

CONSTRUCCIÓN DE INVENTARIOS ECOLÓGICOS PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS AGROECOSISTEMAS DE AGUACATE CV. HASS EN CLIMA ALTOANDINO COLOMBIANO

Pinel, Nicolás¹; Díaz-Nieto, Juan Fernando¹; Saavedra-Porras, Susan²

¹Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad EAFIT.

²Avofruit S.A.S Cartama. Correo-e: ssaavedra@cartama.com.

Resumen

La búsqueda de sostenibilidad en la agricultura reconoce que las actividades productivas se enmarcan dentro de agroecosistemas con interacciones ecológicas entre áreas cultivadas y ecosistemas circundantes. Una gestión integral del sistema agroecológico puede traducirse en beneficios económicos a través del fomento de servicios ecosistémicos percibidos por la actividad agrícola. Por tanto, es fundamental construir un conocimiento integrado de las unidades productivas que permitan una visión global del agroecosistema. Los inventarios ecológicos (bióticos y de servicios ecosistémicos) representan un apoyo en la gestión sostenible de los agroecosistemas. En el presente estudio presentamos una iniciativa encaminada a la construcción de inventarios ecológicos en unidades productivas de aguacate cv. Hass, uno de los cultivos de mayor crecimiento en la fruticultura colombiana y en el mundo. El proyecto se realizó en las unidades productivas bajo manejo del grupo Cartama en el departamento de Risaralda, con miras al desarrollo de metodologías generalizables a otros contextos. A partir de una definición de las principales unidades del paisaje que componen los agroecosistemas estudiados, se realizaron jornadas de muestreo u observación dentro de cada una de estas abordando grupos bióticos desde microorganismos hasta aves y mamíferos, incluyendo grupos funcionales (e.g., agentes polinizadores) y grupos indicadores de salud ecosistémica (e.g., anfibios y murciélagos), con el fin de delinear los principales eslabones ecológicos presentes en las unidades productivas. Reconociendo que las comunidades locales forman parte integral de los agroecosistemas, el proyecto incluyó el desarrollo de estrategias de participación local y apropiación social del conocimiento para fortalecer los lazos socio-ecológicos regionales.

Palabras clave: Servicios ecosistémicos, Agroecología, Biodiversidad, Comunidad ecológica

CONSTRUCTION OF ECOLOGICAL INVENTORIES FOR SUSTAINABLE MANAGEMENT OF AVOCADO AGRO-ECOSYSTEMS CV. HASS IN COLOMBIAN HIGH-ANDEAN CLIMATE

Abstract

The search for sustainable agriculture recognizes that production occurs within agroecosystems that embody ecological interactions between the agricultural zones and the surrounding ecosystems. Integrated management of the agroecological system may translate into economic benefits through the promotion of ecosystem services benefiting agricultural production. Therefore, it is fundamentally important to construct an integrated knowledge base about the production units that may afford a global vision of the agroecosystem. Ecological inventories (biotic and of ecosystem services) are a central tool in the sustainable management of agroecosystems. In this study we show an initiative aimed at constructing ecological inventories in production units of avocado (*Persea americana*) cv. Hass, one of the fastest growing sectors in fruit cultivation in Colombia and in the world. The work was conducted in the units managed by Cartama Group in the department of Risaralda, with the goal of developing methodologies applicable to other contexts. Starting from defining the primary landscape units, we conducted within each unit sampling campaigns for biotic groups from microorganismos up to birds and mammals, including functional groups (e.g., pollinating agents) and ecosystem health indicator groups (e.g., Amphibia and Chiroptera), to delineate the main ecological nodes present. Recognizing that local human communities are components of agroecosystems; the project also included the development of strategies for the participation of local communities and for the appropriation of the resulting knowledge to strengthen the regional socio-ecological links.

Key words: Ecosystem services, Agroecology, Biodiversity, Ecological community

Introducción

La sostenibilidad de la agricultura es importante para asegurar la rentabilidad de los sistemas productivos y de las áreas rurales (Dantsis et al., 2010). Esto se logra en última instancia mediante el mantenimiento en el largo plazo de las funciones ecológicas de soporte en los agroecosistemas donde la agricultura se desarrolla. La intensificación de la agricultura es considerada como una de las prácticas orientadas hacia la sostenibilidad. En ella se busca el mejoramiento de la eficiencia del cultivo en cuanto a su rendimiento y el aumento de la productividad, limitando el uso de las áreas de cultivo y minimizando la demanda por nuevas áreas (Gomiero et al., 2011).

El reconocimiento de los sistemas productivos como agroecosistemas, es decir, como «comunidades de plantas y animales interactuando con su ambiente físico y químico que ha sido modificado ...» (Altieri, 2002), representa un cambio de paradigma en la agricultura (Gliessman, 1990). Los servicios ecosistémicos, se conciben como aportes recibidos por la humanidad provenientes de los procesos ecológicos naturales. Para alcanzar la sostenibilidad de los agroecosistemas, es necesario el desarrollo de procesos de gestión que maximicen los servicios recibidos a través del mantenimiento y de las dinámicas ecosistémicas naturales.

La reciente evaluación de la Plataforma Intergubernamental en Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES) sobre el estado global de la biodiversidad concluyó que el planeta enfrenta un «peligroso declive en la naturaleza sin precedente histórico», donde la tasa de extinción de especies está acelerando y un millón de especies enfrentan seria amenaza a su supervivencia (IPBES, 2019). Dicha evaluación determinó cinco elementos que contribuyen en mayor medida al deterioro de la naturaleza, donde la modificación en el uso del suelo (incluida la agricultura) se ubica en el primer puesto. En cuanto a la agricultura el reporte enfatiza acciones inmediatas que deben ser tenidas en cuenta para frenar el deterioro ambiental, tales como: a) Diseño de buenas prácticas de agricultura y agroecología; b) Planeación multifuncional del paisaje; c) Manejo integrado del paisaje y cursos de agua; y, d) Conservación de diversidad genética.

El mantenimiento y fomento de la biodiversidad (tanto organismos como ecosistémica) en sistemas agroecológicos aumenta la resiliencia de estos, permitiéndoles afrontar estresores ambientales como el cambio climático y es esencial en temas tan críticos como la alimentación a nivel mundial (FAO, 2019). Para lograr el manejo integrado de los procesos agroecológicos, es esencial contar con inventarios ecológicos que permitan identificar los elementos existentes, y

constituyan la línea base de conocimiento sobre la cual se evalúe el mantenimiento de la biodiversidad en la agricultura y los procesos ecológicos que en ella participan. A pesar de su importancia, la biodiversidad en sistemas productivos se encuentra en declive, haciendo imperativo un esfuerzo decidido en el conocimiento y mantenimiento de los procesos ecológicos que forman parte de la agricultura. Aunque el conocimiento en todos los niveles bióticos es esencial para el entendimiento de los procesos que se desarrollan en los agroecosistemas, el conocimiento sobre los microorganismos y los macroinvertebrados presentes en los agroecosistemas es uno de los más grandes vacíos en cuanto a la biodiversidad para la alimentación y la agricultura (FAO, 2019).

Este estudio tuvo como objetivo construir, de manera integral y multidimensional, inventarios ecológicos que permitan desarrollar estrategias de gestión sostenible sobre los agroecosistemas de cultivo de aguacate en Colombia a través de estrategias integradas de manejo del paisaje, biodiversidad, pobladores locales y recurso hídrico. Reconociendo la importancia del componente humano en las dinámicas ecológicas de un agroecosistema, el proyecto involucró el desarrollo de estrategias de transmisión del conocimiento (alcanzado por los inventarios) con las comunidades locales, de tal forma que se promueva el reconocimiento y empoderamiento para alcanzar una cadena de valor y un desarrollo sostenible.

Materiales y Métodos

Zona de estudio

El trabajo se enfocó en las Unidades Productivas (UP) del departamento de Risaralda denominadas Playa Rica (05°22'13.8" N, 75°45'52.092" O), Huertos Alto Bonito (05° 21' 41.076" N, 75° 46' 59.052" O), La Pradera (05° 20' 07.7640" N, 75° 46' 34.212" O) y La Teresita (05° 21' 30.096" N, 075° 45' 07.272" O). Se ubican en la Cordillera Central colombiana en elevaciones aproximadas entre los 1900 y 2200 msnm, dentro de zona climática templada y húmeda.

Definición de unidades del paisaje

Para la zonificación de las UP se realizó un análisis de coberturas vegetales de las áreas de estudio utilizando levantamientos topográficos y cartográficos de cada UP a escala 1:2500. El mapa de coberturas se complementó con imágenes satelitales recientes (Landsat 8) e imágenes obtenidas mediante vehículos aéreos no tripulados. La zonificación por coberturas de bosque se utilizó como insumo básico para la ubicación de las zonas de muestreo de los inventarios bióticos.

Comunidades microbianas

La estructura de las comunidades microbianas edáficas fue explorada en suelos en áreas de cultivo y en áreas de vegetación nativa. Para las primeras se obtuvieron muestras de los platos de los árboles en lotes con cultivos de distintas edades. En el caso de zonas de vegetación nativa, se obtuvieron muestras identificadas como representativas de la cobertura silvestre de acuerdo con las unidades de paisaje identificadas. La estructura de las comunidades se reconstruyó a partir de secuencias de la región hipervariable V4 del gen del 16S ribosomal, extrayendo ADN de muestras de suelo utilizando el kit de extracción Dnease PowerSoil®. Luego se construyeron las bibliotecas para secuenciación con el kit Swift Amplicon 16S + ITS Panel (Swift Bioscience, AL-51648) siguiendo las instrucciones del fabricante. Las secuencias fueron generadas utilizando tecnología Illumina, en un instrumento iSeq 100. Amplicones específicos a la región V4 fueron extraídas con programas propios (<https://github.com/BEC-EAFIT/BEC-Bioinformatics>). Los flujos bioinformáticos se basaron en Pearson et al. (2019), utilizando QIIME2 2021.4 (Bolyen et al., 2019) para los análisis. La identificación taxonómica de las secuencias se realizó mediante consenso *blastn* (Camacho et al., 2009), con el método q2-feature-classifier (Bokulich et al., 2018), con la base de datos de referencia SILVA (Quast et al., 2013), 138 SSU No-redundante (NR) 99 % y la taxonomía correspondiente (Yilmaz et al., 2014).

Inventarios botánicos

Comunidades de arvenses: Dado que representan una fuente de sustento para los agentes polinizadores durante los periodos entre floraciones de los cultivos, se evaluó la disponibilidad y composición de las comunidades de arvenses, y se buscó reconstruir la estructura de su comunidad a lo largo de transectos de banda en lotes de cada UP. Dentro de cada lote se establecieron transectos de acuerdo con sus características. El ancho de los transectos fue de un m² y el largo se cubrió con sub-parcelas de 1x1 m², a lo largo de los transectos se colectaron especímenes de las plantas observadas para ayudar en el proceso de identificación.

Inventarios florísticos: En zonas identificadas como representativas de la cobertura boscosa dentro de cada UP se realizaron inventarios florísticos de todos los individuos arbóreos con un diámetro a altura de pecho igual o mayor que 10 cm. Cada individuo incluido en el censo fue georreferenciado y, su registro acompañado de mediciones de diámetro y de estimados de altura con el fin de alimentar los estimados alométricos de biomasa. De cada uno de los especímenes registrados se colectaron muestras para su identificación.

Inventarios zoológicos

Cada método descrito a continuación fue aplicado (para cada grupo biótico) en cada una de las coberturas vegetales que se encontraron en el área de estudio, de tal forma que fue posible caracterizar la estructura de las comunidades asociadas a cada cobertura vegetal.

Agentes polinizadores: Se caracterizó las comunidades de insectos polinizadores, principalmente Hymenoptera y Díptera, presentes en los lotes de cultivo, y los bosques presentes en los agroecosistemas de interés. Para este fin se emplearon unidades de muestreo de trampas de batea, utilizando paneles de colores de distintas propiedades reflectivas para atraer la mayor amplitud de agentes polinizadores posibles (Saunders y Luck, 2012; Moreira et al., 2016). Las trampas fueron instaladas y revisadas diariamente durante una semana. Los insectos capturados fueron colectados y preservados para su posterior identificación.

Macroinvertebrados edáficos: Se empleó una metodología basada en el Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF; Anderson e Ingram, 1993), adaptada al sistema productivo de aguacate. Dentro de la circunferencia que delimita el plato del árbol se establecieron monolitos en diferentes direcciones y de distintos tamaños. De estos se extrajo el suelo para obtener la macrofauna con el uso de tamices y posteriormente se identificó empleando claves taxonómicas de referencia. De igual modo, en cada lote se obtuvo un número equivalente de muestras en suelos cultivados, pero por fuera de la línea de gotera de los árboles; y en suelos de las áreas con las coberturas vegetales predominantes en la UP de interés.

Aves: Se utilizaron las observaciones no sistemáticas, que permiten cubrir gran parte de las coberturas vegetales sin restricciones en espacio y tiempo (Bibby et al., 1998), realizando recorridos diurnos (5:30 h a 18:00 h), y nocturnos (17:00 h en adelante). Por otro lado, se utilizó la metodología de captura con redes de niebla, durante el día de 5:30 h a 17:30 h (Remsen y Good 1996). Finalmente, se utilizó el reconocimiento de vocalizaciones como herramienta útil para el registro de especies de sotobosque y dosel difíciles de registrar con otras metodologías (Bibby et al., 1998) comparando las grabaciones magnetofónicas con bases de datos como Maculay Library (The Cornell Lab) y Xenocanto (Xenocanto.org).

Pequeños mamíferos – Murciélagos: En cada una de las localidades se ubicaron 8 redes de niebla. Se abrieron entre las 17:30 h y las 00:00 o 06:00 h dependiendo del grado de actividad. Con el fin de no perturbar el hábitat, las redes se ubicaron en bordes de bosque o caminos ya

existentes y se reubicaron todas las noches para evitar que los murciélagos se aprendieran su ubicación (Simmons y Voss, 1998).

Pequeños mamíferos no voladores: Para las capturas se utilizaron trampas Sherman, trampas Havahart, trampas Victor y trampas de caída. Las trampas se ubicaron en el suelo (0 m), en el sotobosque (1-3 m) y en el dosel (3-15 m) con una distancia aproximada de 20 m entre ellas. Se revisaron y recibieron todas las mañanas. A los individuos capturados se les tomaron medidas externas, sexo y condición reproductiva siguiendo a Simmons y Voss (2009). Aquellos seleccionados para ser colectados se les practicó la eutanasia con sobredosis de lidocaína ó mediante el uso de euthanex previa sedación con xilazina. De cada especie se prepararon especímenes de museo en piel seca, líquido o una combinación de ellas siguiendo a Simmons y Voss (2009). Más tarde se colectaron muestras de tejido (músculo o hígado) y ectoparásitos y se preservaron en viales independientes con etanol al 96 %. Todos los métodos de captura, manipulación y sacrificio de especímenes siguieron las prácticas aprobadas por “American Veterinary Medical Association” y “American Society of Mammalogists Animal Care and Use Committee” (Sikes et al., 2011).

Mamíferos medianos y grandes: Se instalaron 16 trampas cámara Bushnell Trophy Cam con sensor infrarrojo y activación por movimiento usando la programación sugerida por Delgado-V et al. (2011). Las cámaras fueron dejadas en el sitio de muestreo posterior a la finalización del trabajo de campo y recogidas pasado el tiempo sugerido para su respectiva revisión. Igualmente se realizó búsqueda permanente de rastros tales como heces, pelos, madrigueras, restos alimenticios o cualquier otro indicio de actividad (Aranda, 2000).

Anfibios y reptiles: Se realizó un muestreo que cubrió diferentes hábitats y regiones (estratos), empleando dos metodologías para el registro de especies: búsqueda activa y trampas (Halliday, 2006; Blomberg y Shine, 2006). En la búsqueda activa se utilizaron transectos por intervalos de tiempo predefinidos, durante los periodos diurnos y nocturnos que presentaran más actividad para cada grupo de herpetofauna (Angulo et al., 2006; Corn y Bury, 1990). Se utilizaron, además, transectos de trampas de caída acompañadas de barreras plásticas de 1 m de altura; y 15 trampas de embudo, compuestas por un cilindro de malla plástica de 1.2 m de longitud con aberturas cónicas de acetato grueso a cada extremo de 33.42 cm de diámetro. Colecta de especímenes: Los individuos seleccionados para colecta se sacrificaron siguiendo las normas legales estipuladas en la normatividad de manejo de fauna silvestre (Ley 84 de 1989- Capítulo V;

Decreto 1076 de 2015) y los requerimientos éticos y científicos recomendados para la manipulación, colección y sacrificio de especies de anfibios y reptiles (Cooper et al., 1989; AVMA, 2013). Los ejemplares sacrificados fueron fijados en cámaras herméticas con solución tamponada de formol 10 % por dos o tres días, y luego transferidos a una solución de enjuague de etanol 70 %. Posteriormente, se colectaron muestras de tejido (hígado o músculo) y se almacenaron en etanol 99 % para análisis moleculares.

Identificación mediante marcadores de ADN

La extracción de ADN se realizó siguiendo el protocolo establecido por Gutiérrez et al. (2010). Posteriormente se amplificaron dos (2) genes mitocondriales: Citocromo-b (CITB) y citocromo C oxidasa subunidad 1 (COI), utilizando cebadores “universales” desarrollados para diferentes grupos bióticos (Ivanova et al., 2007; 2012) y secuenciación Sanger en un secuenciador automatizado ABI-370xl en Beckman Coulter Genomics, EUA. La identificación de especies se hizo empleando el modelo General Mixed Yule Coalescent, GMYC en el programa SPLITS (Pons et al., 2006). Para implementar los análisis de GMYC se generaron filogenias ultramétricas usando los dos marcadores mitocondriales (Pons et al., 2006). Las especies fueron identificadas como grupos monofiléticos siguiendo la metodología de Díaz-Nieto et al. (2016). Las secuencias obtenidas fueron depositadas en bases de datos destinadas para este tipo de estudios, como The international Barcode of life (iBoL) <http://ibol.org/> y el Consortium for the Barcode of Life (CBOL) <http://www.barcoding.si.edu/>

Apropiación social del conocimiento y participación de la comunidad

Para este proyecto se utilizaron los conceptos de etnografía por diseño (Marcus, 2000; Rabinow et al., 2008), la idea de conceptualismo etnográfico (Ssorin-Chaikov, 2013), el arte relacional (Bourriaud, 2002), los ejercicios artísticos para recolectar experiencias, memorias socio-culturales y narrativas asociadas al territorio a través de la materialidad de los objetos, utilizando los inventarios construidos como materia prima para la conceptualización.

Resultados y Discusión

Comunidades microbianas: Las muestras de suelo analizadas de áreas bajo cultivo y bosques nativos presentaron un contenido porcentual de carbón orgánico del 5.8 ± 0.6 % y 7.6 ± 0.07 % respectivamente. Se obtuvo un total de 644852 secuencias no químicas y de alta calidad, con un promedio de 18424 secuencias por muestra (intervalo, 11969-35153). Dentro de los suelos cultivados se encontró un promedio de 884 linajes (equivalentes a unidades taxonómicas

operacionales con umbrales de identidad del 100 %) por muestra, con una menor riqueza representada en las muestras de bosque, pero sin significancia estadística. La estabilización asintótica de todos los índices de diversidad demostró que dicha profundidad de secuenciación fue suficiente para muestrear de manera adecuada todas las comunidades. Los niveles de riqueza observados en todas las muestras estuvieron acorde a comunidades edáficas indicadas en la literatura (Bickel y Or, 2020). Las comunidades microbianas tanto de suelos de bosque como de suelos cultivados se vieron dominadas por los filos bacterianos Proteobacteria, Actinobacteriota y Acidobacteriota. Dentro del primero, las principales poblaciones pertenecen al orden Rhizobiales con especies no descritas dentro de la familia Xanthomonadaceae. Aunque en base a la distancia UniFrac ponderada no se observó una separación significativa de las muestras, la misma distancia no ponderada separó de manera significativa la proveniencia de las muestras de acuerdo a su estado fenológico. Esto indicó que cada comunidad se diferencia de las demás en base a las especies “raras”, es decir, aquellas de baja abundancia relativa en la comunidad pero que potencialmente contribuyen al reservorio genético y metabólico de la misma. No se observó una separación de comunidades por Unidad Productiva, sugiriendo que los suelos analizados representan muestras de un reservorio microbiano regional.

Inventarios botánicos

Se registraron 301 individuos de comunidades arvenses correspondientes a 35 familias y 85 especies, con predominancia de la familia Asteraceae. Por otra parte, se inventariaron en total 739 individuos de fustales, pertenecientes a 135 especies distribuidas en 43 familias, de las cuales la más representativa fue Lauraceae (12 especies), seguida de las familias Clusiaceae y Cyatheaceae (9 especies c/u). Además, se encontraron 18 especies de orquídeas. Del total de especies registradas 25 son endémicas y 9 se encuentran en alguna de las categorías de amenaza de la UICN, el Libro Rojo de Plantas de Colombia y/o la resolución 1912 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Agentes polinizadores

Se colectó un total de 322 individuos clasificados en los órdenes Díptera e Hymenoptera, correspondientes a 141 taxones (identificados en su mayoría hasta el nivel de familia y género). Las familias más representativas del orden Hymenoptera fueron Apidae y Vespidae, sin embargo, abejas solitarias de la familia Halictidae fueron colectadas con frecuencia visitando las flores del aguacate. Por otra parte, dentro de los dípteros, se encontró mayor cantidad de especies pertenecientes a las familias Syrphidae y Tachinidae. Debido a la incertidumbre en su

identificación, aún no se cuenta con datos sobre endemismo y grado de amenaza para este grupo.

Mamíferos

Se registró un total de 738 individuos correspondientes a 37 especies, que pertenecen a 6 órdenes y 13 familias. Los órdenes Chiroptera y Rodentia fueron los más diversos (17 y 8 especies, respectivamente), así como las familias Phyllostomidae y Cricetidae (14 y 5 especies respectivamente). De las especies registradas dos son endémicas (*Nephelomys childi* y *Rhipidomys caucensis*) y una de ellas (*Leopardus tigrinus*) se encuentra en estado vulnerable (VU) según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).

Aves

En total se registraron 168 especies distribuidas en 19 órdenes y 42 familias. Se observó un ensamble típico de agroecosistemas andinos donde predominan los órdenes Passeriformes Accipitriformes y Apodiformes, así como las familias Thraupidae, Tyrannidae (21 especies cada una), Trochilidae (14 especies), Accipitridae y Parulidae (10 especies cada una). Del total de especies registradas 8 están clasificadas en alguna categoría de amenaza según la UICN y 5 de ellas también se encuentran listadas en el Libro Rojo de Aves de Colombia. Finalmente, se encontraron cinco especies endémicas (*Ortalis columbiana*, *Odontophorus hyperythrus*, *Picumnus granadensis*, *Atlapetes flaviceps* y *Habia cristata*).

Anfibios y Reptiles

Se registraron 30 especies, de las cuales 9 corresponden a anfibios y 21 a reptiles representadas en 9 anuros, 8 lagartos y 13 serpientes. Entre los anfibios, la familia con mayor número de especies fue Craugastoridae con un total de 5 especies. Mientras que en los reptiles las familias mejor representadas fueron Dipsadidae (7 especies), seguida por Dactyloidae (5 especies) y Colubridae (3 especies). Del total de especies registradas once (11) son endémicas de Colombia y de esas, tres se encuentran en alguna categoría de amenaza según la UICN (*Riama columbiana*, *Colostethus ucumari* y *Anolis ventrimaculatus*).

El programa de apropiación social del conocimiento y participación de la comunidad desarrollado a partir de los inventarios se describe de manera gráfica y resumida en <https://www.youtube.com/watch?v=IAoq1Iq0w8U>.

Los inventarios construidos permiten documentar la extensión de nichos que se encuentran dentro de un agroecosistema, resaltando a su vez la necesidad de una visión de manejo integrada que permita tanto la protección como el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos existentes en la Unidad Productiva. Como línea base del conocimiento sobre el agroecosistema, los inventarios ecológicos forman la base para entender las interacciones bióticas que se manifiestan dentro del cultivo y que puedan ser movilizadas para el beneficio del mismo.

Literatura Citada

- Altieri, M. A. 2002. Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. pp. 37–34. In: Sarandon, S.J. (Ed.). *Agroecología: El Camino Hacia una Agricultura Sustentable*. Ediciones Científicas Americanas. Buenos Aires-La Plata, Argentina.
- Anderson, J. M., and J. S. I. Ingram (Eds.). 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods* (2nd ed.). CAB International. Wallingford, UK.
- Angulo A., J. V. Rueda-Almonacid, J. V. Rodríguez-Mahecha, and E. La Marca. 2006. Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina. *Conservación Internacional. Serie Manuales de Campo No 2*. Panamericana Formas e Impresos S.A. Bogotá D.C. Colombia. 299 p.
- Aranda, J. M. 2000. *Huellas y otros rastros de los mamíferos grandes y medianos de México*. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, México. 212 p.
- Bibby, C., M. Jones, and S. Marsden. 1998. *Bird Surveys: Expedition Field Techniques*. Expedition Advisory Centre, Royal Geographical Society. London, UK. 137 p.
- Bickel, S., and D. Or. 2020. Soil bacterial diversity mediated by microscale aqueous-phase processes across biomes. *Nat. Commun.* 11:116.
- Bolyen, E., J. R. Rideout, M. R., Dillon, N. A. Bokulich, C. C. Abnet, G. A. Al-Ghalith, H. Alexander, E. J. Alm, M. Arumugam, F. Asnicar, Y. Bai, J. E. Bisanz, K. Bittinger, A. Brejnrod, C. J. Brislawn, C. T. Brown, B. J. Callahan, A. M. Caraballo-Rodríguez, J. Chase, ... and J. G. Caporaso. 2019. Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2. *Nat. Biotechnol.* 37(8):852-857.
- Bourriaud, N., 2002. *Relational Aesthetics*. Translated by Pleasance, S., and F. Woods. Les presses du réel. Dijon, France. 57 p.
- Blomberg S., and R. Shine. 2006. Reptiles. pp. 297-307. In: Sutherland, W. J. (Ed.). *Ecological Census Techniques: A Handbook*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Camacho, C., G. Coulouris, V. Avagyan, N. Ma, J. Papadopoulos, K. Bealer, and T. L. Madden. 2009. BLAST+: Architecture and applications. *BMC Bioinformatics* 10:421.
- Cooper, J. E., R. Ewbank, C. Platt, and C. Warwick. 1987. Euthanasia of reptiles and amphibians. *N. Z. Vet. J.* 35(1-2):14.
- Corn, P. S., and R. B. Bury. 1990. *Sampling methods for terrestrial amphibians and reptiles*. USDA Forest Service, General Technical Report P256Rep. Pacific Northwest Research Station Portland, OR, USA.

- Dantsis, T., C. Douma, C. Giourga, A. Loumou, and E. A. Polychronaki. 2010. A methodological approach to assess and compare the sustainability level of agricultural plant production systems. *Ecological Indicators*, 10(2):256-263.
- Delgado-V, C. A., A. Arias-Alzate, S. Botero, and J. D. Sánchez. 2011. Registro de *Cuniculus taczanowskii* (Rodentia: Cuniculidae) y *Eira barbara* (Carnivora: Mustelidae) en una zona periurbana de Medellín, Colombia. *Brenesia* 75-76:124-126.
- Díaz-Nieto, J. F., S. A. Jansa, and R. S. Voss. 2016. DNA sequencing reveals unexpected Recent diversity and an ancient dichotomy in the American marsupial genus *Marmosops* (Didelphidae: Thylamyini). *Zool. J. Linnean Soc.* 176:914-940.
- FAO - Food and Agriculture Organization. 2019. The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. In: Bélanger, J., and D. Pilling (Eds.). FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome, Italy. 572 p.
- Gliessman, S. R. 1990. Quantifying the agroecological component of sustainable agriculture: A goal. pp. 366–370. In: Gliessman, S. R. (Ed.), *Agroecology: Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture*. Springer. New York, USA.
- Gomiero, T., D. Pimentel, and M. G. Paoletti. 2011. Environmental impact of different agricultural management practices: Conventional vs. organic agriculture. *Crit. Rev. Plant Sci.* 30(1-2):95-124.
- Gutiérrez, E. E., S. A. Jansa, and R. S. Voss. 2010. Molecular systematics of mouse opossums (Didelphidae: *Marmosa*): assessing species limits using mitochondrial DNA sequences, with comments on phylogenetic relationships and biogeography. *Am. Mus. Novit.* 3692:1-22
- Halliday T. R. 2006. Amphibians. pp. 278–296. In: Sutherland W. J. (Ed.). *Ecological Census Techniques: A Handbook*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPBES. 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Díaz, S., J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (Eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 p.
- Ivanova, N. V., T. S. Zemlak, R. H. Hanner, and P. D. N. Herbert. 2007. Universal primer cocktails for fish DNA barcoding. *Mol. Ecol. Notes* 7(4):544-548.
- Ivanova, N. V., E. L. Clare, A. V. Borisenko. 2012. DNA Barcoding in mammals. *Methods Mol. Biol.* 858: 153-182.
- Marcus, G. E. (Editor). 2000. *Parasites: A casebook against cynical reason*. University of Chicago Press Chicago, USA.
- MEA - Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press. Washington, USA. 155 p.
- Moreira, E. F., R. L. Santos, U. L. Penna, C. Angel-Coca, F. F. de Oliveira, and B. F. Viana. 2016. Are pan traps colors complementary to sample community of potential pollinator insects? *J. Insect Conserv.* 20(2):583-586.

- Pearson, T., J. G. Caporaso, M. Yellowhair, N. A. Bokulich, M. Padi, D. J. Roe, B. C. Wertheim, M. Linhart, J. A. Martinez, C. Bilagody, H. Hornstra, D. S. Alberts, P. Lance, and P. A. Thompson. 2019. Effects of ursodeoxycholic acid on the gut microbiome and colorectal adenoma development. *Cancer Med.* 8(2):617-628.
- Pons, J., T. G. Barraclough, J. Gomez-Zurita, A. Cardoso, D. Duran, S. Hazell, S. Kamoun, W. Sumlin, and A. Vogler. 2006. Sequence-based species delimitation for the DNA taxonomy of undescribed insects. *Syst. Biol.* 55:595-609.
- Quast, C., E. Pruesse, P. Yilmaz, J. Gerken, T. Schweer, P. Yarza, J. Peplies, and F. O. Glöckner. 2013. The SILVA ribosomal RNA gene database project: Improved data processing and web-based tools. *Nucleic Acids Res.* 41:D590–D596.
- Rabinow, P., and G. E. Marcus, J. D. Faubion, and T. Rees. 2008. *Designs for an anthropology of the contemporary.* Duke University Press. Durham, USA.
- Remsen Jr, J. V., and D. A. Good. 1996. Misuse of data from mist-net captures to assess relative abundance in bird populations. *The Auk* 113(2):381-398.
- Saunders, M. E., and G. W. Luck. 2013. Pan trap catches vary with habitat. *Aust. J. Entomol.* 52:106-113.
- Sikes, R. S., and W. L. Gannon 2011. Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research. *J. Mammal.* 92:235-253.
- Simmons, N. B., and R. S. Voss. 1998. The mammals of Paracou, French Guiana: A Neotropical lowland rainforest fauna. Part 1. Bats. *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.* 237:1-219.
- Simmons, N. B., and R. S. Voss. 2009. Collection, preparation, and fixation of specimens and tissues. pp. 849-867. In: Kunz T. H., and S. Parsons (Eds.), *Ecological and Behavioral Methods for the Study of Bats* (2nd ed.). Johns Hopkins University Press. Baltimore, USA.
- Ssorin-Chaikov, N. 2013. Ethnographic conceptualism: An introduction. *Laboratorium* 5(2):5–18.
- Yilmaz, P., L. W. Parfrey, P. Yarza, J. Gerken, E. Pruesse, C. Quast, T. Schweer, J. Peplies, W. Ludwig, and F. O. Glöckner. 2014. The SILVA and “all-species Living Tree Project (LTP)” taxonomic frameworks. *Nucleic Acids Res.* 42(D1):643–648.