

<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v70iS1.53556>

Compensación ambiental por la segregación y uso de un área dentro de un refugio de vida silvestre: un caso de estudio empleando coste de oportunidad

Mahmood Sasa^{1,2*};  <https://orcid.org/0000-0003-0118-5142>

Fabián Bonilla²;  <https://orcid.org/0000-0002-5095-2750>

J. Edgardo Arevalo¹;  <https://orcid.org/0000-0003-4160-8373>

Federico Oviedo-Brenes³

José Esteban Jiménez Vargas^{3,6,7};  <https://orcid.org/0000-0002-8154-2156>

Felipe Triana²;  <https://orcid.org/0000-0003-2416-3616>

Marco Vinicio Cedeño Fonseca^{7,8,9};  <https://orcid.org/0000-0003-0119-0427>

Wagner López³

Sofía Granados Martínez^{2,10};  <https://orcid.org/0000-0001-9989-3854>

Alan Gerardo Alán Mora⁵

Ronney Alfaro Salazar⁵

1. Escuela de Biología y Centro de Investigaciones en Biodiversidad y Ecología Tropical, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica; msasamarin@gmail.com (Correspondencia*); marcovf.09@gmail.com; earevalobio@gmail.com
2. Instituto Clodomiro Picado, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica; fbonillamurillo@gmail.com; felotriana19@gmail.com; sofy2894@gmail.com
3. Organización para Estudios Tropicales, Guanacaste, Costa Rica; gatisgordis@gmail.com; wagner.lopez@tropicalstudies.org
5. Geoconsultores STL, San José, Costa Rica; ayarakaroja@gmail.com; ronney98@gmail.com
6. University of Florida Herbarium, Florida Museum of Natural History, and Department of Biology, Gainesville, Florida 32611, USA; gaiadendron.jej@gmail.com
7. Research Associate, Herbario Luis A. Fournier Origgí (USJ), Centro de Investigación en Biodiversidad y Ecología Tropical, Universidad de Costa Rica, Apdo. 11501-2060, San José, Costa Rica.
8. Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin, Freie Universität Berlin, Königin-Luise-Straße 6–8, D-14195 Berlin, Germany.
9. Jardín Botánico Lankester, Universidad de Costa Rica, Apdo. 302–7050, Cartago, Costa Rica.
10. Southern Illinois University, Carbondale, IL 62901, USA.

Recibido 20-IX-2022. Corregido 07-XI-2022. Aceptado 15-XII-2022.

ABSTRACT

Environmental compensation for the segregation and use of an area within a wildlife refuge: a case study using opportunity cost.

Introduction: The establishment of the Las Tablillas Border Post implies the segregation of 12.12 ha within the National Wildlife Refuge Border Corridor (RNVSCF) in northern Costa Rica. The site has a long land use history, so its environment is highly degraded. This case can be studied from the opportunity cost, which refers to the amount of the alternative given up when making an economic decision.

Objective: In this paper, we use this precept to assess the compensation for losses in habitat structure and biodiversity if succession dynamics within a protected wilderness area were interrupted.



Methods: To find the net gain in compensation required by this segregation, we analyzed the diversity and composition of nearby forest cover to forecast the environment that would be lost if its conservation objectives were interrupted (opportunity cost). Compensating for these losses requires an equivalent environment, so we selected two properties, among the 27 investigated, that shared forest cover, are located adjacent to the RNVSCF, are registered, and possess other attributes favorable to the design of reserves. The two selected properties and the Las Tablillas site were characterized at the level of geological and hydrological attributes and the composition of indicator groups.

Results: Both properties are physically and biologically favorable for the exchange. It would increase the area of the RNVSCF by more than 100 ha of an environment with better coverage, more diversity, and a better connection to other forest masses than the one observed in the segregation site, which is an advantage to the conservation objective of the refuge.

Conclusion: In this case, the opportunity cost favored the environmental gain for the offset proposal and could be used to evaluate other compensation involving sensitive or protected environments.

Key words: Las Tablillas, environmental offsets, impact study, ecological equivalence, protected area, SINAC.

RESUMEN

Introducción: El establecimiento del Puesto Fronterizo Las Tablillas implica la segregación de 12.12 ha del Refugio Nacional de Vida Silvestre Corredor Fronterizo (RNVSCF), en el norte de Costa Rica. El sitio tiene una larga historia de uso de la tierra y su entorno natural está muy degradado. Este es un caso que se puede abordar desde el coste de oportunidad que se refiere al valor de la alternativa a la que se renuncia al tomar una decisión económica.

Objetivo: En este artículo, usamos este precepto para evaluar la compensación por pérdidas en la estructura del hábitat y la biodiversidad si se interrumpiera la dinámica de sucesión dentro de un área silvestre protegida.

Métodos: Para encontrar la ganancia neta en compensación requerida por dicha segregación, analizamos la diversidad y composición de la cobertura forestal cercana para pronosticar el ambiente que se perdería si se interrumpieran sus objetivos de conservación (costo de oportunidad). Compensar estas pérdidas requiere un ambiente equivalente, por lo que seleccionamos dos propiedades, entre 27 investigadas adyacentes al RNVSCF, que comparten cobertura forestal, están registradas legalmente y poseen atributos ambientales favorables para el diseño de reservas. Las dos propiedades seleccionadas y el sitio Las Tablillas fueron caracterizados a nivel de atributos geológicos e hidrológicos y de composición biológica de grupos indicadores.

Resultados: Ambas propiedades son física y biológicamente favorables para el intercambio. La escogencia de cualquiera aumentaría el área del RNVSCF en más de 100 ha de un ambiente con mejor cobertura, más diversidad y mejor conexión con otras masas forestales que el observado en el sitio de segregación. Esto es una ventaja para el objetivo de conservación del refugio.

Conclusión: En este caso, el coste de oportunidad favoreció la ganancia ambiental para la propuesta de compensación y podría ser utilizado para evaluar otras compensaciones que involucren ambientes sensibles o protegidos.

Palabras clave: Las Tablillas, compensación ambiental, estudio de impacto ambiental, equivalencia ecológica, área protegida, SINAC.

INTRODUCCIÓN

La gestión ambiental de proyectos de infraestructura supone un abordaje integral enfocado en entender y minimizar los impactos que estos pueden ejercer sobre el medio ambiente y su biodiversidad (Aiama et al., 2015, Cowell, 1997; ten-Kate et al., 2004). En ese contexto, la compensación ambiental es considerada una última medida para garantizar la “no-pérdida-neta ambiental” (ten-Kate &

Crowe, 2014), es decir la no reducción global en el tipo, cantidad o condición de la biodiversidad en el espacio y el tiempo (Business and Biodiversity Offsets Programme, 2012a). La compensación es planteada como una forma de resarcir por impactos que no pueden ser evitados o mitigados (Quétier & Lavorel, 2011) y puede llevarse a cabo de distintas maneras (Ariza-Pardo & Moreno-Hincapié, 2017; Castro-Calle, 2018; López-Arbeláez & Quintero-Sagre,

2015). El reemplazo del área impactada por un área ambientalmente equivalente, la sustitución por terrenos de importancia en conservación a través de bancos de biodiversidad, y el pago de un monto económico al Estado o a un tercero suelen ser las medidas más frecuentemente empleadas (Murcia et al., 2017).

Cuando los impactos inevitables afectan elementos de la biodiversidad únicos, ambientes irremplazables, o sitios de interés patrimonial o de conservación, la alternativa de compensación debe ser analizada muy cuidadosamente y las decisiones a tomar deben sopesar los distintos resultados posibles (Business and Biodiversity Offsets Programme, 2012a). En esos casos, se debe determinar si el proyecto amerita desarrollarse, asumiendo medidas de compensación satisfactorias, o no realizarse, asumiendo los costos sociales y económicos que resulten de esa disposición. En economía, un fallo análogo se conoce como coste de oportunidad y se define como el valor de la mejor opción que no se ha realizado (González-Díaz, 2000; Pearce & Markandya, 1987), es decir, las oportunidades no aprovechadas en función del mejor uso de los recursos económicos disponibles (Diniz et al., 2019). El coste de oportunidad sirve para determinar qué recursos se pierden o se dejan de percibir al tomar una decisión económica, de modo que es una magnitud usada para predecir los costos de una inversión u otra y sobre ello tomar la mejor decisión (Cienfuegos & Medina, 2021; Marín-Cortez, 2017).

En el contexto ecológico, generalmente el concepto de coste de oportunidad ha sido empleado para evaluar los ingresos económicos que se dejan de percibir debido a las restricciones que medidas de protección ambiental imponen sobre proyectos de desarrollo o sobre el consumo de recursos naturales (Diniz et al., 2019, May et al., 2013, Naidoo et al., 2006). En cambio, se podría usar esa noción para contrastar entre los posibles resultados de un canje y determinar ganancias en términos ambientales (Cowell, 1997). Implementar el coste de oportunidad como estrategia en el análisis ambiental puede ser particularmente

beneficioso en el caso de evaluaciones de compensación sobre ambientes dinámicos únicos, o sobre áreas silvestres protegidas (ASP) que deben cumplir objetivos de conservación del patrimonio natural a largo plazo. En este trabajo presentamos un estudio de caso que involucra el uso de coste de oportunidad para evaluar compensación ambiental sobre una porción de un área silvestre protegida que sería segregada para establecer un puesto aduanal y migratorio en el norte de Costa Rica. Además, se describe el procedimiento utilizado en la búsqueda de medidas resarcitorias satisfactorias para la pérdida que supondría dicha separación para esa área protegida.

Antecedentes de la segregación

En 1994 la franja estatal inalienable de 2 km de ancho a lo largo de toda la frontera terrestre con Nicaragua es decretada como Refugio Nacional de Vida Silvestre Corredor Fronterizo Norte (RNVSCFN, Fig. 1), como parte de un acuerdo sobre Áreas Protegidas Fronterizas suscrito por los Gobiernos de las Repúblicas de Costa Rica y Nicaragua el 15 de diciembre de 1990 (Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto, 1990). Este refugio pretende proteger los recursos naturales, tanto bióticos como abióticos, a lo largo de la línea fronteriza y desde entonces ha sido administrado por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (Decreto N° 22962-MIRENEM, 1994). La designación de esos terrenos como área silvestre protegida (ASP) no estuvo exenta de conflictos debido a que en la franja existen comunidades que desarrollan diversas actividades productivas, principalmente pecuarias, agrícolas y comerciales, que atentan contra las dinámicas ecológicas y los objetivos de conservación del refugio (Vásquez, 2009).

Ante la imperiosa necesidad de regular flujos migratorios y el mejoramiento de la conexión comercial desde y hacia Centroamérica (Ramírez-Brenes & Ulate-Hernández, 2015), el paso en Las Tablillas, ubicado en la sección del RNVSCFN en el cantón de los Chiles, fue identificado como un sitio de importancia



estratégica para el país. Con esta justificación, en 2010 se firma la Ley N°8803 “*Ley para Regular la Creación y el Desarrollo del Puesto Fronterizo Las Tablillas*” que propone segregar 12.12 ha del RNVSCFN con el fin de establecer dicho puesto aduanal y migratorio en ese lugar. Esa extensión y su ubicación derivaron de una recomendación realizada por un equipo multidisciplinario del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (Sistema Nacional de Áreas de Conservación [Comisión Caso Tablillas], 2007). En 2014, se establece el puesto aduanal Las Tablillas a partir de infraestructura temporal e inicia su operación por parte del Ministerio de Comercio Exterior de Costa Rica.

En el año 2015, una acción de inconstitucionalidad fue presentada ante la Sala Constitucional de la Corte Suprema de Justicia, solicitando derogar la Ley N°8803 y su reglamento. El argumento para dicha solicitud es que la segregación y el cambio de uso del terreno en Las Tablillas suponen una violación a los objetivos ambientales del RNVSCFN y que la aprobación de la Ley N°8803 careció del estudio técnico que justificara la segregación de esta área y la compensación necesaria para no reducir el área total del refugio. De esta manera, se viola el artículo 50 de la Constitución Política (1949), el principio precautorio, de irreductibilidad del bosque y de no regresión de un área silvestre protegida, normados en el país. La Sala Constitucional declara con lugar la acción interpuesta e impugna toda la citada ley y su reglamentación en 2019, instando además a la Asamblea Legislativa a aprobar una nueva ley que permitiera crear y regular el puesto fronterizo Las Tablillas que se fundamentara en estudios técnicos completos e incorporara medidas de compensación ecológica que resarcieran por el sitio potencial a segregar. Para realizar esos estudios, el Ministerio de Comercio Exterior (COMEX) conviene con la Organización para Estudios Tropicales (OET) iniciar el análisis titulado “*Establecimiento de la línea base de biodiversidad para la segregación de un área dentro del Refugio de Vida Silvestre Corredor Fronterizo Costa Rica-Nicaragua y*

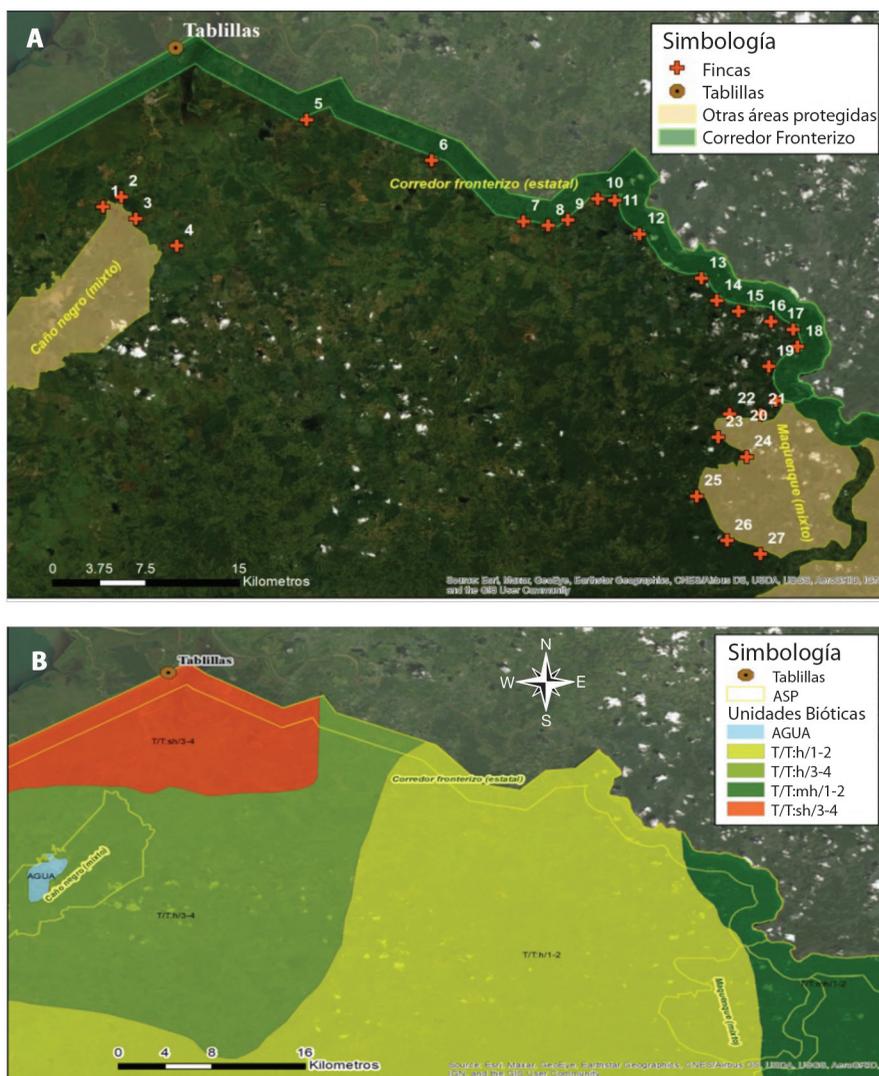
su compensación ambiental”, cuyos resultados se exponen en el presente trabajo.

Este estudio tuvo dos objetivos: 1. caracterizar el sitio de segregación en Las Tablillas, y 2. identificar propiedades adyacentes al RVS-CFN, o a alguna de las áreas silvestres protegidas de la región, que pudieran ser empleados como zonas de reemplazo en caso de autorizarse la segregación. Para el primer objetivo, se realizó un análisis de los atributos geológicos e hidrogeológicos, así como de estructura de hábitat y se caracterizó la composición biológica de grupos indicadores en la zona que sería segregada del RNVSCFN. La caracterización incluye una valoración del coste de oportunidad ambiental en Las Tablillas, esto es, la pérdida ambiental por interrumpir el proceso de regeneración en el sitio a segregar. Para cumplir el segundo objetivo, se partió de una serie de criterios ambientales y de manejo de reservas para identificar propiedades y se evaluó su potencial para resarcir las pérdidas por la segregación en Las Tablillas.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Región de estudio y períodos de muestreo

La región de estudio abarca los distritos de Los Chiles, Pocosol y Cutris, Alajuela, Costa Rica, específicamente entre las coordenadas 11.015853° N, -84.792065° O; y 10.806285° N, -84.787558° O en el oeste y 10.883921° N, -84.238729° O, y 10.705424° y -84.285891° en el este (Fig. 1A). La región está dominada por tres unidades bióticas: Tropical Suhhmedo-Humedo, Tropical Húmedo, Tropical Muy Húmedo (Herrera & Gómez, 1993; Fig. 1B). Cuatro áreas silvestres protegidas se localizan en la región: Refugio Nacional de Vida Silvestre Corredor Fronterizo (RNVSCFN, en parte), Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Caño Negro, Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Maquenque y la Reserva forestal El Jardín (<http://www.sinac.go.cr/>), todas administradas por el Área de Conservación Arenal Huetar Norte (ACAHN-SINAC).



El sitio por segregar en Las Tablillas (12.12 ha) se ubica dentro del RNVSCFN entre las coordenadas 11°04'30.58" N y 84°41'43.50" O (Fig. 1A). La región recibe una precipitación media anual entre los 2000-3000 mm/año, una temperatura media ambiental mayor a 28°C, una evapotranspiración anual estimada entre los 1100 – 1200 mm/año (IMN, 2014) y una marcada estación seca que se extiende

hasta por 4 meses (Herrera & Gómez, 1993). La cobertura vegetal está compuesta principalmente por estadios de sucesión temprana (charral-tacotal) que resulta de tierras agrícolas y ganaderas abandonadas, intercaladas por pequeños fragmentos de bosque (Fig. 2).

El trabajo de campo se realizó a lo largo de un año, entre febrero 2020 y febrero 2021, en el sitio de segregación en Las Tablillas y sus

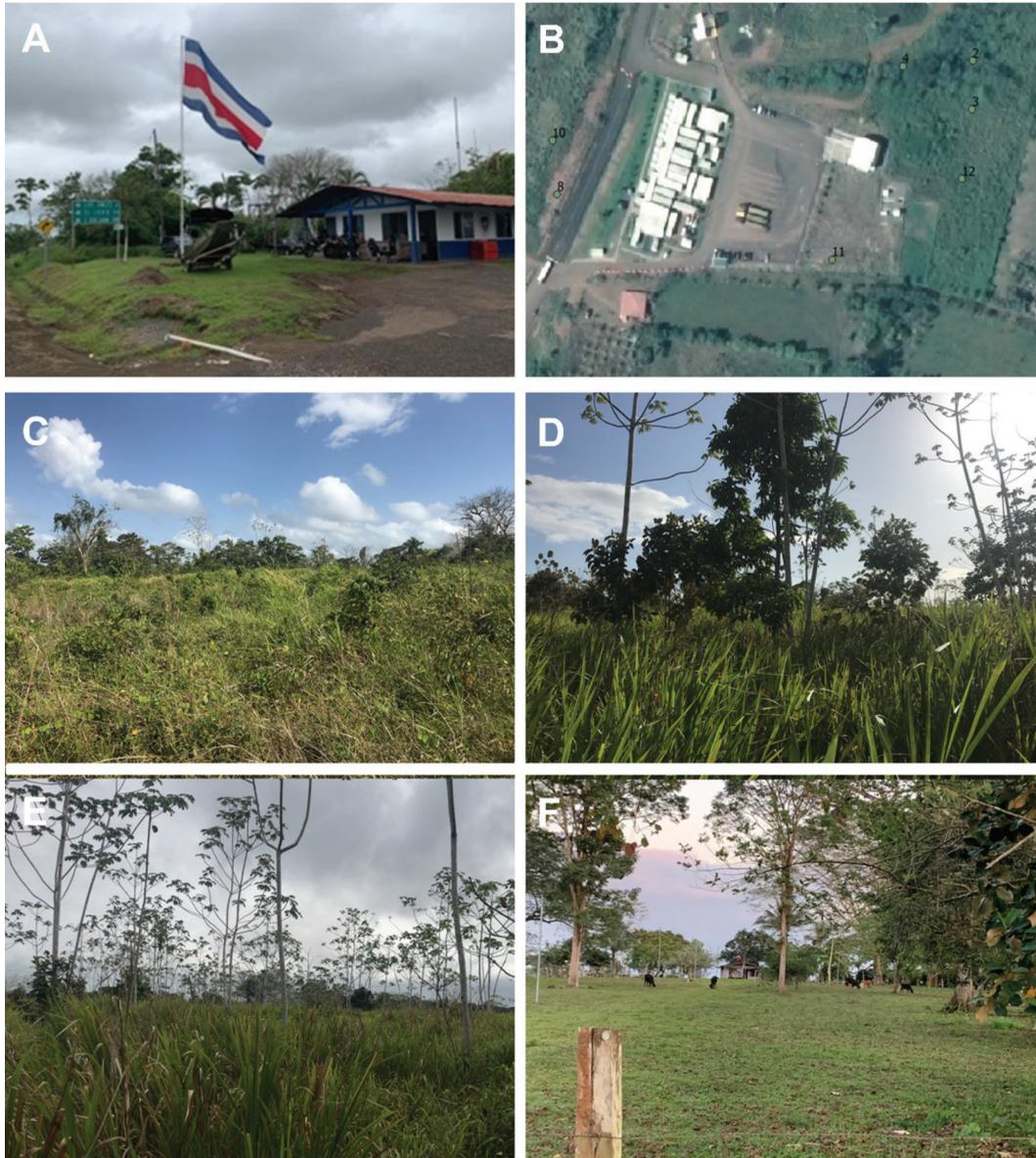


Fig. 2. Sitio potencial de segregación en Las Tablillas. A) Puesto de vigilancia. B) Huella de edificios del puesto fronterizo temporal presente al inicio de este estudio. C-D) Coberturas de vegetación en el sitio. / **Fig. 2.** The potential site to be segregated in Las Tablillas. A) Surveillance post. B) Building footprint of the temporary border post present at the beginning of this study. C-D) Vegetation coverage on the site.

alrededores (Tabla 1), así como en las distintas localidades identificadas como potenciales sitios de compensación en la región. Los permisos correspondientes de investigación fueron otorgados por el ACAHN-SINAC (resolución R-SINAC-PNI-ACAHN-11-2020).

2.2 Coste de oportunidad del ambiente en sitio de segregación

Los fragmentos de bosques cercanos funcionan como áreas núcleo con plantas madre que pueden colaborar en la colonización del

estado sucesional temprano observado en el sitio segregado en Las Tablillas. Las áreas de sucesión temprana son usualmente reemplazadas por crecimientos boscosos con mayor estructura y complejidad de estratos en ausencia de perturbaciones antrópicas (Guariguata & Ostertag, 2001; Schlawin & Zahawi, 2008). La recuperación hacia coberturas boscosas es una constante en proyectos de restauración de ambientes terrestres (Quintana-Ascencio et al., 1996), por lo que se esperaría que el ambiente natural del sector segregado en Las Tablillas eventualmente regenere en una cobertura boscosa de mantenerse la actual categoría de protección.

En consecuencia, separar esa porción del RNVSCFN en Las Tablillas para un uso diferente al de conservación conlleva una pérdida de oportunidad de obtener un ambiente más estratificado y diverso en el lugar. Cualquier medida compensatoria encaminada a resarcir las pérdidas a nivel ambiental debe contemplar ese coste de oportunidad (i.e., prescindir de la cobertura forestal y los elementos de biodiversidad que se establecerían conforme continúa la dinámica de sucesión de la cobertura vegetal). Se argumenta entonces que el análisis de las pérdidas que implica el segregar el área focal debe contemplar tanto una evaluación de los elementos en su actual cobertura como de los elementos proyectados que se perderían al interrumpirse la protección en el sitio. Por ello, nuestros muestreos se enfocaron en la cobertura de charral-tacotal del sitio a segregar, así como en los fragmentos boscosos cercanos (Tabla 1), como una aproximación a

la estructura y diversidad que tendría el área segregada de continuarse bajo la categoría de refugio de vida silvestre.

2.3 Análisis temporal del uso del suelo en el sitio de segregación

Con el fin de evaluar los cambios en la cobertura natural y los usos de suelo en el sitio de segregación en Las Tablillas, se realizó una reconstrucción a partir de análisis de imágenes históricas y la reconfirmación en el campo de la imagen del 2020. La reconstrucción fue delimitada al área que incluye el sitio de segregación y su acceso a partir de la carretera Ruta Nacional N°35 desde Los Chiles y comprende el límite de los humedales del Río Frio y Río Medio Queso, incorporando además la franja evaluada por SINAC para establecer el sitio de potencial segregación (Comisión Caso Tablillas, 2007).

El período para la reconstrucción fue del año 1961 al 2020 y estuvo limitado por la disponibilidad de imágenes pertinentes al área de estudio. Se utilizaron fotografías aéreas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) e imágenes satelitales de la empresa Geospatial Innovations (GeoInn). Las fotografías adquiridas por medio del IGN corresponden a los años 1961 (Proyecto 55AM73, rollo 139, línea 69C, foto 5183, escala 1:60000), 1987 (Proyecto Stamp, rollo 5, línea 342, foto 427, escala 1:35000) y 1994 (Proyecto Frontera Norte, rollo 282, línea 3, foto 52335, escala 1:20000). Las imágenes satelitales de la empresa GeoInn corresponden a los años 2008 (Imagen de Satélite QuickBird, Sector Tablillas, resolución espacial: 0.6 m) y

TABLA 1

Sitios de muestreo para la caracterización biótica en Las Tablillas. El sitio 1 corresponde al sitio a segregar para mantener el puesto fronterizo. Los sitios 2 al 4 son fragmentos boscosos cercanos empleados en el análisis de coste de oportunidad. / **Table 1.** Sampling sites for biotic characterization at Las Tablillas. Site 1 corresponds to the location to be segregated to maintain the border post. Sites 2 to 4 are nearby forest fragments used in the opportunity cost analysis.

Sitio	Coordenadas	Ambiente	Ubicación
1	11°04'30.5"N, 84°41'43.5"O	Charral-Tacotal	Las Tablillas
2	11°03'40.5"N, 84°41'39.7"O	Bosque	Las Tablillas
3	10°59'55.3"N, 84°41'23.8"O	Bosque	Los Chiles
4	10°59'09.5"N, 84°41'37.9"O	Bosque	Los Chiles



2020 (Imagen de Satélite WorldView-2, Sector Tablillas, resolución espacial: 0.4 m). Las fotografías no contaban con un sistema de coordenadas definido, de modo que fueron georreferenciadas. El uso de la tierra en cada periodo (escala 1:10000) fue digitalizado, definiéndose las siguientes categorías: bosque, humedal, humedal-pasto, pasto, urbano, cultivo, nube (en casos donde no era posible catalogar el uso de la tierra debido a la presencia de nubes) y sin datos (en casos donde no se tenía información disponible en la fotografía). En la reconstrucción del año 2020 se incluyó el área que fue segregada para el puesto fronterizo Las Tablillas. Para cada categoría de uso se calculó el área superficial, el porcentaje de pérdida o ganancia en cada tipo de uso en los periodos 1961–2008 y 2008–2020 y un porcentaje de cambio total 1961–2020, empleando para ello el software ArcGIS v. 10.1 (CESRI, 2011).

2.4 Identificación y selección de potenciales sitios de compensación

La pérdida que supone la segregación de un área dentro del RNVSCFN sería compensada con la sustitución de un área ecológicamente equivalente o que asegure una ganancia ambiental. Por ello, se identificaron propiedades que pudieran ser anexadas a alguna de las áreas silvestres protegidas ya existentes en la región de estudio y que maximizaran las ganancias en términos de protección ambiental. Para la identificación de dichas propiedades y la selección de aquella a emplear como compensación se siguió el procedimiento descrito en el Apéndice I. Brevemente, primero se estimó cual sería el área mínima para compensar por el ambiente perdido con la segregación en Las Tablillas, tomando en cuenta el costo de oportunidad antes detallado. Seguidamente, se identificaron sitios adyacentes a las áreas protegidas de la región que contarán con cobertura boscosa y se buscó información sobre la tenencia de tierra y el estado catastral de las propiedades en esos lugares. A partir del análisis de una serie de atributos basados en teoría de diseño de reservas se seleccionaron las dos

propiedades con el mayor potencial de compensación para analizarlas más detalladamente a nivel físico y biológico.

Estimación de área mínima. El área mínima requerida para compensar por el ambiente que se dejaría de proteger al segregar el sitio en Las Tablillas fue estimada a partir de una modificación del “Manual para la asignación de compensaciones por pérdida de biodiversidad” (Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible [MADS], 2012). Este es un algoritmo empleado para calcular el área mínima a compensar a partir del producto entre el área segregada por la sumatoria de cuatro factores de compensación parciales: 1) Representatividad: qué tan representado está el ecosistema en el sitio de segregación en la red de áreas silvestres protegidas; 2) Rareza: qué tan raro es el ecosistema presente en el sitio de segregación en relación a otros presentes en el país; 3) Permanencia: el porcentaje remanente del ecosistema en el sitio de segregación; y 4) Potencial de transformación: la pérdida anual de cobertura natural del ecosistema presente en el sitio de segregación. Estos cuatro factores fueron ponderados según una escala que provee valores altos a requerimientos mayores de conservación (Apéndice I). La estimación de A_c fue empleada como uno de los criterios para la selección del potencial sitio de compensación, y no debe ser interpretada como un cálculo directo del área que debe emplearse para resarcir las pérdidas por segregación.

Selección de propiedades para la compensación. Se identificaron sitios de interés para la potencial compensación dentro de la región de estudio mediante Sistemas de Información Geográfica. El análisis se realizó sobre imágenes satelitales (Google Earth y Bing Map), la capa de cobertura de bosque y uso de la tierra (Ortiz-Malavasi, 2014) y los registros de propiedades en las municipalidades de Los Chiles y San Carlos. Se identificaron propiedades con cobertura boscosa que se localizaran adyacentes a alguna de las áreas silvestres protegidas dentro de la región de estudio, siguiendo los

criterios indicados en el Apéndice I. Aquellas propiedades que efectivamente estuvieran inscritas en el Registro Civil y cuyos planos no traslaparan o estuviera dentro del perímetro del ASP adyacente fueron seleccionadas, verificándose en el campo sus coberturas vegetales y calidad de hábitat. El potencial de compensación de cada una de esas propiedades fue evaluado y ponderado a partir de una serie de atributos indicados en la Tabla A5 (Apéndice I). Las dos propiedades que alcanzaron la mayor calificación preliminar fueron seleccionadas con el fin de someterlas a una caracterización biológica y geológica profunda. La propiedad que reunía las mejores condiciones para ser anexado al área protegida correspondiente fue seleccionada como compensación por la segregación en Las Tablillas (Apéndice I).

2.5 Caracterización geológica e hidrológica

Se determinaron los atributos geológicos y las descripciones hidrológicas del sitio para segregar y de las dos propiedades potenciales de compensación seleccionadas, empleando el Mapa Geológico de Costa Rica (Denyer & Alvarado, 2007) y el Mapa Geomorfológico de Costa Rica (Ortiz-Malavasi, 2014). La hidrología local fue caracterizada a partir de la descripción del factor hidrogeológico, la determinación del nivel freático y el espesor de la zona saturada y no saturada empleando sondeos verticales (SEV) y la identificación de pozos y aguas subterráneas. Para establecer el nivel freático, se utilizó un probador de resistencia de tierra digital (*Model 463*, AEMC Instruments) siguiendo la metodología de Scumberger (Mendoza-Veirana et al., 2022).

La caracterización edafológica se realizó a partir de muestras de suelos tomadas a 15 cm de profundidad y empleando un barreno de 10 cm de diámetro en los tres sitios especificados. El análisis granulométrico se realizó en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR) y se basó en el método del Hidrómetro de Bouyoucos (Nuñez-Solis, 2000). Los iones se extrajeron

con el método KCl-Olsen modificado (pH 8.5; [NaHCO₃ 0,5 g, EDTA 0.01M, Superfloc 127] 1:10), mientras que la acidez se determinó por valoración con NaOH y Al con HCl. La determinación de los elementos P y S se dio por colorimetría con un Analizador de Inyección de Flujo (FIA); los elementos C y N por combustión seca por Autoanalizador y Conductividad Eléctrica (CE) en agua y el resto de los elementos (Ca, Mg, K, Zn, Cu, Fe, Mn) por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

2.6 Caracterización de flora y cobertura vegetal

Composición y riqueza de especies. Se establecieron 90 parcelas de 400 m² siguiendo el diseño de muestreo anidado descrito en Bonilla, Oviedo-Brenes et al. (2022). Las parcelas se ubicaron en cada sitio de estudio empleando afijación proporcional. Todas las plantas leñosas con DAP > 5 cm fueron identificadas a categoría de especie o género y sus diámetros y alturas registrados. Además, se identificó y estimó cobertura de herbáceas y plántulas en cinco cuadrículas de 1 m² anidadas dentro de cada parcela. Especímenes testigo fueron depositados en el Herbario Luis Fournier (USJ) del Centro de Investigaciones en Biodiversidad y Ecología Tropical (CIBET) de la UCR. Para cada especie se revisó su estatus de conservación usando las bases de datos: Convención sobre el Comercio Internacional Especies Amenazadas (CITES, s.f.), Categorías de conservación de la Ley de Conservación de la Vida Silvestre N° 7317 (1992), Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2001).

Estructura del hábitat. En cada parcela de vegetación se determinó la estructura de hábitat a partir de los indicadores: árboles dominantes del dosel (DAP > 40 cm), cobertura del dosel, biomasa en pie, reclutamiento, profundidad de la hojarasca en mantillo y troncos caídos (ver Bonilla, Oviedo-Brenes et al., 2022, en este suplemento). Se determinó el número de



árboles por parcela y se estimó el área basal, la cual corresponde a la proporción de una superficie determinada que es ocupada por la sección transversal de la base de un árbol o rodal. El área basal se empleó como una aproximación a la densidad y biomasa (Rojas-Chaves et al., 2015). El indicador de biomasa en pie cuantificó el aporte de clases diamétricas menores a las de los árboles dominantes y el aporte de arbustos.

2.7 Caracterización de fauna

Diversidad de aves. Los muestreos de avifauna se realizaron por medio del método de conteo a lo largo de caminos y trillos, tanto dentro como en el perímetro del sitio de segregación y las dos propiedades de potencial compensación seleccionadas. Las aves se detectaron e identificaron por medio de avistamientos y vocalizaciones en un rango de 30 m en áreas de bosque y 50 m en áreas abiertas; realizando los recorridos entre 5:30–10:00 am, 3:00–5:30 pm y 8:00–10:00 pm. La longitud de los recorridos fue variable debido a la accesibilidad de los sitios, por lo que se registró el tiempo y la distancia recorrida, las coordenadas de la ruta y cada una de las especies detectadas de forma simultánea mediante la aplicación eBird de la Universidad de Cornell (Sullivan et al., 2009). Los muestreos de avifauna realizados se registraron dentro de la aplicación eBird (Registros disponibles en <https://ebird.org/region/CR?yr=all>). Para tener un parámetro de riqueza de especies en el sitio de impacto, se utilizó la base de datos de eBird para un punto ubicado dentro del radio de 1 km en el área designada para la segregación (11.0674069, -84.701039 – 28/03/2019, un solo observador, 60 minutos de muestreo).

Diversidad de herpetofauna. La composición de anfibios y reptiles fue determinada a partir de encuentros visuales en transectos de 800 m, establecidos en los tres sitios de estudio. La búsqueda se realizó tanto en el mantillo como en el primer estrato del sotobosque, aproximadamente hasta los 4 metros de altura.

Se alternaron búsquedas diurnas y nocturnas, empleando como unidad de muestreo el número de horas-persona (h/p) de búsqueda, fijado en al menos 8 h/p por muestreo. Esta técnica permite dirigir la búsqueda a lugares de mayor probabilidad de encuentro, y ha sido empleada con éxito para determinar la composición de especies de herpetofauna en otros bosques estacionales (Sasa & Solórzano, 1995).

Con el fin de establecer prioridades de conservación en especies de anfibios y reptiles, se emplearon dos índices. El primero fue el *Índice de Vulnerabilidad Ambiental* (EVS por sus siglas en inglés, [Sasa et al., 2010]). Además, se emplearon los criterios del nivel de amenaza que han sido propuestos por la UICN (www.iucnredlist.org). Para determinar el nivel de prioridad en conservación se empleó el nivel de amenaza UICN y el índice de vulnerabilidad ambiental de las especies en cada comunidad siguiendo los criterios empleados en Sasa et al. (2022).

2.8 Análisis de diversidad

Para los grupos taxonómicos empleados como indicadores se estimó la riqueza de especies y el índice de diversidad de Shannon (García-Morales et al., 2011). Gotelli & Colwell (2011) indican que la mayoría de los índices de diversidad son sensibles al número de individuos recolectados, lo que dificulta la comparación de la diversidad de especies en colecciones de diferentes tamaños. Como solución se controlaron las posibles diferencias en abundancia por medio del método de rarefacción implementado en EcoSimR 1.00 (Gotelli & Ellison, 2013) y se construyeron curvas acumulativas de los valores de índices de diversidad para compararlos. Finalmente, para determinar el nivel de similitud entre las comunidades estudiadas, se empleó el índice de Sorensen (Gotelli & Colwell, 2011).

RESULTADOS

Nuestras visitas al sitio de segregación en Las Tablillas evidenciaron la existencia de un

puesto fronterizo habilitado con construcciones temporales y una infraestructura vial integrada por la carretera asfaltada Ruta Nacional 35 y caminos lastreados de acceso. La huella de las construcciones en el lugar fue estimada en 2.8 ha, mientras que el resto del área corresponde a una zona abierta cubierta con vegetación de charral-tacotal (Fig. 2). Además, otros tres usos del suelo son evidentes en la región: 1) Pastizales activos o recientemente abandonados por actividad ganadera, principalmente distribuidos hacia el este del sitio de segregación en dirección a la margen del río Medio Queso. 2) Otras construcciones, incluyendo una terminal de autobuses y viviendas fuera del área de segregación. 3) Fragmentos de bosque, dispersos en el paisaje aledaño al sitio de segregación.

3.1 Análisis temporal del uso de suelo en Las Tablillas

Los análisis de imágenes históricas y el estimado de áreas de cada cobertura nos permitió identificar que para inicios de la década de 1960 se cuantificaban unas 531 ha de bosque continuo en esa región, representando cerca del 50 % de sustitución de esa cobertura por pastizales, principalmente en territorio costarricense. La actividad agrícola era incipiente y se limitaba a pocas hectáreas para productos de subsistencia (Fig. 3A). Entre 1987 y 1994 se evidencia mayor sustitución de la cobertura forestal, con un aumento en el uso agrícola del suelo principalmente a lo largo de la ruta entre Los Chiles y Las Tablillas (Fig. 3B-C). Esa sustitución redujo la cobertura de bosque a pequeños fragmentos que cubrían menos de 175 ha (15 % de su superficie) en el año 2008 (Fig. 3D) y a un 12 % el área superficial de la zona en el 2020 (Fig. 3E), pese a la protección que se debió brindar estatalmente por ser un área silvestre protegida. Durante el periodo evaluado los humedales también sufrieron una disminución de más del 30 % de su superficie y un uso para la ganadería cada vez más intenso.

A partir del año 2008 aumenta la superficie dedicada a cultivos agrícolas en la región (16 % de la superficie), sustituyendo principalmente

áreas de pastos (Fig. 3D). Además, se incrementa la cobertura urbana a lo largo de la carretera dentro del área del RNVSCFN (Fig. 3E).

3.2 Área mínima para la compensación

Los Bosques Tropicales Subhúmedos encontrados en Las Tablillas están muy poco representados en las áreas silvestres protegidas del país y en la región de estudio. Solo una porción del RNVSCFN en el entorno de Las Tablillas y el extremo norte del Refugio Nacional de Vida Silvestre Caño Negro corresponden a este tipo de vegetación (Fig. 1B), donde además están relegados a unos pocos parches boscosos. Por esta razón, la representatividad de este bioma fue catalogada como de muy alta insuficiencia, asignándosele un valor de 2.5 puntos para ese factor (Tabla A1, Apéndice I). Además, representa menos de una quinta parte de la región de estudio, por lo que fue catalogado como de distribución restringida y se le asignó un valor de 1.75 puntos (Tabla A2, Apéndice I). En cuanto al factor permanencia, es evidente que la cobertura natural remanente en Las Tablillas es menor al 10 % (Fig. 3E). La categoría seleccionada para este factor es remanencia muy baja, que corresponde a una ponderación de 3 puntos (Tabla A3, Apéndice I). Por otro lado, la tasa de sustitución de cobertura natural en la zona es baja en las últimas dos décadas (Fig. 4D-E) por lo que el potencial de transformación corresponde a valor ponderado de 1.25 puntos (Tabla A4, Apéndice I). La sumatoria de los valores asignados resulta en 8.5 puntos, el factor de compensación, por lo que el área mínima para compensar las 12.12 ha segregadas del RNVSCFN sería de al menos 103.2 ha.

3.3 Identificación de los sitios potenciales de compensación

Veintisiete propiedades dentro de la región de estudio cumplieron con los criterios de inclusión (Fig. 1A). Cada sitio fue visitado y se compiló información sobre su cobertura y otros atributos (Tabla A6, Apéndice I). Se muestra además la ponderación asignada a cada una

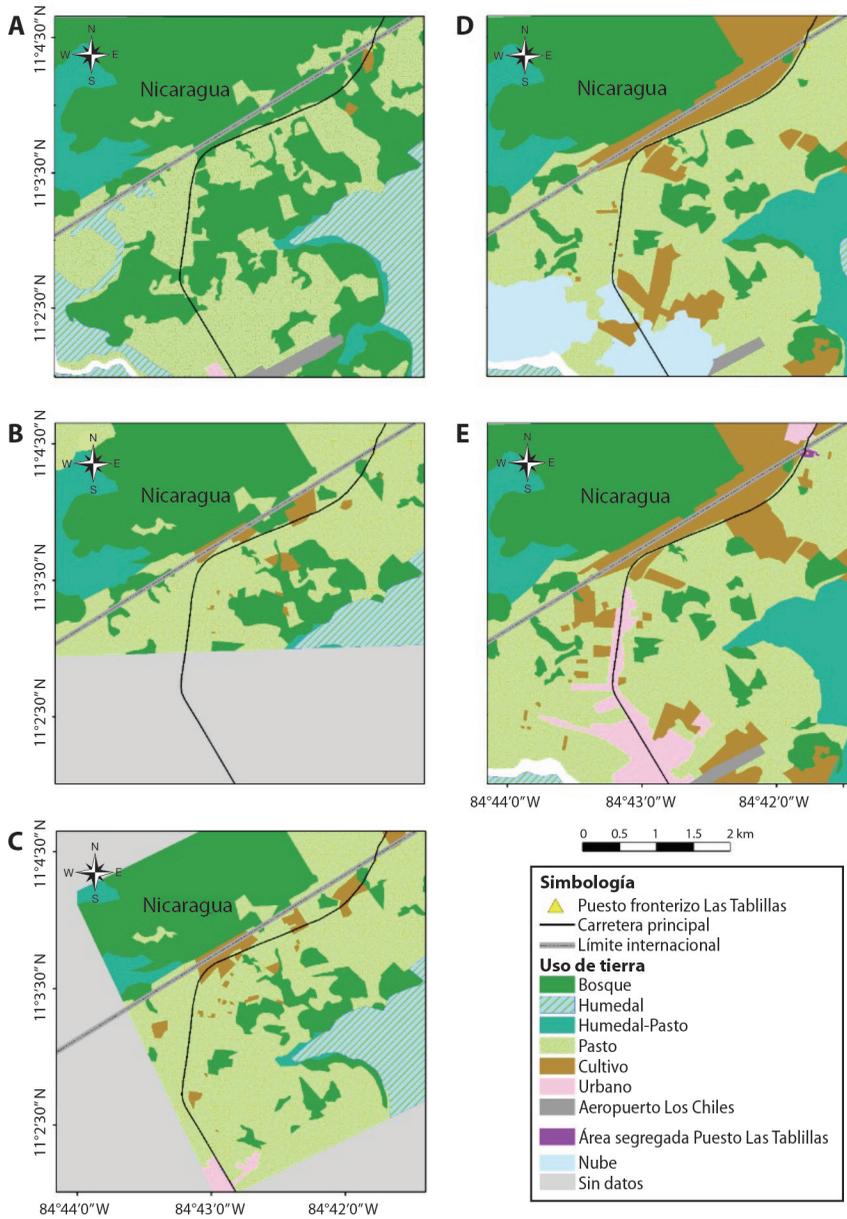


Fig. 3. Análisis temporal del cambio del uso de suelo en el sitio de impacto. Se marca el camino desde Los Chiles hasta el Puesto Fronterizo Las Tablillas y la línea fronteriza A) Año 1961. B) Año 1987. C) Año 1994. D) Año 2008. E) Año 2020. Nótese incremento de actividad agrícola y la cobertura urbana proveniente de Los Chiles que entra al área del RNVSCFN. / **Fig. 3.** Temporal analysis of land use change at the impact site. We mark the road from Los Chiles to the Las Tablillas Border Post and the border line A) Year 1961. B) Year 1987. C) Year 1994. D) Year 2008. E) Year 2020. Note the increase in agricultural activity and the urban sprawl from Los Chiles that enters the RNVSCFN area.

de ellas en termino de cuatro componentes: 1) extensión de cobertura boscosa, 2) conectividad a masas boscosas mayores, 3) Presencia de cuerpos de agua y 4) Tenencia de tierra. Dos propiedades obtuvieron la máxima calificación de 4 pts (Tabla A6, Apéndice I):

Finca N° 272045, “Tiricias”, con el plano catastro A-0091068-1993, con una extensión de 129 hectáreas, ubicada en las coordenadas 10°55’33.3” N 84°21’43.2” O a 2 km lineales del poblado de Tiricias, distrito de Pocosol (punto 12 de la Tabla A6, Apéndice I).

Finca N° 286653, “Chorreras”, con el plano catastro A-1528574-2011 con una extensión de 120 hectáreas, ubicada en las coordenadas 10°52’30.8” N 84°15’31.5” O a 3 km del poblado de Chorreras, en el distrito de Cutris (punto 16 de la Tabla A6, Apéndice I).

Estas dos propiedades fueron analizadas más profundamente para determinar su potencial para resarcir las pérdidas de biodiversidad y atributos geológicos que supondría la segregación del terreno en Las Tablillas, evaluando

además que mantuvieran coberturas y condiciones compatibles con la categoría de manejo del RNVSCFN.

3.4 Caracterización física de sitios de estudio

Sitio de segregación. Las Tablillas está conformada por una unidad geológica compuesta de depósitos sedimentarios aluviales del Cuaternario intercalados con depósitos volcánicos cuyos materiales conforman pendientes planas, con suelos Ultisoles de textura arcillosa de carácter ácido (Fig. 4). No existen riesgos geológicos eminentes, aunque hay riesgo de inundación por anegamiento hacia el sureste, en la zona pantanosa del río Medio Queso. El área es drenada por una subcuenca que forma el río Medio Queso, que no presenta flujo permanente de agua, es un sistema fluvial bastante intervenido por actividades antropogénicas y presenta una cobertura boscosa sumamente deficiente. El análisis SEV permitió identificar presencia de agua subterránea por debajo del

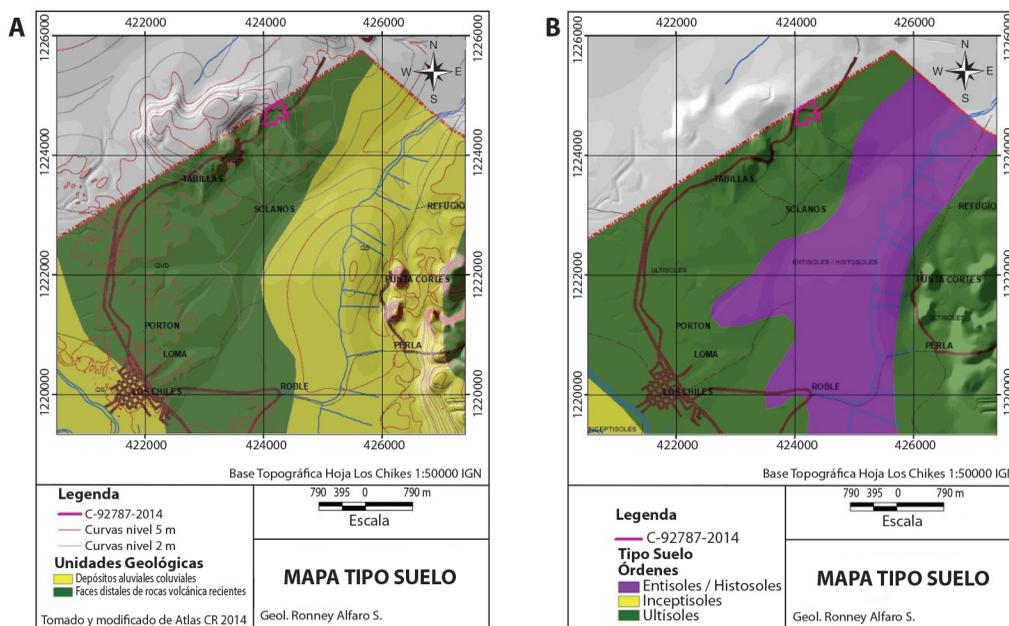


Fig. 4. A) Mapa Geológico de la región Las Tablillas, Los Chiles, Alajuela. B) Mapa tipo de suelo, región Las Tablillas, Los Chiles, Alajuela. / **Fig. 4.** A) Geological map of the Las Tablillas, Los Chiles, Alajuela region. B) Soil type map, Las Tablillas region, Los Chiles, Alajuela.



sitio Las Tablillas, con niveles freáticos entre los 9 a 10 m de profundidad y espesores saturados entre los 7 a 12 m (Tabla A1, Apéndice II).

Propiedad Tiricias. A nivel regional afloran materiales geológicos de origen volcánico del Mioceno, destacándose la Formación Machuca, Piroclastos Avispas, Riolitas Crucitas, Andesitas Chamorro y Basaltos Hito Sar (Gazel et al., 2005). Los Basaltos Hito Sar cubren en su totalidad la propiedad analizada y se presenta cubierta por un suelo de coloración rojizo amarillento de aproximadamente 1–2 m de espesor (Fig. 5). Por debajo de los 2 m, es común encontrar las rocas meteorizadas como se describen en Tabla A1, Apéndice II. Además, en la región predominan zonas planas con elevaciones entre los 50 – 100m, aunque destaca un cerro aislado dentro de la propiedad (Tabla A1, Apéndice II) el cual es drenado por la quebrada Sin Nombre, que es afluente del río

Infiernillo. Los resultados obtenidos del SEV indican presencia de agua subterránea a una profundidad de 3.93 m.b.n.s y con un espesor húmedo de 10.86 m. Por lo tanto, la propiedad, presenta un potencial hidrogeológico importante que puede actuar como generador de descargas de aguas como manantiales.

Propiedad Chorreras. En la región de Chorreras afloran materiales de origen volcánico del Mioceno, destacándose las siguientes unidades: Formación Machuca, Riolitas Crucitas, Basaltos Hito Sar, Basaltos Jardín, Piroclastos Avispas (Gazel et al., 2005). Un 60 % de la superficie de la propiedad se asienta sobre piroclastos de la unidad Avispas, y el otro 40 % corresponde a basaltos de la unidad Jardín (Fig. 5). La zona posee topografía irregular originada por las distintas rocas volcánicas intragabenas y una avanzada erosión-meteorización por parte de los procesos hídricos que

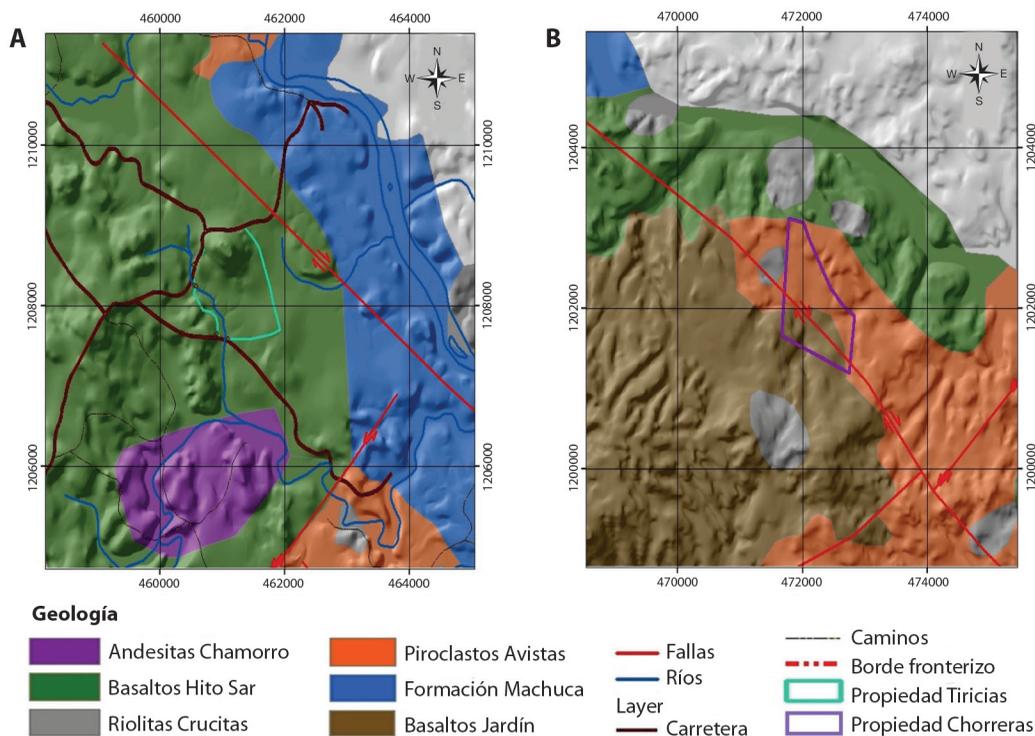


Fig. 5. A) Mapa Geológico de la región Tiricias. B) Mapa Geológico de la región Chorreras. / **Fig. 5.** A) Geological map of the Tiricias region. B) Geological map of the Chorreras region.

han actuado a través de los años. Presentan pendientes diversas, más pronunciadas cerca de los cauces y sitios planos en las zonas bajas. El cauce principal de la quebrada Chorrera atraviesa la propiedad y forma un valle pronunciado, por lo que la zona posee bajo potencial de inundación. Nuestro análisis SEV no indica evidencia de agua subterránea en estos sectores de la finca, por lo que la propiedad no presenta un potencial hidrogeológico importante, sin descartar la presencia de acuitardos o acuíferos colgados que generan descargas de aguas como manantiales intermitentes en los contactos geológicos. Riesgos geológicos, usos del suelo y otros detalles del ambiente físico de estos sitios se presentan en la Tabla A1, Apéndice II.

3.8 Caracterización de la estructura de hábitat y composición vegetal en sitios de estudio

Estructura de hábitat. El charral-tacotal en el sitio segregado en Las Tablillas es abierto y posee poca estructura arbórea (Fig. 2). En general, las parcelas en ese sector mostraron una menor cobertura de dosel y mayor profundidad de mantillo debido a la prevalencia de pastos, difiriendo significativamente de los otros sitios (Tabla A2, Apéndice II, cobertura: $F_{3,81}=157.46$, $p < 0.001$; hojarasca: $F_{3,81}=20.98$, $p < 0.001$). Existe una mayor proporción de hierbas que en los sitios boscosos

estudiados ($\chi^2 = 38.80$, $gl = 9$, $p < 0.001$). Las especies dominantes fueron árboles solitarios de guanacastillo (*Enterolobium schomburgkii* Benth.), maría o lengua de vaca (*Miconia argentea* (Sw) DC.) y madero negro (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.). Estos son residentes longevos del paisaje alterado de la zona.

En contraste, los fragmentos de bosque en Las Tablillas, así como en los dos sitios de potencial compensación denotaron una mayor estructura (Tabla A2, Apéndice II). La estimación para la biomasa de árboles dominantes y no dominantes en Chorreras es ligeramente mayor que para los fragmentos de bosque en Las Tablillas y Tiricias (Fig. 6). No obstante, no hay diferencia en las proporciones de árboles, arbustos, bejucos y hierbas entre los fragmentos boscosos en Las Tablillas y los dos sitios potenciales de compensación ($\chi^2 = 5.75$, $gl = 6$, $p = 0.45$).

En el área charral-tacotal del sitio de segregación plántulas de solo cuatro especies leñosas fueron observadas, lo que indica muy bajo reclutamiento. En contraste, el reclutamiento en las coberturas boscosas en Las Tablillas fue alto: plántulas de 51 especies de árboles (un 59 % de las especies observadas) fueron registradas. De igual forma, Tiricias y Chorreras mostraron alto reclutamiento de especies leñosas, con 68 y 87 especies, respectivamente (Tabla A2, Apéndice II). Los tres sitios boscosos no mostraron diferencias en la proporción

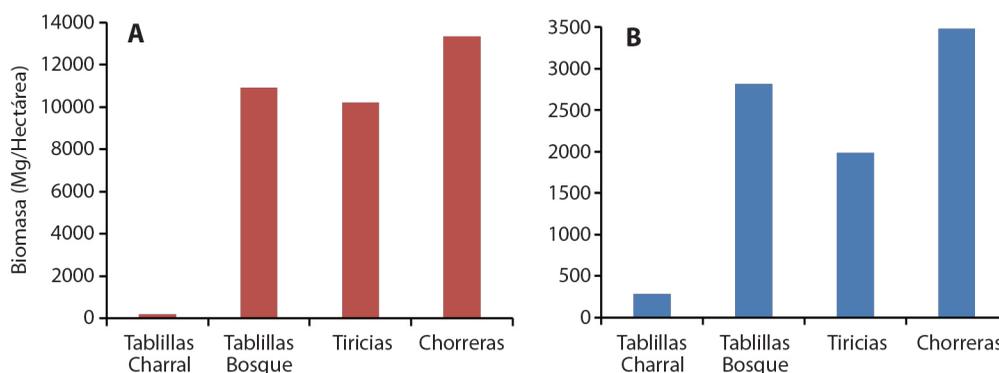


Fig. 6. Biomasa estimada de árboles por hectárea. A) Biomasa de árboles dominantes del dosel (DAP>40cm). B) Biomasa de leñosas no dominantes (DAP < 40 cm). / **Fig. 6.** Estimated biomass of trees per hectare A) Biomass of dominant trees in the canopy (DBH>40cm). B) Non-dominant woody biomass (DBH < 40 cm).

de especies con plántulas (Fig. 7B, $\chi^2 = 4.48$, $gl = 2$, $p = 0.106$). No obstante, la proporción de parcelas con evidencia de reclutamiento sí difiere entre sitios, donde Chorreras muestra la mayor proporción (Fig. 7A, $\chi^2 = 14.59$, $gl = 2$, $p < 0.001$), demostrando que este sitio tiene mejor capacidad para el reclutamiento de especies leñosas.

De igual manera, la proporción de troncos difiere entre los sitios boscosos ($\chi^2 = 45.22$, $gl = 3$, $p < 0.001$), Las Tablillas y Tiricias registraron la mayor proporción. Además, Tiricias reporta la mayor proporción de parcelas con troncos caídos registrados entre las localidades, determinado por el impacto del huracán Otto en noviembre del 2016.

Diversidad y composición de flora. En el charral-tacotal del sitio de segregación se registró 61 especies de plantas en 16 parcelas, correspondiente a 28 familias y 57 géneros de plantas vasculares (Tabla A3, Apéndice II). Las especies leñosas encontradas son pioneras típicas de estados de sucesión tempranos como el jobo (*Spondias mombin* L.), el poró-poró (*Cochlospermum vitifolium* (Willd.) Spreng.), el capulín (*Trema micrantha* (L.) Blume) y el guarumo (*Cecropia peltata* L.). De las hierbas como la navajuela (*Scleria microcarpa* Nees ex Kunth), la dormilona (*Mimosa pudica* L.), la escobilla (*Sida hirsutissima* Mill.) y los pastos

exóticos jaragua (*Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf), guinea (*Megathyrsus maximus* (Jacq.) B. K. Simon & Jacobs) y zacatillo (*Arthraxon hispidus* (Thunb.) Makino) dominan el paisaje. La mayoría de las especies no poseen un estado de conservación determinado y solo 26 de ellas están categorizadas, todas en preocupación menor (Tabla A3, Apéndice II).

En contraste, los fragmentos de bosque en Las Tablillas registraron 164 especies de plantas en 18 parcelas, las cuales representan a 138 géneros en 64 familias (Fig. 8). Veintiséis de las especies registradas tuvieron individuos con DAP > 40 cm, entre ellas: peine de mico (*Apeiba membranacea* Spruce ex Benth.), cañafistula (*Cassia moschata* Kunth), aguacatillo (*Cinnamomum triplinerve* (Ruiz & Pav.) Kosterm.), pilón (*Hieronyma alchorneoides* Allemão), costilla de danto (*Swartzia nicaraguensis* (Britton & Rose) Standl.) y amarillón (*Terminalia amazonia* (J. F. Gmel.) Exell).

Entre las herbáceas registradas en los fragmentos boscosos se encuentran el zainillo (*Dieffenbachia oerstedii* Schott), caña agria (*Costus laevis* Ruiz & Pav), heliconia (*Heliconia longiflora* R. R. Sm.), y platanillos (*Pleiochachya pruinosa* (Regel) K. Schum., *Calathea* sp.). Estas especies denotan que los sitios donde han quedado estos remanentes forestales son más húmedos que el entorno drenado que los rodea. De las especies observadas aquí, un total

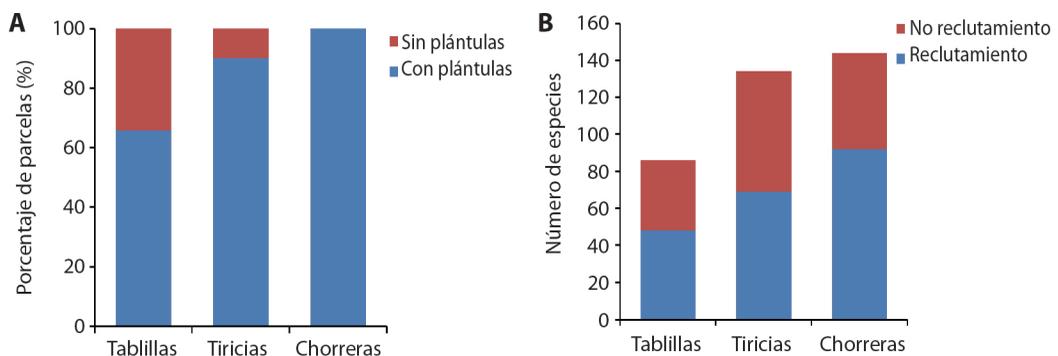


Fig. 7. Reclutamiento de especies arbóreas en sitios boscosos de interés (Tablillas se refiere únicamente a los fragmentos boscosos aledaños del Puesto Fronterizo). A) Porcentaje de parcelas muestreadas con evidencia de reclutamiento (plántulas). B) Número de especies arbóreas cuyas plántulas fueron encontradas en los muestreos. / **Fig. 7.** Recruitment of tree species in forest sites of interest (Tablillas refers only to the forest fragments surrounding the Border Post). A) Percentage of sampled plots with evidence of recruitment (seedlings). B) Number of tree species whose seedlings were found in the samplings.

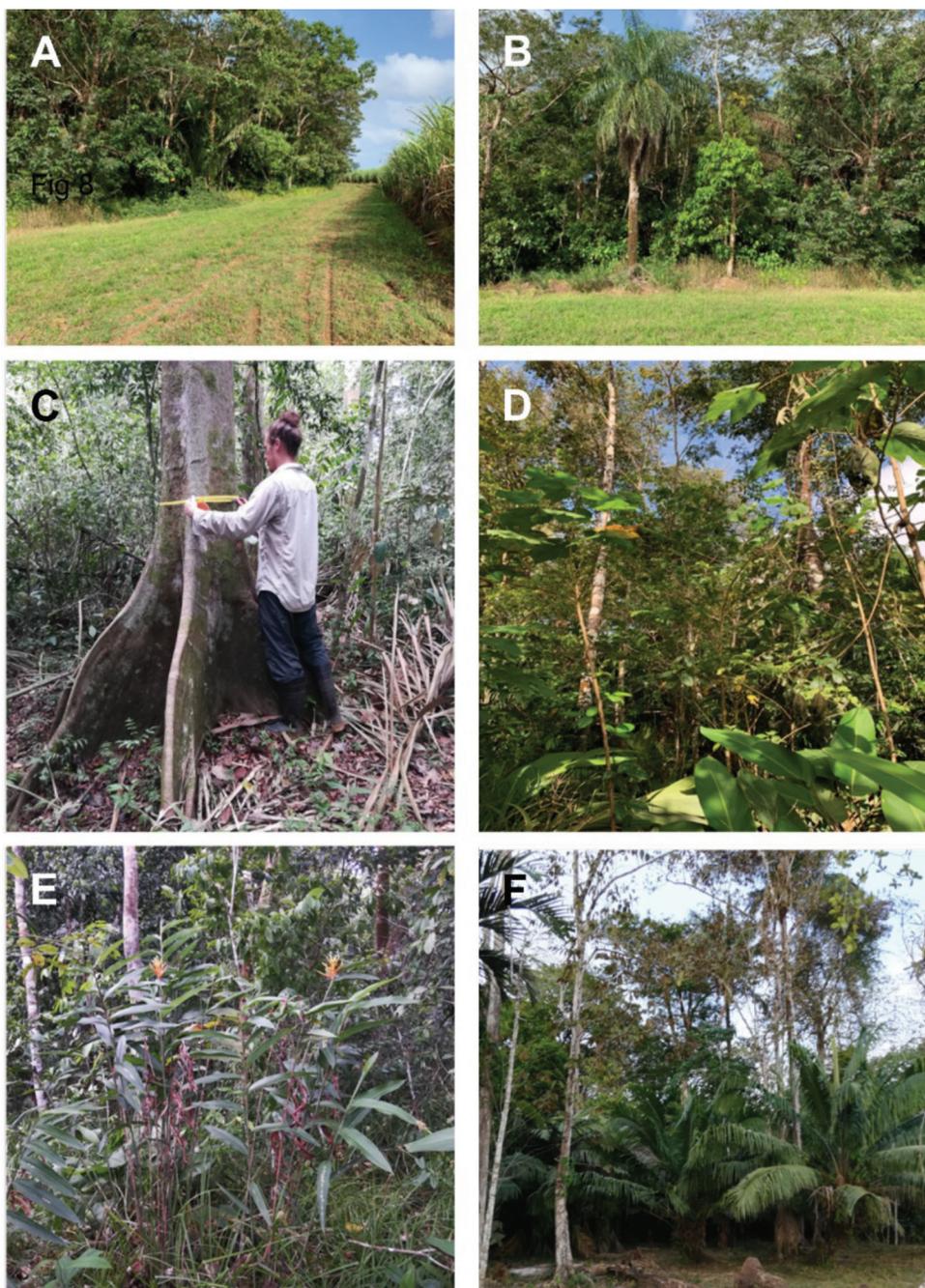


Fig. 8. Cobertura de vegetación en los fragmentos boscosos aledaños a Las Tablillas. Nombres de fragmentos como en Tabla 1. A y B) Sitio 2. C y D) Sitio 3. D y F) Sitio 4. / **Fig. 8.** Vegetation cover in the forest fragments close to Las Tablillas. Fragment names as in Table 1. A and B) Site 2. C and D) Site 3. D and F) Site 4.



de 99 tienen información sobre su situación de amenaza en las listas de la UICN, la mayoría de ellas en categoría de preocupación menor (Tabla A3, Apéndice II). Sin embargo, se reconocen especies vulnerables como *Inga canone-grensis* N. Zamora & T. D. Penn. y la herbácea *Ruellia terminalis* (Nees) Wassh, especies en peligro como el cocobolo (*Dalbergia melanocardium* Pittier) y especies vedadas por la legislación costarricense como el roble o cortez amarillo (*Handroanthus guayacan* (Seem.) S. O. Grose). Por otro lado, la correspondencia entre especies leñosas entre el ambiente de charral-tacotal y los fragmentos boscosos en Las Tablillas fue del 24 %, mientras que para especies herbáceas la correspondencia fue tan solo del 10%.

La riqueza de especies fue mayor en las propiedades de potencial compensación. La propiedad en Tiricias registró un total de 252 especies, representadas en 67 familias y 172 géneros (Apéndice II). Un total de 23 especies mostraron ser árboles dominantes en el dosel, entre ellas el peine de mico (*A. membranacea*), ajillo (*Balizia elegans* (Ducke) Barneby & J.W.Grimes), caobilla (*Carapa nicaraguensis* C.DC.), yema de huevo (*Chimarrhis latifolia* Standl.), almendro de montaña (*Dipteryx panamensis* (Pittier) Record & Mell), olla de mono (*Lecythis ampla* Miers), y manteco (*Tapirira guianensis* Aubl.). En el sotobosque prevalecen arbustos como varilla negra (*Acalypha diversifolia* Jacq.), coralillo (*Chrysochlamys glauca* (Oerst. ex Planch. & Triana) Hemsl.), frutilla (*Miconia* spp.), y varias especies de cordoncillos del género *Piper*. Hacia el noroeste de la propiedad hay un proceso de regeneración, donde se distribuyen gran cantidad de herbáceas, como pega-pega (*Desmodium adscendens* (Sw.) DC.), caña agria (*Costus* spp.), platanillas (*Heliconia* spp.) y bijaguas (*Calathea* sp.).

Del total de especies en este sitio, hay 130 especies registradas en las listas de la UICN, donde un 90% de estas consideradas de preocupación menor (Tabla A3, Apéndice II). Sin embargo, especies como Anonillo (*Magnolia gloriensis* (Pittier) Govaerts), cocobolo (*Dalbergia melanocardium*) y guabo de

charco (*Terminalia bucidoides* Stand. & L.O. Williams), aparecen como amenazadas en listados nacionales (Quesada-Monge, 2004). Otras especies como mastate (*Hernandia didymantha* Donn.Sm.), *Leucaena multicapitula* Schery, cuajada negra (*M. guianensis*) y copal (*Protium panamense* (Rose) I.M. Johnst.) se registran como amenazados. También se encuentran especies en peligro de extinción como olla de mono (*L. ampla*), areno (*Qualea* sp.) y campano (*Vantanea barbourii* Standl.). Entre las especies vulnerables se encuentra el aguacatillo (*Cinnamomum chavarrianum* (Hammel) Kosterm.). De la lista de especies vedadas de Costa Rica se encuentran almendro de montaña (*D. panamensis*) y tostado (*Tachigali costaricensis* (N. Zamora & Poveda) N. Zamora & van der Werff). Específicamente la especie yuquilla (*Zamia neurophyllidia* D.W.Stev.) llama la atención por pertenecer a un grupo de plantas con alto valor comercial por lo cual sufre de tráfico.

La propiedad en Chorreras registró un total de 242 especies que abarcan 73 familias y 175 géneros (Apéndice II). De estas, 35 especies de árboles resultaron dominantes, entre las que se encuentran ceiba (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.), espavel colorado (*Cespedesia spathulata* (Ruiz & Pav.) Planch.), laurel de bosque (*Cordia megalantha* S.F.Blake), fosoforillo (*Dendropanax arboreus* (L.) Decne. & Planch.), tamarindo de montaña (*D. guianense*), almendro de montaña (*Dypterix panamensis*), olla de mono (*L. ampla*), níspero chicle (*Manilkara zapota* (L.) P. Royen), cuajada negra (*M. guianensis*), bogamaní (*Otoba novogranatensis* Moldenke), gavilán (*Pentaclethra macroloba*), sapotillo (*Pouteria durlandii* (Standl.) Baehni), cedro caracolito (*Ruptiliocarpon caracolito* Hammel & N. Zamora), tostado (*T. costaricensis*), *Tetragastris panamensis* (Engl.) Kuntze, campano (*V. barbourii*), botarrama blanco (*V. allenii*) y yayo (*Xylopia sericophylla* Standl. & L.O. Williams). Hay una notable menor densidad de herbáceas si se compara con Tiricias (Apéndice II), aunque se pueden observar hoja de lapa (*Cyclanthus bipartitus* Poit. ex A.Rich.), zahinillo (*Dieffenbachia grayumiana* Croat), heliconias

(*Heliconia* spp.), caña agrias (*Costus* spp.), lino (*Crinum erubescens* L.f. ex Aiton) y cara de mula (*Philodendron* spp.).

Un total de 121 especies registran información sobre su estatus de conservación, de las cuales 104 bajo la categoría de preocupación menor de la UICN. Entre las especies casi amenazadas de Chorreras se encuentran mastate (*H. didymantha*), cuajada negra (*M. guianensis*) y copal (*P. panamense*). Ejemplos de especies vulnerables son chicle (*Pouteria calistophylla* (Standl.) Baehni) y alcantarillo (*Spachea correare* Cuatrec. & Croat). Para la legislación costarricense, el frijolón (*Dussia macrophyllata* (Donn.Sm.) Harms), olla de mono (*L. ampla*), areno (*Qualea* sp.) y campano (*V. barbourii*) están amenazados; mientras que el almendro de montaña (*D. panamensis*), el tostao (*T. costaricensis*) y el ciprecillo (*Podocarpus guatemalensis* Standl.) son especies vedadas. Las herbáceas *Z. neurophyllidia* y la orquídea *Prescottia stachyodes* (Sw.) Lindl. están en la lista CITES II al pertenecer a grupos comercializados y con intenso tráfico internacional.

Tiricias y Chorreras comparten un 54 % de las especies leñosas observadas y un 58 % de las especies herbáceas. Por otro lado, los muestreos revelan notables diferencias en la composición de especies de plantas entre las coberturas boscosas de Las Tablillas y las dos propiedades potenciales de compensación, compartiendo el 20 y 22 % de las especies leñosas con Chorreras y Tiricias, respectivamente.

Las diferencias en la riqueza y diversidad de plantas se mantienen aun cuando se corrige por las diferencias en el número de parcelas empleadas en cada sitio. En Las Tablillas, la riqueza esperada para el sitio de segregación y los fragmentos de bosque adyacentes es de 12 y 69 especies leñosas respectivamente, mientras que para Tiricias y Chorreras los estimados son 84 y 113 especies, respectivamente (Fig. 9). Para los tres sitios con cobertura forestal, las pendientes de las curvas de riqueza y diversidad de plantas leñosas sugieren que no se alcanzó la riqueza esperada y se espera que más especies sean encontradas con aumento del

muestreo (Fig. 9). Para el sitio de segregación en cambio, no se espera un aumento en los estimados de diversidad de leñosas para ese sitio. Este patrón es el mismo al comparar los estimados de riqueza y diversidad de especies herbáceas entre sitios (Fig. 10).

3.9 Caracterización de la fauna en el sitio de segregación y las propiedades de potencial compensación

Diversidad de avifauna. El uso de aves como parámetro para fundamentar la propuesta de sitios prioritarios para la compensación ambiental destaca su diversidad, movilidad e interacciones con especies de plantas. Estos atributos ecológicos hacen de las aves un taxón

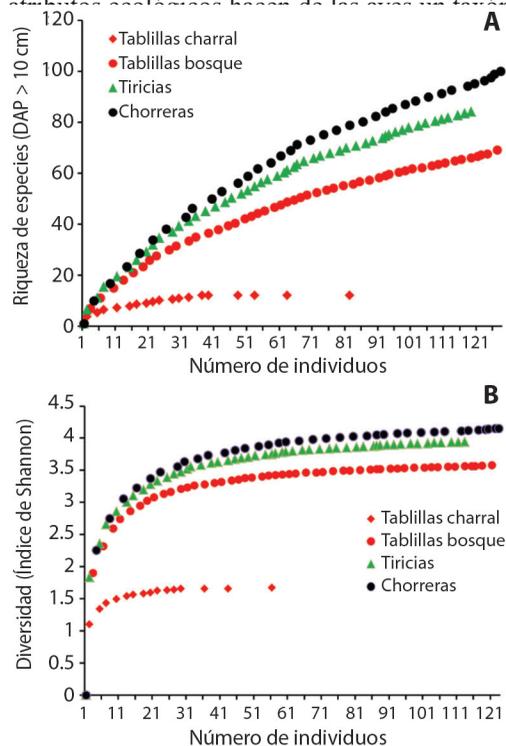


Fig. 9. Curvas de rarefacción por muestreo de individuos para especies leñosas en el sitio de impacto (Tablillas charral) y zonas aledañas (Tablillas bosque) y los potenciales sitios de compensación (Tiricias y Chorreras). A) Curva para riqueza de especies. B) Índice de diversidad de Shannon (H). / **Fig. 9.** Rarefaction curves by sampling of individuals for woody species at the impact site (Tablillas charral) and surrounding areas (Tablillas bosque) and the potential compensation sites (Tiricias and Chorreras). A) Curve for species richness. B) Shannon diversity index (H).

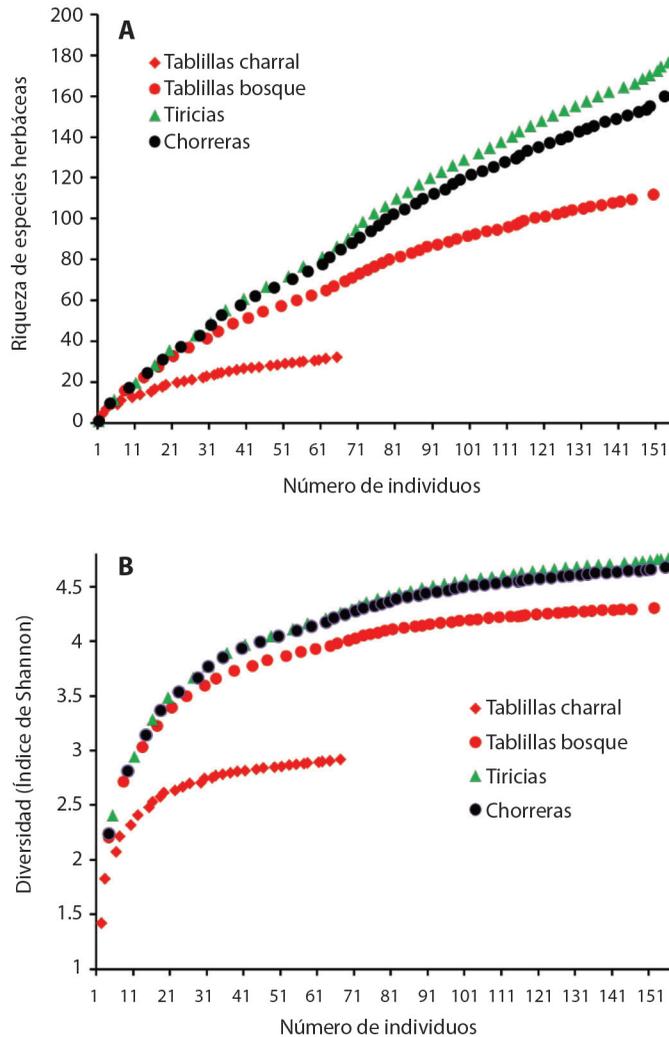


Fig. 10. Curvas de rarefacción por muestreo de individuos para especies herbáceas en el sitio de impacto (Tablillas charral y Tablillas bosque) y los potenciales sitios de compensación (Tiricias y Chorreras). A) Curva para riquezas de especies. B) Índice de diversidad de Shannon (H). / **Fig. 10.** Rarefaction curves by sampling of individuals for herbaceous species at the impact site (Tablillas charral and Tablillas bosque) and the potential compensation sites (Tiricias and Chorreras). A) Curve for species richness. B) Shannon diversity index (H).

fundamental debido a los procesos de polinización y dispersión de semillas, muy relevante para la sucesión natural de áreas alteradas. Para este componente se analizó la riqueza y composición de especies de avifauna en el sitio de segregación en Las Tablillas, así como en los sitios potenciales de compensación en Tiricias y Chorreras. Al sur de este último, en la localidad conocida como Carmen, también se realizaron muestreos.

En Las Tablillas se encontraron un total de 21 especies de aves, mientras que para las coberturas boscosas en los sitios potenciales de compensación se encontraron 142 (Tabla A4, Apéndice II). Las especies más conspicuas en Las Tablilla son típicas de zonas abiertas, tales como el pecho amarillo *Myiarchus tyrannulus* (Statius Muller, 1776), el semillero *Sporophila moreletii* (Bonaparte, 1850), el gavián pollero *Rupornis magnirostris* (Gmelin, 1788) y la

golondrina *Tachycineta albilinea* (Lawrence, 1863). También se encontraron especies asociadas a coberturas intervenidas, como la viudita *Thraupis episcopus* (Linnaeus, 1766) y el cucarachero *Troglodytes aedon* (Vieillot, 1809). Asimismo, varias de las especies observadas son comunes en ambientes de humedales, como la reinita de manglar *Setophaga petechia* (Linnaeus, 1766), la garza verde *Butorides virescens* (Linnaeus, 1758), la garza nívea *Egretta thula* (Molina, 1782) y la garza azul *Ardea herodias* (Linnaeus, 1758); posiblemente debido a la cercanía del río Medio Queso y sus humedales. Finalmente, también se registraron aves migratorias que emplean el lugar como zona de paso, como los zopilotes *Cathartes burrovianus* (Cassin, 1845) y *Cathartes aura* (Linnaeus, 1758) (Fig. 11). La mayoría de esas especies se consideran como preocupación menor en las listas de la UICN.

En contraste, la composición de especies asociadas de manera más dependiente a ambientes boscosos fue mayor para el sitio Chorreras, seguido por Tiricias y Carmen (Tabla 2). Estos tres sitios muestran diferencias en la riqueza estimada aun empleando rarefacción, con un mayor número de especies esperadas en el sitio Tiricias y Chorreras relativo al sitio Carmen (57, 55 y 50 especies, respectivamente). Los sitios Chorreras, Tiricias y Carmen están embebidos en un paisaje fragmentado, pero con una cobertura de bosque significativa (entre un 66 y 98 % en los sitios analizados). Además, una mayor riqueza de especies de aves está asociada

a una mayor cantidad de bosque remanente. Basados en esta evaluación, y ponderando los parámetros de proporción de bosque, conectividad y proximidad al RNVSCFN, así como la riqueza y composición de especies con relación a los ambientes y hábitats presentes, se sugiere Chorreras como el sitio más idóneo para la compensación ambiental.

Diversidad de herpetofauna. A pesar de los esfuerzos de búsqueda, sólo 16 individuos, representando 5 especies de anfibios fueron encontrados en el sitio de segregación en Las Tablillas: el sapo común *Rhinella horribilis* (Wiegmann, 1833), las ranas arborícolas *Dendropsophus microcephalus* (Cope, 1886), *Scinax staufferi* (Cope, 1865) y *Agalychnis callidryas* (Cope, 1862), y la rana de potrero *Leptodactylus melanonotus* (Hallowell, 1861) (Fig. 12). Por su parte, solo tres especies de lagartijas representaron los reptiles de este lugar: *Anolis limifrons* (Cope, 1862), *Gonatotodes albogularis* (Duméril & Bibron, 1836) y *Hemidactylus frenatus* (Duméril & Bibron, 1836) (Fig. 13), siendo esta última una especie introducida de Asia y muy asociada a edificaciones humanas. Esta pobre diversidad refleja el grado de alteración del ambiente en el sitio. En los fragmentos boscosos adyacentes se encontraron 16 especies de anfibios y 9 de reptiles (Tabla A5, Apéndice II), entre ellas: las ranas de hojarasca *Craugastor fitzingeri* (Schmidt, 1857), la rana ternero *Leptodactylus savagei* (Heyer, 2005), las lagartijas *Anolis*

TABLA 2

Porcentajes de especies de aves (cantidad en paréntesis) registradas en 6 tipos de ambientes/hábitats en los cuales fueron mayoritariamente registradas. El hábitat “Bosque” incluye crecimiento secundario, bosque maduro y ripario. El ambiente “Arbolado” incluye arboles cercanos entre sí, pero sin sotobosque. El ambiente “Potrero” incluye pastizales para ganado, charrales y arboles dispersos. / **Table 2.** Percentages of species of birds (number in parentheses) recorded in 6 types of environments/habitats in which they were mostly recorded. “Bosque” habitat includes secondary growth, mature forest, and riparian. The “Arbolado” environment includes trees close to each other, but without undergrowth. The “Potrero” environment includes pastures for cattle, scrubs and scattered trees.

Localidad	Abierto/ Arbolado	Arbolado/ Jardines	Bosque	Bosque/ Arbolado	Humedal	Potrero/ Jardines
Tablillas	14% (3)	19% (4)	0%	19% (4)	43% (9)	5% (1)
Tiricias	14% (11)	25% (20)	20% (16)	24% (19)	6% (5)	11% (9)
Chorreras	6% (4)	20% (12)	33% (20)	36% (22)	3% (2)	2% (1)
Carmen	14% (7)	38% (19)	6% (3)	24% (12)	4% (2)	14% (7)

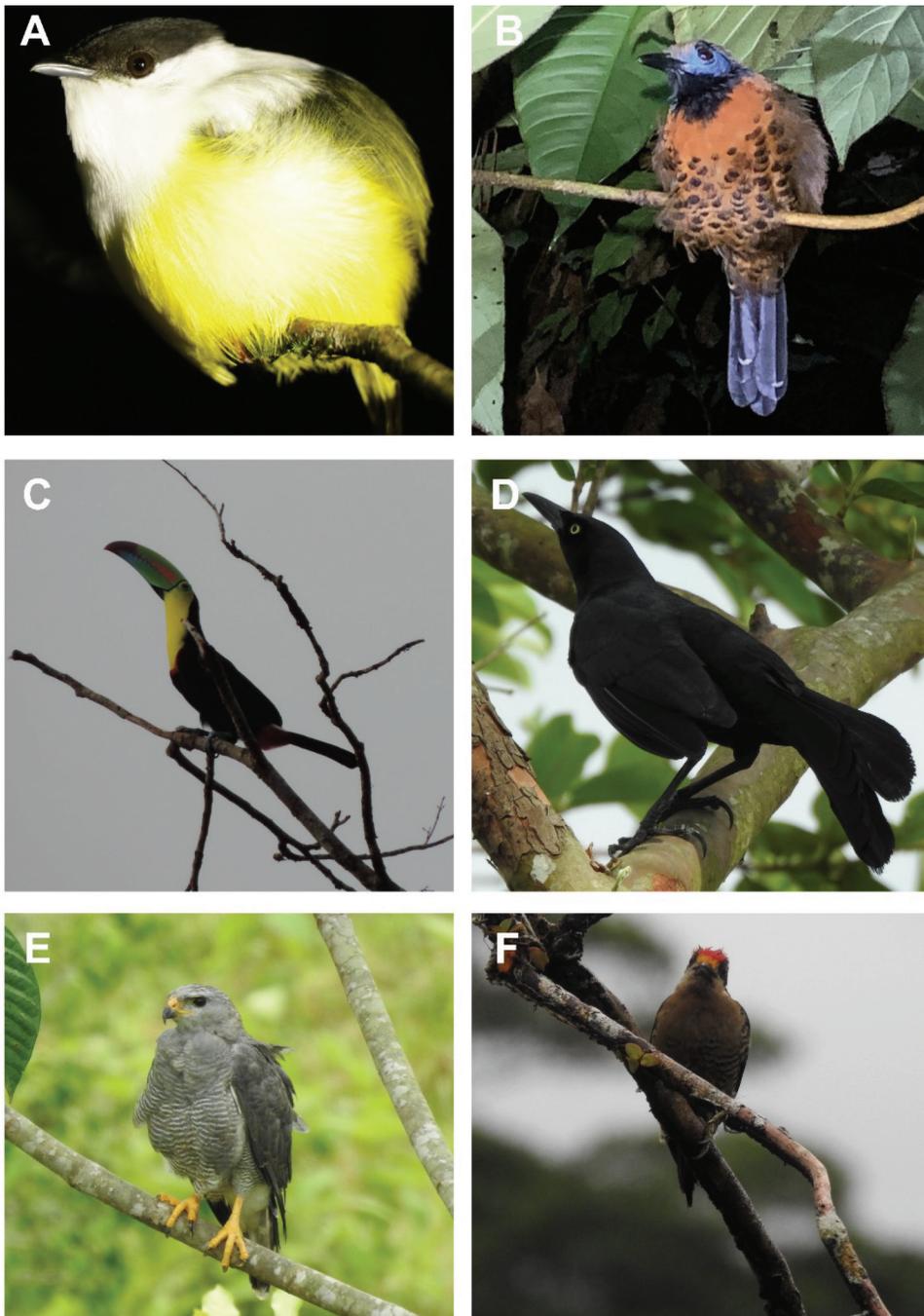


Fig. 11. Ejemplos de especies encontradas en los muestreos de aves y el ambiente más frecuente en el que fue registrada. A) *Manacus candei* (Bosque) B) *Phaenostictus mcleannani* (Bosque) C) Tucán, *Ramphatos sulfuratus* (Bosque/Arbolado) D) *Quiscalus mexicanus* (Abierto/Arbolado) E) *Buteo plagiatus* (Abierto/Arbolado) F) *Melanerpes pucherani* (Arbolado/Jardines). / **Fig. 11.** Examples of species found in bird samples and the most frequent environment in which they were recorded. A) *Manacus candei* (Forest) B) *Phaenostictus mcleannani* (Forest) C) Toucan, *Ramphatos sulfuratus* (Forest/Woodland) D) *Quiscalus mexicanus* (Open/Woodland) E) *Buteo plagiatus* (Open/Woodland) F) *Melanerpes pucherani* (Woodland/ Gardens).

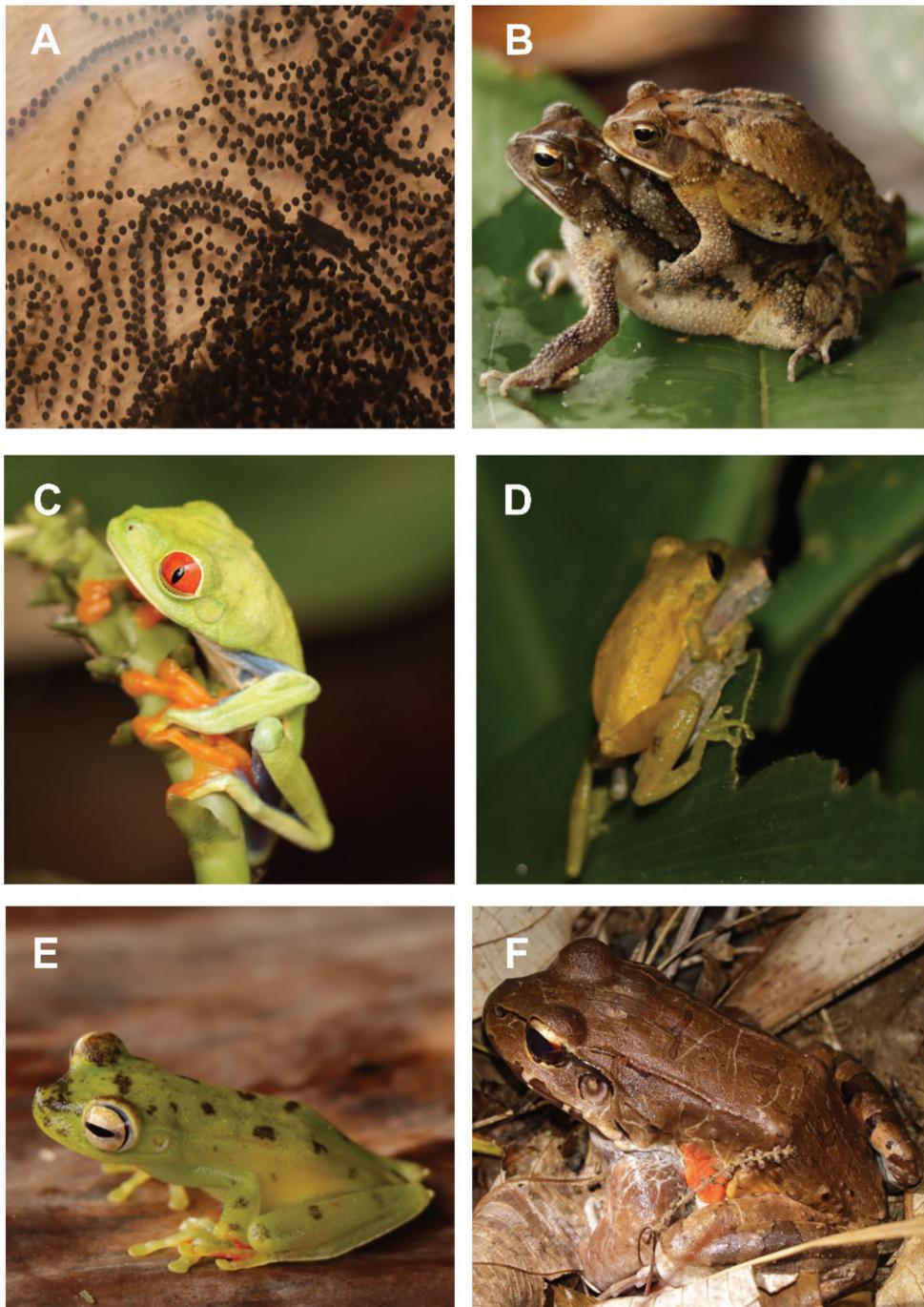


Fig. 12. Ejemplos de especies encontradas en los muestreos de anfibios. A) Tiras de huevos de *Incilius valliceps*. B) *I. valliceps* en amplexo reproductivo. C) Rana arborícola o calzonuda *Agalychnis callidryas*. D) Rana arborícola *Scinax elaeochroa* en amplexo. E) Rana arborícola de pantano *Hypsiboas rufitelus*. F) Rana ternera o come pollos *Leptodactylus savagei*. / **Fig. 12.** Examples of species found in amphibian samples. A) Strips of *Incilius valliceps* eggs. B) *I. valliceps* in reproductive amplexus. C) Red-eye tree frog *Agalychnis callidryas*. D) Olive snouted treefrog *Scinax elaeochroa* in amplexus. E) Canal Zone treefrog *Hypsiboas rufitelus*. F) Savage's thin-toed frog *Leptodactylus savagei*.



humilis (Peters, 1863) y *A. limifrons*, y las serpientes terciopelo *Bothrops asper* (Garman, 1884) y coral *Micrurus alleni* (Schmidt, 1936).

En contraste, los sitios potenciales para compensación mostraron una mayor diversidad (Fig. 14; Tabla A5, Apéndice II). En Tiricias, se cuantificaron 19 especies de anfibios y 15 de reptiles, mientras que en Chorreras las cifras fueron 18 y 18, respectivamente (Tabla A5, Apéndice II). Aquí la rana calzonuda *A. callidryas*, la rana de árbol *Hypsiboas rufitelus* (Fouquette, 1961), la rana venenosa *Oophaga pumilio* (Schmidt, 1857), las ranas de hojarasca *Craugastor bransfordii* (Cope, 1886) y *C. fitzingeri* así como la rana ternera *L. savagei* y la rana de monte *Lithobates warszewitschii* (Schmidt, 1857) se cuentan entre los anfibios más abundantes (Fig. 12), mientras que las lagartijas *A. humilis*, *A. limifrons*, el gecko *G. albogularis* y las serpientes *B. asper*, *Bothriechis schlegelii* (Berthold, 1846) y *Chironius grandisquamis* (Peters, 1869) fueron los reptiles más conspicuos (Fig. 13).

Los ambientes en Las Tablillas comparten un 62 % y 44 % de sus especies con Tiricias y Chorreras, respectivamente, mientras que Tiricias y Chorreras comparten el 78 % de las especies observadas. Los esfuerzos de búsqueda durante los muestreos variaron entre los distintos sitios, por lo que se empleó rarefacción para comparar las curvas de acumulación de especies entre los sitios de estudio (Fig. 14). Estas curvas muestran que, a pesar de no alcanzarse el total de especies en cada sitio, en Las Tablillas se espera una menor diversidad y riqueza que la presente en las propiedades en Tiricias y Chorreras.

Excepto por el guajipal *Caiman crocodylus* y la rana de monte *Lithobates warszewitschii* encontrados en uno de los fragmentos de bosque cercano al sitio de segregación, el resto de las especies encontradas en los muestreos en Las Tablillas corresponden a especies relativamente abundantes, con bajo nivel de amenaza y catalogados como de preocupación menor por la UICN. De igual forma, en las propiedades para compensación, la mayoría de las especies observadas son de preocupación menor, aunque

también hay especies casi amenazadas como el gecko *Thecadactylus rapicauda*, las serpientes mica *Spilotes pullatus* y la bocaracá *Bothriechis schlegelii*. Estas especies sufren presión por el comercio ilegal (Tabla A5, Apéndice II).

El índice de vulnerabilidad ambiental (EVS) también fue empleado para determinar amenazas de conservación de las especies observadas. Valores altos de ese índice resultan de especies con distribuciones restringidas, que ocurren en una o pocas zonas de vida y que tienen modos reproductivos altamente especializados (anfibios) o son perseguidas (reptiles). Casi la mitad de las especies observadas muestran valores bajos del índice de vulnerabilidad (EVS > 8), confirmando que por su distribución extensa en ambientes húmedos o por pasar desapercibidos no son vulnerables. Veintiséis especies mostraron valores medios del índice (EVS entre 9 y 13), entre ellos: el sapo *Inciilius valliceps*, las ranas arborícolas *Hypsiboas rufitelus* y *Agalychnis callidryas*, la iguana verde *Iguana iguana*, y las serpientes *Spilotes pullatus*, *Enuliophis sclateri*, *Bothrops asper*. Estas especies poseen amplia distribución, pero tienen restricciones en cuanto hábitat o, en el caso de la iguana y serpientes, son perseguidas. Finalmente, tres especies, las ranas venenosas *Oophaga pumilio*, *Dendrobates auratus* y la tortuga *Trachemys grayi* mostraron los valores más altos del EVS, que evidencia especialización en sus modos reproductivos (ranas) y la presión que el tráfico ilegal tiene sobre sus poblaciones. Algunas especies encontradas pueden servir de indicadores de coberturas poco perturbadas, como es el caso de *Enuliophis sclateri*, una pequeña serpiente del dosel de bosques maduros encontrada en Chorreras (Fig. 13).

Estos resultados reflejan que, pese a que la mayoría de los anfibios y reptiles encontrados son especies comunes con niveles de amenaza bajos, las propiedades de Tiricias y Chorreras sostienen una mayor riqueza y diversidad de herpetofauna (Fig. 14), lo que las hacen una mejor opción para su manejo y conservación. Aunque la abundancia de anfibios observados en ambas propiedades fue muy similar,

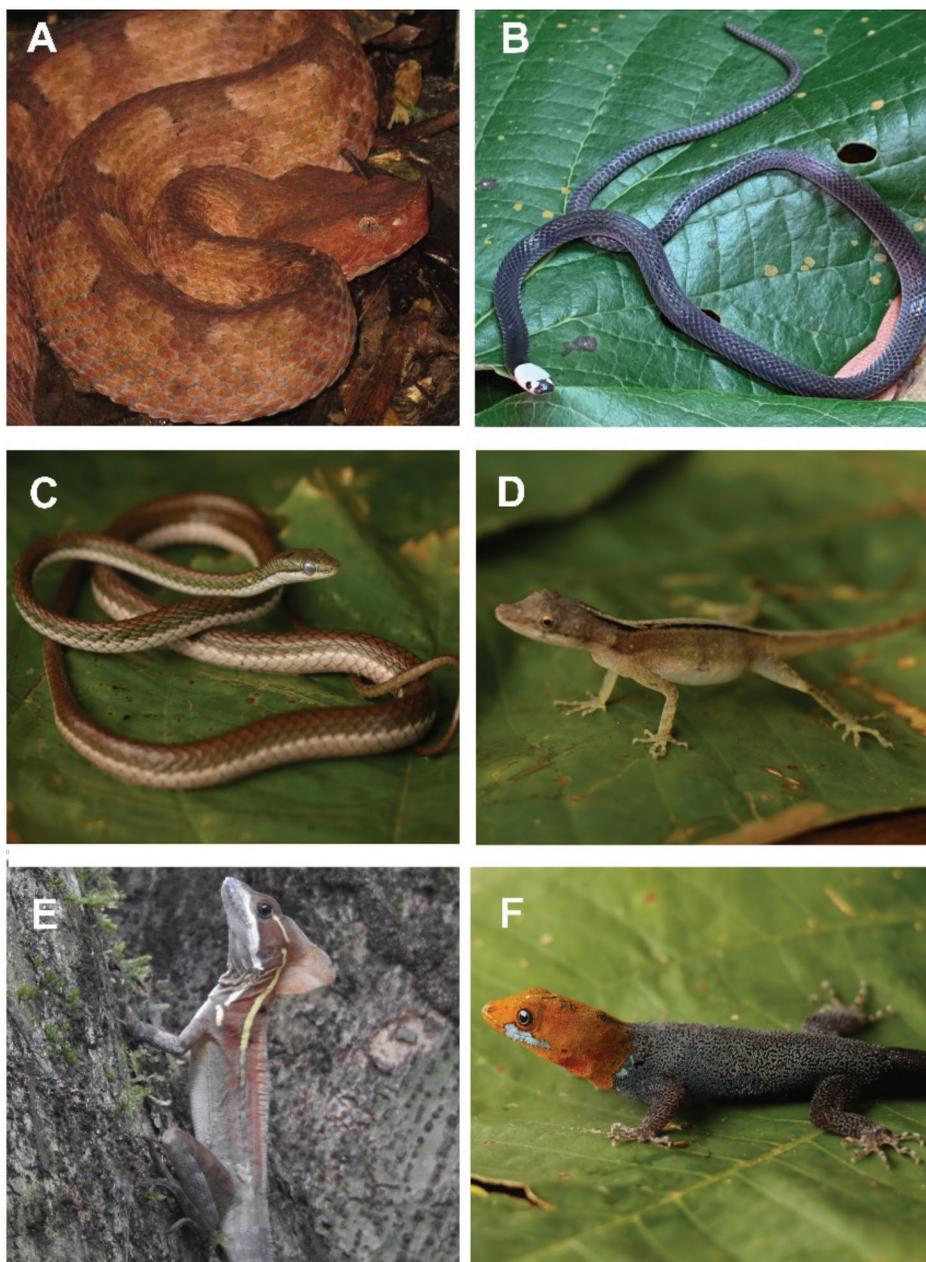


Fig. 13. Ejemplos de especies encontradas en los muestreos de reptiles. A) Víbora tamagá *Porthidium nasutum*. B) Culebrilla cabeciblanca *Enuliophis sclateri*. C) Lora *Leptophis nebulosus*. D) Gallego *Anolis limifrons*. E) Basilisco *Basiliscus vittatus*. E) Gecko *Gonatodes albogularis*. / **Fig. 13.** Examples of species found in reptile samples. A) Hognosed pit viper *Porthidium nasutum*. B) Colombian longtail snake *Enuliophis sclateri*. C) Oliver's parrot snake *Leptophis nebulosus*. D) Slender or border anole *Anolis limifrons*. E) Brown basilisk *Basiliscus vittatus*. E) Yellow-headed gecko *Gonatodes albogularis*.

Chorreras mostró una ligera mayor abundancia y riqueza de reptiles (Fig. 14).

DISCUSION

La compensación por pérdidas al ambiente y la biodiversidad se utiliza cada vez más para conciliar los objetivos de conservación y desarrollo, reconociendo que existen límites a los tipos de impactos sobre la biodiversidad que

pueden o deben ser compensados (Pilgrim et al., 2013). A pesar de su uso extensivo, diseñar las mejores compensaciones es aún desafiante, especialmente cuando son requeridas sobre ambientes de valor único en conservación (Business and Biodiversity Offsets Programme, 2012b; Murcia et al., 2017). Algunos autores sostienen que el principio de no-pérdida-neta debería sustituirse por el de ganancia-ambiental-neta (Cole, 2021; Cowell, 1997), de manera que las medidas refuercen los objetivos de conservación trazados.

En Costa Rica, las ASP son concebidas como espacios designados a alguna categoría de manejo en virtud de su importancia natural o socioeconómica y que deben apegarse a objetivos de conservación declarados oficialmente (Ley N°7788, 1998). Los parques nacionales, las reservas biológicas y los refugios de vida silvestre están entre las categorías de manejo más conocidas y restrictivas en el país. Por ello, modificaciones a sus límites solo pueden realizarse mediante ley de la república y con un estudio técnico que justifique cambios y proponga medidas resarcitorias que contemplen ganancia ambiental (Ley N°7554, 1995, art. 38). Las presiones sobre las ASP en ese país han ido en franco crecimiento a lo largo de estas décadas (Sánchez-Azofeifa et al., 2002, 2003), lo que obliga a proponer procedimientos para evaluar la compensación sobre los impactos y así cumplir los objetivos de conservación para las que fueron creadas.

El caso aquí presentado contrasta en muchos aspectos con los casos típicos donde se aplican medidas de compensación (Ariza-Pardo & Moreno-Hincapié, 2017; Bonilla, Oviedo-Brenes et al. (2022); Castro-Calle, 2018; López-Arbeláez & Quintero-Sagre, 2015). El sitio para el puesto fronterizo Las Tablillas está inserto en un refugio de vida silvestre que debería conferirle protección, pero que tiene una larga historia de cambios de uso del suelo. Nuestro análisis refleja que el sitio ha sido despojado de su cobertura boscosa natural a lo largo de seis décadas, para dar lugar a pastizales, zonas de cultivos y –más recientemente– a infraestructura urbana, lo que contraviene con

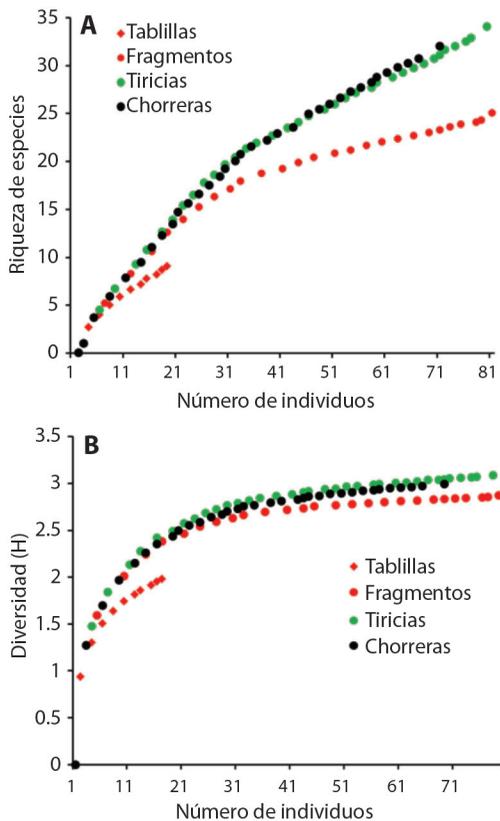


Fig. 14. Curvas de rarefacción por muestreo de individuos para especies de anfibios y reptiles en el sitio de impacto (Tablillas charral y Tablillas bosque) y los potenciales sitios de compensación (Tiricias y Chorreras). A) Curva para riquezas de especies. B) Índice de diversidad de Shannon (H). / **Fig. 14.** Rarefaction curves by sampling of individuals for amphibian and reptiles species at the impact site (Tablillas charral and Tablillas bosque) and the potential compensation sites (Tiricias and Chorreras). A) Curve for species richness. B) Shannon diversity index (H).

los objetivos primordiales del *área protegida* y afecta la credibilidad del sistema de protección del país. Además, los procesos ecológicos están siendo interrumpidos por las construcciones y actividades aduanales ya presentes en el sitio. En consecuencia, se parte de un ambiente degradado que presenta baja diversidad biológica y no de un ambiente diverso como suele suceder en otros casos.

Por las razones expuestas anteriormente, indemnizar la segregación en Las Tablillas con una propiedad que tuviera un ambiente similar al observado equivaldría a desconocer el objetivo de protección del sitio e imposibilitaría la ganancia neta deseada. Por consiguiente, recurrimos a proyectar las pérdidas en estructura y diversidad que resultarían si se interrumpe la dinámica de sucesión en el sitio y empleamos esa figura como referencia sobre la cual tasar las medidas resarcitorias. Esto significó buscar compensación para la oportunidad de tener un entorno boscoso y con mayor diversidad, aun cuando esas condiciones no prevalecen actualmente en el sitio de segregación. Emplear esa proyección como coste de oportunidad resultó conveniente para maximizar la ganancia ambiental de dos formas: 1) permitiendo identificar el tipo de cobertura y 2) contribuyendo a estimar la extensión mínima sobre la que tasar la equivalencia.

Las dos propiedades seleccionadas como potenciales sitios de compensación cuentan con coberturas naturales de interés, limitan con el RNVSCFN y poseen otros atributos que concuerdan favorablemente con aspectos teóricos del diseño de reservas (Castaño-Villa, 2005). Además, ambas se encuentran registradas, lo que facilita su adquisición por parte del Estado y su posterior anexión al mencionado refugio. Cualquiera de las dos incrementaría el área del RNVSCFN en más de 100 hectáreas de un ambiente más conservado y diverso que el de Las Tablillas, el cual es considerado una ventaja para el objetivo de conservación del refugio (Desment & Cowling, 2004). Aunque la cobertura natural de ambas propiedades ha sido intervenida en el pasado, es evidente que el grado de perturbación y las amenazas de su

entorno inmediato son menores que las actualmente presentes en el sitio de segregación (González-Gamboa, 2019; Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2013).

Un aspecto medular a la hora de evaluar la equivalencia ecológica es que haya congruencia entre el ecosistema impactado en el sitio de referencia y el empleado como resarcimiento (Ariza-Pardo & Moreno-Hincapié, 2017; Díaz-Reyes, 2014). De hecho, del principio de no-pérdida-neta se desprende que no puede sustituirse por un ecosistema de distinto tipo al impactado (Business and Biodiversity Offsets Programme, 2012a). Este es el precepto sobre el que operan metodologías que estiman medidas resarcitorias a partir de factores de ponderación, como el método denominado Hábitat por Hectáreas (Parkes et al., 2003) o el aplicado en Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (MADS, 2012). A pesar de ello, algunas de las estrategias más comúnmente empleadas para plantear compensación, como los bancos de hábitat, no siguen esa noción al fomentar la compensación con ambientes o elementos de la diversidad ajenos a los impactados por el proyecto (Enriquez-de-Salamanca & Medioambiental, 2016).

En nuestro caso, las dos propiedades seleccionadas difieren en clima y zonas de vidas respecto al sitio de segregación en Las Tablillas (Fig. 1) (Bolaños et al., 2005). Estas diferencias pueden explicar en parte la divergencia en composición de las comunidades de plantas vasculares y fauna registradas. Por ejemplo, anfibios y reptiles poseen menor vagilidad y distribución (Savage, 2022) y es sabido que las comunidades asociadas a ambientes estacionales (como Las Tablillas) difieren en composición con aquellas asociadas a ambientes húmedos en Costa Rica (Sasa et al., 2010). Por lo tanto, sustituir una comunidad por otra como medida resarcitoria podría interpretarse como una violación al fundamento de equivalencia ecológica (Bonilla, Monrós et al., 2022). Sin embargo, algunas consideraciones pueden emplearse para validar el uso potencial de esas propiedades en la compensación por el área segregada en Las Tablillas:



No hay propiedades que reúnan todos los requerimientos ambientales y biológicos necesarios para servir de potencial compensación cercanos a esa región (i.e. cantón de Los Chiles).

La infraestructura presente en el sitio de segregación supuso un cambio de uso de suelo: de pastizal abandonado a espacio urbano. La huella de infraestructura interrumpe incipientes procesos de sucesión necesarios para la regeneración de la vegetación en ese sitio.

Nuestra reconstrucción histórica evidencia que los cambios de uso del suelo y la degradación de los remanentes naturales del sitio han continuado incluso desde la declaratoria de Refugio Nacional de Vida Silvestre (SINAC, Decreto N° 22962-MIRENEM, 1994). De esa manera, se demuestra que la declaratoria no ha significado mayor ventaja para el ambiente natural que se pretende conservar.

Un plan de manejo y ordenamiento del RNVSCFN fue elaborado previamente (NOTIO Gestión Estudios y Proyectos, 2016). Este plan pretendía zonificar las actividades productivas y de conservación dentro del refugio, considerando la zona de Las Tablillas como un área productiva y de paso fronterizo, mientras que la sección en los distritos de Pocosal y Cutris, que contienen las masas boscosas más importantes, quedarían para conservación. Es precisamente en esa sección donde se localizan las propiedades de Tiricias y Chorrera, respectivamente. Por lo tanto, escoger alguna de ellas para compensación cumpliría con el ordenamiento previsto por el plan de manejo.

Actualmente no se ha implementado el plan de ordenamiento territorial en el RNVSCFN. En consecuencia, los objetivos de conservación del refugio de vida silvestre en Las Tablillas no se han cumplido adecuadamente.

Las propiedades seleccionadas incrementarían el área, la diversidad biológica y la cobertura forestal del RNVSCFN. Estas propiedades tienen una mayor conectividad con otros núcleos boscosos, como el Refugio Nacional de Vida Silvestre Maquenque y la Reserva Biológica Indio Maíz en Nicaragua (ver Fig. 1).

Algunos aspectos físicos, como el origen geológico, tipos de suelo y características estructurales de las coberturas boscosas son comunes a toda la región donde se ubican tanto el sitio de segregación como los potenciales sitios de compensación (Alvarado, 1984; Alvarado et al., 2005; Denyer et al., 2003; Gazel et al., 2005).

La gran mayoría de las especies de los grupos de fauna examinados son relativamente abundantes y presentan un bajo nivel de amenaza y están catalogados como de preocupación menor en todos los sitios estudiados. Sin embargo, en las propiedades seleccionadas para compensación se encuentra una mayor cantidad de especies con niveles de amenaza mayores (ver Tablas A3-A5 en Apéndice II).

Por otro lado, las dos propiedades seleccionadas como potencial compensación presentan una serie de singularidades que deben ser valoradas antes la escogencia final. Al igual que en Las Tablillas, Tiricias presenta potencial hidrogeológico al poseer cuerpos de agua subterránea y mayor cantidad de fuentes de agua superficiales, brindando interés a nivel hidrológico. La propiedad en Chorreras cuenta con el caño del mismo nombre, pero su contraparte en Tiricias evidencia tener un mayor potencial tanto hidrológico como hidrogeológico.

En Tiricias, la composición de plantas en la porción boscosa revela un crecimiento secundario, diverso, rico en especies arbóreas y con evidencia de regeneración. Sin embargo, su cobertura boscosa ha sido intervenida y hay evidencia de tala reciente en algunos sectores internos de la propiedad, lo que podrá afectar su conectividad. Si bien la estructura del hábitat es similar en ambas propiedades, la de Chorreras posee menor intervención y el bosque está menos intervenido. Este último sitio muestra además una mayor diversidad y capacidad de reclutamiento de especies leñosas y mayor número de especies de los grupos indicadores, mejor conectividad con otras masas boscosas dentro y fuera del RNVSCFN y menor proporción de troncos caídos.

La continuidad y conectividad de hábitats resulta fundamental ya que permite un mayor

flujo genético entre poblaciones de especies presentes en la zona (Tewksbury et al., 2002). En aves, por ejemplo, se ha sugerido que la riqueza y diversidad está determinada en gran medida por la conectividad que tengan los bosques (Mayhew et al., 2019). Los resultados obtenidos en este estudio apoyan esta hipótesis y demuestra que Chorreras protege una mayor cantidad de aves asociadas a ambientes boscosos (Tabla 2) a pesar de que Tiricias registró una riqueza de especies ligeramente mayor. La disminución en las poblaciones de aves está sumamente relacionada a la pérdida de hábitat (Osuri et al., 2020), donde aquellas especies más dependientes de bosques sanos se pueden ver más afectadas. Con base en los parámetros de proporción de bosque, la conectividad con masas boscosas dentro y fuera de RNVSCFN, la riqueza y composición faunística y el estatus de conservación, Chorreras parece compensar de mejor manera la diversidad por la segregación de un área de poco más de 12 hectáreas en Las Tablillas

En conclusión, la región en la que se encuentra el Puesto Fronterizo Las Tablillas ha tenido una larga historia de uso humano a pesar de ser catalogado como un ASP. La falta de remanentes naturales dentro del área exigió la búsqueda de fragmentos boscosos aledaños que proveyeran una idea cuales componentes bióticos se perderían al desarrollarse el proyecto. Ese costo de oportunidad permitió respetar el principio que la compensación ecológica debe generar ganancias ambientales netas. Cualquiera de las dos propiedades propuestas para sustituir la segregación es apta para lograr esas ganancias, al poseer mayor cobertura boscosa, mayor riqueza y diversidad biológica. Sin embargo, existen algunas diferencias entre ellas y la selección final dependerá de los aspectos prioritarios a conservar. Tiricias representa un mejor sitio para compensar y conservar fuentes hidrológicas y acuíferos, mientras que Chorreras supone un mejor lugar para conservar estructura de hábitat y diversidad de plantas y animales. Por lo anterior, se recomienda que el Estado adquiera la propiedad N° 286653 en Chorreras y la anexe al Refugio Nacional de

Vida Silvestre Corredor Fronterizo, como una manera de compensar las pérdidas en superficie y ambiente natural que supondría la segregación de 12.12 ha para el establecimiento del puesto fronterizo Las Tablillas.

Independientemente de la selección final de la propiedad que compensará ambientalmente la segregación, es importante contar con medidas de monitoreo ambiental, tanto en Las Tablillas como en la propiedad a seleccionar. De esta manera se podrá disponer de información concreta que permita evaluar los alcances de la compensación en el tiempo ante las inminentes presiones sociales de diversos sectores de la sociedad sobre las ASP. La colaboración entre el estado (SINAC), universidades y Organizaciones No Gubernamentales es fundamental para llevar a cabo un adecuado plan para el manejo y monitoreo de las coberturas naturales dentro del RNVSCFN para su recuperación y preservación.

Declaración de ética: los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría, que no hay conflicto de interés de ningún tipo y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en el proyecto ED-3585 de la Vicerrectoría de Acción Social de la Universidad de Costa Rica, inscrito bajo el permiso SINAC-PNI-ACAHN-11-2020 del Sistema Nacional de Áreas de Conservación. Los autores agradecen a Miguel Méndez de la Organización para Estudios Tropicales y a Gonzalo Elizondo y Dayana Ugalde del Ministerio de Comercio Exterior por su apoyo administrativo y logístico. Agradecemos a Juan Serrano, Alejandro Solórzano y Miguel Solano por su apoyo en el trabajo de campo. Marvin



Hernández de la Municipalidad de San Carlos facilitó información catastral de las propiedades examinadas. Marcela Serna brindó sugerencias para mejorar el manuscrito.

Ver apéndice digital /
See digital appendix - a06v70s1-A1

REFERENCIAS

- Aiama, D., Edwards, S., Bos, G., Ekstrom, J., Krueger, L., Quétier, F., Savy, C., Semroc, B., Sneary, M., & Benun, L. (2015). *No net loss and net positive impact approaches for biodiversity: Exploring the potential application of these approaches in the commercial agriculture and forestry sectors*. International Union for Conservation of Nature, Gland, Suiza. <https://portals.iucn.org/library/node/45105>
- Alvarado, F. (1984). Vulcanismo del Plio-Pleistoceno en la cuenca de Limón. En P. Sprechmann (Ed.) *Manual de Geología de Costa Rica* (Vol. 1: Estratigrafía, pp. 259-262). Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Alvarado, G. E., Obando, G. & Alfaro, A. (2005). Geología y evolución magmática del Arco de Sarapiquí. *Revista Geológica de América Central*, 32, 13–31.
- Ariza-Pardo, D. M., & Moreno-Hincapié, J. C. (2017). *Análisis comparativo sobre compensaciones ambientales por pérdida de biodiversidad en el contexto nacional e internacional*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio institucional de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5408>
- Asamblea Legislativa de la Republica de Costa Rica. (1992, 7 de diciembre). Ley No. 7317. *Ley de Conservación de la Vida Silvestre*. Diario oficial La Gaceta 235. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=12648&nValor3=92418
- Asamblea Legislativa de la Republica de Costa Rica. (1995, 13 de noviembre). Ley No. 7554. *Ley Orgánica del Ambiente*. Diario Oficial La Gaceta 215. https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=27738&nValor3=93505&strTipM=TC
- Asamblea Legislativa de la Republica de Costa Rica. (1998, 27 de mayo). Ley No. 7788. *Ley de Biodiversidad*. Diario Oficial La Gaceta 101. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=39796&nValor3=0&strTipM=TC
- Asamblea Legislativa de la Republica de Costa Rica. (2010, 16 de abril). Ley No. 8803. *Ley para Regular la Creación y el Desarrollo del Puesto Fronterizo las Tablillas*. Diario Oficial La Gaceta 125. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=68226
- Bolaños, R., Watson, V., & Tosi, J. (2005). *Mapa ecológico de Costa Rica (Zonas de Vida, según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de LR Holdridge), Escala 1: 750 000*. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
- Bonilla, F., Oviedo-Brenes, F., Beneyto-Garrigos, D., Arévalo, J. E., Morales-Gutiérrez, L., Serrano-Sandí, J., & Sasa, M. (2022). Aplicación del Método Hectárea de Hábitat en compensación ambiental: El caso del Embalse Río Piedras, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 70(1), e52283.
- Bonilla, F., Monrós, J. S., & Sasa, M. (2022). Bases conceptuales para la compensación ambiental bajo el enfoque ecológico. *Revista de Biología Tropical*, 70(1), e52281.
- Business and Biodiversity Offsets Programme. (2012a). *Resource paper: No net loss and loss gain calculations in biodiversity offsets*. Forest Trends, Washington D.C., EE.UU. http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_3103.pdf
- Business and Biodiversity Offsets Programme. (2012b). *Resource paper: limits to what can be offset*. Forest Trends, Washington D.C., EE.UU. http://bbop.forest-trends.org/guidelines/Resource_Paper_Limits.pdf
- Castaño-Villa, G. J. (2005). Áreas protegidas, criterios para su selección y problemáticas en su conservación. *Boletín Científico, Centro de Museos, Museo de Historia Natural*, 10, 79–102.
- Castro-Calle, C. E. (2018). *Análisis de las condiciones por las que fracasaron la mayoría de los proyectos productivos que percibieron fondos de compensación ambiental, en el cantón Sevilla de Oro provincia de Azuay*. [Tesis de Maestría, Universidad Estatal de Milagro]. Repositorio institucional de la Universidad Estatal de Milagro <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/3890>
- CESRI. (2011). *ArcGIS Desktop: Release 10*. University of Redlands.
- Cienfuegos, I. A. V., & Medina, G. A. V. (2021). Estudio del costo de oportunidad de potenciales contribuyentes en las microcuencas Atunmayo y Copallin. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 4(2), 70–76
- CITES. (s.f.). L. D. E. Checklist of CITES species lista de especies CITES. Recuperado 31 de octubre del 2022. <https://cites.org/>

- Cole, S. G. (2021). *Environmental Compensation is not for the Birds: Assessing social welfare impacts of resource-based environmental compensation*. [Tesis Doctoral, Swedish University of Agricultural Sciences]. Repositorio institucional de Swedish University of Agricultural Sciences <https://publications.slu.se/?file=publ/show&id=79030>
- Constitución Política de la República de Costa Rica. (1949, 7 de noviembre). Editorial Justicia.
- Cowell, R. (1997). Stretching the limits: environmental compensation, habitat creation and sustainable development. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 22, 292–306.
- Denyer, P., Montero, W. & Alvarado, G. (2003). *Atlas tectónico de Costa Rica*. Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Denyer, P., & Alvarado, G.A. (2007). *Mapa Geológico de Costa Rica. Escala 1:400000*. Oficializado por la Dirección de Geología y Minas. Librería Francesa, San José, Costa Rica.
- Desment, P. & Cowling, R. (2004). Using the species–area relationship to set baseline targets for conservation. *Ecology and Society*, 9(2), 11.
- Díaz-Reyes, C. E. (2014). *Enfoques teóricos y metodológicos de las compensaciones ambientales en el contexto de la Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Colombia <http://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52252>
- Diniz, M. B., Alves, V. D. P., & Diniz, M. J. T. (2019). ¿Refleja el uso de la tierra en la Amazonia un fallo del mercado? Un análisis de los servicios ambientales de la Amazonia desde la perspectiva del costo de oportunidad. *Revista de la CEPAL*, 126, 109.
- Enríquez-de-Salamanca, Á., & Medioambiental, S. L. (2016). *Hacia un esquema integrado de compensación ambiental: la unificación de los bancos de conservación y los mercados de carbono*. Conama.
- García-Morales, R., Moreno, C. E., & Bello-Gutiérrez, J. (2011). Renovando las medidas para evaluar la diversidad en comunidades ecológicas: el número de especies efectivas de murciélagos en el sureste de Tabasco, México. *Therya*, 2(3), 205–215.
- Gazel, E., Alvarado, G. E., Obando, J., & Alfaro, A. (2005). Geología y evolución magmática del arco de Sarapiquí, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 32, 13–31.
- González-Díaz, B. (2000). *El coste de oportunidad como herramienta empresarial*. Universidad de Oviedo, Facultad de Ciencias Económicas. https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/45785/d202_00.pdf;jsessionid=542CA251F366613FE16D534C694A03A1?sequence=1
- González-Gamboa, V. (2019). *Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. La piña en Costa Rica: Ubicando conflictos ambientales en áreas silvestre protegidas y ecosistemas de humedal*. Programa Estado de la Nación.
- Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2011). Estimating species richness. *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment*, 12, 39–54.
- Gotelli, N. J. & Ellison, A. M. (2013). EcoSimR 1.00. <http://www.uvm.edu/~ngotelli/EcoSim/EcoSim.html>
- Guariguata, M. R., & Ostertag, R. (2001). Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest ecology and management*, 148(1–3), 185–206.
- Herrera, W., & Gómez, L. D. (1993). *Mapa de unidades bióticas de Costa Rica. Escala 1: 685.000*. Instituto Nacional de Biodiversidad, San José, Costa Rica.
- López-Arbeláez, D. M. L., & Quintero-Sagré, J. D. Q. (2015). Compensaciones de biodiversidad: experiencias en Latinoamérica y aplicación en el contexto colombiano. *Gestión y Ambiente*, 18(1), 159–177.
- Marín-Cortés, J. (2017). *Evaluación del costo de oportunidad dentro de un programa de pago por servicios ambientales: estudio de caso de BanCO2 en Antioquia*. [Tesis de Grado, Universidad de los Andes]. Repositorio institucional de la Universidad de los Andes <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/61264/12323.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- May, P. M., Soares-Filho, B. S., & Strand, J. (2013). How Much is the Amazon Worth? The State of Knowledge Concerning the Value of Preserving Amazon Rainforests. *World Bank Policy Research Working Paper*, 6668. <https://ssrn.com/abstract=2343709>
- Mayhew, R. J., Tobias, J. A., Bunnefeld, L., & Dent, D. H. (2019). Connectivity with primary forest determines the value of secondary tropical forests for bird conservation. *Biotropica*, 2019, 1–15.
- Mendoza-Veirana, G., Perdomo, S., & Ainchil, J. (2022). Determinación de la geometría del basamento hidrogeológico en la Cuenca Interserrana mediante SEV. *Tecnología y ciencias del agua*, 13(3), 142–173.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2012). *Manual para la asignación por compensaciones por pérdida de biodiversidad*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, República de Colombia. http://www.tremarctoscolombia.org/pdf/MANUAL_compensaciones%20Final.pdf
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (2013). *Plan de Abordaje Integral para el Desarrollo*



- del Cordón Fronterizo Norte. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica.
- Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto. (1990). *Acuerdo sobre áreas protegidas fronterizas entre Costa Rica y Nicaragua*. Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto <https://www.reee.go.cr/?sec=exterior&cat=convenios&cont=610&instrumento=670>
- Murcia, C., Guariguata, M. R., Quintero-Vallejo, E., & Ramírez, W. (2017). *La restauración ecológica en el marco de las compensaciones por pérdida de biodiversidad en Colombia: Un análisis crítico*. CIFOR. <https://www.andi.com.co/Uploads/19.%20La%20restauraci%C3%B3n%20en%20el%20marco%20de%20las%20compensaciones.pdf>
- Naidoo, R., Balmford, A., Ferraro, P. J., Polasky, S., Ricketts, T. H., & Rouget, M. (2006). Integrating economic costs into conservation planning. *Trends in ecology & evolution*, 21(12), 681–687.
- NOTIO Gestión Estudios y Proyectos S.A. (2016). *Plan General de Manejo y Propuesta de Ley de Régimen Especial para la Administración Institucional conjunta del Refugio Nacional de Vida Silvestre Corredor Fronterizo Norte*. Informe Final Proyecto de Ley.
- Núñez-Solís, J. (2000). *Fundamentos de Edafología*. EUNED.
- Ortiz-Malavasi, E. (2014). *Atlas Digital de Costa Rica*, 4 edición 2014. http://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga_tec/article/view/2330
- Osuri, A. M., Mendiratta, U., Naniwadekar, R., Varma, V., & Naeem, S. (2020). Hunting and Forest Modification Have Distinct Defaunation Impacts on Tropical Mammals and Birds. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2, 87. doi:10.3389/ffgc.2019.00087
- Parkes, D., Newell, G., & Cheal, D. (2003). Assessing the quality of native vegetation: The ‘habitat hectares’ approach. *Ecological Management and Restoration*, 4, S29–S38
- Pearce, D. & Markandya, A. (1987). Marginal opportunity cost as a planning concept in natural resource management. *The Annals of Regional Science*, 21, 18–32.
- Pilgrim, J. D., Brownlie, S., Ekstrom, J. M., Gardner, T. A., von-Hase, A., Kate, K. T., Savy, C. E., Stephens, R. T., Temple, H. J., Treweek, J., Ussher, G. T., & Ward, G. (2013). A process for assessing the offsetability of biodiversity impacts. *Conservation Letters*, 6(5), 376–384.
- Poder Ejecutivo. (1994, 9 de marzo). Decreto No. 22962-MIRENEM. *Declara Refugio Nacional de Vida Silvestre al corredor fronterizo conformado por los terrenos comprendidos a lo largo de la frontera con Nicaragua desde Punta Castilla en el Mar Caribe hasta Bahía Salinas en el Océano Pacífico*. Diario Oficial La Gaceta 48. <http://www.pgrweb.go.cr/scij/>
- Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=59340
- Quesada-Monje, R. (2004). Especies forestales vedadas y bajo otras categorías de protección en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 1(2), 84–88.
- Quetier, F., & Lavorel, S. (2011). Assessing ecological equivalence in biodiversity offset schemes: Key issues and solutions. *Biological Conservation*, 144, 2991–2999.
- Quintana-Ascencio, P. F., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Domínguez-Vázquez, G., & Martínez-Ico, M. (1996). Soil seed banks and regeneration of tropical rain forest from milpa fields at the Selva Lacandona, Chiapas, Mexico. *Biotropica*, 28(2), 192-209.
- Ramírez-Brenes, J. C., & Ulate-Hernandez, A. (2015). Aportes de los actores locales para una agenda binacional de desarrollo local transfronterizo: Situaciones problemáticas en las comunidades fronterizas costarricenses con Nicaragua. *Aldea Mundo*, 20(39), 55–63.
- Rojas-Chaves, P. A., Vilchez-Alvarado, B., Moya-Roque, R., & Sasa-Marin, M. (2015). Combustibles forestales superficiales y riesgo de incendio en dos estadios de sucesión secundaria y bosques primarios en el Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 12(29), 29–45.
- Sánchez-Azofeifa, G. A., Rivard, B., Calvo, J., & Moorthy, I. (2002). Dynamics of tropical deforestation around national parks: remote sensing of forest change on the Osa Peninsula of Costa Rica. *Mountain Research and Development*, 22(4), 352–358.
- Sánchez-Azofeifa, G. A., Daily, G. C., Pfaff, A. S., & Busch, C. (2003). Integrity and isolation of Costa Rica’s national parks and biological reserves: examining the dynamics of land-cover change. *Biological Conservation*, 109(1), 123–135.
- Sasa, M., & Solórzano, A. (1995). The reptiles and amphibians of Santa Rosa National Park, Costa Rica, with comments about the herpetofauna of xerophytic areas. *Herpetological Natural History*, 3(2), 113–126.
- Sasa, M., Chaves, G & Porras, L. W. (2010). The Costa Rican herpetofauna: Conservation status and future perspectives. In L. D. Wilson, J. H. Townsend, & J. D. Johnson (Eds.), *Conservation of Mesoamerican Amphibians and Reptiles* (pp 509–603). Eagle Mountain Publications.
- Sasa, M., Oviedo-Brenes, F., Beneyto-Garrigos, D., Bonilla, F., Arevalo J. E., Sanchez R., Morales-Gutiérrez, L., Arias-Ortega, J., Vargas-Castro, R., Serrano-Sandí, J., Hanson, P. (2022). Uso de diversidad biológica de grupos indicadores para evaluar una compensación ecológica: el caso del Embalse Río Piedras, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, en prensa.



- Savage, J. M. (2002). *The Amphibians and Reptiles of Costa Rica: a Herpetofauna Between Two Continents, Between Two Seas*. The University of Chicago Press.
- Schlawin, J. R., & Zahawi, R. A. (2008). 'Nucleating' succession in recovering neotropical wet forests: The legacy of remnant trees. *Journal of Vegetation Science*, 19(4), 485–492.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (s.f.). Ministerio de Ambiente y Energía. <http://www.sinac.go.cr/>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación [Comisión Caso Tablillas]. (2007). *Solicitud de reducción del área de refugio nacional de vida silvestre corredor fronterizo. Informe Técnico*. Sistema Nacional de Áreas de Conservación. ACAHN.
- Sullivan, B. L., Wood, C. L., Iliff, M. J., Bonney, R. E., Fink, D., & Kelling, S. (2009). eBird: A citizen-based bird observation network in the biological sciences. *Biological Conservation* 142, 2282–2292.
- ten-Kate, K., & Crowe M. (2014). *Biodiversity Offsets: policy options for governments. An input paper for the IUCN Technical Study Group on Biodiversity Offsets*. International Union for Conservation of Nature. <https://portals.iucn.org/library/node/44776>
- Tewksbury, J.J., Levey, D. J., Haddad, N. M., Sargent, S., Orrock, J. L., Weldon, A., Danielson, B.J., Brinkerhoff, J., Damschen, E. I., & Townsend, P. (2002). Corridors affect plants, animals, and their interactions in fragmented landscapes. *Proceedings of the national academy of sciences*, 99(20), 12923–12926.
- UICN-The World Conservation Union, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, de los Recursos Naturales, Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN., & IUCN Species Survival Commission. (2001). Categorías y criterios de la Lista Roja de la UICN, versión 3.1. IUCN. <https://www.iucnredlist.org/>
- Vásquez, G. (2009). *La posesión en las franjas fronterizas y su afectación estatal e implicaciones de la densificación de la frontera norte de Costa Rica*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Repositorio institucional de la Universidad de Costa Rica <https://ijj.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2017/06/tesis.pdf>