

Biotempo (Lima)



<https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Biotempo>

ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

COORDINATED BIODIVERSITY MONITORING SYSTEMS: A MULTISCALAR UNIFIED APPROACH IN FOREST LANDSCAPES

SISTEMAS COORDINADOS PARA EL MONITOREO DE LA BIODIVERSIDAD: UN ENFOQUE MULTIESCALAR UNIFICADO EN PAISAJES FORESTALES

Jesús Hernández-Castán¹, Wilfredo Mendoza-Caballero^{2*}, Giovany Tonatiuh González-Bonilla³, Jorge Mattos-Olavarria¹, Guiomar Seijas-Davila⁴, Dante Alfredo Hernández-Silva³, Daniel Espinoza-Vizcarra⁵ & Alfredo Gámez-Virues⁵

¹ Gitec Counsult Group GmbH, Alemania.

² Facultad de Ingeniería Agraria, Universidad Católica Sedes Sapientiae (UCSS). Los Olivos - Lima, Perú. Laboratorio de Florística, departamento de Dicotiledóneas, Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Jesús María - Lima, Perú.

³ Wild Forest Consulting SC, México.

⁴ Cluster Forestal Ucayali, Perú.

⁵ Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del estado de Puebla, México.

* Corresponding author: wmendoza@ucss.edu.pe

Jesús Hernández-Castán: 0000-0001-8063-6647

Wilfredo Mendoza-Caballero: 0000-0003-4542-5590

Giovany Tonatiuh González-Bonilla: 0000-0002-3409-7897

Jorge Mattos-Olavarria: 0009-0003-0439-8036

Guiomar Seijas-Davila: 0009-0007-0835-5876

Dante Alfredo Hernández-Silva: 0000-0001-5499-5590

Daniel Espinoza-Vizcarra: 0009-0009-1311-4131

Alfredo Gámez-Virues: 0009-0002-9773-9495

ABSTRACT

The global biodiversity decrease implies the necessity to study the state of the ecosystem, not only in preserved places but also in landscapes with diversified land use and territories currently under use. Considering the national efforts to gather biological data in Peru as in México and several diverse international referents, from the generation, implementation, and analysis of monitoring biodiversity protocols in forest management areas in both countries, a unified biodiversity monitoring protocol for forest use areas was elaborated through a logical and inclusive process. This protocol is capable of generating data in three different territorial approximation levels, and it can be used in several ecological conditions. The different stages of development of all the activities were implemented for a team divided into two sections with complementary functions: a) Situational analysis and methodological development; b) Field implementation of initial protocols for each country, analysis, and design of unified protocol. There were obtained coverage samples that ranged



between 0,039 to 0,984 with the “plot point transect” TPP (Peru) protocol and from 0,937 to 0,996 with the “point transect monitoring” MTP (México) protocol, according to that adjustment and redistribution monitoring techniques were implemented into the biological groups involved to outline the unified biodiversity monitoring protocol (TPU). The territorial unified design is a 1,000-meter line transect, which depending on the physiography can change its direction (from 45° to 90°). Therefore standardization in biological data collection is proposed, for local land, ecosystem, and landscape levels using the already mentioned protocol, which can be articulated with national environmental institutional efforts. The developed process can be replicated in other countries to promote standardization.

Keywords: biodiversity – coverage samples – low tropical forest – monitoring – multiscalar – unified protocol

RESUMEN

La disminución de la biodiversidad global implica la necesidad de estudiar el estado del ecosistema, no solo en sitios conservados sino también en paisajes con uso de suelo diversificado y en territorio bajo aprovechamiento. Con base en los esfuerzos que se realizan a nivel nacional para la colecta de datos biológicos en Perú y México, así como en diferentes referentes internacionales y a partir de la generación, implementación y análisis de protocolos de monitoreo de la biodiversidad en áreas de manejo forestal en ambos países, se elaboró mediante un proceso lógico-participativo un protocolo unificado de monitoreo de la biodiversidad en áreas bajo aprovechamiento, capaz de generar información en tres escalas de aproximación territorial y de emplearse en diferentes condiciones ecológicas. Las diferentes etapas para el desarrollo de las actividades fueron realizadas por un equipo de trabajo conformado por dos bloques con funciones complementarias: A) Análisis situacional y desarrollo metodológico, B) Implementación en campo de protocolos iniciales por país, análisis y diseño de protocolo unificado. Se obtuvieron coberturas de muestra que van de 0,039 a 0,984 con el protocolo “transecto, punto, parcela” TPP (Perú) y de 0,937 a 0,996 con el “método transecto, punto” MTP (México) de acuerdo a las cuales se realizaron ajustes y redistribución de técnicas de muestreo en los grupos biológicos involucrados para delinear el protocolo unificado para el monitoreo de la biodiversidad (TPU). El diseño espacial unificado es un transecto lineal de 1 000 m, el cual dependiendo de la fisiografía puede cambiar de dirección (entre 45° a 90°). Se propone la estandarización en la toma de datos biológicos a nivel predial, ecosistema y paisaje mediante el citado diseño, el cual es capaz de articularse con trabajos de instituciones ambientales nacionales. El proceso desarrollado puede replicarse en otros países para fomentar una mayor estandarización.

Palabras claves: biodiversidad – cobertura de muestra – monitoreo – multiescalaridad – protocolo unificado – selva baja

INTRODUCCIÓN

La disminución global de los organismos vivos en el planeta es alrededor del 68 %, según los principales grupos taxonómicos que han sido estudiadas desde 1970; en las subregiones tropicales del continente americano dicha pérdida alcanza hasta el 94 % (WWF, 2020). Este hecho genera afecciones sobre el bienestar humano, el funcionamiento del ecosistema y los servicios ambientales que de éste se desprenden (Llambi *et al.*, 2019), lo cual ha quedado demostrado en la pandemia de la Covid-19 y su relación con ecosistemas vulnerados (Soto *et al.*, 2021).

La diversidad biológica, como indicador del estado de salud ecosistémica, se ha estudiado por décadas para conocer el grado de conservación de hábitats y/o poblaciones en áreas bajo un esquema de protección. Sin embargo, actualmente se reconoce que también debe ser analizada en los sistemas productivos y territorios con

aprovechamiento diverso (Rush *et al.*, 2015). Esto, para poder evaluar el efecto de la presión que se ejerce sobre los recursos naturales y la respuesta del ambiente a nivel de paisaje. Definiéndose este último, como el sistema socio ecológico conformado por un mosaico heterogéneo de hábitats, donde interactúan ecosistemas naturales, especies silvestres y el ser humano (Armenteras & Vargas, 2016). Ello en aras de mejorar la efectividad en la gestión ambiental en beneficio de todas las formas de vida.

Lo anterior implica importantes retos metodológicos y de coordinación entre diferentes actores, pues el acotamiento espacio temporal con el que se realiza el monitoreo de la biodiversidad (Scholte, 2011), dificulta evaluar procesos de transformación en las unidades socio-ecológicas con una visión integrada (Postigo & Young, 2016), en los diferentes horizontes de planeación e intervención. Si bien existen antecedentes en múltiples países de América respecto a sistemas de monitoreo de la biodiversidad

capaces de aportar información a escala regional o nacional, los abordajes que vinculan el nivel de paisaje, el de ecosistema y la escala predial, aún se encuentran en desarrollo (Llambi *et al.*, 2019).

Al respecto, en Perú, con la finalidad de estandarizar la información de la flora y fauna silvestre (mamíferos, aves, reptiles y anfibios) en los estudios ambientales, zonificación ecológica y económica (MINAM, 2015); se ha desarrollado el Sistema Nacional de Información Forestal y de Fauna Silvestre (IFFS), que se basa en un diseño de muestreo susceptible de realizarse en las diversas unidades de vegetación del Mapa Nacional de Cobertura Vegetal (MINAM, 2015). La implementación de las metodologías que le conforman requiere la participación de un equipo numeroso de investigadores; además, demanda un alto costo logístico sin estar diseñada para un monitoreo dinámico y colaborativo. Su puesta en práctica resulta en la generación de información relativa a la composición de especies, distribución, productividad, carbono de ecosistemas forestales por ecozonas, la actualización de estos datos se realiza cada cinco años a escala país (SERFOR, 2018).

En México, existen tanto la iniciativa del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (que incluye un componente de fauna), como la del Sistema de Alta Resolución de Monitoreo de la Biodiversidad (SARMOD), ambos protocolos se aplican en una misma red de puntos fijos ubicados cada cinco km dentro del territorio del país (García-Alaniz *et al.*, 2016), el primero tiene una actualización total cada cinco años, mientras que el segundo se desarrolla dos veces al año primordialmente en Áreas Naturales Protegidas. Ya que gran parte de las variables entre éstas son compartidas, se espera lograr una complementariedad entre las mismas. A pesar de que se emplean procedimientos estandarizados para todos los grupos taxonómicos incluidos (flora, aves, mamíferos, anfibios y reptiles) y se estimula la participación comunitaria, por su diseño metodológico, la información recabada, así como los productos de información que de ésta derivan, resultan de una limitada utilidad para guiar procesos a escala predial (García-Alaniz *et al.*, 2016).

Si bien la generación de capacidades y la decisión institucional que se ha requerido para la implantación de estos esfuerzos en ambos países es notable, resulta necesario complementarlos con protocolos enfocados en la toma de decisión local, pues esta escala ha quedado desatendida. Ello sin perder de vista que los mismos deben de ser capaces de retroalimentar y robustecer las bases de información generadas y al mismo tiempo, tomar insumos de éstas para facilitar una mejor gestión territorial (Hughes *et al.*, 2009).

El presente trabajo tiene como objetivo principal presentar el desarrollo, mediante un proceso lógico-participativo, de un protocolo unificado de monitoreo de la biodiversidad en áreas bajo aprovechamiento, capaz de generar información en tres escalas de aproximación territorial (predio, unidad de paisaje y paisaje). Lo anterior con el propósito de hacer compatibles y comparables entre sí los datos recabados en cada uno de los niveles y a su vez, que los mismos puedan vincularse con las bases de datos nacionales preexistentes tanto del IFFS (Perú) como del SARMOD (México), fortaleciendo la articulación de actores e información para mejorar la toma de decisiones de todos los involucrados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

En Perú, el trabajo fue desarrollado en el departamento de Ucayali, en las localidades de Atalaya coordenadas UTM (WGS 84 – 18 S): 634485 Este, 8814630 Norte y Bolognesi con coordenadas UTM: 613872 Este, 8890296 Norte, así como en la comunidad nativa de Mencoriari con coordenadas UTM: 638369 Este, 8874147 Norte. Ucayali se encuentra en la porción centro-oriental del territorio peruano, en la región de la selva amazónica y es particularmente representativo por un bosque con especies arbóreas heterogéneas propias del ecosistema selva baja.

La selva baja se puede describir, en general, como un ecosistema ubicado entre los 90 y 500 msnm. Presenta un clima tropical de altas temperaturas e intensas precipitaciones, así como una fisiografía relativamente plana y áreas colinosas con abundante vegetación y biodiversidad.

En México se desarrollaron los trabajos en la región nororiental del estado de Puebla (Figura 1), específicamente en la Unidad de Manejo Forestal 2108 Chignahuapan-Zacatlán, presenta altitudes de 2 422 a 3 010 msnm. Colinda al sur con el estado de Tlaxcala y al oeste con el de Hidalgo, tiene una superficie de 271 853 ha distribuidas en 13 municipios. La tenencia de la tierra es del 65 % para la propiedad privada, 31,2 % propiedad social (Ejidotes y Comunidades Agrarias) y el resto son zonas Federales. Los usos del suelo se distribuyen en superficies forestales (59 %), agrícolas (12 %), ganaderas (12 %) y otros usos que incluyen asentamientos humanos (17 %) (PROCEDE, 2006).

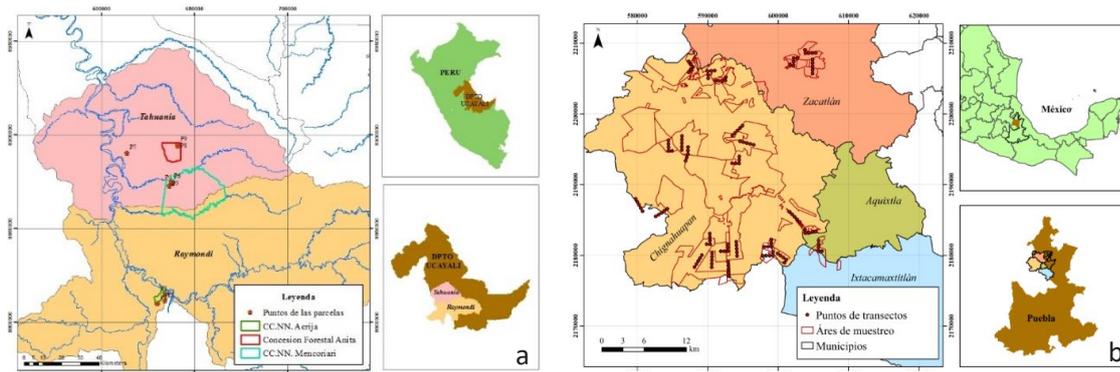


Figura 1. Predios de implementación. a) Perú, b) México.

El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano. Las áreas forestales están dominadas por bosques templados fríos de coníferas (*Pinus* spp.) y encinos (*Quercus* spp.); los cuales guardan relaciones complejas y comparten rangos de distribución similares al ser característicos de zonas montañosas (Rzedowsky, 2005).

Flujo metodológico para el diseño e implementación colaborativa

Las diferentes etapas para el desarrollo de las actividades fueron realizadas por un equipo de trabajo conformado por dos bloques con funciones complementarias: análisis situacional y desarrollo metodológico, implementación en campo, análisis y diseño de protocolo unificado. Se implementaron estrategias colaborativas bajo un marco lógico y la integración de las etapas consecutivas: i) análisis situacional y definición de los aspectos clave, ii) trabajo de campo, iii) análisis de datos de campo y iv) diseño del protocolo unificado para el monitoreo de la biodiversidad.

Análisis situacional y definición de aspectos clave

Para la identificación de las necesidades de información en común a escala local, se emplearon estrategias de gestión colaborativa (Jiménez, 2009; Becerril *et al.*, 2020), con un enfoque de manejo integrado de paisaje (García *et al.*, 2005; SEMARNAT *et al.*, 2017) con el fin de identificar y seleccionar a los principales actores a incorporar en el proceso. Con ellos se desarrolló un diagnóstico basado en talleres participativos (Geilfus, 2009) para determinar los impulsores de cambio a nivel de paisaje, así como los puntos de interés y obligaciones normativas para la realización de monitoreo de la biodiversidad. Se empleó un abordaje de investigación-acción mediante un taller presencial con duración de una semana en los dos países. En Perú ello fue desarrollado en las instalaciones de la UCSS (Universidad Católica Sedes Sapientiae) con

un grupo de 20 personas. En México el taller se llevó a cabo en el salón de juntas de la UMAFOR-2108 con un total de 25 asistentes. Ambos se fundamentaron en la metodología “Metaplan” para recuperar ideas, sistematizarlas y moderar las aportaciones. La técnica se seleccionó por su potencial para evidenciar los procesos de generación de consenso entre un grupo de participantes diverso (Hughes *et al.*, 2009). A partir de la información generada se definieron los siguientes aspectos clave: i) objetivo en común, definición de grupos biológicos a evaluar e índices ecológicos, ii) definición de escalas para el análisis de la biodiversidad, iii) definición de la unidad de paisaje y iv) propuesta inicial de los protocolos coordinados para el monitoreo de la biodiversidad.

Desarrollo metodológico

Al concluir los procesos participativos, se analizaron los referentes para el monitoreo de la biodiversidad a escala nacional y regional aplicables en cada país (MINAN, 2015; García-Alaniz *et al.*, 2016; MINAGRI, 2016; Comisión Nacional Forestal, 2017; SERFOR, 2018). Se identificaron los puntos de confluencia entre las necesidades locales de información (a nivel de unidades de producción) y los procesos a escalas superiores ya estandarizados. Adicionalmente, se analizaron protocolos empleados en diversos puntos del continente americano (Manley *et al.*, 2006; Latham *et al.*, 2014; Puerta-Piñero *et al.*, 2014).

En base a los aspectos clave establecidos participativamente y la literatura revisada, se procedió a determinar, por país, una serie de taxones con potencial para integrarse en una propuesta técnica de un protocolo de monitoreo de la biodiversidad capaz de llevarse a cabo a nivel predial. Se buscó que simultáneamente ésta pudiera aportar datos para la toma de decisiones a distintas escalas propuestas en sentido vertical ascendente. Ello fue planteado así para que la información generada a nivel de

predio contribuyese con datos vinculantes, compatibles y contrastables mediante procesos estadísticos de rarefacción, a procesos de análisis en escalas superiores (en términos de superficie), para articular los esfuerzos de los múltiples actores institucionales, académicos o voluntarios en el monitoreo y gestión de la biodiversidad.

Finalmente, teniendo en cuenta los taxones definidos, así como las escalas en las que se busca aportar información, se generó un protocolo estandarizado de monitoreo para cada uno de los paisajes.

Trabajo de campo

Bajo el abordaje de procesos colaborativos con enfoque de manejo integrado de paisaje (García *et al.*, 2005; SEMARNAT *et al.*, 2017), se generó y socializó un mecanismo para la selección de predios de trabajo consistente en aplicación de criterios de preselección, validación de condicionantes de accesibilidad y determinación final de sitios de aplicación. En éstos se implementaron los protocolos diseñados.

Si bien se emplearon diferentes técnicas y variables en relación con los taxones definidos, para efectos del análisis de la efectividad de los protocolos coordinados y el diseño del protocolo unificado, únicamente se considera la riqueza de especies y su abundancia en base a las variables estandarizadas en cada país:

- a) Hierbas. Línea Canfield modificada (Strong, 1966; Cox, 1974) de 15 m de longitud con interceptos cada 10 cm.
- b) Arbustos y árboles. Cuadrado de 20 x 100 m para el caso de Perú (MINAN, 2015) y punto centrado en cuadrantes (Cox, 1974) para México, en éstos desde el punto de referencia se analizan los dos organismos más cercanos por cada cuadrante y de cada grupo.
- c) Anfibios y reptiles. Se emplean cuadrantes (Foster, 2012) de 6 x 135 m, dentro de ellos se realiza búsqueda directa entre las 10:00 a 16:00 horas, con dos observadores a velocidad constante.
- d) Mamíferos medianos-grandes. Se emplean cámaras trampa, programadas para que funcionen 24 h por 30 días consecutivos, tomar tres fotografías por evento de captura, tiempo de reposo entre eventos de captura de tres minutos.
- e) Aves. Se emplean puntos de conteo con radio fijo de 30 m (Hutto *et al.*, 1996). Al llegar a cada punto de conteo se aguarda por cinco min, posteriormente se registran las aves durante los siguientes 10 min, cada

punto es revisado dos veces al día, por la mañana cuatro horas (a partir de los 30 min después del amanecer) y por la tarde 2,5 h (hasta 15 minutos antes de la puesta del sol).

Para la ejecución de los protocolos, se capacitó a los actores identificados en el bloque de trabajo previo durante una semana, con la finalidad de integrar brigadas de campo, estandarizar conceptos, criterios, manipulación del equipo requerido y llenado de formatos.

Análisis de datos

La cobertura de las muestras de los grupos biológicos fue evaluada, tanto en Perú como en México, mediante curvas de acumulación de especies con interpolaciones (rarefacción) y extrapolaciones (Chao & Jost, 2012; Colwell *et al.*, 2012; Colwell *et al.*, 2013; Chao *et al.*, 2017) considerando su abundancia, se empleó el programa iNEXT (Chao *et al.*, 2014; Chao *et al.*, 2016); con la finalidad de visualizar la sensibilidad de cada una de las propuestas iniciales y sustentar el protocolo unificado para el monitoreo de la biodiversidad desde el punto de vista de la representatividad estadística de la muestra.

Diseño del protocolo unificado para el monitoreo de la biodiversidad

El protocolo unificado para el monitoreo de la biodiversidad fue diseñado con base a los resultados del análisis de los datos recabados mediante los protocolos coordinados para el monitoreo de la biodiversidad; considerando la completitud de la muestra, curvas de acumulación (extrapolaciones) de especies, aspectos intrínsecos de los grupos biológicos definidos, estaciones del año y costos de implementación.

Aspectos éticos: Aplicando una perspectiva de tratamiento ético de fauna el estudio se realizó sin la manipulación de especímenes durante el trabajo de campo. Los protocolos implementados, así como el protocolo final propuesto no consideran captura, contención, marcaje, colecta o acciones similares en relación con la flora y fauna.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis situacional y definición de aspectos clave

De acuerdo con la identificación de los actores clave, se conformaron dos bloques trabajo colaborativo. El primero tuvo las funciones de coordinación, desarrollo conceptual

y metodológico, éste fue integrado por cuatro servidores públicos (de las áreas ambientales afines, en cada País), una académico y tres consultores. El segundo bloque estuvo orientado a la ejecución de trabajos de campo, el mismo se integró por 10 jefes de las brigadas de campo, 97 propietarios o poseedores de predios con manejo forestal, cinco promotores forestales comunitarios y 15 prestadores de servicios técnicos forestales.

A partir del taller de diagnóstico participativo, se identificó la expansión de la agricultura extensiva y tala ilegal como las principales fuerzas de cambio a nivel de paisaje en detrimento de los ecosistemas forestales. Adicionalmente en Perú la migración tiene una repercusión directa ya que ingresa remesas que contribuyen a tener una mayor capacidad de equipamiento y adquisición de insumos que catalizan el crecimiento de la frontera agrícola e incrementan la capacidad operativa para la extracción ilegal de materias primas forestales. Un objetivo en común a abordar en el proceso por parte de todos los participantes fue conceptualizado a partir de los múltiples intereses expresados e identificados para realizar el monitoreo de la biodiversidad, éste fue: “identificar y esclarecer el aporte del sector forestal para la conservación de la biodiversidad a diferentes escalas territoriales”.

El análisis realizado a los protocolos preexistentes del monitoreo de la biodiversidad tanto en Perú como en México muestra que en todos los casos éstos parten de un arreglo espacial predeterminado, el mismo se configura en celdas contiguas formando una rejilla de unidades territoriales que van desde 2 500 hasta 115 600 has. En ambos países la información generada en campo es colectada y centralizada por la oficina de administración pública correspondiente, lo que deja poco o nulo margen de uso para los actores locales al presentar restricciones escalares por el tamaño de los predios forestales bajo manejo, los cuales en un 95 % no son mayores de 2 000 has.

Por su parte, la revisión de otras propuestas de monitoreo realizadas en diferentes puntos del continente americano reveló que, si bien las diversas metodologías tienen ámbitos de aplicación específicos, es posible identificar similitudes entre ellas, sobre todo a nivel de los grupos biológicos analizados. La totalidad de los protocolos refieren el estudio de leñosas donde los datos mínimos a obtener son abundancia, diámetro normal y altura total. Las herbáceas se registran mayormente mediante barridos totales en subunidades de muestreo específicas, su cobertura es el atributo evaluado. La ornitofauna mediante puntos fijos de conteo, desde uno hasta 30 y observación de entre 10 a 20 min por cada punto y los

medianos-grandes mamíferos utilizando cámaras trampa, desde una hasta 90 estaciones de fotocolecta; son los grupos de vertebrados cuyo estudio más se repite (92 %).

Descartando la guía del inventario de vegetación de Perú, único procedimiento analizado con un énfasis exclusivo en flora, el resto de los documentos coinciden en la necesidad de estudiar de manera coordinada a plantas y animales, para vincular elementos relativos al hábitat con la diversidad faunística y analizar los cambios que puedan darse desde la perturbación de la cobertura vegetal.

Desarrollo metodológico

Debido a la estandarización para su evaluación, información taxonómica de las posibles especies presentes, información ecológica y su estatus de conservación; de los diversos grupos taxonómicos se seleccionaron siete, a incorporar en los protocolos de trabajo en campo, a saber: anfibios, reptiles, aves, medianos-grandes mamíferos, hierbas, arbustos y árboles. Adicionalmente en estos taxones algunas de las especies que pudieran estar presentes son consideradas carismáticas y coadyuvarían a concretizar estrategias para la revalorización, buen manejo y conservación de los bosques.

Se definieron tres escalas de aplicación potencial:

- 1. Predial.** Se considera a la unidad de producción silvícola (predio bajo manejo forestal) como elemento principal que aporta información relacionada con la biodiversidad. En esta escala se analizan los tratamientos silvícolas y actividades complementarias. Se sugiere que la información sea analizada por el silvicultor o sus prestadores de servicios técnicos.
- 2. Unidad de paisaje.** En Perú se considera lo establecido por el Servicio Forestal que permite la determinación de áreas de corta, en México se retoma la clasificación hecha por la Comisión Nacional Forestal en el año 2004 a través del Programa de Ordenamiento y Fortalecimiento a la Autogestión Silvícola que da origen a las Unidades de Manejo Forestal (UMAFOR). A esta escala se propone estudiar los diferentes métodos de manejo forestal por tipo de vegetación y el análisis de la información es realizado por alguna institución de educación superior pública u organización de la sociedad civil que colabore con los silvicultores de la región.
- 3. Paisaje.** Se define como todos los predios bajo gestión forestal de un estado o departamento. En este nivel se analizar la contribución de los bosques bajo gestión forestal, se recomienda que la información sea

analizada por la administración pública.

Se diseñaron dos propuestas de protocolo coordinado para el monitoreo de la biodiversidad, una en cada país. Para Perú se denominó “trsecto, punto, parcela” (TPP) y en México “método transecto, punto” (MTP). Ambas propuestas parten de la reconfiguración espacial a lo largo de una línea o transecto así como de la intensificación y complementación, de las técnicas de muestreo y variables que son generadas por los esfuerzos a nivel nacional. Los dos protocolos fueron diseñados para atender asuntos estrictamente relacionados con la biodiversidad, en este sentido son una herramienta complementaria a los inventarios forestales o similares y no los pueden sustituir o simplificar.

El protocolo TPP, se configuró como un transecto de 1 000 m lineales, el cual dependiendo de la fisiografía puede cambiar de dirección (90°) a los 500 m, en el mismo se distribuyen puntos y parcelas de estudio dependiendo de cada grupo biológico implicado:

- a) Hierbas. Dos líneas Canfield de 15 m de longitud con interceptos cada 10 cm, iniciando a los 242,5 y 742,5 m, a partir del origen del transecto general.
- b) Árboles maduros (diámetro normal $DN \geq 30$ cm), arbustos y palmeras. Siete parcelas de 100 x 20 m, separadas cada 50 m.
- c) Árboles fustales ($DN \geq 10$ hasta 20,9 cm). Siete parcelas de 100 x 10 m, ubicadas dentro de las parcelas de árboles maduros.
- d) Árboles latizales ($DN \geq 5$ hasta 9,9 cm). Tres parcelas de 10 x 10 m, ubicadas al final del lado derecho de primera, cuarta y séptima parcela de los árboles fustales.
- e) Árboles brinzales ($DN \geq 1$ hasta 4,9 cm). Tres parcelas circulares de 2,5 m de radio ubicadas al interior de las parcelas de latizales.
- f) Anfibios y reptiles. Dos transectos de 136 x 6 m, iniciando a los 182,5 y 682,5 m a partir del origen del transecto general.
- g) Aves. Tres puntos de conteo con radio de 30 m, durante 10 minutos de observación, ubicados a cero, 500 y 1 000 m a partir del origen del transecto general.
- h) Mamíferos medianos-grandes. Tres cámaras trampa, ubicadas en los mismos puntos de observación de aves.

El protocolo MTP, se integró como un transecto lineal de 2 000 m, el cual dependiendo de la fisiografía puede

cambiar de dirección (90°) cada 500 m sin que se forme un cuadrilátero, a lo largo del mismo se distribuyen igualmente puntos y parcelas de análisis dependiendo del grupo biológico en cuestión:

- a) Hierbas. Cuatro líneas Canfield de 60 m de longitud con interceptos cada 10 cm, iniciando a 220 m a partir de los puntos de observación de aves.
- b) Árboles y arbustos. Se distribuyen 32 puntos centrados en cuadrante, separados entre sí por 62,5 m.
- c) Anfibios y reptiles. Cuatro transectos de 136 x 6 m, iniciando a 182,5 m a partir de los puntos de observación de aves.
- d) Aves. Cinco puntos de conteo con radio de 30 m, durante 10 minutos de observación, ubicados a cero, 500, 1 000, 1 500 y 2 000 m a partir del origen del transecto general.
- e) Mamíferos medianos-grandes. Cinco cámaras trampa, ubicadas en los mismos puntos de observación de aves.

Trabajo de campo

Se realizaron trabajos de campo durante 30 días con un total aproximado de 300 horas, 10 días en Perú (julio-octubre 2019) y 20 días en México (diciembre 2018 a marzo 2019).

Los sitios de implementación fueron establecidos de acuerdo con el mecanismo diseñado de selección de parcelas de muestreo. Así, inicialmente, tres criterios de preselección aplicados secuencialmente:

1. Cobertura forestal. La continuidad de las masas forestales debe permitir los sitios de implementación a una escala de unidad de paisaje.
2. Acciones de gestión de los recursos naturales. Este criterio busca orientar la aplicación de los protocolos en áreas bajo manejo, pueden ser incluidas en el análisis de la biodiversidad otros esquemas de gestión diferentes al manejo forestal; los cuales pueden ser sitios de conservación, manejo y aprovechamiento de fauna silvestre, sitios Ramsar, etc.
3. Tenencia de la tierra. Identificar el tipo de tenencia de la tierra (social, privada o federal), con la finalidad de generar acuerdos de cooperación para el acceso a los predios e información.

La validación de condicionantes de accesibilidad se basó en dos aspectos:

- a) Libre acceso al predio. Garantiza que no existan impedimentos sociopolíticos para ingresar a tomar datos de campo.
- b) Libre de conflictos agrarios. Busca validar que existan impedimentos legales o litigios por la posesión de la Tierra.

En base a los dos elementos anteriores se realizó la selección de sitios de aplicación de los protocolos, en Perú fueron seleccionados cinco predios, agrupados en tres bloques unidades de paisaje y se realizaron nueve líneas TTP. En México se seleccionaron 323 predios, agrupados en ocho bloques unidades de paisaje y se realizaron 27 líneas MTP.

Análisis de datos

Mediante la implementación del protocolo TTP se analizaron 117 parcelas para evaluar el estrato arbóreo, en las cuales se identificaron 161 especies y 2 753 registros efectivos; en el estrato arbustivo se analizaron 27 parcelas

las identificando 65 especies en los 175 registros; en el estrato herbáceo se analizaron 18 líneas Canfield modificada, en los 2 700 interceptos evaluados se identificaron 19 especies y 96 registros, el resto de los interceptos estaba ocupado por elementos diferentes a hierbas. Para el grupo de herpetofauna se analizaron 18 transectos (14 688 m²) y se registraron ocho especies de reptiles y ocho registros del mismo grupo, no hubo registros de anfibios; para mamíferos medianos-grandes se instalaron tres cámaras trampa (90 noches trampa), registrando cinco especies y siete eventos independientes; para las aves se distribuyeron 27 puntos de conteo (270 min de observación), registrándose 163 especies y 877 registros. En este sentido al analizarla y de acuerdo con la cobertura de la muestra (figura 2), el grupo biológico mejor evaluado fue el de los árboles (0,984), seguido de las hierbas (0,970), aves (0,959) y arbustos (0,824); por otro lado, para los mamíferos medianos-grandes (0,649) y los reptiles (0,039) el esfuerzo de muestreo no fue suficiente.

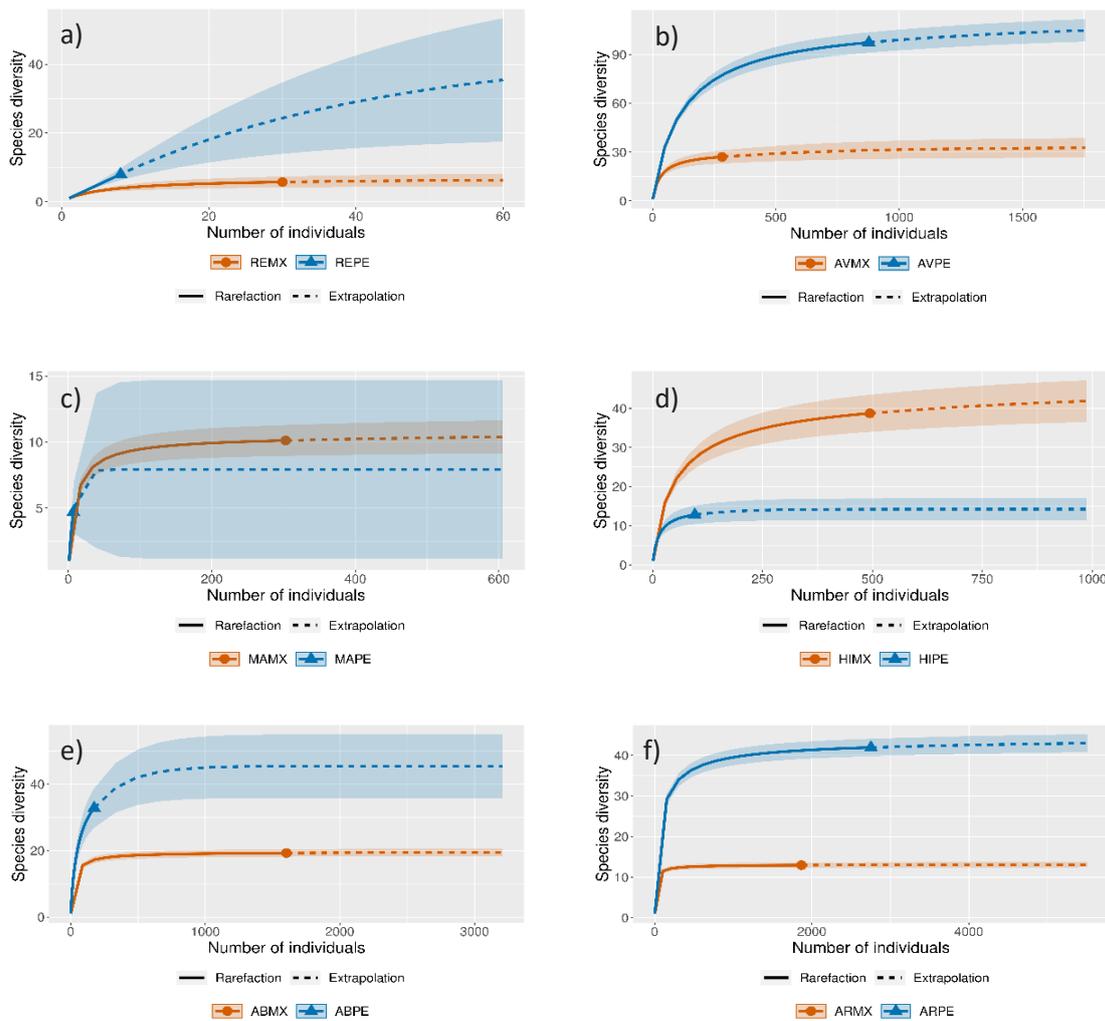


Figura 2. Curvas de rarefacción y extrapolación de la riqueza de especies y su abundancia. a) reptiles, b) aves, c) mamíferos medianos-grandes, d) hierbas, e) arbustos, f) árboles. PE (Perú), MX (México).

Para el protocolo MTP, se analizaron 800 puntos centrados en cuadrantes en el estrato arbóreo, identificando 35 especies de 1 867 registros; en el estrato arbustivo se analizaron 800 puntos centrados en cuadrantes, identificando 47 especies de 1 603 registros; en el estrato herbáceo se analizaron 100 líneas Canfield modificadas, en los 15 000 interceptos evaluados se identificaron 84 especies y 494 registros, el resto de los interceptos estaban ocupados por elementos diferentes a hierbas. Para el grupo de herpetofauna se analizaron 100 transectos (81 000 m²), se registraron ocho especies de reptiles y 30 registros, así mismo un registro de anfibios de una especie; para los mamíferos medianos-grandes se instalaron 125 cámaras trampa (2 024 noches trampa), registrando 19 especies y 303 eventos independientes; en el caso de las aves, se distribuyeron 125 puntos de conteo (1 250 minutos) y se registraron 49 especies y 282 registros efectivos. En este sentido todos los grupos presentaron una cobertura de la muestra superior a 0,9, reptiles (0,940), aves (0,943), mamíferos medianos-grandes (0,984), hierbas (0,937),

arbustos (0,994) y árboles (0,996); a excepción de los anfibios, los cuales no fue posible su evaluación al contar con solo un registro.

Diseño del protocolo unificado para el monitoreo de la biodiversidad (TPU)

De acuerdo con los resultados de la cobertura de la muestra obtenidos en ambos casos se realizaron los ajustes y redistribución de las diferentes técnicas de muestreo en cada uno de los grupos biológicos. Considerando los ciclos biológicos de los taxones implicados, el levantamiento de información en campo se prevé diferente para cada uno de ellos, es por lo que se propone que el protocolo unificado base su representatividad estadística en la repetición de la toma de datos, se sugiere una aplicación ocho veces al año para completar ciclos de muestreo contemplando la época estival, de estiaje y las cuatro estaciones del año (Tabla 1).

Tabla 1. Cronograma y esfuerzo de muestreo acumulado por ciclo, considerando un transecto de 1 000 m.

GRUPO/MES	ESTIAJE		ESTIVAL				ESTIAJE		ESFUERZO DE MUESTREO						
	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	ENE	FEB	ABR	MAY	JUL	AGO	OCT	NOV	LÍNEA	RCM	EFA
Anfibios y reptiles	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4	8	32 transectos
Mamíferos		X		X		X		X		X		X	3	4	360 noches
Aves	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	5	8	40 puntos
Árboles					X								16	1	16 puntos
Arbustos		X		X		X		X		X		X	16	4	64 puntos
Hierbas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4	8	32 líneas

Donde: RCM (repeticiones por ciclo de muestreo), EFA (esfuerzo de muestreo acumulado por ciclo de muestreo).

El diseño espacial unificado es un transecto lineal de 1 000 m (figura 3), el cual dependiendo de la fisiografía puede cambiar de dirección (entre 45 a 90°) cada 250 m

sin que se forme un cuadrilátero, en el que se distribuyen puntos y parcelas dependiendo del grupo biológico implicado:

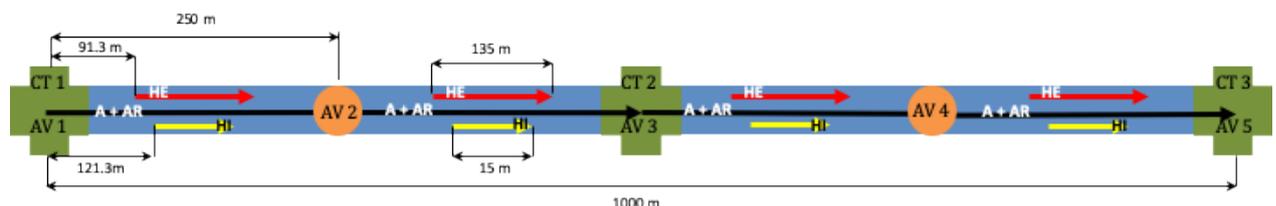


Figura 3. Representación esquemática la línea de muestreo del protocolo unificado. CT (cámara trampa), AV (punto de conteo de aves), A+AR (transecto para muestrear árboles y arbustos), HE (transecto para muestreo de herpetofauna), HI (línea Canfield modificada, para el muestreo de hierbas).

- a) Hierbas. Cuatro líneas Canfield de 15 m de longitud con interceptos cada 10 cm, iniciando a 121,3 m a partir de los puntos de observación de aves. Las variables consideradas son la especie, número de individuo, longitud interceptada y ancho máximo del individuo en el intercepto.
- b) Árboles y arbustos. Se distribuyen 16 puntos centrados en cuadrante, separados entre sí por 62,5 m. En cada uno de los cuadrantes se registra información de los dos organismos más cercanos (dos árboles y dos arbustos), en el caso de los arbustos no se considera el diámetro normal como una condicionante, en este sentido es considerada toda la regeneración. Las variables consideradas son la especie, distancia al punto de referencia, altura total, diámetro normal (a 1,30 m de altura para árboles y a 0,2 m para los arbustos), diámetros de la copa (norte-sur y este-oeste), altura de las tres primeras hojas o ramas con respecto al suelo (máximo a 2 m de altura) y el azimut.
- c) Anfibios y reptiles. Cuatro transectos de 136 x 6 m, iniciando a 91,3 m a partir de los puntos de observación de aves. Las variables consideradas son la especie, estadio del organismo, hora de avistamiento, actividad, microhábitat y estado del tiempo.
- d) Aves. Cinco puntos de conteo con radio de 30 m, durante 10 minutos de observación, ubicados a cero, 250, 500, 750 y 1 000 m a partir del origen del transecto general. Las variables consideradas son al especie, sexo, actividad y microhábitat.
- e) Mamíferos medianos-grandes. Tres cámaras trampa, ubicadas a cero, 500 y 1 000 m a partir del origen del transecto general.

Los índices utilizados para dar seguimiento a cada uno de los grupos son la riqueza de especies, abundancia relativa (expresado en porcentaje) y el índice de diversidad verdadera de orden 1 (Jost, 2006; García-Morales *et al.*, 2011). En el caso exclusivo de las hierbas, arbustos y árboles se determina adicionalmente el índice de valor de importancia (Strong, 1966; Cox, 1994; Zarco-Espinoza *et al.*, 2010).

Si bien existen referentes de monitoreo de la biodiversidad para facilitar la toma de decisiones tanto a escala regional como a nivel país, los datos que de ellos derivan son escasamente aplicables a escalas territoriales inferiores pues se orientan para la construcción de políticas públicas nacionales. En este sentido recobra importancia el desarrollar procesos de monitoreo de la biodiversidad multiescalares y multispecíficos (Llambi *et al.*, 2019).

Por otro lado, en la mayoría de los esfuerzos locales es deficiente la estandarización de protocolos que propicien la comparación entre sitios y permitan la correcta comprensión de las dinámicas existentes a niveles espaciales mayores (Puerta-Piñero *et al.*, 2014). La escasa información integrada a nivel de paisaje genera mala gestión y degradación ecológica en la matriz de hábitats que le conforman. Por lo que es primordial desarrollar esfuerzos de monitoreo de la biodiversidad tendientes a responder explícitamente las necesidades de los múltiples actores que se encuentran relacionados con la gestión territorial (Llambi *et al.*, 2019), entendiendo ésta como un proceso continuo de adaptación dinámica e integral (Radachowsky *et al.*, 2013), y en la cual la multiescalaridad es fundamental. Los esfuerzos por implementar sistemas de monitoreo con enfoque multiescalar son necesarios para un manejo integrado del territorio a nivel de paisaje (Llambi *et al.*, 2019).

Mediante el análisis comparativo de protocolos de monitoreo es posible diseñar procesos unificados de trabajo en campo y análisis de datos. Los valores de la completitud en cada uno de los grupos biológicos implicados en los protocolos de campo diseñados e implementados (TPP y MTP), revelan un comportamiento similar para los taxones de aves (en el que solamente se presenta una diferencia de 1,6 %, siendo superior en el TPP), hierbas (teniendo una mayor cobertura el TPP, 3,3 %) y árboles (siendo 1,2 % mayor la cobertura en el MTP). En este sentido, respecto a los diferentes tamaños muestrales posibles en el TTP y MTP, se revela un mejor desempeño del punto centrado en cuadrantes, pues en ninguno de los casos la cobertura observada fue menor al 0,9 respecto a la estimada. Adicionalmente el MTP presentó mayores coberturas de la muestra, respecto al TTP, en el grupo de reptiles (95,8 %), aunque ello puede deberse a la temporada de aplicación en campo pues está coincidió con la época de estiaje, en la que de acuerdo con lo reportado por Székely *et al.* (2016), es cuando menor diversidad de anfibios se registran en bosques tropicales. El MTP tiene también mayores coberturas en los taxones de mamíferos medianos-grandes y arbustos con un 34,0 % y 17,1 %, respectivamente.

Así, dados los resultados de cobertura de muestrea revelados por el análisis comparativo del MTP y a los resultados mostrados por el TTP, en el protocolo unificado (TPU) es posible considerar la distancia de la línea de muestreo de 1 000 m, este punto es relevante pues de acuerdo con Stork *et al.* (1997), el trabajo de monitoreo de la biodiversidad en entornos forestales tenderá a mantenerse en el tiempo si implica una mayor efectividad respecto a los días invertidos para ello, siendo

ello posible con protocolos de trabajo espacialmente más concretos.

Se concluye que el monitoreo de la biodiversidad a escala de paisaje requiere la confluencia de esfuerzos a nivel multiescalar. Las labores que se realizan para recolectar datos con enfoque nacional deben complementarse con procesos locales estandarizados que aporten información útil para quienes gestionan predios o parcelas insertos en matrices heterogéneas de hábitat. Ambos procesos requieren tener puntos de coincidencia para retroalimentarse entre sí, robustecer las bases de datos generadas y tomar decisiones políticas y de manejo con bases científicas.

Los esfuerzos por implementar sistemas de monitoreo con enfoque multiescalar son necesarios para un manejo integrado de territorio, mediante los protocolos TTP y MTP desarrollados en Perú y México respectivamente, se responde a las necesidades que tiene la población local de contar con información respecto a la situación real de los impactos (positivos o negativos) hacia la conservación de la biodiversidad en sus territorios, ello ante las amenazas actuales ocasionadas por los diversos problemas sociales, ambientales y económicos que los afectan, al mismo tiempo su puesta en marcha ha permitido generar una propuesta unificada (TPU) para monitorear en forma coordinada la flora y fauna capaz de articularse con iniciativas nacionales, lo cual genera un importante efecto sinérgico y de complementariedad de esfuerzos que coadyuven a lograr la sostenibilidad de las regiones productivas.

En este sentido el protocolo unificado para el monitoreo de la biodiversidad (TPU) es un mecanismo que provee un método estandarizado, claro y confiable para el muestreo, colecta de datos y análisis de la información (en tres escalas diferentes); con lo cual es posible generar otros análisis que permiten identificar variaciones espacio-temporales, lo que fortalece el manejo facultativo de los recursos naturales y correlacionar aspectos productivos y de conservación de la productividad en el espacio-tiempo.

Conflicto de intereses. Los autores declaramos no tener ningún conflicto de interés, dado que la información que se ha utilizado en todo el manuscrito están debidamente referenciadas.

Author contributions: CRediT (Contributor Roles Taxonomy)

JHC = Jesús Hernández-Castán

WMC = Wilfredo Mendoza-Caballero

GTG = Giovany Tonatíuh González-Bonilla

JMO = Jorge Mattos- Olavarría

GSD = Guiomar Seijas-Davila

DAH = Dante Alfredo Hernández-Silva

DEV = Daniel Espinoza-Vizcarra

AGV = Alfredo Gámez-Virues

Conceptualization: JHC, JMO, DEV, AGV

Data curation: GTG, JMO, GSD

Formal Analysis: JHC, WMC, GTG, DAH

Funding acquisition: JHC, DEV, AGV

Investigation: JHC, JMO, GTG, GSD

Methodology: JHC, GTG, DEV, AGV

Project administration: JHC, GTG

Resources: JHC, JMO, GTG

Software: JHC, GTG, DAH

Supervision: JHC, JMO, GTG

Validation: JHC, WMC, GTG

Visualization: GTG, DAH

Writing –original draft: JHC, WMG, GTG

Writing –review & editing: GTG, WMG, JHC

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armenteras, D., & Vargas, O. (2016). Patrones del paisaje y escenarios de restauración: acercando escalas. *Acta biológica Colombiana*, 21, 229-239.
- Becerril, H., López, R., & Guzmán, L.A. (2020). Planeación colaborativa para gestionar recursos hídricos: una propuesta metodológica basada en la teoría del actor-red. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 8, 1 – 17.
- Chao, A., & Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93, 2533-2547.
- Chao, A., Colwell, R.K., Chiu, C., & Townsend, D. (2017). Seen once or more than once: applying Good–Turing theory to estimate species richness using only unique observations and a species list. *Methods in Ecology and Evolution*, 8, 1221–1232.
- Chao, A., Gotelli, N.J., Hsieh, T.C., Sander, E.L., Ma, K.H., Colwell, R.K., & Ellison, A.M. (2014).

Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84, 45-67.

Chao, A., Ma, K.H., & Hsieh, T.C. (2016). *INEXT (INterpolation and EXTrapolation) Online: Software*

for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. Program and User's Guide published at http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/inext-online/

Colwell, R.K. (2013). *Estimates: statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Version 9.1 <http://purl.oclc.org/estimates>

Colwell, R.K., Chao, A., Gotelli, N.J., Lin, S.Y., Mao, C.X., Chazdon, R.L., & Longino, J.T. (2012). Models and estimators linking individual-based