colaboración entre el presente proyecto y NatureServe.

Para la evaluación de la vulnerabilidad de las especies seleccionadas en este proyecto, la sección A – *Exposición al Cambio Climático Local* del CCVI andino fue alimentada con los datos de las proyecciones de cambio climático a mediano plazo (2050s) generados por el componente de clima del presente proyecto. Para cada especie se elaboró un mapa de distribución dentro de cada área de estudio usando un sistema de información geográfica. Los mapas fueron construidos con base en los archivos shape de los ecosistemas de presencia (confirmada y esperada) de cada especie, seguido por la aplicación de un filtro altitudinal usándose el límite altitudinal inferior y superior (determinado mediante los datos georeferenciados combinado con la opinión de experto) para recortar el conjunto de archivos shape de ecosistemas de cada especie.