



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS  
DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOBRE LOS RECURSOS  
NATURALES**

**“ACERCAMIENTO SOCIOECOLOGICO A LA  
RELACIÓN ENTRE LA BIODIVERSIDAD Y LA  
CO-PRODUCCION DE LA OFERTA DE LAS  
CONTRIBUCIONES DE LA NATURALEZA A LA  
SOCIEDAD”**

**TESIS**

que presenta

**MSc. Rubén Darío Ramírez Ramírez**

como requisito para obtener el título  
profesional de

**Maestría en Ciencias en Ecología Integrativa**

**Director de tesis:  
Dr. Ileri Suazo Ortuño**

**Codirector de tesis:  
Dra. Patricia Balvanera Levy**

**Morelia, Michoacán; marzo 2023**



## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi madre y abuelos, quienes siempre me acompañan y me impulsan a ser mejor persona.

A la memoria de Cesar Molina, uno de mis tutores de licenciatura, quien no solo fue mi tutor sino un gran amigo que me enseñó mucho de ciencias y la vida.

A la memoria de Diego Arellano, un gran amigo herpetólogo que murió defendiendo a Venezuela.

Al pueblo de Venezuela quien día a día lucha por seguir adelante.

Al pueblo de México que me recibió con los brazos abiertos y me ha hecho sentir un mexicano más.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por Guiarme por el camino correcto, por que como dijo Albert Einstein “La ciencia sin religión es coja, pero la religión sin ciencia es ciega.

A mi padre quien me dio la vida, por ser el gran responsable de quien soy hoy por hoy. Un hombre intachable trabajador, gran esposo y gran padre, que siempre lucha y es mi ejemplo a seguir

A Ángeles Cárdenas, no solo por ser mi compañera de vida. También por ser esa persona que me hace ser mejor, que me ayuda, me motiva. Igualmente, a la familia Cárdenas Alvarado quienes nos han apoyado incondicionalmente y me han aceptado como uno más de la familia, no pude caer en mejores manos.

A la Doctora Patricia Balvanera, quien más que una tutora ha sido una segunda madre que me dio la vida, quien creyó en mi hasta cuando yo no creía, me motivo y apoyo para lograr esta meta. A la doctora Ireri Suazo quien fue de mucho apoyo durante todo el proceso de la maestría. A cada uno de mis sinodales: el Dr. Leonel López, el Dr. Francisco Mora y la Dra. Isela Zermeño por su paciencia y dedicación a la hora de evaluar mi proyecto.

Al laboratorio de Biodiversidad y bienestar Humano, allí conocí a compañeros que indiscutiblemente serán no solo grandes investigadores sino grandes personas, Liz, Ale, Aline, Sofia, muchas gracias por los momentos que vivimos y por el apoyo incondicional. Gracias especiales a Luis Felipe quien siempre estuvo pendiente de cada uno de las personas del laboratorio.

A mis compañeros de la Maestría en Ciencias de la Ecología Integrativa, tengo que dar gracias de haber tocado en una generación con compañeros que no solo eran grandes profesionales, sino que aun mejores personas, siempre estuvimos los unos con los otros para apoyarnos y eso no es tan fácil de conseguir en este mundo de la ciencia. Gracias Sandra, Lulu, Toño, Bere, Nury, Gaby y Pepe.

A Chamela Una región donde pase gran parte de mis últimos años en México, donde me recibieron como si fuera uno más de ellos, Principalmente a Don José (Carrete) y su hijo José (el Pollo) por todo el apoyo prestado.

A mis amigos de Ciudad de México quienes estuvieron en los momentos más difíciles, cuando pensé que no lo lograría, me apoyaron y me dieron fuerzas para seguir. Gracias Delimar, Alicia, Maria de los Angeles, Daymile, Pedro, Gari, David, Luven, Ana, Nata, Nohelia, Leo, Gonzalo y todos los demás que de alguna forma estuvieron allí.

A mis amigos regados por el mundo, sé que en algún momento de la vida nos volveremos a ver. Se que a la distancia están celebrando este logro.

## INDICE

1	INTRODUCCION GENERAL.....	1
2	OBJETIVOS .....	6
2.1	GENERAL.....	6
2.2	ESPECIFICOS.....	6
3	INTRODUCCIÓN.....	8
4	MATERIALES Y METODOS .....	11
4.1	Sitio de estudio .....	11
4.2	Sistema de estudio.....	12
4.3	Estimación de la oferta de contribuciones de la naturaleza para las personas. ..	12
4.4	Estimación de la biodiversidad.....	14
4.5	Estimación de los Capitales Antrópicos.....	15
4.6	Estimación de la edad sucesional y la intensidad de manejo .....	16
4.7	Análisis de datos.....	17
5	RESULTADOS.....	18
5.1	Papel de la biodiversidad .....	18
5.2	Papel de los capitales antrópicos .....	19
5.3	Aporte relativos de la biodiversidad y los capitales antrópicos en el contexto del gradiente sucesional y de intensidad de manejo. ....	20
6	DISCUSION.....	23
6.1	El papel de la biodiversidad en las contribuciones de la naturaleza para las personas. ....	23
6.2	El papel de los capitales antrópicos en las contribuciones de la naturaleza para las personas.....	24
6.3	Relación de causalidad de la biodiversidad y de los capitales antrópicos con la oferta de las cuatro contribuciones de la naturaleza para las personas.....	25
7	Conclusiones.....	27
8	Bibliografía.....	28
9	MATERIAL SUPLEMENTARIO.....	34

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Marco conceptual de la contribución de la naturaleza a la sociedad .....	3
Figura 2.- Esquema de la co-producción de la oferta de Contribuciones de la naturaleza a la sociedad .....	4
Figura 3.- Mapa conceptual de la coproducción de cuatro contribuciones de la naturaleza para las personas .....	11
Figura 4.- Modelo conceptual de los modelos de ecuaciones estructurales.....	18
Figura 5.- Aportación relativa de la biodiversidad taxonómica, funcional y estructural a la oferta de cuatro contribuciones de la naturaleza .....	19
Figura 6.- Aportación relativa de los capitales antrópicos a la oferta de cuatro contribuciones de la naturaleza .....	20
Figura 7.- Relación de causalidad entre de la biodiversidad y de los capitales antrópicos con la oferta de cuatro contribuciones de la naturaleza para las personas identificada a través de modelos de ecuaciones estructurales .....	22
Figura 8.- Los capitales antrópicos explican en mayor medida las contribuciones materiales mientras que el capital natural o la biodiversidad explica en mayor medida las contribuciones de regulación .....	26

## RESUMEN

El estudio de la biodiversidad y su relación con la contribución de la naturaleza para las personas es uno de los retos científicos más relevantes en los últimos tiempos. Estudiarlos como un sistema socioecológico permite entender las relaciones entre los procesos y estructuras ecológicas y sociales. Las contribuciones de la naturaleza para las personas es un nuevo enfoque nos permite incrustar firmemente un conjunto más amplio de puntos de vista y partes interesadas. Dándole una mayor preponderancia a las ciencias sociales y conocimiento local que los servicios ecosistémicos. El enfoque de las contribuciones de la naturaleza para las personas reconoce explícitamente que la naturaleza y los humanos están entrelazados a través de relaciones recíprocas. Estas contribuciones son co-producidas por la naturaleza y la sociedad, pero el entendimiento del aporte relativo de la biodiversidad y de los capitales antrópicos a las contribuciones es aún incipiente. El objetivo de este trabajo fue analizar: i) la aportación relativa de la biodiversidad taxonómica, funcional y estructural, ii) la aportación relativa de los cuatro capitales antrópicos (humano, social, manufacturado y financiero), y iii) la relación de causalidad de la biodiversidad y de los capitales antrópicos con la oferta de las cuatro contribuciones de la naturaleza (sombra, almacén de carbono, forraje, productos forestales). Esto lo hacemos en el contexto de un gradiente sucesional y de intensidad de manejo para un bosque tropical seco del pacífico de México. Obtuvimos los datos de la biodiversidad a través de censos de vegetación para 30 sitios, y de los capitales antrópicos a través de entrevistas semiestructuradas a 28 ejidatarios. Con los atributos de la vegetación cuantificamos la oferta de las cuatro contribuciones. Calculamos la diversidad taxonómica utilizando los números de Hill, la diversidad funcional utilizando un análogo para grupos funcionales, y para la diversidad estructural, índices basados en distancias, diámetros y composición de especies. Codificamos y estandarizamos los resultados de las entrevistas para calcular los capitales antrópicos. Posteriormente analizamos el porcentaje de varianza en la oferta de las cuatro contribuciones explicado por i) las variables de biodiversidad, y ii) las variables de capitales antrópicos. Utilizamos modelos de ecuaciones estructurales para explorar la relación de causalidad entre la biodiversidad y los capitales antrópicos y la oferta de las cuatro contribuciones de la naturaleza, incluyendo además la edad sucesional y la intensidad de manejo. Los resultados mostraron que la riqueza de especies leñosas contribuye significativamente a la oferta de las cuatro contribuciones estudiadas. La riqueza de grupos funcionales contribuyó al almacén de carbono. El capital financiero contribuyó significativamente a la oferta de forraje, de productos forestales y de almacén de carbono. Ningún capital antrópico contribuyó a la oferta de sombra. Nuestros resultados sugieren que la riqueza de especies leñosas modula la oferta de contribuciones de la naturaleza a través de sus efectos sobre la producción de biomasa. Encontramos un gradiente en la dependencia de las contribuciones de la

naturaleza de la biodiversidad y de los capitales antrópicos en función del tipo de contribuciones. Las contribuciones de regulación dependieron en mayor medida de la biodiversidad, y en menor medida de los capitales antrópicos. En cambio, las contribuciones materiales dependieron en mayor medida de los capitales antrópicos y en menor medida de la biodiversidad. Queda por demostrar la generalidad del gradiente en el aporte relativo de la biodiversidad y de los capitales antrópicos a la co-producción de contribuciones de la naturaleza para las personas con potenciales implicaciones globales a la teoría.

Palabras claves: capitales antrópicos, capital natural, Chamela, Servicios ecosistémico, riqueza de especies.



## ABSTRACT

The study of biodiversity and its relationship with the nature's contribution to people is one of the most relevant scientific challenges in recent times. Studying them as a socio-ecological system allows us to understand the relationships between ecological and social processes and structures. Nature's contributions to people is a new approach that allows us to firmly embed a broader set of viewpoints and stakeholders. Giving greater preponderance to social sciences and local knowledge than ecosystem services. The contributions of nature to people approach explicitly recognizes that nature and humans are interlinked through reciprocal relationships. These contributions are co-produced by nature and society, but the understanding of the relative input of biodiversity and anthropogenic capitals to the contributions is still incipient. The objective of this work was to analyze: i) the relative contribution of taxonomic, functional and structural biodiversity, ii) the relative contribution of the four anthropogenic capitals (human, social, manufactured and financial), and iii) the causal relationship of biodiversity and anthropogenic capitals with the supply of the four contributions of nature (shade tree, carbon storage, fodder, forest stands). We do this in the context of a successional gradient and management intensity for a tropical dry forest in the Pacific of Mexico. We obtained biodiversity data through vegetation censuses for 30 sites, and anthropogenic capitals through semi-structured interviews with 28 ejidatarios. With the attributes of the vegetation we quantify the supply of the four contributions. We calculated taxonomic diversity using Hill numbers, functional diversity using an analog for functional groups, and for structural diversity, indices based on distances, diameters, and species composition. We encoded and standardized the results of the interviews to calculate the anthropic capitals. Subsequently, we analyze the percentage of variance in the supply of the four contributions explained by i) the biodiversity variables, and ii) the anthropogenic capital variables. We used structural equation models to explore the causal relationship between biodiversity and anthropogenic capitals and the supply of the four contributions of nature, also including successional age and management intensity. The results showed that the richness of woody species contributes significantly to the supply of the four contributions studied. The richness of functional groups contributed to the carbon store. Financial capital contributed significantly to the supply of fodder, forest stands and carbon storage. None anthropic capital contributed to the supply of shade tree. Our results suggest that woody species richness modulates the supply of nature's contributions through its effects on biomass production. We found a gradient in the dependence of nature's contributions on biodiversity and anthropogenic capitals depending on

the type of contributions. Regulatory contributions depended more on biodiversity, and less on anthropogenic capitals. In contrast, the material contributions depended more on anthropogenic capital and less on biodiversity. It remains to demonstrate the generality of the gradient in the relative contribution of biodiversity and anthropogenic capitals to the co-production of contributions from nature to people with potential global implications for the theory.



## 1 INTRODUCCION GENERAL

El estudio de la biodiversidad (la variedad de vida en genética, especies, comunidades y niveles de paisaje (Hamann, 2016)) y su relación con la contribución de la naturaleza para la sociedad (CNS) es uno de los retos científicos más relevantes en los últimos tiempos. Ante la rápida pérdida de biodiversidad, se vuelve de suma importancia estudiar sus implicaciones para las CNS, ya que aún se sabe poco acerca de los mecanismos que intervienen en esta relación (Mace et al., 2012). Además, un contexto socioecológico, permite considerar la contribución de procesos y estructuras sociales y ecológicas y sus interacciones (Bennett et al., 2015; Reyers et al., 2013).

Estos sistemas socioecológicos se basan en que los sistemas sociales y ecológicos están conectados y por tanto, el delineamiento de sus fronteras y la delimitación exclusiva de un ecosistema o de un sistema social, resulta artificial y arbitrario (Berkes & Folke, 1998). Esta concepción no puede ser entendida sino a la base de una visión sistémica y holística, donde no solo se trata de las cuestiones ecológicas o sociales, sino de múltiples elementos asociados como pueden ser los componentes culturales, políticos, sociales, económicos, ecológicos y tecnológicos, entre otros (Ostrom, 2009).

Los sistemas socioecológicos poseen ciertas características que los definen como sistemas complejos: no linealidad, incertidumbre, emergencia, escala y autoorganización y varios conceptos de la teoría de sistemas sirven para su definición y estudios, como son: sistemas complejos, emergencia, resiliencia, vulnerabilidad, capacidad adaptativa y transformabilidad. A pesar de estas características estos sistemas no son tan imprevisibles, gracias a la dinámica de los mismos (Glaser et al., 2008; Ostrom, 2009).

Entendemos las contribuciones de la naturaleza a la sociedad como todas aquellas contribuciones tanto positivas como negativas de la naturaleza (diversidad

de organismos, ecosistemas y sus asociados procesos ecológicos y evolutivos) para la calidad de vida de las personas (Díaz et al., 2018). Este nuevo enfoque nos permite incrustar firmemente un conjunto más amplio de puntos de vista y partes interesadas. (Tengö et al., 2017). A primera vista las contribuciones de la naturaleza no parece diferir mucho de los servicios ecosistémico, sin embargo los servicios ecosistémicos es conceptualmente y en la práctica dominado por las ciencias naturales y la economía, dándole menor importancia a las ciencias sociales, el conocimiento local y el conocimiento ancestral, las cuales tienen una mayor importancia en las contribuciones de la naturaleza (Hill et al., 2021).

Dentro de este marco teórico las contribuciones se organizan en tres grupos parcialmente superpuestos entre ellos (Figura 1): las contribuciones materiales, las contribuciones no materiales y las contribuciones de regulación, definidas según el tipo de contribución a la calidad de vida de las personas. (i) las contribuciones materiales son elementos materiales que sostienen directamente la existencia física y los bienes materiales, (ii) las contribuciones no materiales son aspectos subjetivos o psicológicos que sustentan la calidad de vida, tanto a nivel individual como colectivo y (iii) las contribuciones de regulación son funciones y aspectos estructurales de ellos organismos y ecosistemas que modifican las condiciones ambientales y/o regulan la generación de aportes materiales y no materiales. Por último la cultura en lugar de quedar confinada a una categoría aislada es reconocida en los tres grupos como un componente fundamental (Díaz et al., 2018).

Bajo este enfoque se entiende que estas contribuciones son co-producidas por la naturaleza y las personas, y que además estas contribuciones son vistas desde diferentes lentes culturales (Díaz et al., 2018). Por ejemplo la coproducción de alimentos puede verse desde 2 perspectivas, una en el cual se enmarca como un proceso que combina insumos biológicos y tecnológicos que maximiza los rendimientos, mientras que la otra perspectiva involucra las relaciones sociales y conexiones con entidades espirituales (Comberty et al., 2015). Por tal motivo, proponen verlo desde dos perspectiva una generalizadora y una específica del

contexto, que se mezclan y entretajan entre sí y permiten la co-construcción del conocimiento entre disciplinas y sistemas de conocimiento (Tengö et al., 2017).

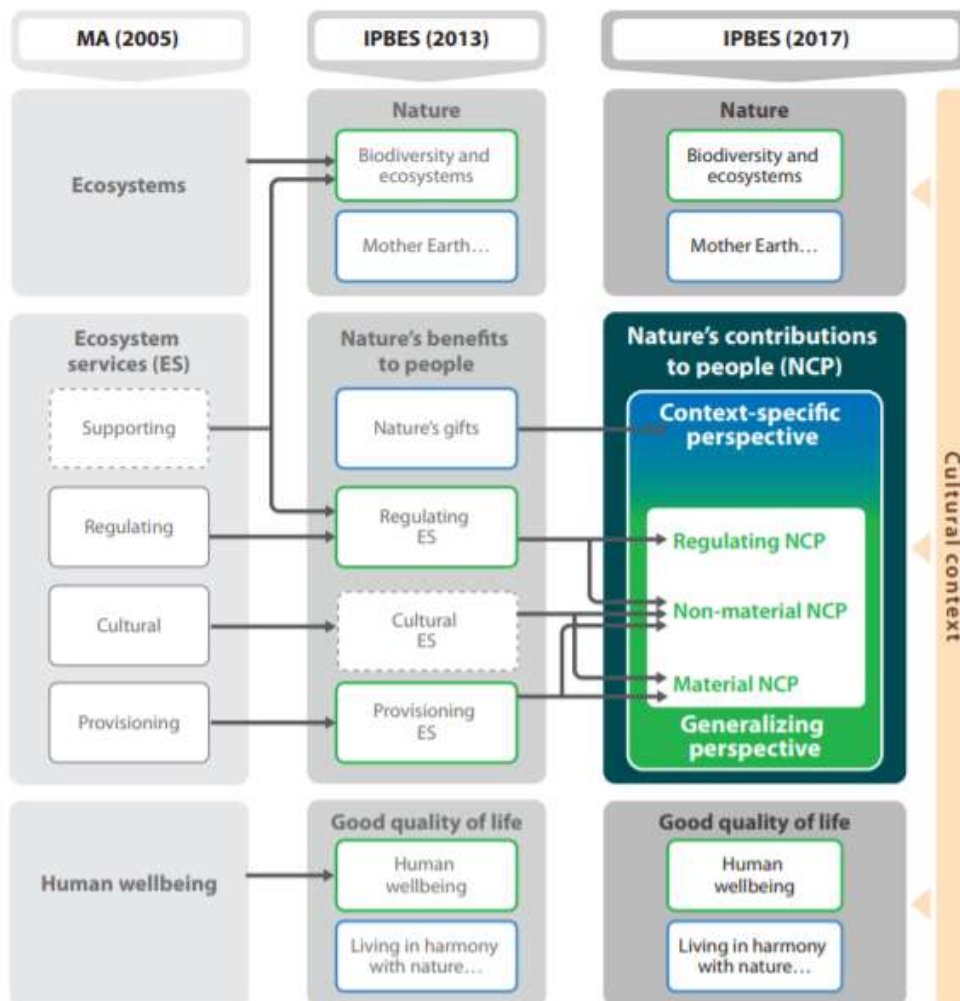


Figura 1.- Marco conceptual de la contribución de la naturaleza a la sociedad (Díaz et al., 2018)

Cuando hablamos de la co-producción de estas contribuciones nos referimos al papel que juegan los diferentes capitales humanos, en modular los componentes y procesos de los ecosistemas y por ende las contribuciones de la naturaleza a la sociedad (Figura 2) (Jones et al., 2016; Palomo et al., 2016). Estos capitales son: (i) el capital social que se refiere a los activos intangibles asociados con las contribuciones formales e informales, redes, confianza, valores compartidos y normas requeridas para mejorar la calidad y cantidad de interacciones sociales, (ii)

el capital natural que es el stock de recursos naturales que proporcionan estas contribuciones, (iii) el capital humano que comprende la salud, el conocimiento, la educación, las habilidades y motivaciones, (iv) el capital manufacturado que se refiere a los activos físicos fijos que contribuyen al proceso de producción de las contribuciones (ie. Herramientas) y (v) el capital financiero que es un mecanismo que nuestra sociedad utiliza para comerciar las otras formas de capital. Comprender como el capital natural y los otros tipos de capital se combinan para co-producir las contribuciones de la naturaleza a la sociedad pueden darnos una mejor comprensión de la dinámica de estos sistemas socioecológicos (Jones et al., 2016; Palomo et al., 2016).

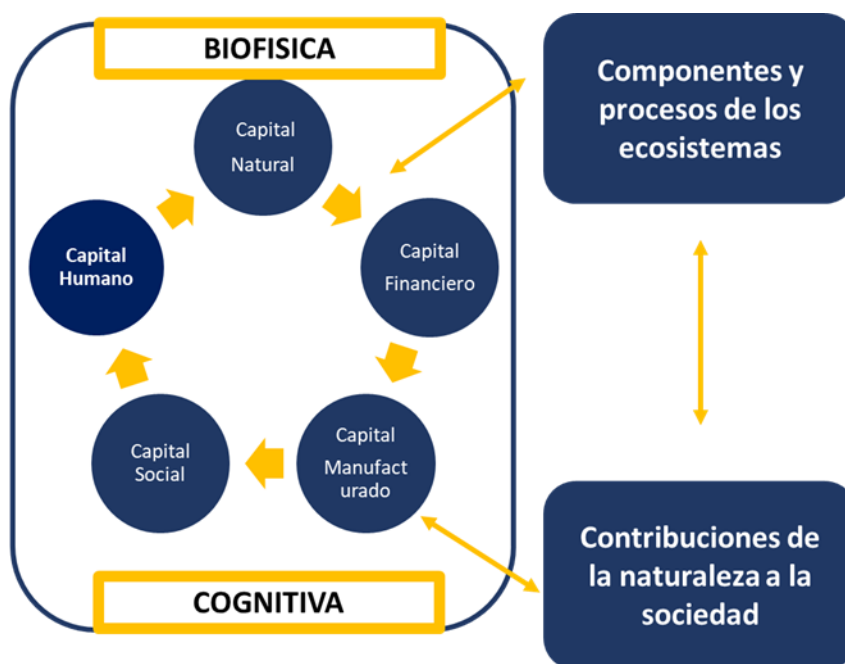


Figura 2.- Esquema de la co-producción de la oferta de Contribuciones de la naturaleza a la sociedad

Así, los diferentes capitales y su interacción entre ellos da lugar a dos tipos de coproducción: la coproducción biofísica, que implica cambios medibles en la biodiversidad o los ecosistemas que modifican la prestación de contribuciones y la co-producción cognitiva, la cual se refiere a los procesos cognitivos inherentes a cada individuo al percibir los beneficios de una contribución de la naturaleza a la

sociedad dado, a través de las interacciones directas e indirectas con la naturaleza y especialmente a través de instituciones socialmente construidas que conectan a las personas con la naturaleza a través de contribuciones de la naturaleza culturales, como por ejemplo, nociones de identidad. (Jones et al., 2016; Palomo et al., 2016).

El capital natural, en nuestro caso la biodiversidad, es un componente importante en la co-producción de las contribuciones de la naturaleza, entender como esta biodiversidad se relaciona con los demás capitales antrópicos, y como actúan los distintos elementos de la biodiversidad sobre estas contribuciones. Los elementos de la biodiversidad, incluyen entre otras a la abundancia y riqueza de especies, diversidad funcional y diversidad estructural y no afectan uniformemente a las diferentes contribuciones de la naturaleza a la sociedad (Quijas & Balvanera, 2013; Van der Sande et al., 2017). Algunas contribuciones dependen directamente de la abundancia de organismos, otros se ven fuertemente afectados por en el rango o variedad de atributos funcionales presentes en el sistemas, y otros se basan en la presencia de especies particulares, aunque no sean abundantes (Balvanera et al., 2016; Isbell et al., 2017)

Por otra parte, esta relación requiere del conocimiento de cómo la biodiversidad modula la oferta de estas contribuciones, la cual entendemos como las interacciones entre los componentes de los ecosistemas y los beneficios potenciales. Es importante entender que tanto la biodiversidad. como los diferentes tipos de cobertura y de manejo condicionan una gran cantidad de factores ecológicos que modifican la oferta de las contribuciones de la naturaleza a la sociedad (Balvanera et al., 2014).



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GENERAL

- Analizar el aporte de la biodiversidad leñosa y los capitales antrópicos en la oferta de cuatro contribuciones de la naturaleza para las personas.

### 2.2 ESPECIFICOS

- Explorar la relación entre de la diversidad taxonómica, funcional y estructural y la co-producción de las contribuciones de la naturaleza para las personas.
- Explorar la relación entre los diferentes capitales y la co-producción de las contribuciones de la naturaleza para las persona.
- Analizar la causalidad de la diversidad biológica y de los capitales, a través de un gradiente sucesional y de intensidad de manejo, a la co-producción de contribuciones de la naturaleza para las personas.

**Disectando el rol de la biodiversidad y de los capitales antrópicos en la co-producción de las contribuciones de la naturaleza para las personas.**

Rubén D. Ramírez-Ramírez<sup>a,b</sup>, Patricia Balvanera<sup>b</sup>, Ignacio Palomo<sup>c</sup>, Leonel Lopez-Toledo<sup>a</sup>, Francisco Mora<sup>b</sup>, Nathalia Perez<sup>b,d</sup>, Ileri Suazo-Ortuño<sup>a</sup>.

Instituto de investigación sobre los recursos naturales (INIRENA) - Universidad michoacana San Nicolas de Hidalgo. Morelia, México.<sup>a</sup>

Instituto de investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES) - Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, México.<sup>b</sup>

Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE) - Université Grenoble Alpes. Grenoble, France.<sup>c</sup>

Department of Geography, University of Zurich (UZH), Zurich, Switzerland.<sup>d</sup>

1. Las contribuciones de la naturaleza a las personas son coproducidas por la naturaleza y la sociedad, pero la comprensión del aporte relativo de la biodiversidad y los capitales antrópicos hacia estas contribuciones es aún incipiente.
2. En este trabajo analizamos: i) el aporte relativo de la biodiversidad taxonómica, funcional y estructural, ii) el aporte relativo de cuatro capitales antrópicos (humano, social, manufacturado y financiero), y iii) las dependencias causales relativas entre biodiversidad y capitales antrópicos en el suministro de cuatro aportes de la naturaleza a las personas (sombra, almacenamiento de carbono, forraje, productos forestales), en un bosque tropical seco en la costa del Pacífico de México.
3. Obtuvimos datos de biodiversidad a través del censo de vegetación leñosa de 30 sitios, para cuantificar la oferta de las contribuciones y calcular la diversidad de especies leñosas. Los capitales antrópicos se calcularon a partir de entrevistas semiestructuradas a 28 propietarios. Nosotros analizamos el porcentaje de la varianza en la oferta de las cuatro contribuciones explicada por variables de biodiversidad, y por las variables de capitales antrópicos. Luego usamos modelos de ecuaciones estructurales para probar las dependencias causales entre las contribuciones, la biodiversidad y los capitales antrópicos.
4. Los resultados mostraron que la diversidad taxonómica (riqueza de especies) explica significativamente la oferta de las cuatro contribuciones estudiadas, mientras que la diversidad funcional (riqueza de grupos funcionales), solo fue significativo para el almacenamiento de carbono. El capital financiero (ahorro asociados con el ganado) explicó significativamente tres de las cuatro contribuciones (excepto sombra). Ningún capital antrópico explicó la oferta de sombra.

5. Dependencias causales entre la biodiversidad (riqueza de especies) y las contribuciones de la naturaleza de regulación fueron superiores a las de las contribuciones materiales. Dependencias causales entre los capitales antrópicos y las contribuciones de la naturaleza de regulación fueron menores que para contribuciones materiales.
6. Nuestros resultados sugieren que la regulación de las contribuciones depende en mayor medida de la biodiversidad, y en menor medida sobre los capitales antrópicos. Por el contrario, contribuciones materiales dependen en mayor medida de capitales antrópicos y en menor medida de biodiversidad
7. La generalidad de una contribución diferencial de la biodiversidad y los capitales antrópicos a las contribuciones reguladoras y materiales de las personas a la naturaleza aún no se han demostrado, con potenciales implicaciones teóricas globales.

### 3 INTRODUCCIÓN

El marco sobre las contribuciones de la naturaleza a las personas reconoce explícitamente que la naturaleza y los humanos están entrelazados a través de profundas relaciones recíprocas (Bruley et al., 2021; Díaz et al., 2018). Este marco enfatiza el papel que juega el ser humano, a través de diversos capitales antrópicos, en la modificación de los componentes y procesos de los ecosistemas, y por ende en la coproducción de los aportes de la naturaleza a las personas (Palomo et al., 2016). Este enfoque surge del énfasis en una perspectiva socio-ecológica de las relaciones hombre-naturaleza (Bennett et al., 2015; Reyers et al., 2013), basándose en el concepto de servicios ecosistémicos (MEA, 2005), para enfatizar la pluralidad de las relaciones entre las personas y la naturaleza (Hill et al., 2021).

La biodiversidad es un componente fundamental de los ecosistemas, clave para su funcionamiento, y se ha enfatizado su papel en la coproducción de las contribuciones de la naturaleza (Balvanera et al., 2014; Harrison et al., 2014; Naeem et al., 2016). La mayoría de los estudios exploran cómo la biodiversidad modula las

funciones de los ecosistemas (Bennett et al., 2015), aunque algunos esfuerzos recientes evalúan la relación directa entre la biodiversidad y las contribuciones de la naturaleza (Balvanera et al., 2015; Ricketts et al., 2016; Van der Sande et al., 2017). Relaciones positivas entre la riqueza de especies y la madera, el forraje y el secuestro de carbono se ha encontrado que resultan de una mayor producción de biomasa (Isbell et al., 2011), pero también se ha encontrado que la producción de madera es mayor en plantaciones de monocultivo (Cardinale et al., 2012). Atributos funcionales específicos se han relacionado con contribuciones como el suministro de forraje, la producción de madera, el almacén de carbono (de Bello et al., 2010); por ejemplo, se ha encontrado que el área foliar específica es positivamente relacionada con el suministro de forraje disponible y la densidad de la madera con el carbono secuestro (de Bello et al., 2010). El aporte de la diversidad estructural a las contribuciones de la naturaleza ha sido poco estudiado (Bennett et al., 2015; Brockerhoff et al., 2017). Por ejemplo, un aumento en la heterogeneidad del tamaño de la planta puede reducir la productividad (Bourdier et al., 2016; Luu et al., 2013; Soares et al., 2016), y la estructura del dosel modula la cantidad de luz que ingresa al sistema y por ende la acumulación de biomasa (de Bello et al., 2010). Estos resultados a menudo dependen del contexto específico. En cualquier caso, la biodiversidad se ha demostrado ser importante para la resiliencia y la multifuncionalidad de las contribuciones de la naturaleza a las personas (Bruley et al., 2021).

. Exploraciones del papel de los capitales antrópicos en la coproducción de las contribuciones de la naturaleza son bastante recientes (Jones et al., 2016; Palomo et al., 2016). Un gradiente en la coproducción, a partir de aquellas aportaciones que en su mayoría dependan del capital natural, como es el agua que se obtiene directamente de un río, hasta las que dependen fuertemente de fuentes antrópicas capitales, como es el caso del agua obtenida de una planta desaladora, se ha sugerido (Palomo et al., 2016). Esta coproducción ha estado ligada a la intervención humana a través procesos naturales alterados, prácticas agrícolas e infraestructura, o a través de la creación de áreas naturales protegidas (Jones et al.,

2016). Estudios recientes, basados en análisis cualitativos basados en percepciones, han sugerido que diferentes contribuciones dependen de diferentes maneras sobre capitales antrópicos (Bruley et al., 2021). Por ejemplo, sugieren que las contribuciones vinculadas con el sentido de pertenencia están fuertemente relacionadas con el capital natural, con un limitado aporte de capitales antrópicos, mientras que actividades como el esquí alpino, requieren recursos, infraestructura y conocimientos para poder disfrutar de la naturaleza.

Pocos estudios han abordado la coproducción de las contribuciones de la naturaleza a las personas desde una perspectiva socioecológica e integral. La contribución relativa del capital natural y los capitales antrópicos se ha explorado recientemente para el caso de la producción de alimentos, forraje y energía a nivel global (Palliwoda et al., 2021; Schröter et al., 2021). Variaciones en la eficiencia del cultivo se explicaron por las condiciones biofísicas, la fertilidad del suelo, la topografía y la clima (capital natural) así como efectos antrópicos, específicamente el uso de fertilizantes nitrogenados (Schröter et al., 2021).

El objetivo de este trabajo fue analizar el aporte de la biodiversidad leñosa y los capitales antrópicos en el suministro de cuatro aportes de la naturaleza (sombra, almacenamiento de carbono, forrajes leñosos y productos forestales). En primer lugar, exploramos el papel de tres componentes de biodiversidad (taxonómica, funcional y estructural) en el suministro de cuatro aportes de la naturaleza a las personas, dos materiales (forraje leñoso y producto forestal) y dos reguladores (almacenamiento de carbono y sombra). En segundo lugar, exploramos el papel de los cuatro capitales antrópicos (humano, social, manufacturado y financiero) sobre estas contribuciones. Finalmente, se analizó cómo la biodiversidad y los capitales antrópicos se correlacionaban con cada uno de las contribuciones. Lo hacemos en el contexto de un gradiente sucesional a lo largo del cual se han observado cambios en la biodiversidad (Mora et al., 2018) y un gradiente de intensidad de manejo a lo largo del cual cambian los capitales antrópicos (Sánchez-Romero et al., 2021) para un bosque tropical seco de la costa del Pacífico de México, por lo que la oferta de

las contribuciones de la naturaleza ha sido ampliamente estudiada (Balvanera et al., 2021; Castillo et al., 2005; Maass et al., 2005) (Balvanera et al., 2021; Castillo et al., 2005; Maass et al. (Figura 3).222

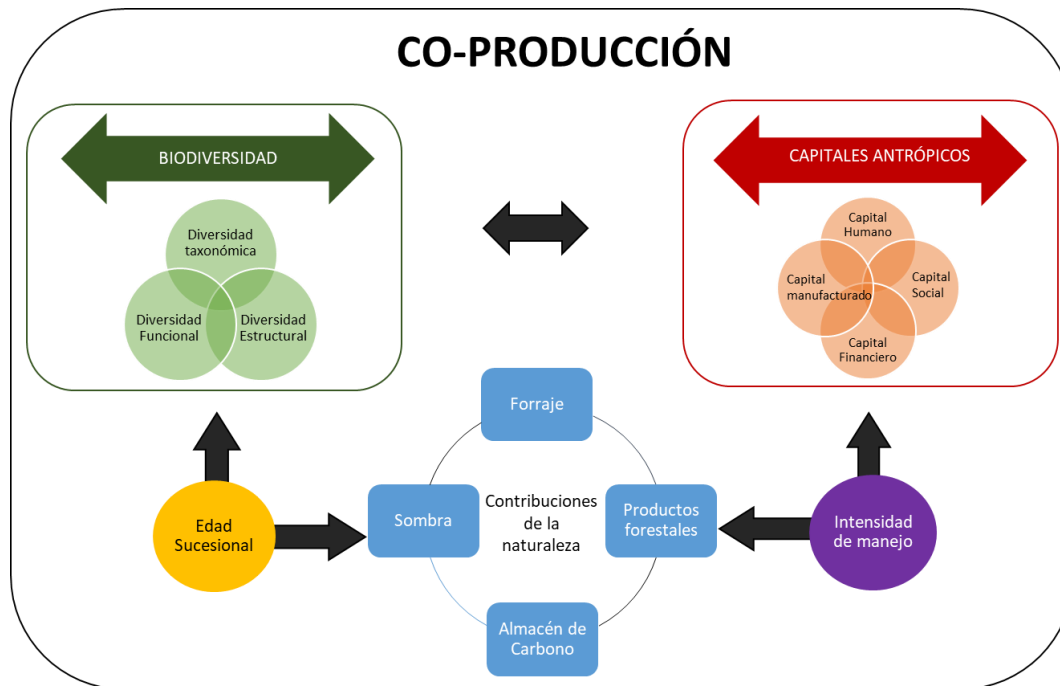


Figura 3.- Mapa conceptual de la coproducción de cuatro contribuciones de la naturaleza para las personas, y de los aportes de la biodiversidad y de los capitales antrópicos a esta co-producción.

## 4 MATERIALES Y METODOS

### 4.1 Sitio de estudio

El estudio se ha desarrollado en el entorno de la Reserva de la Biosfera de Cuixmala-Chamela (RBCC) en la costa del Pacífico mexicano. (19°23' – 19°30'N, 104°56' –105°04'W) (Castillo et al., 2005; Maass et al., 2005). Para este sistema de estudio, se ha documentado los cambios en diversidad taxonómica y funcional a lo largo de un gradiente sucesional después del abandono del manejo agrícola (Martínez-Ramos et al., 2021; Mora et al., 2018; Siddique et al., 2021). También se han realizado exploraciones de los vínculos entre la oferta de aportes

de la naturaleza y la intensidad de la gestión (Balvanera et al., 2021; Cortés-Calderón et al., 2021; Naime et al., 2020; Trilleras et al., 2015).

#### **4.2 Sistema de estudio.**

**Sitios.** - Nuestra unidad de estudio fueron los sitios para las cuales se estimaron las contribuciones de la naturaleza, la diversidad de especies leñosas y los capitales de los propietarios. La biodiversidad fue descrita para un sistema de sitios previamente establecido para el estudio de la dinámica socioecológica del bosque tropical secundario (Pérez-Cárdenas et al., 2021). Este sistema está formado por 30 sitios que fueron elegidos para explorar el papel de la fragmentación forestal y la gestión intensidad (Pérez-Cárdenas et al., 2021).

**Muestreo de especies leñosas.** - En cada parcela se estableció un transecto de 50x50m en el que se muestrearon especies leñosas (árboles, lianas y cactus) con diámetros >1 cm hasta >10 cm en un modelo anidado (ANEXO 1). Para los individuos leñosos los diámetros se midieron desde la altura del pecho (DAP) y las lianas se midieron a 10 cm de la base del tallo (Pérez-Cárdenas et al., 2021).

#### **4.3 Estimación de la oferta de contribuciones de la naturaleza para las personas.**

Utilizamos la clasificación de las contribuciones de la naturaleza propuesta por Díaz y colaboradores (2018). Evaluamos el suministro de dos contribuciones materiales (forraje de especies leñosas y productos forestales) y dos contribuciones reguladoras (sombra y secuestro de carbono). Se eligieron dichas contribuciones por su importancia demostrada para los actores locales (Cortés-Calderón et al., 2021; Maass et al., 2005).

La oferta de las diferentes contribuciones se estimó a partir de los datos de vegetación. El área basal de forrajes leñosos y productos forestales se calculó a

partir del DAP, las relaciones y utilizando las listas disponibles de especies utilizadas para esos fines, el almacenamiento de carbono se estimó utilizando ecuaciones alométricas específicas del sitio y la sombra se estimó a partir de la cobertura forestal (Cortés-Calderón et al., 2021; Naime et al., 2020; Sanchez, 2016).

**Forraje de especies leñosas.** - Se definió como el área basal total de las especies leñosas palatables para el ganado. Se ha demostrado que el área basal está relacionada con la cantidad de aire biomasa de follaje y frutos que puede ser consumido por el ganado (Sánchez-Romero et al., 2021). La lista de las especies leñosas utilizadas como forraje se tomó de la literatura actual. (Cortés-Calderón et al., 2021; Sanchez, 2016). Más detalles se encuentran en el ANEXO 2.

**Sombra.** - Se definió como la cubierta del dosel que da sombra y por lo tanto regulación microclimática. La cobertura del dosel se calculó a partir del promedio de cuatro medidas en veinte puntos distribuidos sistemáticamente a lo largo del transecto (Cortés-Calderón et al., 2021). Se ha demostrado que la cobertura del dosel está altamente correlacionada con la temperatura y la humedad relativa (Pineda-García et al. 2013). Los propietarios perciben y reconocen los beneficios de la sombra para ellos y su ganado (Castillo et al., 2005; Trilleras et al., 2015). Más detalles se encuentran en el ANEXO 3.

**Productos forestales.** - Se definió como el área basal total de las especies leñosas que se utilizan para leña, materiales de construcción, cercas y palos para la producción agrícola. El área basal se considera una aproximación para determinar la cantidad de recursos forestales disponibles debido a su relación directa con la biomasa aérea. La lista de especies utilizadas para productos forestales puede obtenerse en la literatura actual (Sánchez-Romero et al., 2021). Más detalles se encuentran en el ANEXO 4.

**Almacén de carbono.** - Se definió como la cantidad de carbono acumulado en la biomasa aérea. Se estimó a partir del DAP con una ecuación alométrica que se



desarrolló para los bosques secundarios estudiados de esta región (Bojórquez, 2014). La biomasa se transformó en stock de carbono utilizando el valor de concentración de carbono (0.4809) para los bosques tropicales secos de la región de Chamela (Jaramillo et al., 2003), Mayores detalles se encuentran al utilizar la ecuación que se encuentra en el ANEXO 5.

#### **4.4 Estimación de la biodiversidad.**

**Diversidad Taxonómica.** – Estimamos la diversidad Alfa de la vegetación leñosa para diferentes órdenes de diversidad Números de Hill (Jost, 2006). Consideramos tres medidas de diversidad verdadera. La primera es la diversidad de orden cero (0D), que equivale a la riqueza de especies. La segunda medida es la diversidad de orden uno (1D), que es una medida de diversidad ponderado por la abundancia relativa de cada especie. La tercera es la diversidad de orden dos (2D), que refleja la proporción de especies dominantes en la comunidad (Jost, 2006). Estas estimaciones de diversidad se calcularon utilizando el paquete "INext" (Hsieh et al., 2016). Para disminuir los sesgos dados por el esfuerzo de muestreo, los valores se obtuvieron sistemáticamente para un esfuerzo de muestreo de 0.9 (Chao & Jost, 2012).

**Diversidad Funcional.** – Estimamos la diversidad funcional usando un análogo de números de Hill basados en las distancias funcionales calculadas a partir de los atributos de individuos (Chao et al., 2014). Utilizamos una base de datos de atributos funcionales existentes disponibles para el área de estudio, incluyendo área foliar específica, densidad de madera y altura máxima (Rozendaal et al., 2021). La diversidad funcional se calculó utilizando una diversidad funcional media basada en la distancia funcional efectiva total entre especies, basada tanto en la distancia máxima por pares como en la distancia media entre especies. La diversidad funcional de orden cero (0FD) es equivalente a la riqueza funcional; el de orden uno (1FD) se deriva de la abundancia de grupos funcionales; el de orden dos, 2FD se

basa en los grupos funcionales dominantes es equivalente al relativo ponderado (Chao et al., 2014).

**Diversidad estructural.** – Estimamos la diversidad estructural a partir de tres indicadores de diversidad estructural, basados en distancias, diámetros y composición. Para las distancias (DS) se utilizó el índice de agregación de Clark y Evans, que describe la relación de la distancia media observada a los vecinos más cercanos con respecto a la esperada (Clark & Evans, 1954; Ehbrecht et al., 2017; Lin et al., 2020). Para los diámetros (DD), utilizamos un índice de diferenciación dimensional (Gadow et al., 2007). Para la composición (DC), se comparó la identidad de las especies focales con las circundantes, utilizando el índice de mezcla de Fuldner (1995).

#### 4.5 Estimación de los Capitales Antrópicos

Se realizaron entrevistas semiestructuradas con 28 de los 30 ejidatarios de los sitios estudiados. Dos de ellos sólo aceptaron que se hicieran censos de vegetación en sus propiedades, pero no aceptaron ser entrevistado. Las preguntas planteadas estaban vinculadas a las cuatro categorías de capitales antrópicos: humano, social, manufacturado y financiero (Jones et al., 2016; Palomo et al., 2016).

**Capital Humano.** Se define como la capacidad productiva de los seres humanos y abarca el acervo de capacidades que poseen cada individuo. Tomamos en cuenta la educación, las habilidades y las motivaciones de los ejidatarios. La educación considera el nivel educativo, la asesoría técnica recibida y el conocimiento ancestral que poseen. Las habilidades se refieren a las actividades agrícola, pecuaria y forestales que realizan en su parcela. Por último, para el conocimiento ancestral preguntamos de quien habían aprendido y que había aprendido. Anexo 6

**Capital Social.** Se definió como la red formal e informal de contactos, y relaciones basadas en la reciprocidad, la confianza y el entendimiento mutuo que modulan sus

interacciones. Estos incluyen las relaciones entre los ejidatarios y las comunidades locales y instituciones gubernamentales regionales. También incluyen la mano de obra para administrar su tierra sea contratada o proporcionada por un pariente directo.

**Capital Manufacturado.** Se definió como los activos físicos fijos necesarios para emprender la agricultura, la ganadería y la silvicultura. Estos incluyen las herramientas utilizadas, como el machete, la maquinaria utilizada, como el tractor, las construcciones en la propiedad, como depósitos de agua, y el tamaño de la propiedad.

**Capital Financiero.** Se definió como los recursos financieros disponibles para administrar sus tierras. Estos incluyen créditos (por parte de bancos privados o gubernamentales), así como programas de ayuda gubernamental. para apoyar las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, así como conservación (pagos por servicios ecosistémicos). También se incluyó la cantidad de ganado, considerado como un mecanismo clave de ahorro.

#### **4.6 Estimación de la edad sucesional y la intensidad de manejo**

La edad de sucesión se refiere al tiempo transcurrido desde que cesó el mantenimiento de las actividades agrícolas; estos datos se obtuvieron de entrevistas con propietarios de tierras y evaluaciones in situ de los atributos de la vegetación en relación con los predichos por tendencias bien estudiadas a lo largo de la sucesión (Pérez-Cárdenas et al., 2021). La intensidad de manejo se obtuvo a partir de datos sobre la cantidad de ganado que tienen en la propiedad, la frecuencia de las quemas y la aplicación de herbicidas; estos valores se estandarizaron con base en el área cubierta por diferentes tipos de uso de suelo (Pérez-Cárdenas et al., 2021).

## **4.7 Análisis de datos**

Utilizamos modelos lineales generalizados para evaluar la entrada relativa de datos taxonómicos. diversidad, funcional y estructural a la oferta de los cuatro aportes. Los nueve valores de diversidad, tres taxonómicas (D0, D1, D2), tres funcionales (FD0, FD1, FD2) y las tres estructurales (DS, DD, DC) fueron las variables independientes, y la oferta de cada aporte las variables dependientes. Todas las variables se estandarizaron restando la media y dividiéndolo por la desviación estándar, para evitar la sobre dispersión de datos (Schielzeth, 2010). La importancia de la entrada de cada variable a la contribución se evaluó con una secuencia (ANOVA tipo I), seguida de una prueba del factor de inflación de la varianza para determinar la existencia de colinealidad entre las variables (Salmerón et al., 2018). Luego analizamos la normalidad de la distribución del error del modelo usando una prueba de Shapiro (Morrison, 2005). Los modelos se realizaron en Project R (R Core Team, 2020).

. Para el caso de los capitales antrópicos, dada la gran cantidad de posibles variables predictoras (un total de 45, ver ANEXO 6), preseleccionamos variables predictoras mediante árboles de regresión para cada una de las cuatro contribuciones (gráfico ANEXO 7). Luego, se utilizaron modelos lineales generalizados, donde se incluyeron como variables independientes las variables predictoras preseleccionadas para cada uno de los capitales antrópicos (humano, social, manufacturado y financiero). Se utilizaron los mismos procedimientos que para el caso de las variables de biodiversidad.

Evaluar las dependencias causales relativas entre la biodiversidad y los capitales sobre la oferta de las contribuciones de la naturaleza ajustamos modelos

de ecuaciones estructurales tipo piecewise para cada contribución (Figura 4). Incluimos en estos modelos solo aquellos variables de biodiversidad y capital antrópico que resultaron ser significativas. Usamos el coeficiente de correlación entre pares de variables, así como la correlación agregada para las diferentes variables antrópicas, para probar dichas dependencias causales (Lefcheck, 2016). Incluimos en los modelos la edad sucesional, como impulsor clave de los cambios en la biodiversidad (Mora, 2015), y la intensidad de manejo, estrechamente ligada a los capitales antrópicos disponibles (Sánchez-Romero et al., 2021).

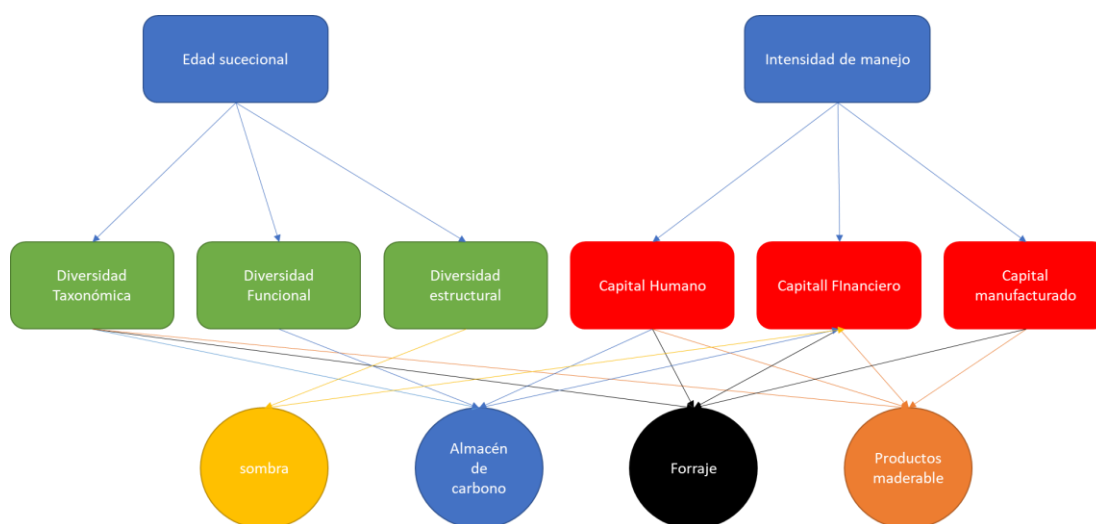


Figura 4 Modelo conceptual de los modelos de ecuaciones estructurales.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Papel de la biodiversidad

La diversidad taxonómica y, en concreto, la riqueza de especies leñosas (D0), explicó la variación en el suministro de las cuatro contribuciones de la naturaleza (sombra, carbono almacenamiento, forraje de leñosas y productos forestales), como lo muestran los modelos lineales generalizados. La diversidad funcional, es decir, la riqueza de grupos funcionales (FD0), solo explicó significativamente la variación en el almacenamiento de carbono. Ninguna de las otras variables, incluidas las

vinculadas a la diversidad estructural, explican significativamente la oferta de las cuatro contribuciones. ( $p > 0.05$ ) (Figura 5).

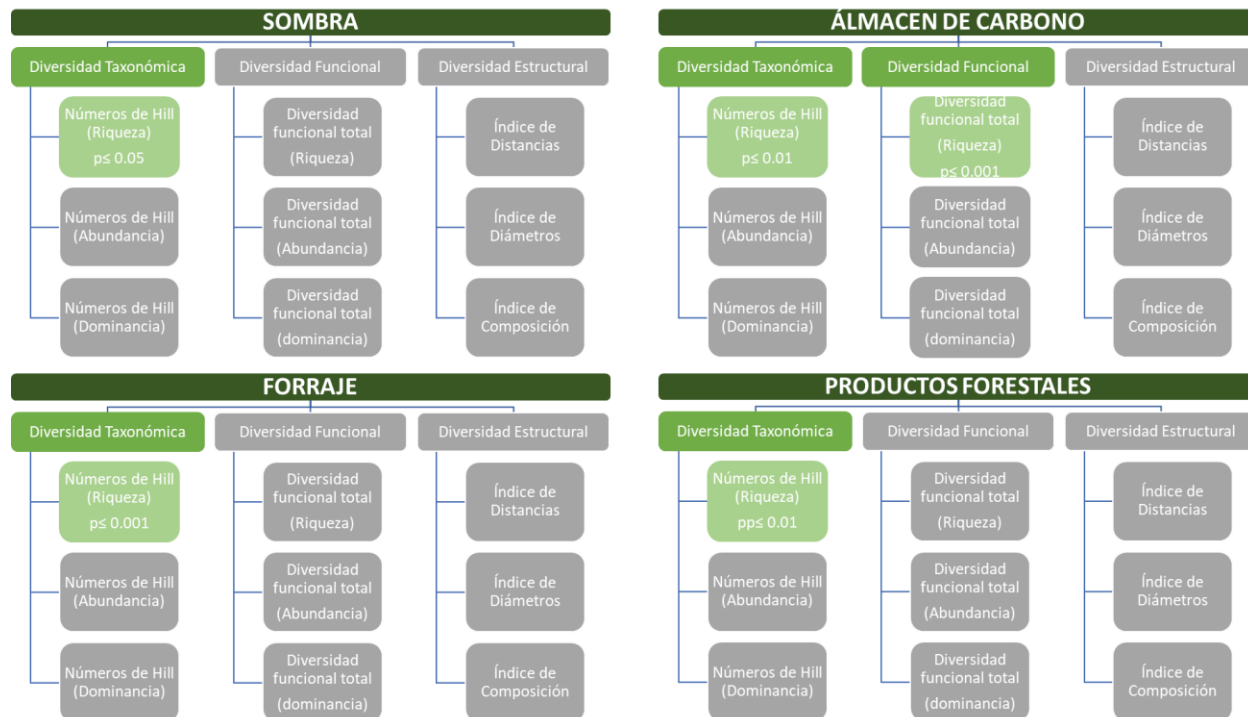


Figura 5.- Aportación relativa de la biodiversidad taxonómica, funcional y estructural a la oferta de cuatro contribuciones de la naturaleza. En verde se muestran las variables con aportes significativos a cada una de las contribuciones, identificadas a través de modelos lineales generalizados. En gris las variables que no fueron significativas.

## 5.2 Papel de los capitales antrópicos

El capital financiero, es decir, los ahorros asociados con tener ganado, significativamente explicó la varianza de la oferta en tres de las cuatro contribuciones (excepto sombra). El capital humano, es decir, las motivaciones para quemar o no quemar, fue una variable significativa para los forrajes leñosos y los productos forestales. El capital manufacturado, la construcción de depósitos de agua, fue importante para el almacenamiento de carbono. El capital social no resultó significativo para ninguna de las cuatro contribuciones de la naturaleza. Ningún capital antrópico explicó la oferta de sombra (Figura 6).

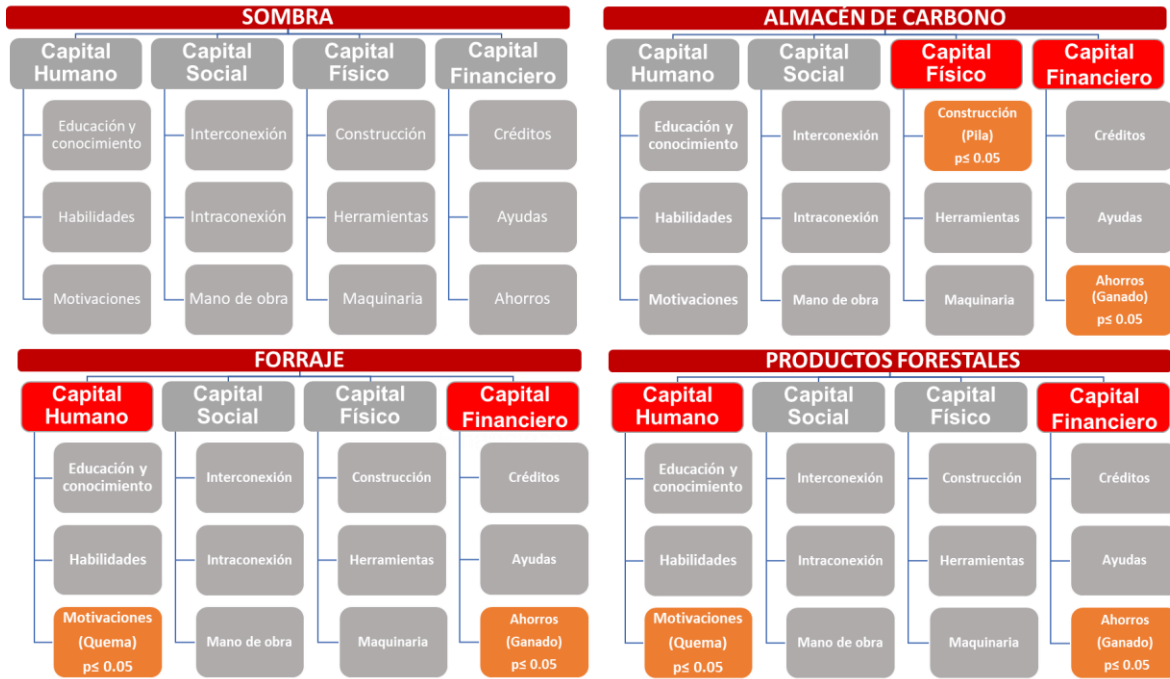


Figura 6.- Aportación relativa de los capitales antrópicos a la oferta de cuatro contribuciones de la naturaleza. En naranja se muestran las variables con aportes significativos a cada una de las contribuciones, identificadas a través de modelos lineales generalizados. En gris las variables que no fueron significativas.

### 5.3 Aportes relativos de la biodiversidad y los capitales antrópicos en el contexto del gradiente sucesional y de intensidad de manejo.

Nuestros resultados sugieren un gradiente a lo largo del cual los aportes relativos de biodiversidad y capitales antrópicos a la coproducción de los aportes de la naturaleza muestran patrones opuestos. Como los aportes provenientes de la riqueza de especies parecen disminuir (por contribuciones reguladoras tales como sombra a los aportes materiales como los productos forestales) aumentan los de los capitales antrópicos. Nuestros resultados proporcionan datos cuantitativos para describir dicho patrón, que rara vez ha estado disponible

Nuestros resultados plantean como hipótesis un patrón potencialmente generalizado (Figura 8): las contribuciones materiales que tienen un impacto directo y tangible sobre las personas, son coproducidas en gran medida por los capitales antrópicos y en menor medida por el capital natural o biodiversidad, mientras que las contribuciones reguladoras, dependen del funcionamiento del ecosistema y su integridad dependen en gran medida del capital natural o biodiversidad, y en menor medida sobre los capitales antrópicos. Para probar la hipótesis, será necesario analizar otros sistemas socioecológicos de manera rigurosa y sistémica.

Las dependencias causales entre la edad de sucesión y el suministro variaron entre las características de la naturaleza. Contribuciones, con correlaciones constantes entre la edad sucesional y la riqueza de especies (0,62), y las correlaciones más bajas entre la edad y las contribuciones para la sombra (0,03), seguido de almacenamiento de carbono (0,15), productos forestales (0,42) y finalmente forrajes leñosos (0,62). Aquellos entre la intensidad del manejo y las contribuciones de la naturaleza también variaron, con correlaciones entre intensidad y los capitales en general baja, positiva para el capital financiero (0,07) y negativa para otros 2 capitales (-0,03 a -0,09), y correlaciones entre intensidad y las contribuciones son positivas para la sombra (0,2) y más negativas para el almacenamiento de carbono (-0,12), forrajes leñosos (-0,17), y finalmente productos forestales (-0,19) (Figura 7).



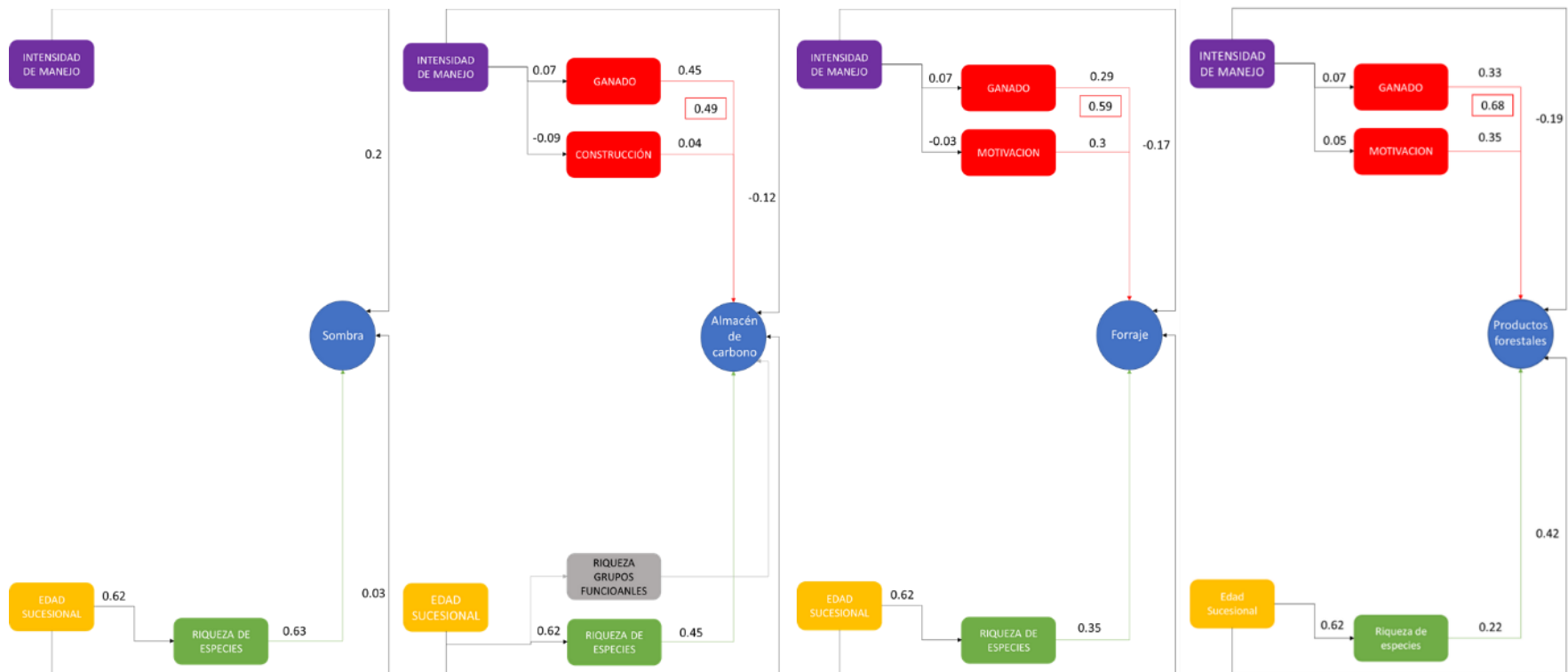


Figura 7.- Relación de causalidad entre de la biodiversidad y de los capitales antrópicos con la oferta de cuatro contribuciones de la naturaleza para las personas identificada a través de modelos de ecuaciones estructurales, construidos a partir de los resultados obtenidos de los modelos lineales generalizados. Las variables de la diversidad taxonómica que explicaron significativamente la oferta de las contribuciones se muestran en verde, las del capital natural en naranja, la edad sucesional en amarillo, la intensidad de manejo en morado, y la contribución en azul. Los números en cada flecha indican cuanto varianza de la variable a la derecha de la flecha está explicada por la variable de la izquierda. En cajas rojas se muestra la suma de la varianza explicada por variables de la misma categoría (e.g. distintos capitales antrópicos)

## 6 DISCUSION

### **6.1 El papel de la biodiversidad en las contribuciones de la naturaleza para las personas.**

Nuestros resultados confirman patrones e hipótesis previamente observados sobre relaciones entre la riqueza de especies y el suministro de contribuciones de la naturaleza a las personas (Cardinale et al., 2011; de Bello et al., 2010). La dominancia y la abundancia no se relacionaron significativamente con las contribuciones estudiadas. Estudios previos en esta misma región han encontrado un efecto sinérgico y positivo de la riqueza de especies leñosas y características clave del ecosistema (área basal, almacenamiento de carbono de hojas caídas, densidad del suelo, número de especies útiles) que son la base de múltiples contribuciones de la naturaleza (Siddique et al., 2021). La hipótesis de la eficiencia, que propone que a mayor riqueza el uso de los recursos es más eficiente que conduce a una mayor biomasa (Cardinale et al., 2011, 2012; de Bello et al., 2010; Loreau et al., 2001), podría explicar nuestros patrones observados.

También encontramos que la diversidad funcional, más explícitamente la riqueza de grupos funcionales, mostró una relación positiva y significativa con el almacén de carbono. Estudios previos en la misma área han sugerido vínculos entre la diversidad funcional, las diferentes formas en que las plantas utilizan y modifican los recursos y las funciones de los ecosistemas (Gavito et al., 2021). Los efectos de complementariedad de nicho podrían sustentar los patrones observados (Díaz et al., 2007).

El modelo de ecuaciones estructurales mostró que la diversidad funcional está correlacionada con la edad sucesional, lo que contribuye a la falta de efectos significativos de la diversidad funcional sobre las contribuciones de la naturaleza.

Los cambios en composición de especies que acompañan el aumento en la riqueza de especies a lo largo de la sucesión (Mora et al., 2018) y por lo tanto el aumento en la diversidad funcional (Bhaskar et al., 2014), están incluidos en los efectos de la edad sucesional en nuestro modelo. El acercamiento utilizado en este trabajo fue la identificación de estas sinergias más que un diseño experimental que pudiera profundizar en los efectos aislados de los distintos componentes.

## **6.2 El papel de los capitales antrópicos en las contribuciones de la naturaleza para las personas**

Los capitales antrópicos proporcionaron insumos para tres de las cuatro contribuciones de la naturaleza estudiadas. Este trabajo contribuye con los escasos datos empíricos cuantitativos disponibles hasta la fecha para contrastar y fortalecer la incipiente literatura teórica sobre el papel de estos capitales en la coproducción de las contribuciones de la naturaleza (Palomo et al., 2016).

El capital financiero fue el tipo más destacado de capitales antrópicos, en concordancia con estudios previos que sugieren que es un promotor de los otros capitales (Jones et al., 2016; Palomo et al., 2016). En este caso, el capital financiero estaba ligado a la estrategia de ahorro de efectivo invirtiéndolo en ganado que se puede vender cuando se necesita dinero líquido, que es frecuente usado en el área de estudio (Sánchez-Romero et al., 2021). EL ganado, además, juega un papel clave en esta región como motor en la gestión del bosque tropical y su actividad económica (Sánchez-Romero et al., 2021; Trilleras et al., 2015).

El capital humano, específicamente las motivaciones relacionadas con quemar o no quemar, mostró insumos a dos (forrajes, productos forestales) de los cuatro aportes de la naturaleza. En este caso, las motivaciones para quemar o no quemar y fomentar el crecimiento de los pastos mientras se limita el de las plantas leñosas son de vital importancia para el manejo del ganado (Trilleras et al., 2015), ya que se considera una herramienta barata para mejorar la productividad del pasto (Kauffman et al. 1998). El fuego es cada vez más considerado perjudicial, debido a

sus contribuciones a corto plazo ráfagas de nitrógeno y fósforo en el suelo, asociado a los efectos negativos y al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que lleva a que muchos propietarios de parcelas se abstengan de quemar (García & Jaramillo, 2011).

Sombra no mostró relación significativa con ninguno de los capitales antrópicos. No tenemos ninguna evidencia en este momento para explicar este patrón.

### **6.3 Relación de causalidad de la biodiversidad y de los capitales antrópicos con la oferta de las cuatro contribuciones de la naturaleza para las personas**

Nuestros resultados sugieren un gradiente a lo largo del cual los aportes relativos de biodiversidad y capitales antrópicos a la coproducción de los aportes de la naturaleza muestran patrones opuestos. Como los aportes provenientes de la riqueza de especies parecen disminuir (por contribuciones reguladoras tales como sombra a las contribuciones materiales como los productos forestales) aumentan los de los capitales antrópicos. Nuestros resultados proporcionan datos cuantitativos para describir este patrón, que rara vez ha es disponible.

Nuestros resultados plantean como hipótesis un patrón potencialmente generalizado (Figura 8): los aportes materiales que tienen un impacto directo y tangible sobre las personas, son coproducidos en gran medida por los capitales antrópicos y en menor medida por el capital natural o la biodiversidad, mientras que los aportes de regulación, que dependen del funcionamiento de los ecosistemas y su integridad, dependen en gran medida del capital natural o biodiversidad, y en menor medida de los capitales antrópicos. Para probar la hipótesis, será necesario analizar otros sistemas socioecológicos de manera rigurosa y sistémica.

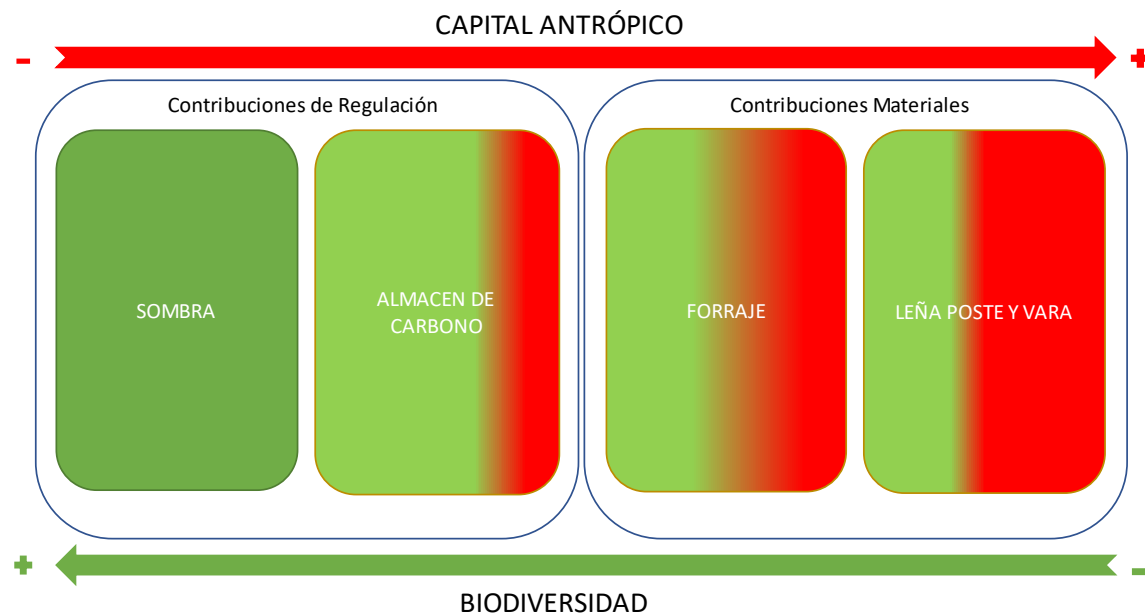


Figura 8.- Los capitales antrópicos (rojo) explican en mayor medida las contribuciones materiales mientras que el capital natural o la biodiversidad (verde) explica en mayor medida las contribuciones de regulación. Estos resultados permiten plantear una hipótesis acerca de la generalidad de esta relación en otros sistemas socioecológicos

La comparación entre los modelos de ecuaciones estructurales también sugiere un aumento en la correlación entre la edad sucesional y las contribuciones, de sombra al almacén de carbono, productos forestales y forrajes leñosos. Sólo una pequeña fracción de las especies (55 de un total de 191), en su mayoría arbustivas, se utilizan como forraje leñoso, y una fracción menor (20 especies) se utilizan para productos forestales; los cambios en la composición de especies pueden explicar el patrón observado. Se ha observado que los cambios dependientes de la edad en la composición de especies están positivamente relacionados con el aumento de la riqueza de especies y también impulsados por el recambio temporal de especies leñosas a medida que avanza la sucesión secundaria, para este sistema (Sidique et al 2012). Además, la comparación entre los modelos de ecuaciones estructurales sugiere una correlación cada vez más negativa entre la intensidad del manejo y las contribuciones, desde la sombra hasta el almacén de carbono, forraje de leñosos y

los productos forestales. Esta disminución se correlacionó negativamente con el aumento de la correlación entre los capitales y las contribuciones. Un análisis de la ganadería en la región mostró que aquellos terratenientes con la mayor cantidad de tierra podían tener una gran cantidad de ganado mientras manejaban con baja intensidad, mientras que aquellos con menor cantidad de tierra se vieron impulsados a manejar su tierra con alta intensidad a pesar de la baja intensidad. disponibilidad de capitales (Sánchez-Romero et al., 2021).

## 7 Conclusiones

En este estudio evaluamos cuantitativamente las contribuciones relativas de la biodiversidad y capitales antrópicos al suministro de cuatro aportes de la naturaleza a las personas. Encontramos un papel primordial desempeñado por la riqueza de especies y por el capital humano. El uso de modelos de ecuaciones estructurales nos permitió probar las dependencias causales entre la biodiversidad, capitales, y contribuciones reguladoras y materiales.

Nuestros resultados sugieren que la regulación de las contribuciones depende en mayor medida de la biodiversidad, y en menor medida sobre los capitales antrópicos. Por el contrario, las contribuciones materiales dependen en mayor medida de los capitales antrópicos y en menor medida de la biodiversidad. La generalidad de u aporte diferencial de la biodiversidad y los capitales antrópicos a las contribuciones materiales y de regulación de las personas a la naturaleza aun no ha sido demostrado.

Nuestros hallazgos tienen posibles implicaciones teóricas globales para la gestión del desarrollo sostenible de las contribuciones de la naturaleza a las personas, y el papel de la naturaleza y las personas en su coproducción. Se necesitan más exploraciones para evaluar la sustitución de los capitales natural y antrópico para las contribuciones de provisión y regulación (Ekins et al., 2003). La gestión sostenible de las contribuciones de la naturaleza a las personas depende de una mayor comprensión de cómo modificar o mantener la naturaleza y cómo

invertir diferentes tipos de capitales antrópicos son fundamentales para garantizar el suministro a largo plazo de estas contribuciones al bienestar humano (Palomo et al., 2016).

## 8 Bibliografía

- Balvanera, P., Paz, H., Arreola-Villa, F., Bhaskar, R., Bongers, F., Cortés, S., del Val, E., García-Frapolli, E., Gavito, M. E., González-Esquivel, C. E., Martínez-Ramos, M., Martínez-Yrizar, A., Mora, F., Naime, J., Pascual-Ramírez, F., Pérez-Cárdenas, N., Ugartechea-Salmerón, O. A., Siddique, I., Suazo-Ortuño, I., & Swinton, S. M. (2021). MINI REVIEW Social ecological dynamics of tropical secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 496. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119369>
- Balvanera, P., Quijas, S., Karp, D. S., Ash, N., Bennett, E. M., Boumans, R., Brown, C., Chan, K. M., Chaplin-Kramer, R., Halpern, B. S., Honey-Rosés, J., Kim, C.-K., Cramer, W., Martínez-Harms, M. J., Monney, H., Mwampamba, T., Nel, J., Polasky, S., Reyers, B., ... Walz, A. (2016). Ecosystem services. In M. Walters & R. J. Scholes (Eds.), *GEO Handbook on Biodiversity Monitoring Networks* (pp. 39–78). Springer Open. <https://doi.org/10.1177/0309132512437076>
- Balvanera, P., Quijas, S., Martín-lópez, B., Barrios, E., Dee, L., Isbell, F., & Durance, I. (2015). *the Links Between Biodiversity and Ecosystem Services*. 45–59.
- Balvanera, P., Siddique, I., Dee, L., Paquette, A., Isbell, F., Gonzalez, A., Byrnes, J., O'Connor, M. I., Hungate, B. A., & Griffin, J. N. (2014). Linking biodiversity and ecosystem services: Current uncertainties and the necessary next steps. *BioScience*, 64(1), 49–57. <https://doi.org/10.1093/biosci/bit003>
- Bennett, E. M., Cramer, W., Begossi, A., Cundill, G., Díaz, S., Egoh, B. N., Geijzendorffer, I. R., Krug, C. B., Lavorel, S., Lazos, E., Lebel, L., Martín-López, B., Meyfroidt, P., Mooney, H. A., Nel, J. L., Pascual, U., Payet, K., Harguindeguy, N. P., Peterson, G. D., ... Woodward, G. (2015). Linking biodiversity, ecosystem services, and human well-being: three challenges for designing research for sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.03.007>
- Berkes, F., & Folke, C. (1998). *Linking Social and Ecological Systems fro resilience and Susteainability* (F. Berkes & C. Folke (eds.); Linking so). Cambridge University Press. [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(97\)01160-5](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(97)01160-5)
- Bhaskar, R., Dawson, T. E., & Balvanera, P. (2014). Community assembly and functional diversity along succession post-management. *Functional Ecology*, 28(5), 1256–1265. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12257>
- Bojórquez, A. (2014). *Generación de modelos alométricos para cuantificar la biomasa en pie de bosques tropicales secundarios en la región de Chamela*,

*Jalisco, México.*

- Bourdier, T., Cordonnier, T., Kunstler, G., Piedallu, C., Lagarrigues, G., & Courbaud, B. (2016). Tree size inequality reduces forest productivity: An analysis combining inventory data for ten European species and a light competition model. *PLoS ONE*, *11*(3), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151852>
- Brockhoff, E. G., Barbaro, L., Castagnyrol, B., Forrester, D. I., Gardiner, B., González-Olabarria, J. R., Lyver, P. O. B., Meurisse, N., Oxbrough, A., Taki, H., Thompson, I. D., van der Plas, F., & Jactel, H. (2017). Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, *26*(13), 3005–3035. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2>
- Bruley, E., Locatelli, B., & Lavorel, S. (2021). contributions to people: coproducing quality of life from multifunctional landscapes. *Ecology and Society*, *26*(1). <https://doi.org/10.5751/es-12031-260112>
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., MacE, G. M., Tilman, D., Wardle, D. A., Kinzig, A. P., Daily, G. C., Loreau, M., Grace, J. B., Larigauderie, A., Srivastava, D. S., & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, *486*(7401), 59–67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>
- Cardinale, B. J., Matulich, K. L., Hooper, D. U., Byrnes, J. E., Duffy, E., Gamfeldt, L., Balvanera, P., O'Connor, M. I., & Gonzalez, A. (2011). The functional role of producer diversity in ecosystems. *American Journal of Botany*, *98*(3), 572–592. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000364>
- Castillo, A., Magan, A., Pujadas, A., Martinez, L., & Godinez, C. (2005). Understanding the Interaction of Rural People with Ecosystems : A Case Study in a Tropical Dry Forest of Mexico. *Ecosystems*, *8*, 630–643. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0127-1>
- Chao, A., Chiu, C. H., & Jost, L. (2014). Unifying species diversity, phylogenetic diversity, functional diversity, and related similarity and differentiation measures through hill numbers. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *45*, 297–324. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091540>
- Chao, A., & Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: Standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, *93*(12), 2533–2547. <https://doi.org/10.1890/11-1952.1>
- Clark, P. J. ., & Evans, F. C. . (1954). Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations Author ( s ): *Ecological Society of American*, *35*(4), 445–453.
- Comberti, C., Thornton, T. F., Wylliede Echeverria, V., & Patterson, T. (2015). Ecosystem services or services to ecosystems? Valuing cultivation and reciprocal relationships between humans and ecosystems. *Global Environmental Change*, *34*, 247–262. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.07.007>
- Cortés-Calderón, S., Mora, F., Arreola-Villa, F., & Balvanera, P. (2021). Ecosystem services supply and interactions along secondary tropical dry forests



- succession. *Forest Ecology and Management*, 482(August 2020).  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118858>
- Cortés, S. (2017). *Oferta de servicios ecosistémicos e interacciones entre ellos en bosques tropicales secos secundarios*. UNiversidad Nacional Autónoma de México.
- de Bello, F., Lavorel, S., Díaz, S., Harrington, R., Cornelissen, J. H. C., Bardgett, R. D., Berg, M. P., Cipriotti, P., Feld, C. K., Hering, D., da Silva, P. M., Potts, S. G., Sandin, L., Sousa, J. P., Storkey, J., Wardle, D. A., & Harrison, P. A. (2010). Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodiversity and Conservation*, 19(10), 2873–2893. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9850-9>
- Díaz, S., Lavorel, S., De Bello, F., Quétier, F., Grigulis, K., & Robson, T. M. (2007). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(52), 20684–20689.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0704716104>
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K. M. A., Baste, I. A., Brauman, K. A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P. W., van Oudenhoven, A. P. E., van der Plaats, F., Schröter, M., Lavorel, S., ... Shirayama, Y. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270–272.  
<https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- Ehbrecht, M., Schall, P., Ammer, C., & Seidel, D. (2017). Quantifying stand structural complexity and its relationship with forest management, tree species diversity and microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 242(December 2016), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.04.012>
- Ekins, P., Folke, C., & De Groot, R. (2003). Identifying critical natural capital. *Ecological Economics*, 44(2–3), 159–163. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00271-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00271-9)
- Gadow, K., Sánchez-Orois, S., & Álvarez-González, J. G. (2007). Estructura y Crecimiento del Bosque. In *Universidad de ...* (Vol. 2, Issue October). [http://www.iww.forst.uni-goettingen.de/doc/kgadow/lit/kvgestructura\\_y\\_crecimiento\\_del\\_bosque.pdf](http://www.iww.forst.uni-goettingen.de/doc/kgadow/lit/kvgestructura_y_crecimiento_del_bosque.pdf)
- Gavito, M. E., Paz, H., Barragán, F., Siddique, I., Arreola-Villa, F., Pineda-García, F., & Balvanera, P. (2021). Indicators of integrative recovery of vegetation, soil and microclimate in successional fields of a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 479(August 2020), 118526.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118526>
- Glaser, M., Krause, G., Ratter, B., & Martin Welp. (2008). Human/Nature Interaction in the Anthropocene. *Gaia*, 17(1), 77–80. [www.loicz.org](http://www.loicz.org)
- Hamann, M. (2016). *Exploring connections in social-ecological systems: The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being in South Africa*. Stockholm University.
- Harrison, P. A., Berry, P. M., Simpson, G., Haslett, J. R., Blicharska, M., Bucur, M., Dunford, R., Egoh, B., Garcia-Llorente, M., Geamănă, N., Geertsema, W., Lommelen, E., Meiresonne, L., & Turkelboom, F. (2014). Linkages between

- biodiversity attributes and ecosystem services: A systematic review. *Ecosystem Services*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.05.006>
- Hill, R., Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Molnár, Z., & Van Velden, J. (2021). Nature's contributions to people: Weaving plural perspectives. *One Earth*, 4(7), 910–915. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.06.009>
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. (2016). iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7(12), 1451–1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>
- Isbell, F., Calcagno, V., Hector, A., Connolly, J., Harpole, W. S., Reich, P. B., Scherer-Lorenzen, M., Schmid, B., Tilman, D., van Ruijven, J., Weigelt, A., Wilsey, B. J., Zavaleta, E. S., & Loreau, M. (2011). High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature*, 477(7363), 199–202. <https://doi.org/10.1038/nature10282>
- Isbell, F., Gonzalez, A., Loreau, M., Cowles, J., Díaz, S., Hector, A., Mace, G. M., Wardle, D. A., O'Connor, M. I., Duffy, J. E., Turnbull, L. A., Thompson, P. L., & Larigauderie, A. (2017). Linking the influence and dependence of people on biodiversity across scales. *Nature*, 546(7656), 65–72. <https://doi.org/10.1038/nature22899>
- Jaramillo, J., Kauffman, J. B., Rentería, L., Cummings, D. L., & Ellingson, L. J. (2003). Biomass, Carbon, and Nitrogen Pools in Mexican Tropical Dry Forest Landscapes. *Ecosystems*, 6, 609–629. <https://doi.org/10.1007/s10021-002-0195-4>
- Jones, L., Norton, L., Austin, Z., Browne, A. L., Donovan, D., Emmett, B. A., Grabowski, Z. J., Howard, D. C., Jones, J. P. G., Kenter, J. O., Manley, W., Morris, C., Robinson, D. A., Short, C., Siriwardena, G. M., Stevens, C. J., Storkey, J., Waters, R. D., & Willis, G. F. (2016). Stocks and flows of natural and human-derived capital in ecosystem services. *Land Use Policy*, 52, 151–162. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.12.014>
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363–375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Lebrija-trejos, E., Bongers, F., & Meave, J. A. (2008). Successional Change and Resilience of a Very Dry Tropical Deciduous Forest Following Shifting Agriculture. *Biotropica*, 40(4), 422–431.
- Lefcheck, J. S. (2016). piecewiseSEM: Piecewise structural equation modelling in R for ecology, evolution, and systematics. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(5), 573–579. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12512>
- Lin, H., Yih, T., Gadow, K. Von, & Kershaw, J. A. (2020). Effects of nested plot designs on assessing stand attributes, species diversity, and spatial forest structures. *Forest Ecology and Management*, 457(September 2019), 117658. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117658>
- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J. P., Hector, A., Hooper, D. U., Huston, M. A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D., & Wardle, D. A. (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science's Compass*, 2008(3), 804–808. <https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.2.1004>
- Luu, T. C., Binkley, D., & Stape, J. L. (2013). Neighborhood uniformity increases

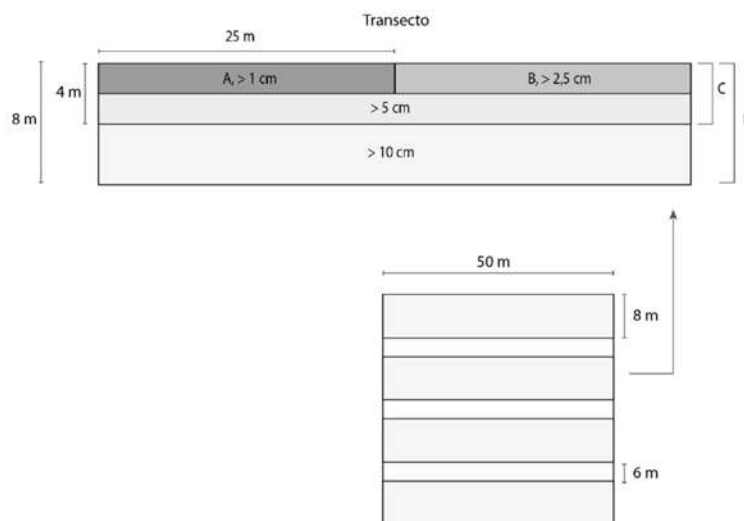
- growth of individual Eucalyptus trees. *Forest Ecology and Management*, 289, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.09.033>
- Maass, J. M., Balvanera, P., Castillo, A., Daily, G. C., Mooney, H. a, Ehrlich, P., Quesada, M., Miranda, A., Jaramillo, V. J., García-oliva, F., Martínez-yrizar, A., Cotler, H., López-blanco, J., Pérez-jiménez, A., Búrquez, A., Tinoco, C., Ceballos, G., Barraza, L., & Ayala, R. (2005). Ecosystem Services of Tropical Dry Forests : Insights from Long- term Ecological and Social Research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecology And Society*, 10(1), 17. <https://doi.org/17\nArtn 17>
- Mace, G. M., Norris, K., & Fitter, A. H. (2012). Biodiversity and ecosystem services: A multilayered relationship. *Trends in Ecology and Evolution*, 27(1), 19–25. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.006>
- Martínez-Ramos, M., Barragán, F., Mora, F., Maza-Villalobos, S., Arreola-Villa, L. F., Bhaskar, R., Bongers, F., Lemus-Herrera, C., Paz, H., Martínez-Yrizar, A., Santini, B. A., & Balvanera, P. (2021). Differential ecological filtering across life cycle stages drive old-field succession in a neotropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 482(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118810>
- Mora, F. (2015). *Cambios Temporales y espaciales en la estructura y diversidad de la vegetación y en los almacenes de carbono de bosques tropicales secos secundarios en la región de Chamela, Jalisco*. Universidad Nacional Autonoma de México.
- Mora, F., Jaramillo, V. J., Bhaskar, R., Gavito, M., Siddique, I., Byrnes, J. E. K., & Balvanera, P. (2018). Carbon Accumulation in Neotropical Dry Secondary Forests: The Roles of Forest Age and Tree Dominance and Diversity. *Ecosystems*, 21(3), 536–550. <https://doi.org/10.1007/s10021-017-0168-2>
- Morrison, D. (2005). Multivariate Analysis, Overview. In *Encyclopedia of Biostatistics*.
- Naeem, S., Chazdon, R., Duffy, J. E., Prager, C., & Worn, B. (2016). Biodiversity and human well-being : An essential link for sustainable development Biodiversity and human well-being : an essential link for sustainable development. In *Proceeding The Royal Society B* (Issue December). <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.2091>
- Naime, J., Mora, F., Sánchez-Martínez, M., Arreola, F., & Balvanera, P. (2020). Economic valuation of ecosystem services from secondary tropical forests: trade-offs and implications for policy making. *Forest Ecology and Management*, 473(May), 118294. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118294>
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of Social-ecologica systems. *Science*, 58(July), 419–422.
- Palliwoda, J., Fischer, J., Felipe-Lucia, M. R., Palomo, I., Neugarten, R., Büermann, A., Price, M. F., Torralba, M., Eigenbrod, F., Mitchell, M. G. E., Beckmann, M., Seppelt, R., & Schröter, M. (2021). Ecosystem service coproduction across the zones of biosphere reserves in Europe. *Ecosystems and People*, 17(1), 491–506. <https://doi.org/10.1080/26395916.2021.1968501>
- Palomo, I., Felipe-lucia, M. R., Bennett, E. M., Martín-lópez, B., & Pascual, U. (2016). Disentangling the Pathways and Effects of Ecosystem Service. In

- Ecosystem Services: From Biodiversity to Society Part 2* (1st ed., Vol. 54). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2015.09.003>
- Pérez-Cárdenas, N., Mora, F., Arreola-Villa, F., Arroyo-Rodríguez, V., Balvanera, P., Flores-Casas, R., Navarrete-Pacheco, A., & Ortega-Huerta, M. A. (2021). Effects of landscape composition and site land-use intensity on secondary succession in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 482(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118818>
- Quijas, S., & Balvanera, P. (2013). Biodiversity and Ecosystem Services. In S. A. Kevin (Ed.), *Encyclopedia of Biodiversity* (second, Vol. 1, pp. 341–356). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00349-X>
- Reyers, B., Biggs, R., Cumming, G. S., Elmqvist, T., Hejnowicz, A. P., & Polasky, S. (2013). Getting the measure of ecosystem services : a social – ecological approach In a nutshell : *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(5), 268–273. <https://doi.org/10.1890/120144>
- Ricketts, T. H., Watson, K. B., Koh, I., Ellis, A. M., Nicholson, C. C., Posner, S., Richardson, L. L., & Sonter, L. J. (2016). Disaggregating the evidence linking biodiversity and ecosystem services. *Nature Communications*, 7, 1–8. <https://doi.org/10.1038/ncomms13106>
- Rozendaal, M. A., Bongers, F., Almeida, D. J. S., Alvarez, F. S., Mart, M., Mora, F., Moreno, V. D. S., Sandra, C. M., Mu, R., Meave, J. A., Muscarella, R., Nunes, Y. R. F., Ochoa-gaona, S., Oliveira, R. S., Paz, H., Zimmerman, J. K., & Westoby, M. (2021). *Functional recovery of secondary tropical forests* €. <https://doi.org/10.1073/pnas.2003405118/-/DCSupplemental.Published>
- Salmerón, R., García, C. B., & García, J. (2018). Variance Inflation Factor and Condition Number in multiple linear regression. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 88(12), 2365–2384. <https://doi.org/10.1080/00949655.2018.1463376>
- Sánchez-Romero, R., Balvanera, P., Castillo, A., Mora, F., García-Barríos, L. E., & González-Esquivel, C. E. (2021). Management strategies, silvopastoral practices and socioecological drivers in traditional livestock systems in tropical dry forests: An integrated analysis. *Forest Ecology and Management*, 479(June). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118506>
- Sanchez, M. (2016). *Uso de servicios ecosistémicos en el bosque tropical seco secundario de la región de Chamela-Cuixmala, Jalisco, México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Schröter, M., Egli, L., Brüning, L., & Seppelt, R. (2021). Distinguishing anthropogenic and natural contributions to coproduction of national crop yields globally. *Scientific Reports*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90340-1>
- Siddique, I., Gavito, M., Mora, F., Godínez Contreras, M. del C., Arreola, F., Pérez-Salicrup, D., Martínez-Ramos, M., & Balvanera, P. (2021). Woody species richness drives synergistic recovery of socio-ecological multifunctionality along early tropical dry forest regeneration. *Forest Ecology and Management*, 482(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118848>
- Soares, A. A. V., Leite, H. G., Souza, A. L., Silva, S. R., Lourenço, H. M., & Forrester, D. I. (2016). Increasing stand structural heterogeneity reduces

- productivity in Brazilian Eucalyptus monoclonal stands. *Forest Ecology and Management*, 373, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.035>
- Tengö, M., Hill, R., Malmer, P., Raymond, C. M., Spierenburg, M., Danielsen, F., Elmqvist, T., & Folke, C. (2017). Weaving knowledge systems in IPBES, CBD and beyond—lessons learned for sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26–27, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.005>
- Trilleras, J. M., Jaramillo, V. J., Vega, E. V., & Balvanera, P. (2015). Effects of livestock management on the supply of ecosystem services in pastures in a tropical dry region of western Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 211, 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.06.011>
- Van der Sande, M., Poorter, L., Kooistra, L., Balvanera, P., Thonicke, K., Thompson, J., Arets, E., Garcia-Alaniz, N., Jones, L., Mora, F., Mwampamba, T., Parr, T., & Peña-Claros, M. (2017). Biodiversity in species, traits, and structure determines carbon stocks and uptake in tropical forests. *Biotropica*, 0, 1–11. <https://doi.org/10.1111/btp.12453>

## 9 MATERIAL SUPLEMENTARIO

### ANEXO 1 (MUESTREO DE ESPECIES LEÑOSAS)



### ANEXO 2 (CALCULO DE FORRAJE)

Se calculará la oferta a partir de datos obtenidos del diámetro y el área basal utilizando la siguiente ecuación:

$$LE_x = \frac{\sum_{i=1}^{Ni_x} AB_i}{A_x}$$

Donde LE es la oferta de forraje ( $m^2 \text{ ha}^{-1}$ ), x es el sitio de estudio, i es la especie útil, Ni es el número de especies útiles y AB es el área basal de las especies útiles ( $cm^2$ ) y A es el área del sitio (ha).

### **ANEXO 3 (CALCULO SOMBRA)**

Para calcular la sombra se utilizaran los porcentajes de cobertura del dosel como indicador de la temperatura del suelo y la humedad relativa (Lebrija-trejos et al., 2008). Con la siguiente ecuación:

$$RM_x = \frac{\sum_{t=1}^{Nt_x} PC_{t,x}}{Nt_x}$$

Donde RM es la oferta de sombra (%), t es transecto, Nt es en número de transectos muestreados y PC es el promedio de cobertura del dosel (%).

### **ANEXO 4 (CALCULO PRODUCTOS FORESTALES)**

Se calculará la oferta a partir de datos obtenidos del diámetro y el área basal utilizando la siguiente ecuación modificada de (Cortés, 2017):

$$LPV_x = \frac{\sum_{i=1}^{Ni_x} AB_i}{A_x}$$

Donde LPV es la oferta de productos forestales ( $m^2 \text{ ha}^{-1}$ ), x es el sitio de estudio, i es la especie útil, Ni es el número de especies útiles y AB es el área basal de las especies útiles ( $\text{cm}^2$ ) y A es el área del sitio (ha).

## ANEXO 5 (CALCULO ALMACÉN DE CARBONO)

Se calculó utilizando datos de estructura de la vegetación para estimar almacenes. La biomasa aérea se estimara empleando el área basal y la densidad de la madera a partir de modelos alométrica desarrollados para la región (Bojórquez, 2014). Según la ecuación:

$$Ba = \alpha * X^\beta$$

Donde Ba es la biomasa aérea estimada ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), X es el valor de DAP ( $\text{cm}^2$ ),  $\alpha$  es el valor de la ordenada de origen (0.919) y  $\beta$  es el exponente (1.646). Esta biomasa será transformada en almacén de carbono con la siguiente ecuación:

$$AC_x = \frac{(\sum_{i=1}^{N_{ix}} (Ba_{i,x}) (Cc))}{A_x}$$

Donde AC es la oferta de almacén de carbono ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ), x es el sitio, i es cada tallo de especie censada, Ba es la biomasa área estimada, Cc es la concentración de carbono, y A es el área en el sitio (ha).

## ANEXO 6 (ECUACIONES DIVERSIDAD ESTRCUTURAL

### Índice de Clark & Evans

$$IC = \frac{(d) \text{ Observada}}{(d) \text{ Esperada}}$$

$$(d) \text{ Observada} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

$$(d) \text{ Esperada} = \frac{1}{2\sqrt{N/A}}$$

Donde  $n$  es el número de distancias por transecto y  $d_i$  es la distancia al vecino más cercano,  $N$  es el número de árboles y  $A$  el área de la parcela. Este índice puede tomar valores entre 0 y 2.1491, valores menores de 1 indican agrupamiento, valores cercanos a 1 indican una distribución aleatoria y valores mayores a 1 indican una distribución regular.

### Índice de diferenciación dimensional

$$T_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\min(Dim_i, Dim_j)}{\max(Dim_i, Dim_j)}$$

Donde  $T_i$  = grado de diferenciación en diámetros,  $j = 4$  árboles vecinos,  $i$  = árbol de referencia,  $Dim_i$  = diámetro del árbol  $i$ ,  $Dim_j$  = diámetro del árbol  $j$ . El valor del  $T_i$  se incrementa al aumentar la diferencia media del tamaño de los árboles vecinos ( $0 \leq T_i \leq 1$ ). Entre más bajo sea el valor de  $T_i$  las diferencias son menores, un valor de 0 indica que todos los árboles son del mismo tamaño (Gadow et al., 2007).

### Índice de mezclas de especies

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_j$$

Donde  $0 \leq M_i \leq 1$ ,  $v_j$  es igual a 0 cuando el árbol  $j$  es de la misma especie que el árbol de referencia  $i$  y será 1 en caso contrario (Gadow et al., 2007).



## **ANEXO 7 (VARIABLES UTILIZADAS EN LOS CAPITALES ANTROPICOS**

Anexo 8 ( VARIABLES UTILIZADAS PARA CADA CONTRIBUCION LUEGO DE LOS ARBOLES DE REGRESIÓN)

Capital	Variable	Subvariable	
Humano	Educación y conocimiento	Nivel educativo	
		Conocimiento ancestral adquirido	
		Asesoría técnica	
	Habilidades	Cultivo	Leña
			Poste
			Vara
		Chaponeo	Quema
			Rociado
	Motivaciones	Ganado	Cultivo
			Leña
			Poste
			Vara
		Chaponeo	Quema
			Rociado
Social	Relaciones	Instituciones	
		Otros ejidatarios	
	Mano de Obra	Ayuda	
		Contratación	
Manufacturado	Herramientas	Güiro	
		Machete	
		Motosierra	
		Bomba	
		Hacha	
	Construcciones	Corral	
		Represo	
		Bordo	
		Pila	
		Ojo de agua	
		Noria	
		Estanque	
		Tejaban	
		Casa	
		Pozo	
		Guardaganado	
		Bebedero	
	Maquinarias	Tractor	
		Camioneta	
	Tamaño de Parcela	Tamaño de parcela	
	Financiero	Créditos	Crédito
		Ayudas financieras	Ayudas financieras
Ahorro		Ganado	

SOMBRA		
Capital	variable	subvariable
Humano	Educación y conocimiento	Nivel educativo
	Motivaciones	Ganado
		Quema
	Rociado	
Manufacturado	Herramienta	Güiro
	Tamaño de parcela	Tamaño de parcela
Financiero	Créditos	Créditos
	Ahorro	Ganado

FORRAJE		
Capital	Variable	subvariable
Humano	Motivaciones	Cultivo
		Quema
Social	Mano de obra	Contratada
		Ayuda
Manufacturado	Construcción	Pila
	Maquinaria	Camioneta
	Tamaño de parcela	Tamaño de parcela
Financiero	Créditos	Créditos
	Ahorro	Ganado

PRODUCTOS FORESTALES		
Capital	Variable	subvariable
Humano	Educación y conocimiento	Nivel educativo
	Motivaciones	Ganado
		Quema
Social	Mano de obra	Ayuda
Manufacturado	Maquinarias	Camioneta
	Tamaño de parcela	Tamaño de parcela
Financiero	Créditos	Créditos
	Ahorro	Ganado

ALMACÉN DE CARBONO		
Capital	Variable	subvariable
Humano	Motivaciones	Cultivo
		Quema
Social	Mano de Obra	Ayuda
Manufacturado	Construcciones	Pila
	Tamaño de parcela	Tamaño de parcela
Financiero	Créditos	Créditos
	Ahorro	Ganado

## Encuesta Co-producción de Servicios ecosistémicos

### Datos entrevistado y sitio

1. Nombre: \_\_\_\_\_ 2. Edad: \_\_\_\_\_

3. Nivel educativo: \_\_\_\_\_ Grupo

Familiar: \_\_\_\_\_

4. Ejido y

Localidad: \_\_\_\_\_

5. Nombre del

Sitio: \_\_\_\_\_

6. Dueño de la Parcela: \_\_\_\_\_

### USO Y SERVICIOS ECOSISTEMICOS

Uso actual de la parcela: Mapeo Participativo.

Se utilizará una media hoja de rotafolio

TAMAÑO DE LA PARCELA (TOTAL DE HECATAREA QUE TIENE, TOTAL DEL GANADO QUE TIENE)

Se le pedirá que dibuje la parcela en la que está el cuadro de Natalia

Se le pedirá que dibuje los límites y algunas características sobresalientes

Rio

carretera

Se le pedirá que dibuje los tipos de cobertura

Plumones

1- Ganadero- pastizal

2- Agrícola- que cultivo

### 3- bosque

que beneficios obtiene de cada una de estas coberturas

usar postits para poner cada tipo de beneficio sobre cada tipo de cobertura

FOTO

## PECUARIO

### MANEJO

¿Qué tipo de Ganado mete en su parcela? ¿Por qué?

¿Tiene usted divida la parcela esn distintos potreros? ¿Cuántos? ¿Por qué?

¿Rota usted el ganado entre sus potreros? ¿Por qué?

¿Cuántos animales pastan en total en el interior de su potrero? ¿Por qué?

¿Por cuánto Tiempo?

¿Cuánto tiempo deja descansar antes de volver a usar un potrero? ¿Por qué?

¿Deja crecer algún árbol para sombra en su parcela ganadera o lo deja desde el desmonte? ¿Por qué? ¿Cuáles arboles?

### CAPITAL INFRAESTRUCTURA

¿Qué herramientas o Maquinarias usa usted para la ganadería?

¿Qué construcciones tiene en su parcela? ¿Para qué las usa?

### CAPITAL SOCIAL (OJO UNIDADES EN UNIDADES POR AÑO Y POR HECTAREA)

¿Contrata mano de obra para la ganadería?

¿Cuántos?

¿Por cuánto tiempo?

¿Usted tiene apoyo o consejo de algún otro ejidatario para realizar el trabajo ganadero en su parcela?

¿Con que institución o dependencia del gobierno trata usted o el ejido para la ganadería? ¿Por qué?

### CAPITAL HUMANO

¿Recibe Asesoría técnica para la ganadería? ¿De quién?

¿Quién le enseño sobre la ganadería? ¿Cómo lo aprendió? ¿Qué le enseño?

¿Le enseña a alguien lo que usted sabe sobre ganadería? O ¿comparte experiencias?

### CAPITAL FINANCIERO

¿Recibe alguna ayuda financiera o crédito para el mantenimiento de su parcela?

¿De quién?

## MANTENIMIENTO DEL PASTIZAL

### MANEJO

¿Realiza Chapeo? ¿Por qué? ¿Con que frecuencia? ¿Cuánto chapea?  
¿Siembra pastos? ¿Por qué? ¿Qué tipo de pasto? ¿Con que frecuencia lo siembra? ¿Cuánto siembra? ¿En algún momento del año riega su pastura? ¿Por qué? ¿Cómo realiza este riego? ¿Con que frecuencia?  
¿Quema la Parcela? ¿Por qué? ¿Con que frecuencia la quema? ¿Cuánto de su parcela quema?  
¿Rocía Químicos? ¿Por qué? ¿Con que frecuencia rocía? ¿Cuánto de su parcela rocía?

### **CAPITAL MANUFACTURADO**

¿Qué herramientas o maquinarias usa para desmonte, chapeo, quema y rocío?  
¿Qué construcciones tiene que sean usadas para el mantenimiento de su parcela?

### **CAPITAL SOCIAL**

¿Tiene usted un miembro de su familia que le ayude?  
¿Contrata mano de obra para el mantenimiento de la parcela?  
¿Cuántos?  
¿Por cuánto tiempo?  
¿Cuánto le paga (día/mes/año)?  
¿Usted tiene apoyo o consejo de algún otro ejidatario para realizar el mantenimiento de su parcela?  
¿Con que institución o dependencia del gobierno, tiene que tratar usted o el ejido para el mantenimiento de su parcela? ¿Por qué?

### **CAPITAL HUMANO**

¿Reciben Asesoría técnica para el mantenimiento de su parcela? ¿De quién?  
¿Quién le enseñó sobre el mantenimiento de la parcela? ¿Cómo lo aprendió?  
¿Qué le enseñó?  
¿Le enseña a alguien lo que usted sabe sobre mantenimiento de la parcela? O ¿comparte experiencias?

### **CAPITAL FINANCIERO**

¿Recibe alguna ayuda financiera o crédito para el mantenimiento de su parcela?

## **AGRICOLA**

### **MANEJO**

¿Qué cultiva en su parcela? ¿Por qué? ¿Con que frecuencia? ¿Cuánto siembra?  
¿Utiliza fertilizantes? ¿Por qué? ¿Cuales? ¿Con que frecuencia? ¿Qué cantidad?  
¿Cuánto deja descansar la tierra entre un cultivo y otro? ¿Por qué?  
¿Tiene rotación de cultivos? ¿Por qué? ¿Con que frecuencia?  
¿Utiliza QUIMIDOS COMO PESTICIDAS, HERBICIDAS O FUNGICIDAS? ¿Por qué? ¿Cuánto?

### **CAPITAL MANUFACTURADO**

- ¿Qué herramientas o maquinarias usa para el cultivo?
- ¿Qué construcciones tiene que sean usadas para cultivo?

### **CAPITAL SOCIAL**

- ¿Tiene usted un miembro de su familia que le ayude?
- ¿Contrata mano de obra para la cultivar?
- ¿Cuántos?
- ¿Por cuánto tiempo?
- ¿Cuánto le paga (día/mes/año)?
- ¿Usted tiene apoyo o consejo de algún otro ejidatario para realizar los cultivos?
- ¿Con que institución o dependencia del gobierno, tiene que tratar usted o el ejido para el cultivo? ¿Por qué?

### **CAPITAL HUMANO**

- ¿Reciben Asesoría técnica para el cultivo? ¿De quién?
- ¿Quién le enseñó sobre los cultivos? ¿Cómo lo aprendió? ¿Qué le enseñó?
- ¿Le enseña a alguien lo que usted sabe sobre cultivos? O ¿comparte experiencias?

### **CAPITAL FINANCIERO**

- ¿Recibe alguna ayuda financiera o crédito para cultivos?

## **FORESTAL**

### **MANEJO**

- ¿Saca POSTE, LEÑA, VARA (leña, vara y/o poste) de su parcela?
- ¿Con que frecuencia?
- ¿Qué cantidad/AÑO?
- ¿Por qué?

### **CAPITAL MANUFACTURADO**

- ¿Qué herramientas o maquinarias usa para sacar leña, vara y poste?
- ¿Qué construcciones tiene que sean usadas para sacar leña, vara y poste?

### **CAPITAL SOCIAL**

- ¿Contrata mano de obra para sacar leña, vara y poste?
- ¿Cuántos?
- ¿Por cuánto tiempo?
- ¿Usted tiene apoyo o consejo de algún otro ejidatario para sacar leña, vara y poste?
- ¿Con que institución o dependencia del gobierno, tiene que tratar usted o el ejido para sacar leña, vara y poste? ¿Por qué?

### **CAPITAL HUMANO**

- ¿Reciben Asesoría técnica para la leña, vara o poste? ¿De quién?

¿Quién le enseñó sobre sacar leña, vara y poste? ¿Cómo lo aprendió? ¿Qué le enseñó?

¿Le enseña a alguien lo que usted sabe sobre sacar leña. Vara y poste? O ¿comparte experiencias?

**CAPITAL FINANCIERO**

¿Recibe alguna ayuda financiera o crédito para sacar leña, poste y vara?