



CRHIAM
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA
ANID/FONDAP/1523A0001



Universidad de Concepción



SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM



APROPIACIÓN HUMANA SOBRE EL RECURSO SUELO: UN ENFOQUE PARA EVALUAR LA SUSTENTABILIDAD DE LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS

Yenisleidy Martínez-Martínez / Sebastian Larrere / Patricio Neumann
Steven Hidalgo / Yannay Casas-Ledón

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

Versión impresa ISSN 0718-6460

Versión en línea ISSN 0719-3009

Directora:

Gladys Vidal Sáez

Comité editorial:

Sujey Hormazábal Méndez

María Belén Bascur Ruiz

Serie:

Apropiación humana sobre el recurso suelo: un enfoque para evaluar la sustentabilidad de las actividades agrícolas.

Yenisleidy Martínez-Martínez, Sebastian Larrere,

Patricio Neumann, Steven Hidalgo y Yannay Casas-Ledón.

Marzo 2025.

Agradecimientos:

Centro de Recursos Hídricos
para la Agricultura y la Minería
(CRHIAM)

ANID/FONDAP/1523A0001

Victoria 1295, Barrio Universitario,

Concepción, Chile

Teléfono +56-41-2661570

www.crhiam.cl

Este documento debe citarse como:

Martínez-Martínez, Y., Larrere, S., Neumann, P., Hidalgo, S., Casas-Ledón, Y. Apropiación humana sobre el recurso suelo: un enfoque para evaluar la sustentabilidad de las actividades agrícolas. Serie Comunicacional CRHIAM, Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (ANID/FONDAP/1523A0001). ISSN 0718-6460 (versión impresa), ISSN 0719-3009 (versión online), No. 86, 23pp. Disponible en: <https://www.crhiam.cl/publicaciones/series-comunicacionales/>



Universidad de Concepción



**SERIE COMUNICACIONAL
CRHIAM**

APROPIACIÓN HUMANA SOBRE EL RECURSO SUELO: UN ENFOQUE PARA EVALUAR LA SUSTENTABILIDAD DE LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS

Yenisleidy Martínez-Martínez / Sebastian Larrere / Patricio Neumann
Steven Hidalgo / Yannay Casas-Ledón

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

PRESENTACIÓN

El Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería -Centro Fondap CRHIAM- está trabajando en el tema de "Seguridad Hídrica", entendida como la "capacidad de una población para resguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sustento, bienestar y desarrollo socioeconómico sostenibles; para asegurar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas, en un clima de paz y estabilidad política" (ONU-Agua, 2013).

La "Serie Comunicacional CRHIAM" tiene como objetivo potenciar temas desde una mirada interdisciplinaria, con la finalidad de difundirlos a los tomadores de decisiones públicos, privados y a la comunidad general. Estos textos surgen como un espacio de colaboración colectiva entre diversos investigadores ligados al CRHIAM como un medio para informar y transmitir las evidencias de la investigación relacionada a la gestión del recurso hídrico.

Con palabras sencillas, esta serie busca ser un relato entendible por todos y todas, en el que se exponen los estudios, conocimiento y experiencias más recientes para aportar a la seguridad hídrica de los ecosistemas, comunidades y sectores productivos. Agradecemos el esfuerzo realizado por nuestras y nuestros investigadores, quienes han trabajado de forma mancomunada y han puesto al servicio de la comunidad sus investigaciones para aportar de forma activa en la búsqueda de soluciones para contribuir a la generación de una política hídrica acorde a las necesidades del país.

Dra. Gladys Vidal
Directora de CRHIAM

DATOS DE INVESTIGADORES



Yenisleidy Martínez-Martínez

Ingeniera Química.
Doctora en Energías, Universidad de Concepción.
Máster en Ingeniería Química,
Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba.



Sebastian Larrere

Ingeniero Civil Químico,
Universidad del Bío-Bío.
Estudiante Magíster en Ciencias Ambientales,
Universidad de Concepción.



Patricio Neumann

Ingeniero Ambiental.
Doctor en Ciencias Ambientales,
Universidad de Concepción.
Profesor Asistente del Departamento de Ciencias Básicas,
Universidad del Bío-Bío.
Investigador Adjunto CRHIAM.



Steven Hidalgo

Ingeniero Ambiental.
Máster en Sistemas Integrados de Gestión,
Universidad Internacional de La Rioja, España.
Doctorando en Ciencias Mención en Recursos Naturales
Renovables, Universidad del Bío-Bío.



Yannay Casas-Ledón

Ingeniera Química
Doctor en Applied Biological Science, Ghent University, Bélgica.
Profesora Asociado del Departamento Ingeniería Ambiental,
Universidad de Concepción.
Investigadora Asociada CRHIAM.

RESUMEN

La superficie terrestre del planeta es la base de todos los procesos ecológicos, como el crecimiento de las plantas, la descomposición de la hojarasca, la formación del suelo entre otros. El ser humano aprovecha estos procesos para obtener alimentos, energía y materias primas. El crecimiento económico y demográfico conlleva un uso cada vez mayor de los recursos biofísicos, incluidos la tierra y la biomasa. En este contexto, algunas interrogantes han surgido, tales como: ¿Qué parte de la capacidad productiva de la Tierra utiliza el ser humano?, ¿cuál es la escala de la actividad humana en comparación con los procesos naturales de la Tierra?, ¿cuál es el alcance y la intensidad del uso global de la tierra, y cómo cambia?, y ¿cuál es la magnitud del dominio humano sobre los ecosistemas de la Tierra?

El concepto de apropiación humana de la producción primaria neta (AHPPN) pretende ayudar a responder a estas preguntas.

Por otra parte, la producción agrícola constituye una actividad humana esencial para el desarrollo de la sociedad. Es fuente de materias primas para diversos sectores industriales, como la producción de alimentos procesados y biocombustibles, entre otros. Sin embargo, las actividades agrícolas son procesos intensivos en el uso del suelo, lo cual afecta la eficiencia del suelo y una continua provisión de servicios del ecosistema. En este sentido, es fundamental monitorear la intensidad del uso de la tierra y las intervenciones humanas asociada a las actividades productivas agrícolas, así como cuantificar los impactos ambientales asociados, para optimizar la gestión del sector y minimizar la degradación de los recursos naturales.

El presente trabajo presenta una revisión de general del marco conceptual del indicador AHPPN, partiendo de las raíces del concepto hasta llegar a la definición actual. Sobre la base de esta definición, se describen los parámetros y significado del indicador. Además, se dan a conocer algunos estudios que han empleado este concepto a nivel internacional y local. Finalmente, se mencionan algunos desafíos a superar para su aplicación en el diseño de políticas públicas y definiciones de gobernanza del territorio.

APROPIACIÓN HUMANA DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA (AHPPN)

La Productividad Primaria Neta (PPN) (generalmente expresada en g carbono/m²año) es igual a la cantidad bruta de biomasa producida por organismos autótrofos mediante fotosíntesis menos la cantidad que respiran ellos mismos, es decir, la PPN se define como la cantidad neta de carbono asimilada en un periodo determinado por la vegetación. Este tipo de productividad es esencial para la salud de los ecosistemas porque determina cuánto carbono se almacena en la vegetación y qué cantidad de energía está disponible para todos los niveles de la cadena alimentaria (Taelman *et al.*, 2016).

Esto influye en aspectos vitales como la capacidad del ecosistema para manejar residuos y emisiones, y su resiliencia frente a cambios o perturbaciones. Cuando la Productividad Primaria Neta se ve afectada, toda la red de vida en la Tierra puede sufrir, ya que depende de la energía que las plantas proporcionan. Además, la PPN está relacionada con la biodiversidad, lo que significa que ecosistemas con un alto nivel suelen ser más ricos en especies. Es por ello, que la PPN ha sido considerada un excelente indicador para medir el impacto sobre los procesos de soporte y regulación de los ecosistemas, así como, determinar las pérdidas de biomasa debido a los usos e intensidad del suelo.

En este contexto surge el indicador Apropiación Humana de la Productividad Primaria Neta (AHPPN), que aborda la naturaleza económico-ecológica del uso de la tierra (Moore *et al.*, 2019). El marco AHPPN puede ayudar a estimar los límites de la capacidad de la biosfera para proporcionar a la humanidad biomasa para alimentos, fibra y bioenergía.

La Figura 1 muestra un marco conceptual para una mejor comprensión del concepto y alcance del indicador. En este marco conceptual, las intervenciones humanas, como las actividades agrícolas y las plantaciones forestales, afectan la calidad y eficiencia del suelo en áreas o regiones específicas. Como resultado de estas actividades, una fracción de la vegetación existente se verá afectada y dejará de estar disponible en la naturaleza (AHPPN).

Se entenderá, por tanto, que una mayor intensidad en el uso del suelo conlleva mayores impactos, traduciéndose en una reducción de la biomasa que el ecosistema puede proporcionar. Esto afecta negativamente en la provisión de servicios ecosistémicos, como la producción de alimentos. Por lo tanto, este marco conceptual nos permitiría cuantificar efectivamente en qué medida las prácticas agrícolas afectan la disponibilidad de biomasa en los ecosistemas.

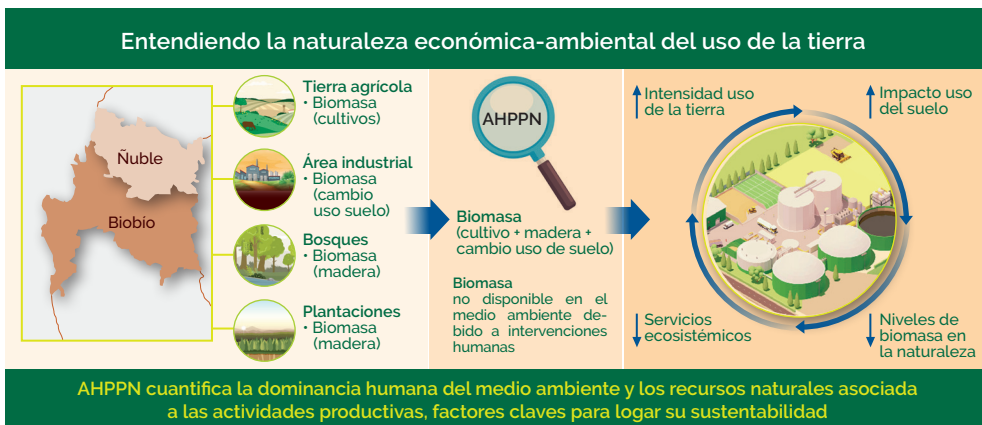


Figura 1.

Diagrama conceptual que describe el concepto y alcances del indicador AHPPN. Fuente: Elaboración propia.

Potencialidades de adoptar el enfoque AHPPN para un mejor manejo y gestión del uso del suelo (Haberl *et al.*, 2007; Krausmann *et al.*, 2013):

- Es considerado como un indicador que cuantifica los límites planetarios relacionado al crecimiento económico.
- Miden el grado en que las actividades humanas se apropian de los recursos terrestres.
- Es una medida de la eficiencia del uso de la tierra, y se puede estimar a través de la relación entre la biomasa cosechada y el total de AHPPN. Cuanto mayor sea la eficiencia de la AHPPN, mayor será la fracción de biomasa que podrá utilizarse para fines humanos, en comparación con el impacto ecológico relacionado a producirlos.

- El concepto de AHPPN permite analizar los efectos ecológicos relacionados con el comercio, en particular el de productos basados en la biomasa y su cadena de valor.
- Permite analizar las compensaciones y sinergias entre los sistemas productivos y los ecosistemas terrestres, en particular las relacionadas con la competencia por el uso de la tierra.
- Permiten explorar las interdependencias sistémicas entre el consumo de alimentos, la tecnología agrícola (en particular, el rendimiento de los cultivos y la eficiencia de la alimentación) y la demanda de superficie requerida para satisfacer las demandas alimentarias.

ORIGEN DEL INDICADOR APROPIACIÓN HUMANA DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA

Los primeros precursores del indicador AHPPN se atribuyen al artículo presentado por Whittaker y Likens (1973), donde se destaca la relevancia de la productividad primaria neta (PPN, es la cantidad de biomasa que los ecosistemas terrestres pueden proveer). Este estudio evaluó la PPN global y la relacionaron con el consumo humano de biomasa para alimentos, madera y otros fines. Posteriormente, Vitousek *et al.* (1986) publicaron un destacado trabajo sobre la "apropiación humana de los productos de la fotosíntesis". Este estudio evaluó la productividad primaria neta global y realizaron tres estimados diferentes de la apropiación humana de esa PPN. Los resultados obtenidos en este artículo atrajeron un gran interés en la temática y constituyeron la base para futuros trabajos (Haberl *et al.*, 2007; Krausmann *et al.*, 2013; O'Neill *et al.*, 2007; Rojstaczer y *et al.*, 2001; Wright, 1990) donde se propondrían nuevas definiciones y estimaciones de AHPPN.

En este sentido, la definición actual de AHPPN dada por Haberl *et al.* (2014, 2007) y Krausmann *et al.* (2008), es la diferencia entre la PPN potencial y la PPN remanente en el campo tras la cosecha (PPN_p). De igual forma, puede estimarse como la biomasa que se retira del ecosistema como el componente cosechado (PPN_c) más la PPN que se pierde por cambios en el uso de la tierra (PPN_{t_c}). El indicador se puede representar según la Figura 2.

- PPN_o » es la cantidad de vegetación que el suelo puede proveer sin la intervención del hombre, expresado en kg carbono por superficie (ha, m^2) año (a).
- PPN_r » [kg C/ m^2 a] remanente se refiere a la cantidad de biomasa (kg carbono/ m^2) que queda después de la cosecha, por ejemplo, las raíces.
- PPN_c » [kg C/ m^2 a] representa la parte de la biomasa que se cosecha, la cual considera la parte útil como alimentos (cantidad de maíz, trigo) y los residuos provenientes de la cosecha (ejemplo, paja de trigo, maíz entre otros).
- $PPNlc$ » [kg C/ m^2 a] es la cantidad de biomasa perdida por el cambio del suelo y productividad del suelo.

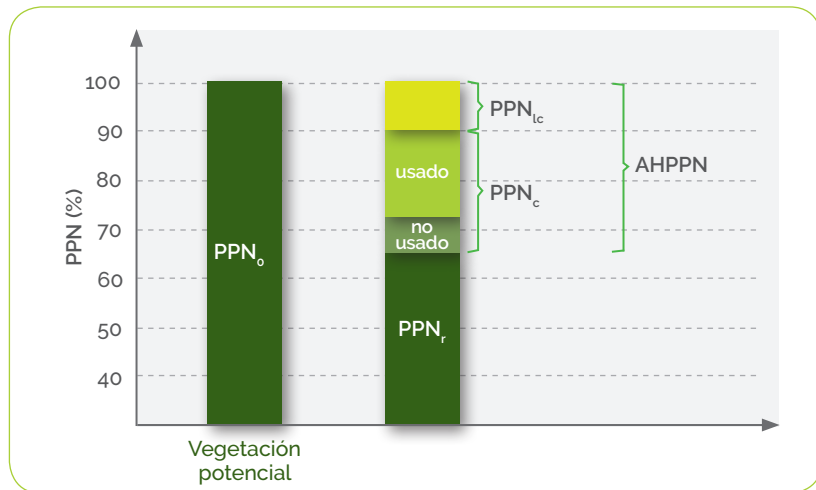


Figura 2.

Representación de la AHPPN. Fuente: Adaptado de Haberl *et al.* (2014).

La apropiación de las actividades productivas sobre el suelo tiene diferentes significados de acuerdo con su magnitud y valor, en este caso se pueden interpretar de la siguiente manera:

- Si los valores son positivos y oscilan entre $0\% < AHPPN < 100\%$ del PPN_o , se puede decir que hay impacto sobre el suelo. Mientras más bajo es el valor respecto a la PPN potencial, menor será el impacto sobre el uso

del suelo, en este caso se puede ejemplificar a los bosques nativos, los cuales presentan bajo nivel de manejo forestal. En cambio, las actividades agrícolas implican mayores manejos por lo que sus impactos suelen tener una mayor contribución respecto al valor potencial.

- Si los valores exceden la totalidad de la PPN_0 ($AHPPN > 100\% PPN_0$), significa que existirá un incremento neto en términos de producción de biomasa en comparación con la vegetación natural. Este caso es característico de regiones donde las técnicas de intensificación del suelo impulsan la productividad de la biomasa, como es el caso de la agricultura industrializada (uso de fertilizantes químicos, pesticidas, o mecanización de la agricultura). Sin embargo, el uso de agroquímicos puede provocar impactos sobre el medio ambiente como la contaminación del suelo, agua, y pérdida de biodiversidad.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que el indicador también depende de características ecológicas locales, como la aridez del suelo, las temperaturas y las precipitaciones del área, que pueden hacer que el potencial productivo (PPN_0) varíe, siendo mayor o menor según el sitio específico.

APLICACIÓN DEL INDICADOR AHPPN

El indicador AHPPN ha sido utilizado en diversas investigaciones a diferentes escalas ya sea internacionales y nacionales, según se resumen en la Tabla 1.

En la Tabla 1 se muestra los valores de la apropiación humana expresada en $\%PPN_0$ de diferentes estudios, incluyendo las regiones de Biobío y Ñuble, Chile. Estas regiones mostraron diferencias considerables con las reportadas en otros lugares. Para los estudios, el AHPPN del Biobío y de Ñuble representaron valores entre 46,3 - 46,8 $\%PPN_0$ y 57,2 - 58 $\%PPN_0$, respectivamente. Los casos de estudio que reportan valores similares, fueron evaluados para Europa, India, Finlandia y algunas aldeas en África (Charambira).

Sin embargo, se puede evidenciar que los valores de AHPPN para ambas regiones son significativamente más altos que los reportados para América Latina y el Caribe, América del Norte, África, África Subsahariana y Austral, y la Región Autónoma del Tíbet. En cambio, aldeas tales como Pfende (84% PPN_o) y Makumbre (113% PPN_o) de África muestran valores significativamente mayores a los obtenidos en este estudio (47 - 73 % PPN_o) y los reportados por otros países (13 - 70% PPN_o). Estas diferencias demuestran la sensibilidad del indicador a las condiciones ecológicas y socioeconómicas de cada lugar, es por ello que se convierte en una excelente métrica para monitorear a escala local las intervenciones sobre el uso del suelo.

Los principales factores que generan las diferencias en los valores de AHPPN son:

- La heterogeneidad de los tipos de uso del suelo.
- Rendimientos agrícolas y forestales.
- La estructura de la vegetación disponible en cada región, y la demanda regional de ésta.
- La tecnología y los sistemas de producción agrícola y forestal predominantes en la región.
- Demandas de los productos agrícolas y forestales en el comercio nacional e internacional.
- Variedad de modelos utilizados para la estimación de PPN_o podría llevar a cabo cambios en la AHPPN (Haberl *et al.*, 2014).

Independientemente de las diferencias entre regiones, los estudios muestran que las áreas agrícolas, así como las zonas de infraestructuras y asentamientos, presentan los valores más elevados de AHPPN por unidad de superficie, representando entre un 70% y 85% del potencial PPN_o disponible. Este escenario posiciona a las prácticas agrícolas actuales como insostenibles desde el punto de vista de la eficiencia en el uso del suelo.

Tabla 1.

AHPPN expresado como un %PPN₀ en diferentes estudios internacionales y nacionales.

REGIONES	AÑO	AHPPN (% PPN ₀)	REFERENCIA
Mundo	2000	22	Haberl <i>et al.</i> 2007
Latinoamérica y el Caribe	2000	16	Haberl <i>et al.</i> 2007
América del Norte	2000	22	Haberl <i>et al.</i> 2007
África Sub-Sahariana	2000	18	Haberl <i>et al.</i> 2007
India	2007	70	deSouza <i>et al.</i> 2018
Finlandia	2010	50	Saikku <i>et al.</i> 2015
Europa (9 Países)	2003	55	Gingrich <i>et al.</i> 2015
Europa	2006	43	Plutzer <i>et al.</i> 2016
Tíbet, Región autón. de China	2015	13.5	Zhang <i>et al.</i> 2018
Charambira Village, África	2015	48	Pritchard <i>et al.</i> 2018
Pfende Village, África	2015	84	Pritchard <i>et al.</i> 2018
Makumbe village, África	2015	113	Pritchard <i>et al.</i> 2018
Región del Biobío, Chile	2007-2015	46.3-46.8	Casas-Ledón <i>et al.</i> 2023
Región de Ñuble, Chile	2007-2015	57.2-58	Casas-Ledón <i>et al.</i> 2023

Comparando los resultados entre las regiones del Biobío y Ñuble, se puede evidenciar la relación de las actividades económicas desarrolladas y los usos de suelos que caracterizan cada región. Ñuble se caracteriza por tener las mayores intervenciones sobre el uso del suelo durante el año 2015. Este comportamiento se debe principalmente a que el sector agrícola es predominante, donde prácticamente 34% de la superficie regional corresponde a suelos agrícolas. En cambio, la región del Biobío se caracteriza por la presencia de suelos forestales (37% de la superficie ocupada), donde el uso de suelo agrícola representa sólo el 16%.

APORTES DEL ENFOQUE AHPPN EN EL SECTOR AGRICULTURA

El indicador AHPPN ha sido utilizado en investigaciones para evaluar impactos asociados al sector agrícola desde diversas perspectivas a nivel internacional y local (Baeza y Puelo, 2018; Kohlheb y Krausmann, 2009). Como se mencionó anteriormente, las actividades agrícolas presentan elevados valores de AHPPN (34-82% de PPN₀), lo que significa que debe establecerse mejores prácticas que impliquen disminuir dichos impactos sobre el recurso suelo.

En el caso de Chile, y en particular las regiones del Biobío y Ñuble, Casas-Ledón *et al.* (2023) (ver Figura 3) determinaron que la agricultura fue responsable de una AHPPN alrededor del 88% de la PPN potencial de las tierras agrícolas de ambas regiones. La biomasa cosechada presentó los mayores aportes a la AHPPN total en Biobío y Ñuble (~54-55% respectivamente).

Ñuble presentó valores ligeramente superiores de AHPPN (0.2% superior) y biomasa cosechada (0.9%) respecto a la PPN natural que el Biobío, lo que se debe principalmente a la predominancia de la actividad agrícola en esta región, mayores intensidades en el uso del suelo y una menor vegetación natural potencial. Por su parte, la PPN_{lc} representa las pérdidas de biomasa debidas al cambio en el uso de la tierra y mostró valores alrededor del 40 al 41% en ambas regiones.

La actividad agrícola, como se ha demostrado, provoca un alto porcentaje de pérdida de biomasa mayoritariamente por la gestión del suelo y los cambios en sus usos, lo que implica impactos relevantes sobre la vegetación autóctona de las zonas intervenidas (PPN_o), potenciales pérdidas de hábitat y biodiversidad, e impactos sobre el recurso suelo (contaminación, degradación).

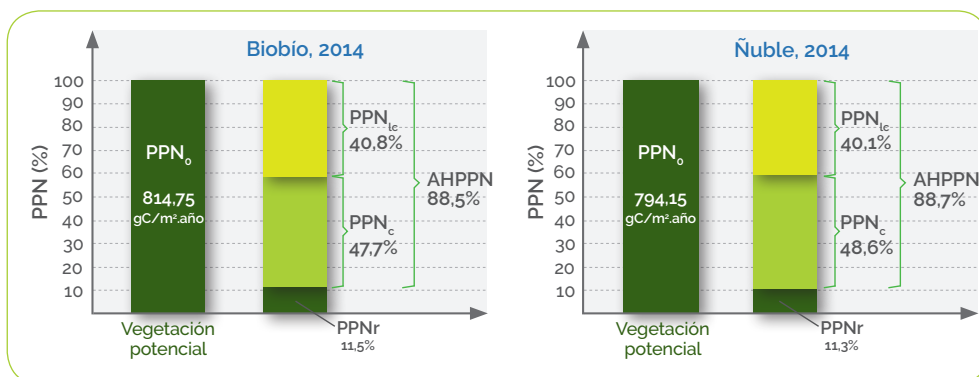


Figura 3.

Apropiación de biomasa en tierras agrícolas de las regiones del Biobío y Ñuble durante el año 2014. Los valores de PPN_c , PPN_{lc} , PPN_r y AHPPN están expresados como porcentaje de la PPN_o . Fuente: Adaptado de Casas-Ledón *et al.* (2023)

Enfocándose en la actividad agrícola, la Tabla 2 muestra las diferencias de PPN_c entre diversos tipos de cereales y frutales en algunas comunas de Ñuble y Biobío. La variación entre cada comuna está asociada con las condiciones climáticas de cada lugar, así como los rendimientos productivos regionales. Al comparar las distintas regiones se pudo observar que todos los cultivos analizados presentan una mayor productividad en el Biobío, por lo que los porcentajes de PPN_c a nivel comunal son mayores en comparación a los de Ñuble. Cabe mencionar que los rendimientos varían cada año y, por lo tanto, los resultados de la PPN_c dependen del intervalo de tiempo considerado.

Con respecto a la PPN_c no usada (o PPN residual), se puede observar que en el caso de los cereales esta fracción es 1.2 veces mayor que la PPN_c usada (es decir, la que se destina como alimento para el ser humano), lo que se asocia con la gran cantidad de paja y residuos que genera este tipo de cultivos y que no es aprovechable por el ser humano (INIA, 2015). Además, la PPN residual de los cereales es aproximadamente 3 veces mayor que la de los frutales, lo cual explica la diferencia de PPN_c entre ambos tipos de cultivo. Es importante mencionar además que la cantidad de carbono presente en cada cultivo también influye los resultados de los análisis, la que puede variar entre 4 y 7% en el caso de frutales y entre 37 y 40% para los cereales. La variabilidad de los resultados mostrados en la Tabla 2 destaca la importancia de evaluar la AHPPN considerando el tipo de cultivo, las prácticas agrícolas y las condiciones climáticas de la zona de estudio, ya que estas variables determinan los resultados de cada uno de los componentes analizados por dicho indicador.

Tabla 2.

PPN cosechada expresada como % de PPN₀ para diversas comunas y tipos de cultivo.

Región	Comuna	Plantación Agrícola	Cultivo	PPN ₀ (gC/m ² .año)	PPN alimenticia (% PPN ₀)	PPN residual (% PPN ₀)	PPN cosechada (% PPN ₀)
ÑUBLE	Chillán	Cereales	Avena	901,72	21,3	27,6	48,9
			Cebada		24,1	29,0	53,1
			Trigo		26,7	26,7	53,4
		Frutales	Avellano		18,4	11,4	29,8
			Cerezo		7,3	10,5	17,9
	El Carmen	Cereales	Nogal	33,6	2,8	36,4	
			Avena	911,22	21,0	27,4	48,4
			Cebada		23,9	28,7	52,6
		Trigo	26,4		26,4	52,8	
		Frutales	Avellano		18,2	11,2	29,5
	Cerezo		7,3		10,4	17,7	
	San Carlos	Cereales	Nogal	33,3	2,7	36,0	
			Avena	1030,27	18,6	24,2	42,8
			Cebada		21,1	25,4	46,5
		Trigo	23,4		23,4	46,7	
Frutales		Avellano	16,1		9,9	26,1	
	Cerezo	6,4	9,2		15,6		
BIOBÍO	Los Ángeles	Cereales	Nogal	922,99	29,4	2,4	31,9
			Avena		23,0	29,9	52,9
			Cebada		26,6	31,9	58,5
		Frutales	Trigo		25,9	25,9	51,7
			Avellano		22,6	11,1	33,7
	Mulchén	Cereales	Cerezo	12,6	10,3	22,9	
			Nogal	31,6	2,7	34,3	
			Avena	908,335	23,4	30,4	53,8
		Cebada	27,0		32,4	59,5	
		Trigo	26,3		26,3	52,6	
	Frutales	Avellano	23,0		11,3	34,3	
		Cerezo	12,8		10,5	23,3	
	Yumbel	Cereales	Nogal	32,1	2,8	34,8	
			Avena	923,65	23,0	29,9	52,9
			Cebada		26,6	31,9	58,5
Trigo		25,9	25,9		51,7		
Frutales		Avellano	22,6		11,1	33,7	
	Cerezo	12,6	10,3		22,9		
			Nogal		31,6	2,7	34,3

Para disminuir los impactos sobre la PPN, se pueden adoptar varias estrategias, tales como:

- Tratar de aumentar la PPN mediante, por ejemplo, el riego, la fertilización, la gestión del suelo y una rotación de cultivos optimizada o esquemas de cultivos intercalados que aprovechen plenamente el periodo vegetativo. Sin embargo, esta estrategia requiere importantes inversiones de capital, energía y conocimientos técnicos, a veces con costes prohibitivos. Al mismo tiempo, la intensificación de la agricultura puede tener efectos adversos sustanciales, como la lixiviación de nutrientes, la degradación del suelo, el uso de productos químicos tóxicos o impactos negativos en la biodiversidad.
- Una segunda alternativa, es que la PPN se utilice de forma más eficiente, ya sea aumentando la fracción utilizable (por ejemplo, la proporción entre cultivos o el índice de cosecha), minimizando las pérdidas a otros organismos (por ejemplo, insectos, roedores u hongos) o reduciendo los desechos y las pérdidas en las cadenas de producción.

Mediante una estrategia de utilización en cascada, es posible aumentar la eficiencia de las cadenas de valor de la biomasa. El objetivo de esta estrategia es aprovechar todos los residuos y subproductos generados, así como reutilizar los desechos. Sin embargo, se presentan desafíos para la preservación del suelo cuando los desechos agrícolas indispensables como fuente de materia orgánica para preservar la fertilidad del suelo se utilizan para otros fines. No obstante, otorgar valor añadido a los desechos agrícolas dentro del contexto de la economía circular podría también resultar en la creación de productos de gran valor para el ecosistema terrestre.

La conversión de desechos agrícolas en compost, por ejemplo, tendría un impacto positivo en la mejora de la calidad de los suelos que han sufrido degradación debido a las prácticas agrícolas intensivas (Haque *et al.*, 2023). El biochar o biocarbón, obtenido a partir de procesos termoquímicos utilizando residuos agrícolas, tiene la capacidad de incrementar la fertilidad del suelo al mejorar la retención de nutrientes y agua. Esto conlleva a una disminución en la dependencia de fertilizantes químicos y aporta

de manera significativa a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Los beneficios mencionados por Patel y Panwar (2023) contribuyen a mejorar la productividad de los cultivos al mismo tiempo que reducen los efectos negativos en el medio ambiente.

Estos estudios demuestran que aún existen posibilidades de mejora para optimizar la apropiación en el uso del suelo asociadas a las actividades agrícolas a través de la eficiencia en el uso de biomasa residual, donde los principios de la economía circular pueden jugar un rol importante.

CONCLUSIONES

Entender la intensidad de las actividades humanas (como la agricultura) en el suelo y el alcance de los impactos de su ocupación es importante para avanzar en un uso sustentable del suelo. El indicador AHPPN ha demostrado su utilidad para cuantificar el impacto de las intervenciones humanas, medir la intensidad y eficiencia en el uso de la tierra.

Sin embargo, el AHPPN no puede detectar todos los efectos negativos asociados a la intensificación del uso del suelo en el sector agricultura, en particular relacionados a los contaminantes emitidos y otros recursos naturales (agua, combustibles y minerales). Por tanto, debe complementarse con otros marcos metodológicos, tales como huella de carbono, huella hídrica, análisis de ciclo de vida.

Adicionalmente existen desafíos desde el punto de vista metodológicos y de información que pueden entorpecer su aplicación para el diseño de políticas públicas y definiciones de gobernanza del territorio, por ejemplo:

- Existen variadas definiciones y metodologías para evaluar el indicador, lo que pudiera obstaculizar su estandarización y adopción por parte de los tomadores de decisiones.

- No existe consenso respecto a qué nivel de AHPPN puede considerarse sostenible a qué escala espacial.
- La calidad de los datos, complejidad de los modelos de vegetación empleados y suposiciones hechas para cuantificar cada uno de los parámetros que conforman el indicador constituirán factores claves para garantizar la confiabilidad de las estimaciones de la AHPPN a gran escala.

El desarrollo de mayores estudios a diversas escalas espaciales y temporales podría aportar a comprender mejor los impactos de los cambios en productividad primaria neta y el impacto de las actividades productivas en ellas.

REFERENCIAS

- Baeza, S., Paruelo, J.M. 2018. Spatial and temporal variation of human appropriation of net primary production in the Rio de la Plata grasslands. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 145, 238–249. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.07.014>
- Casas-Ledón, Y., Andrade, C., Salazar, C., Martínez-Martínez, Y., Aguayo, M. 2023. Understanding the dynamics of human appropriation on ecosystems via an exergy-based net primary productivity indicator: A case study in south-central Chile. *Ecol. Econ.*, 210, 107862. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107862>
- De Souza, P. and Malhi, Y. 2017. Land Use Change in India (1700 – 2000) as Examined through the Lens of Human Appropriation of Net Primary Productivity. *Research and Analysis*, 22, 5. <https://doi.org/10.1111/jieec.12650>.
- Gingrich, S., Niedertscheider, M., Kastner, T et al. 2015. Exploring long-term trends in land use change and aboveground human appropriation of net primary production in nine European countries. *Land Use Policy*, 47, 426–438. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.04.027>
- Haberl, H., Erb, K.-H., Krausmann, F. 2014. Human Appropriation of Net Primary Production: Patterns, Trends, and Planetary Boundaries. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 39, 363–391. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-121912-094620>
- Haberl, H., Erb, K.H., Krausmann, F., Gaube, V., Bondeau, A., Plutzer, C., Gingrich, S., Lucht, W., Fischer-Kowalski, M. 2007. Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 104, 12942–12947. <https://doi.org/10.1073/PNAS.0704243104>
- Haque, F., Fan, C., Lee, Y. Y. 2023. From waste to value: Addressing the relevance of waste recovery to agricultural sector in line with circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 415, 137873. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.137873>

- INIA. 2015. Rastrojos de Cultivos y Residuos Forestales. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/7856>
- Kohlheb, N., Krausmann, F. 2009. Land use change, biomass production and HANPP: The case of Hungary 1961-2005. *Ecol. Econ.*, 69, 292–300. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.07.010>
- Krausmann, F., Erb, K.-H., Gingrich, S., Haberl, H., Bondeau, A., Gaube, V., Lauk, C., Plutzer, C., Searchinger, T.D. 2013. Global human appropriation of net primary production doubled in the 20th century. *Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A.* 110, 10324–10329. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211349110>
- Krausmann, F., Erb, K.-H., Gingrich, S., Lauk, C., Haberl, H. 2008. Global patterns of socioeconomic biomass flows in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints. *Ecol. Econ.*, 65, 471 – 487. <https://doi.org/doi:10.1016/j.ecolecon.2007.07.012>
- Moore, C., Morel, A.C., Asare, R.A., Adu Sasu, M., Adu-Bredu, S., Malhi, Y. 2019. Human Appropriated Net Primary Productivity of Complex Mosaic Landscapes. *Front. For. Glob. Chang.*, 2, 1–14. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00038>
- O'Neill, D.W., Tyedmers, P.H., Beazley, K.F. 2007. Human appropriation of net primary production (HANPP) in Nova Scotia, Canada. *Reg. Environ. Chang.*, 7, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10113-006-0021-1>
- Patel, M. R., & Panwar, N. L. 2023. Biochar from agricultural crop residues: Environmental, production, and life cycle assessment overview. In *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 19. *Elsevier Inc.* <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200173>
- Plutzer, C., Kroisleitner, C., Haberl, H. et al. 2016. Changes in the spatial patterns of human appropriation of net primary production (HANPP) in Europe 1990–2006. *Reg. Environ Change*, 16, 1225–1238. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0820-3>

- Pritchard, R., Ryan, C. M., Grundy, I., Horst, Dan van der. 2018. Human Appropriation of Net Primary Productivity and Rural Livelihoods: Findings From Six Villages in Zimbabwe. *Ecological Economics*, 146, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.10.003>.
- Rojstaczer, S., Sterling, S.M., Moore, N.J. 2001. Human appropriation of photosynthesis products. *Science*, 294, 2549–2552. <https://doi.org/10.1126/science.1064375>
- Saikku, L., Mattila, T., Akujärvi, A., Liski, J. 2015. Human appropriation of net primary production in Finland during 1990 - 2010. *Bio-mass and Bioenergy*, 83. 559–567. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.11.001>.
- Taelman, S.E., Schaubroeck, T., De Meester, S., Boone L., Dewulf J. 2016. Accounting for land use in life cycle assessment: The value of NPP as a proxy indicator to assess land use impacts on ecosystems, *Sci. Total Environ.*, 550, 143–156
- Vitousek, P.M., Ehrlich, P.R., Ehrlich, A.H., Matson, P.A. 1986. Human Appropriation of the Products of Photosynthesis. *Bioscience*, 36, 368–373. <https://doi.org/10.2307/1310258>
- Whittaker, R.H., Likens, G.E. 1973. Primary Production: The Biosphere and Man. *Hum. Ecol.*, 1, 357–369.
- Wright, D.H. 1990. Human impacts on energy flow through natural ecosystems, and implications for species endangerment. *Ambio*, 19, 189–194.
- Zhang, Y., Pan, Y., Zhang, X., Wu, J., Yu, C., Li, M., Wu, J., 2018. Patterns and dynamics of the human appropriation of net primary production and its components in Tibet. *Journal of Environmental Management*, 210, 280–289. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.01.039.



CRHIAM
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA
ANID/FONDAP/1523A0001



Universidad de Concepción



SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM



APROPIACIÓN HUMANA SOBRE EL RECURSO SUELO: UN ENFOQUE PARA EVALUAR LA SUSTENTABILIDAD DE LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS



Universidad de Concepción



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA



Universidad del Desarrollo
Universidad de Excelencia

