

Valoración económica ambiental de predios rurales con uso ganadero en zonas limítrofes a las áreas protegidas. Caso de estudio: Cerro Chimborazo del municipio de Campamento, Antioquia¹

Environmental economic assessment of rural properties with livestock use in areas bordering protected areas. Case study: Cerro Chimborazo in the municipality of Campamento, Antioquia

Yulieth Paola Correa Hoyos 1*²

paolacorrea@gmail.com 1

Mateo Gómez 2*³

mateog20@hotmail.com 2

Madeleine Botero Cárdenas 3*⁴

madeleinebotero@hotmail.com 3

*Derecho y Ciencias Humanas. Universidad Luis Amigó.
Medellín – Colombia

** Administración de empresas. Universidad Eafit
Medellín – Colombia

*** Derecho y Ciencias Políticas. Universidad la Gran Colombia
Armenia– Colombia

¹ Este artículo se presenta como requisito de grado del programa Especialización Valoración Inmobiliaria de la facultad de estudios empresariales y Mercadeo de la Institución Universitaria Esumer. La línea de investigación de este documento es Valoración Inmobiliaria. Este trabajo contó con la asesoría temática de Nelson Daniel Romero y la coordinación metodológica de Nelson Daniel Romero.

² Estudiante especialización de valoración inmobiliaria

³ Estudiante especialización de valoración inmobiliaria

⁴ Estudiante especialización de valoración inmobiliaria

Resumen

En el municipio de Campamento los conflictos de uso en la zona de protección del cerro el Chimborazo se basan principalmente en la conversión de tierras con vocación de protección en áreas de ganadería extensiva. Un mecanismo de incentivo compensatorio para la implementación de sistemas de producción más sostenible en estas zonas, es la valoración apropiada de predios rurales. Para ello, se estimó la valoración económica ambiental de predios rurales limítrofes a las áreas protegidas en el cerro Chimborazo del municipio de Campamento, Antioquia. Se usó el método Valoración Económica (VE) con las variables recurso hídrico, la recuperación de servicios ecosistémicos y cobertura vegetal en un estudio comparativo de predios con uso ganadero en un sistema de explotación extensiva y un sistema silvopastoriles. El modelo de VE propuesto en este trabajo permite valorar los aspectos productivos, sociales y ambientales de predios rurales y dan soporte para la toma de decisiones de los productores ganaderos y las administraciones municipales para la consecución de objetivos ambientales.

Palabras clave: Valoración Económica (VE), Huella Hídrica, Servicios Ecosistémicos, Ganadería, Rural..

Abstract

In the municipality of Campamento, the conflicts of use in the protection zone of the Chimborazo hill are mainly based on the conversion of lands with a vocation for protection in areas of extensive cattle ranching. A compensatory incentive mechanism for the implementation of more sustainable production systems in these areas is the appropriate valuation of rural land. For this, the environmental economic valuation of rural properties bordering the protected areas on the Chimborazo hill in the municipality of Campamento, Antioquia, was estimated. The Economic Valuation (VE) method was used with the variables water resources, the recovery of ecosystem services and vegetation cover in a comparative study of farms with livestock use in an extensive exploitation system and a silvopastoral system. The VE model proposed in this work allows the evaluation of the productive, social and environmental aspects of rural properties and provides support for decision-making by livestock producers and municipal administrations to achieve environmental objectives.

Keywords: Economic Valuation (VE), Water footprint, Ecosystem services, Rural, Cattle raising

Introducción

El Sistema Local de Áreas Protegidas (SILAP) para el municipio de Campamento, señala que los conflictos de uso en la zona de protección del cerro el Chimborazo se basan principalmente en la conversión de tierras con vocación forestal o de protección en áreas de ganadería extensiva o monocultivos, la fragmentación del paisaje y en la pérdida de biodiversidad (Corantioquia, 2021). La mayoría de las microcuencas presentan alto grado de deforestación debido a la ampliación de la frontera agrícola y al establecimiento de pastos para el sostenimiento de la ganadería, produciendo esto erosión en las orillas de los cauces y sedimentación (EOT Municipio de Campamento., 2000). Además, los cauces se encuentran altamente contaminados con desechos orgánicos e inorgánicos, principalmente residuos de cosechas, agroquímicos y residuos domésticos, pues ninguna de las veredas cuenta con sistemas de saneamiento básico (EOT Municipio de Campamento., 2000). Disminuir la vulnerabilidad a los desastres y al desabastecimiento de agua en la zona urbana y rural, son acciones urgentes para el municipio de Campamento.

Considerando que el recurso hídrico es uno de los elementos de vital importancia para el mantenimiento y desarrollo de los seres vivos; se han propuesto indicadores de sostenibilidad, capaces de determinar el estado de los agrosistemas (Roth, E., Rosenthal, H, & Burbridge, P, 2000). Dentro de estos indicadores, se encuentra la huella hídrica, la cual permite cuantificar las cantidades de agua utilizadas para producir un bien o un producto (Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K, & Aldaya, M. M, 2011).

La actividad ganadera es un sector importante para la economía y la seguridad alimentaria del municipio de Campamento, donde la mayor parte del inventario de reses es utilizado generalmente para producir leche (Corantioquia, 2021). Esta actividad también es reconocida por ser una de las actividades con mayores impactos negativos al suelo (Lopez-i-Gelats, F, 2014) y del recurso hídrico (Pascual, F. G, 2007). Sin embargo, los Sistemas Silvopastoriles (SSP) como sistema de producción con prácticas más sostenibles hacen de la ganadería un sistema con mayores potencialidades para recuperación de servicios ecosistémicos, si la comparamos con otros Sistemas de Explotación Extensiva (SEE).

Los SSP se caracterizan por la maximización en el aprovechamiento de nutrientes, la protección del suelo, el pastoreo rotacional, el uso eficiente del agua, la conservación de la diversidad biológica y el bienestar animal (Sotelo Cabrera, M. E, Suárez Salazar, J. C, Castro-Núñez, A, Calderón Soto, V. H, & Arango, J, 2017). Los arreglos de SSP se caracterizan según la cobertura vegetal implementada que puede ser desde los más simples como las Pasturas Mejoradas, hasta los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi). Entre más complejo sea el arreglo SSP en términos de la cobertura vegetal o entre mayor número de ellos se tengan en el predio, mayores son los beneficios que brindan.

En los SSP, se puede obtener una reducción cercana a los US\$ 1.000/ha en gastos de mantenimiento a largo plazo, ya que los SEE con pastos sin arbustos y sin árboles requieren fertilizantes, riego y mayor limpieza de plantas invasoras (Montagnini, F, Somarriba, E, Fassola, H, & Eibl, B, 2015). A pesar de los múltiples beneficios en la recuperación de servicios ecosistémicos que ofrece la implementación de SSP, aún existen factores que

limitan su adopción, principalmente debido a los costos de las inversiones en función de la cobertura vegetal de los arreglos implementados.

No obstante, las metodologías basadas en costos actuales y potenciales relacionan la estimación de los valores de los costos incurridos para remediar la afectación de servicios ecosistémicos. Esta valoración bien podría establecerse como una aplicación de la normatividad ambiental en cuanto a los incentivos económicos para la reconversión a sistemas agropecuarios sostenibles como lo son los SSP. El enfoque de costos de reemplazo, por ejemplo, parte del supuesto de que es posible medir los costos incurridos para reemplazar los daños generados por un proyecto, obra o actividad (Urrutia, L. G. M & Hernández, C. V. G, 2017) como los generados por los SEE.

En el plan de acción del SILAP – Campamento se tiene como misión determinar áreas para el manejo y restauración de bosques riparios y ecosistemas acuáticos, principalmente en los predios limítrofes a las áreas protegidas del cerro el Chimborazo en el municipio de Campamento. Dentro de la estrategia para la conservación y manejo de áreas priorizadas para la protección está el objetivo de implementar los incentivos económicos ofrecidos por el estado y tener una aplicación de la normatividad ambiental, de tal forma que los conflictos sociales actuales sustentados en la cultura y requerimientos para mejorar la calidad de vida del área rural, soporten la protección de la biodiversidad, de forma especial en el ícono ambiental Cerro Chimborazo, del cual, la zona urbana confía el suministro del recurso agua. Por lo tanto, un mecanismo de incentivo compensatorio por la implementación de sistemas de producción más sostenible en zonas críticas, especialmente aquellas relacionadas con la recarga hídrica y conservación boscosa, es la valoración apropiada de predios en zonas de protección ambiental donde se implementan estos sistemas sostenibles.

A nivel nacional, la dificultad para realizar trabajos de Valoración Económica (VE) de predios rurales se debe principalmente a razones de disponibilidad de información que incluyen aspectos como el uso del suelo y de recursos ambientales. Por lo anterior, la deficiencia en la comprensión e implementación de los mecanismos de generación de precios rurales en Colombia generan un nicho importante para futuras investigaciones que pretendan responder a la pregunta ¿Qué repercusiones ambientales y económicas tiene relacionar al uso real de servicios ecosistemas (valor de uso) en valor monetario de los predios rurales limítrofes a las áreas protegidas? y ¿Cómo afecta la inclusión de las variables recurso hídrico, recuperación de servicios ecosistémicos y cobertura vegetal en la VE de los predios rurales con SEE y SSP? como es el caso del municipio de Campamento. Con esta investigación se pretende estimar la valoración económica ambiental de predios rurales limítrofes a las áreas protegidas en Colombia. Para alcanzar este objetivo realizaremos una Valoración Económica (VE) con base en las variables recurso hídrico, la recuperación de servicios ecosistémicos y cobertura vegetal en un estudio comparativo de predios con uso ganadero en un sistema de explotación extensiva (Pasturas naturales sin árboles ni arbustos) y un sistema silvopastoriles (Árboles Dispersos en Potrero) en el cerro Chimborazo del municipio de Campamento, Antioquia.

1. Marco de referencia

El valor de los incentivos debe alcanzar para que un propietario modifique su decisión económica de cambiar de un sistema de producción tradicional a sistemas de producción más sostenible y orientado a la conservación de bosque natural (Blanco, J, 2006). En general los predios rurales de las áreas protegidas incluyen servicios ambientales relacionados con el recurso hídrico, condiciones del suelo y conservación de la fauna y flora. Sin embargo, estos predios presentan avalúos por debajo de otros usos, incluso su valor puede ser menor si se hace por el método de valoración comercial (Borrero, O, 2007), desconociendo así los aspectos productivos, sociales, ambientales, entre otros.

El Esquema de Ordenamiento territorial vigente para el municipio de Campamento-Antioquia, señala que las cuencas El Oso y La Chiquita que abastecen el acueducto de la zona urbana del municipio, tiene baja calidad en sus aguas debido a la carencia de saneamiento básico (Corantioquia, 2021). Así mismo, las cuencas que nacen en la parte alta del municipio (Cañaverál, Travesía, Los Chorros, La Colmena, El Plan de la rosa, El Barcino, Manzanillo, Quebrada Negra, Los Ranchos, El Brazo y El Yerbál) que son tributarias del río Nechí, se encuentran desprotegidos o deforestados por la tala del bosque nativo y la implementación de potreros para el pastoreo de ganado tanto lechero como de doble propósito (Corantioquia, 2021). Por otro lado, los movimientos en masa están relacionados a procesos de erosión avanzados a causa de la ganadería en suelos de altas pendientes, lo que en última instancia provoca el desprendimiento del terreno (EOT Municipio de Campamento., 2000).

1.1 *Valoración del Recurso hídrico*

Actualmente se cuentan con indicadores que permiten medir los usos del recurso hídrico en actividades agropecuarias. La huella hídrica es un indicador que permite cuantificar las cantidades de agua utilizadas para producir un bien o un producto (Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K, & Aldaya, M. M, 2011). Este indicador puede contribuir a determinar y proponer modos de producción más eficientes en cuanto al uso del recurso hídrico; por tanto, para iniciar con el proceso de reducción de consumo y contaminación del agua es necesario estimarlas y construir un panorama general sobre la utilización de este recurso.

Cálculos realizados por Water Footprint indican que se necesitan entre 1100 a 2000 litros de agua por litro de leche producida, rango que varía de acuerdo a las características de la leche (grasa y sólido) y el sistema productivo. Por su parte, datos calculados por la FAO (2010) indican que en SEE se requieren entre 800 a 1800 litros agua por litro de leche. A través del cálculo de este indicador se puede llegar a relacionar el consumo diario de agua y los problemas de contaminación y distribución de agua en lugares donde se producen los bienes y, por tanto, cuantificar los efectos del consumo y comercio en el uso del recurso hídrico.

La metodología básica para calcular la huella hídrica se basa en la sumatoria de las huellas hídricas azul, verde y gris (Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K, & Aldaya, M. M, 2011). La huella hídrica azul se refiere al consumo de los recursos hídricos procedentes de agua dulce

bien sea superficial y/o subterránea; la huella hídrica verde corresponde al volumen de las precipitaciones que no escurren, que recargan las aguas subterráneas o que temporalmente permanecen encima del suelo o vegetación; entre tanto, la huella hídrica gris es el volumen de agua contaminada que se relaciona con la producción de bienes y servicios. Este último se suele estimar como la cantidad de agua que es necesaria para diluir los contaminantes.

1.2 Valoración de la Recuperación de Servicios Ecosistémicos

Los SSP constituyen una opción de sostenibilidad en los sistemas de explotación ganadera enfocado en mejorar la productividad de las fincas. Estos sistemas posibilitan la diversificación de los productos (leche, carne, madera, frutas y leña), brindan sombra, mejoran la dieta de los animales, reducen la utilización de fertilizantes químicos y de concentrados. Lo cual se traduce, en una menor utilización de insumos externos a la finca. Además, permiten la generación de servicios ambientales como secuestro de carbono, conservación de la biodiversidad, protección de cuencas hidrográficas y belleza paisajística (Ibrahim, M , Villanueva, C, & Casasola, F, 2007).

Además, los SSP intensivos son rentables al generar ingresos netos y tasas de retorno superiores a otras opciones para el uso de tierras en ganadería. Estudios realizados por Montagnini y colaboradores (2015) sugieren que para la renovación de praderas en SEE con cercas eléctricas, acueducto ganadero, riego y fertilización se requiere una inversión aproximada de US\$ 1.855/ha, mientras que para los SSPi se requiere alrededor de US\$ 2.531/ha; es decir, unos US\$ 676/ha más que en los SEE. No obstante, estos autores argumentan que a partir del segundo año la situación se invierte y los costos de mantenimiento (entre 2 a 10 años) son mucho menores en el SSPi (US\$ 220/ha) que en SEE (US\$ 1.270/ha). Las evaluaciones económicas de los SSPi dan un soporte estratégico para la toma de decisiones de los productores, de la misma forma que permiten identificar las situaciones que requieren intervenciones públicas, en especial para diseñar estrategias de escalamiento con incentivos que permitan recuperación de servicios ecosistémicos (Montagnini, F, Somarriba, E, Fassola, H, & Eibl, B, 2015).

Las metodologías basadas en costos (p. e. preventivos, de reposición, de reemplazo), relacionan la estimación de los valores de los costos incurridos para remediar la afectación. Estos métodos, asumen que los costos de evitar daños o la sustitución de ecosistemas o sus servicios, proporcionan estimaciones útiles del valor de estos ecosistemas o servicios. Esto se basa en el supuesto de que, si las personas incurren en gastos para evitar o mitigar los daños a los servicios de los ecosistemas, o para sustituir a los servicios de los ecosistemas, dichos servicios deben valer al menos lo que la gente invierte para reemplazarlos.

1.3 Valoración de la Cobertura Vegetal

Los SSP contribuyen a la recuperación de servicios ecosistémicos como la producción primaria neta, el control de plagas, la polinización/dispersión de semilla, el mejoramiento del suelo, la estabilización de suelo/control de la erosión, la calidad del agua, la mejora en el

drenaje, la purificación del aire, el secuestro de carbono, la biodiversidad, el aspecto paisajístico/cultural, entre otros relacionados directamente con el aumento de la cobertura vegetal de los arreglos SSP.

Existen diversos tipos de arreglos de SSP en función de la cobertura vegetal que pueden ser implementados (Pasturas Mejoradas, Pasturas Mejoradas + Leguminosas, Banco de Proteínas, Árboles Dispersos en Potrero, Árboles en Líneas, Sistema Silvopastoril Intensivo (SSPi)) (Sotelo Cabrera, M. E, Suárez Salazar, J. C, Castro-Nuñez, A, Calderón Soto, V. H, & Arango, J, 2017).

1.4 *Valor Económico Total*

El Valor Económico Total (VET) es el valor relacionado con la satisfacción individual conseguida por una persona al obtener beneficio de los ecosistemas. En estos términos, VET es una expresión monetaria de las utilidades que los ecosistemas generan a la comunidad. Este concepto incluye el valor monetario relacionado al uso real en el lugar de un servicio de los ecosistemas (valor de uso) y el valor que se desprende de la satisfacción de conocer que una especie o ecosistema existe o del disfrute de los servicios de los ecosistemas para las generaciones futuras (valor de no uso) (Martín-López, B. G. L, 2012). Aproximarse a un VE en función del valor de uso del recurso hídrico, la recuperación de servicios ecosistémicos y cobertura vegetal, permite atribuir un mejor valor económico para el pago por servicios ambientales o incentivos forestales, con base en los servicios ecosistémicos prestados por las áreas protegidas o con potencial de protección.

Borrero (2007) aborda el enfoque de valoración de predios en zonas de protección ambiental, desde la perspectiva del beneficio social o colectivo; al mismo tiempo, propone un método para la valuación de los predios protegidos y su cobertura vegetal conforme a la calidad ecológica del predio, para establecer el valor comercial de adquisición para un predio que por regla general no tendría mercado. En el caso en que exista mercado para el predio, el autor sugiere la comparación de precios empleados para compras de predios con similares características. Para esto, se debe integrar varios enfoques de análisis: el valor económico total, el valor de uso ambiental y valor agropecuario o demandado de tal modo que el valor comercial o de mercado ambiental integra los tres enfoques iniciales. En primera instancia, el VET indaga por el valor del beneficio social aplicando métodos de valoración como el de costos evitados (Borrero et al, 2007). En segunda instancia, el valor de uso ambiental corresponde al valor de la cobertura vegetal y ambiental que permite un uso directo o indirecto de la sociedad, la demanda por recursos hídricos, tierra vegetal, los servicios de control de erosión, biodiversidad, captura de gases efecto invernadero, entre otros (Borrero et al, 2007). En tercer lugar, el valor agropecuario o demandado se relaciona con el valor del suelo para uso agropecuario si se eliminará la condición de ser área protegida, en otras palabras, corresponde al costo de oportunidad del predio, examinando la posible rentabilidad del suelo por su productividad agrícola. En este caso, se asignan puntajes en función de parámetros agrícolas como calidad del suelo, pendiente, abundancia de agua y altitud (Borrero et al, 2007).

2. Metodología

Para el estudio se seleccionaron dos fincas con uso ganadero (Tabla 1) en predios limítrofes a las áreas protegidas del Cerro Chimborazo del municipio de Campamento (Antioquia) localizado en la coordenada 7°00'00.0"N 75°19'00.1"W. La principal zona de vida en el municipio de Campamento es la de Bosque Muy húmedo Premontano (bmh-PM), este se identifica por temperatura promedio de 18 a 24 °C y precipitaciones mayores a 2.000 mm (Corantioquia, 2021).

Tabla 1. Algunos datos suministrados por el propietario de los predios SEE y SSP se describen en la siguiente tabla

Parámetro	Predio SEE	Predio SSP
Clase agrológica	V	V
Valor comercial según clase agrológica / ha	\$5.500.000	\$5.500.000
Sistema de pastoreo	Explotación Extensiva	Silvopastoril
Arreglo	Pasto natural	Árboles dispersos
Costos variables estimados	-	\$ 4.000.000
Hectáreas de terreno por finca (ha)	17	3
Número de animales por finca	21	9
Número de vacas en producción de leche	15	6
Rendimiento de pasto FV/m ² (g)	775,12	1136,4
Rendimiento de Materia Seca (MS) (kg)/ha	1432,3	2129,1
Peso promedio de las vacas (kg)	441,7	475,76
Consumo total de MS (kg)/hato/día	166,96	52,81
Consumo total/ vaca/día (kg MS)	13,25	14,27
Producción promedio de leche (L)/hato/día	61,29	31,57
Producción promedio de leche (L) /vaca /hato /día	4,91	8,56

2.1 Cálculo del valor del recurso hídrico

La huella hídrica azul (HHazul) mide el consumo directo total de agua/día en cada finca ganadera. Para el cálculo, las vacas que están en producción de leche se aíslan y se les suministra agua mediante el uso de recipientes de agua con volumen conocido, para al final tener un promedio del consumo directo del agua por finca.

Por su parte, la huella hídrica verde (HHverde) mide el consumo indirecto de agua teniendo en cuenta la cantidad de agua empleada para la producción de Masa Seca (MS) por parte del forraje dominante y el consumo de MS de los animales. Luego se determina el agua consumida vía la ingesta de alimento. Para los predios de este estudio se consideró un consumo de materia seca (CMS) de 3% del peso vivo del animal (Ríos, N, y otros, 2012). Luego con el programa CROPWART 8.0 se calcula el agua necesaria para producir un kilogramo de forraje en base seca. Finalmente se aplica la siguiente fórmula HHverde =

Consumo indirecto = $(AC * A)/H$ (Ríos, N, y otros, 2012). Dónde, AC: Alimento consumido por el hato (Kg/MS); A: Litros de agua utilizados para producir 1 kg de materia seca; H: Número de animales de la finca (Solo se consideran vacas en producción)

Para la huella hídrica gris (HHgris) se consulta directamente a los productores y se estima el uso de agua relacionadas en la producción de la leche, los cuales se relacionan con el aseo del lugar y utensilios de ordeño, así como del aseo de los animales.

Finalmente, para el cálculo de la huella hídrica de la leche se emplea la siguiente fórmula $HH1 = (CAA + UdA) / PLH$ (Ríos, 2012). Dónde, HH1: Huella hídrica leche (cantidad de agua necesaria para producir un litro de leche); CAA: Consumo de agua por parte del animal. Dada por la suma de Consumo directo de agua + consumo indirecto de agua; UdA: Uso de agua; PLH: Producción de litros de leche del hato.

Tomando como referencia los datos calculados por la FAO (FAO, 2010) donde indican que en SEE se requieren entre 800 a 1800 litros agua por litro de leche, y la estimación de la Huella Hídrica (HH) para cada sistema ganadero definimos en este trabajo el coeficiente multiplicativo de recurso hídrico (a), así: $a = (1800 / HH_estimado)$, donde $HH_estimado = HH_{Azul} + HH_{Verde} + HH_{gris}$.

En correspondencia, la Valoración de la Protección al Recurso Hídrico estaría dada como $aX1$, donde a es el coeficiente multiplicativo de recurso hídrico; X1: Valor de la clase agrológica, que para estos predios es V (Ver tabla). Si $HH_estimado$ es superior a 1800, entonces el valor del coeficiente multiplicativo de recurso hídrico es cero.

2.2 Cálculo del valor por recuperación de servicios ecosistémicos

Urrutia y Hernandez (2017) señalan que el enfoque del costo de reemplazo tiene como objetivo estimar el costo de la contaminación. El método costo de reemplazo considera el gasto por compensar y devolverle al ecosistema su estado original causado por la gestión antrópica, es una aproximación del valor de los beneficios ambientales alterados. Este método se emplea generalmente para valorar el uso indirecto de los ecosistemas cuando no existe información sobre las funciones ambientales y su relación con los daños producidos. Por lo tanto, el valor por recuperación de servicios ecosistémicos (X2) propuesto en este trabajo deben incluir, como mínimo, lo que los productores invierten en costos variables para sustituir sistemas de explotación ganadera extensiva por sistemas sostenibles como los SSP.

2.3 Cálculo del valor por cobertura vegetal

El rendimiento de los arreglos de SSP en cuanto a producción de carne y leche por hectárea son hasta 4 veces o más en comparación al SEE, a la par que se reducen los costos de alimentación suplementaria y fertilizantes en SSP (Restrepo, E. M, Rosales, R. B, Estrada, M. X. F, Orozco, J. D. C, & Herrera, J. E. R, 2016).

Análisis económicos relacionados con indicadores de rentabilidad (VAN: valor actual neto, B/C: relación beneficio/costo, TIR: tasa interna de retorno) a diferentes espacios temporales, estos indicadores aumentan con el tiempo, ya que dependen de la estructura del arreglo agroforestal (composición de árboles y maderables perennes) (Sotelo Cabrera, M. E, Suárez Salazar, J. C, Castro-Nuñez, A, Calderón Soto, V. H, & Arango, J, 2017). Los resultados de la estimación de los indicadores de rentabilidad en diferentes arreglos SSP según Sotelo, y colaboradores (2017) (Tabla 2).

Tabla 2. Indicadores de rentabilidad en los arreglos de SSP

Arreglo	Relación beneficio/costo (B/C)	Tasa interna de retorno (TIR)
Pasturas mejoradas	1.17	15%
Pasturas mejoradas + leguminosas	1.18	19%
Banco de proteínas	1.64	28%
Árboles dispersos en potrero	1,22	20%
Árboles en líneas	1.24	22%
Sistema silvopastoril intensivo	1.61	32%

Para este estudio se toma como coeficiente de cobertura vegetal (b) el cociente de la relación beneficio/costo. Lo anterior, debido a que los arreglos de SSP aumentan su complejidad en función de la cobertura vegetal, y que en correspondencia dicha complejidad está asociada con el aumento del cociente de la relación beneficio/costo de la producción y la Tasa interna de retorno. En este orden, la estimación de la Valoración de Cobertura Vegetal está dada como $bX1$, donde b es el coeficiente multiplicativo de cobertura vegetal; X1: Valor de la clase agrológica, que para estos predios es V (Ver tabla). Si el predio no tiene arreglo SSP, entonces el valor del coeficiente multiplicativo de cobertura vegetal es cero.

2.4 Cálculo del VE

Si el Estado declara como zona protegida un predio que antes tenía uso agropecuario con el propósito de salvaguardar los suelos protegidos, es porque su mayor valor está asociado a la protección que a lo que pueda desarrollarse en él. En correspondencia, el único interesado en comprar estos predios es el Estado; por tanto se debe crear una condición ajustada al mercado para establecer su valor comercial que integre los tres enfoques previamente indicadas (Borrero et al, 2007). Con base en Borrero (2007) el ajuste que se propone en este trabajo queda representado en la ecuación lineal como:

$$VM = X1 + aX1 + bX1 + X2$$

donde el valor comercial final VM del precio valorado será determinado por el valor potencial agrícola y un plusvalor en función de la calidad del suelo protegido en relación con la cobertura vegetal, biodiversidad y la producción de agua (Borrero et al, 2007). En la formula VM es el valor de mercado para compra del predio a conservar; a y b son los

coeficientes de los parámetros valuatorios; X1 es el valor de la clase agrológica; aX1 es el valor de protección al recurso hídrico; bX1 es valor de la cobertura vegetal; y X2 es el valor por recuperación de servicios ecosistémicos.

El piso del valor de mercado para compra del predio a conservar deberá ser el costo de oportunidad del predio, es decir, el uso agrícola definido por clase agrológica (X1). En correspondencia, el VE no solo incluye el costo de oportunidad del predio, sino también el valor de uso ambiental (demanda del recurso hídrico, demanda por la tierra vegetal y control de erosión, ventajas de la biodiversidad, captura de CO2 y producción de Oxígeno) el cual está representado en la fórmula como aX1 (valor de protección al recurso hídrico), bX1 (valor de la cobertura vegetal) y X2 (valor por recuperación de servicios ecosistémicos). El valor de los servicios ecosistémicos que componen el valor de uso ambiental se calculó mediante el método de costos evitados en función de la salud del sistema (Borrero et al, 2007).

Esta investigación es de tipo descriptiva y con enfoque mixto. Se tuvo en cuenta las unidades ganaderas con SEE y SSP, para la determinación de VE y HH de los predios se emplearon información de fuentes secundarias, así como datos suministrados por los propietarios de los predios quienes solicitaron mantener en el anonimato sus nombres y ubicaciones específicas de las fincas.

3. Resultados y/o Hallazgos

3.1 Valor de la protección al recurso hídrico

En la tabla 3, se observa que hay diferencias notables en el consumo de agua directo, indirecto, de uso y para producir un litro de leche entre los dos sistemas comparados, siendo superior el consumo promedio de agua en el SEE.

Tabla 3. Valores de huella hídrica para los sistemas SEE y SSP

Parámetro	Predio SEE	Predio SSP
HH Azul promedio/h ato	448,95	124,65
HH Verde promedio/h ato	95114	20233
HH Gris promedio/ hato	89	47,4
HH/litro de leche promedio	1559,5	646,07

La HH Azul de SEE con 448,95 L se debe a que en este sistema las vacas se encuentran libres al acceso de agua y al mismo tiempo existen mayor número de vacas en producción, mientras que para SSP se requiere de menos consumo de agua directo debido a que el número de vacas en producción en un área más pequeña. En cuanto a HH Verde, las vacas que se encuentran en SEE consumen mayor cantidad de agua indirecta con 95114 litros en relación con SSP que tiene un consumo más bajo de agua indirecta por hato con 20233 litros de agua y un consumo por vaca de 5469,45 litros. Con respecto a HH Gris, el mayor uso de agua en lavado de utensilios de ordeño, lavado de ubre y aseo se da en SEE con un nivel de uso de agua de

89 L/día. Para producir un litro de leche, los SEE consumen mayor cantidad de agua con 1559,5 L, en comparación con 646,07 L de los SSP.

Los resultados encontrados muestran que hay diferencias en las variables de consumo de agua directa, esta diferencia del consumo de agua se da con respecto al aumento de temperatura que por cada grado de elevación aumenta el consumo en 1.2 L (Martínez Marín, A. L, 2006). Además, Martines (2006) menciona que las necesidades de agua son de 1.2 a 2 veces superiores en animales sometidos a estrés térmico, al estar en potreros sin sombra. En cuanto a la HH verde se encontraron valores de consumo de agua que van de 20233 a 95114 L de agua por sistema ganadero, resultados que se asemejan al consumo de agua indirecto (Lanuza, E, y otros, 2013). Por su parte, la HH gris calculada en la presente investigación con un nivel de uso de agua de 89 L/día, es inferior a lo reportado por Espinosa, et al. (2015) (Espinoza, Quintana, E., & Palma, 2015) que obtuvo un valor de 102 litros por vaca en una ganadería tecnificada. Además, se tiene como resultado que la huella hídrica promedio para producir un litro de leche se necesita entre 646,1 a 1559,5 L de agua, resultados que son inferiores a lo reportado por la FAO, (2010) quienes indican que en ganaderías extensivos se requieren entre 800 a 1 800 L/litro de leche.

El Valor de la Protección al Recurso Hídrico para SEE es de \$6.325.000 mientras que para SSP es de \$15.290.000 (Tabla 4). Esta diferencia como uno de los incentivos económicos para la reconversión a sistemas agropecuarios sostenibles, es más atractiva para un productor tradicional.

Tabla 4. Valor de la Protección al Recurso Hídrico para los sistemas SEE y SSP

Parámetro	Predio SEE	Predio SSP
Coefficiente multiplicativo de recurso hídrico (a)	1,15	2,78
Valor comercial según clase agrológica / ha (X1)	\$5.500.000	\$5.500.000
Valor de protección al recurso hídrico (aX1)	\$6.325.000	\$15.290.000
Cálculo de a= (1800/ HH_estimado), donde HH_estimado = HHazul + HHverde + HHgris		

3.2 Valor por recuperación de servicios ecosistémicos

Estudios realizados por Montagnini y colaboradores (2015) señalan que los costos totales en el establecimiento (año 1) y manejo (años 2 a 10 en suelos fértiles) de un SSPi, opción agroecológica sin químicos, comparado con monocultivo de pastos manejados con rotación, riego y fertilización en la Reserva Natural El Hatico en el Valle del Cauca (Colombia). Para este SSP en el Valle del Cauca la inversión inicial de establecimiento se estimó en unos US\$ 2531/ha (cifras del año 2104). Por consiguiente, un incentivo adicional sería el reconocimiento en la recuperación de servicios ecosistémicos que ofrece la implementación de SSP, en correspondencia con los costos de las inversiones en cobertura vegetal de los arreglos implementados en estos sistemas. En este sentido, la valoración por recuperación de servicios ecosistémicos favorece la conversión de los sistemas tradicionales a SSP en tanto que disminuye la limitante económica para su implementación, y con ello contribuyen directa e indirectamente con los múltiples beneficios de servicios ecosistémicos.

3.3 Valor de cobertura vegetal

El valor de cobertura vegetal se recomienda como un incentivo compensatorio por la implementación de sistemas de producción más sostenible en zonas críticas, especialmente aquellas relacionadas con la recarga hídrica y conservación boscosa. Para este estudio, el SSP podría sumar a su VE cerca de \$6.710.000 por el arreglo del SSP, mientras que un potrero abierto con los que tradicionalmente se presentan en los SEE, no tendría esa compensación económica (Tabla 5).

Tabla 5. Valor de cobertura vegetal para los sistemas SEE y SSP

Parámetro	Predio SEE	Predio SSP
Arreglo SSP	-	Árboles dispersos en potrero
Relación B/C	-	1,22
Coficiente multiplicativo de cobertura vegetal (b)	0	1,22
Valor comercial según clase agrológica / ha (X1)	\$5.500.000	\$5.500.000
Valor de Cobertura Vegetal (bX1)	\$0	\$6.710.000

Definir el valor de cobertura vegetal como incentivo no sólo tiene implicaciones ambientales sino también socioeconómicas. Dicho incentivo, contribuiría a la implementación de SSP en áreas rurales limítrofes a zonas protegidas, permitiría mitigar los daños a los servicios de los ecosistemas y al mismo tiempo mejoraría las condiciones de vida y los ingresos de las familias con unidades productivas pecuarias más rentables. Estudios realizados por Sánchez (2007) en Costa Rica, evidenció que la inversión en SSP es rentable con una TIR de 17%, estos valores. Entretanto, Sotelo y colaboradores estiman que las pasturas mejoradas y pasturas mejoradas + leguminosas presentan la menor TIR de 15% y 19% de los SSP, mientras que lo arreglos de árboles dispersos en potrero y árboles en líneas presentan valores intermedios de 20% y 22%, en comparación a los arreglos de banco de proteína, silvopastoril intensivo y silvopastoril intensivo en líneas con una TIR mayor de 28, 32 y 30%, respectivamente.

Finalmente, aplicando la ecuación propuesta en este trabajo $VM = X1 + aX1 + bX1 + X2$ se tiene la valoración comercial para ambos sistemas. Con incrementos para los SSP de hasta 2,6 veces el VM en relación con los SEE (Tabla 6).

Tabla 6. Valor de mercado para compra del predio a conservar para los sistemas SEE y SSP

Parámetro	Predio SEE	Predio SSP
Valor comercial según clase agrológica / ha (X1)	\$5.500.000	\$5.500.000
Valor de protección al recurso hídrico (aX1)	\$6.325.000	\$15.290.000
Valor de Cobertura Vegetal (bX1)	\$0	\$6.710.000
Valor por recuperación de servicios ecosistémicos*	\$0	\$3.500.000
Valor de mercado para compra del predio a conservar	\$11.825.000	\$31.000.000

(*)Datos suministrados por el propietario

4. Conclusiones y/o recomendaciones

El modelo de VE propuesto en este trabajo permite valorar los aspectos productivos, sociales y ambientales de predios rurales limítrofes a las áreas protegidas en Colombia.

La valoración económica de variables ambientales como el recurso hídrico, la recuperación de servicios ecosistémicos y cobertura vegetal incluidas en el valor de mercado para compra del predio a conservar, contribuye a la resolución de conflictos en zonas de protección y así mismo estimularía la participación de la comunidad en la estrategia para la conservación y manejo de áreas priorizadas para la protección del recurso hídrico en el cerro Chimborazo del municipio de Campamento.

La VE de los SSP dan un soporte para la toma de decisiones de los productores ganaderos, e identifica situaciones que favorecen las intervenciones de las administraciones municipales para la consecución de objetivos ambientales. Lo anterior, basado en estrategias de escalamiento con incentivos que permitan recuperación de servicios ecosistémicos, al mismo tiempo que mejoraría las condiciones de vida y los ingresos de las familias con unidades productivas pecuarias.

Desde el método de VE, la estimación de la huella hídrica es un buen indicador para calcular el valor económico de una variable ambiental asociada al recurso hídrico.

5. Referencias bibliográficas

- Corantioquia. (2021). *"El cultivo del agua" a través del Sistema Local de Áreas Protegidas - SILAP. Campamento.* . Campamento.
- Campamento, E. M. (2000). *Equema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Campamento, Antioquia.* Campamento.
- EOT Municipio de Campamento. (2000). *Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Campamento, Antioquia.* Campamento.
- Roth, E., Rosenthal, H, & Burbridge, P. (2000). A discussion of the use of the sustainability index: 'ecological footprint' for aquaculture production. *Aquatic Living Resources*,, 13(6), 461-469.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K, & Aldaya, M. M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard.* Routledge.
- Lopez-i-Gelats, F. (2014). *Impacts of climate change on food availability: livestock (Vol. 1). Global environmental change. Handbook of global environmental pollution.*
- Pascual, F. G. (2007). ¿ Un nuevo modelo rural en Ecuador? Cambios y permanencias en los espacios rurales en la era de la globalización. . *Íconos: Revista de Ciencias Sociales*, (29), 77-93.
- Sotelo Cabrera, M. E, Suárez Salazar, J. C, Castro-Nuñez, A, Calderón Soto, V. H, & Arango, J. (2017). *Sistemas sostenibles de producción ganadera en el contexto amazónico Sistemas silvopastoriles:¿ una opción viable?* Publicación CIAT.

- Montagnini, F, Somarriba, E, Fassola, H, & Eibl, B. (2015). *Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Serie Técnica. Informe Técnico Número 402.
- Urrutia, L. G. M, & Hernández, C. V. G. (2017). *Criterios técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos obras o actividades objeto de licenciamiento ambiental*. Bogotá.
- Blanco, J. (2006). *La experiencia Colombiana en esquemas de pagos por servicios ambientales*. Ecoversa.
- Borrero, O. (2007). *Avalúos de Terrenos de Protección Ambiental y uso Institucional*. Bogotá: Bandar editores.
- FAO. (2010). *Status of and Prospects for Smallholder Milk Production – A Global Perspective*, by T. Hemme and J. Otte. . Rome.
- Ibrahim, M , Villanueva, C, & Casasola, F. (2007). *Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América*.
- Martín-López, B. G. L. (2012). *Ciencias de la sostenibilidad. Guía docente*. Universidad del Magdalena, Instituto Humboldt, Universidad Autónoma de Madrid.
- Ríos, N, Lanuza, E, Gámez, B, Montoya, A, Díaz, A, Sepúlveda, C, & Ibrahim, M. (2012). *Cálculo de la huella hídrica para producir un litro de leche en fincas ganaderas en Jinotega y Matiguás, Nicaragua*. . Managua: Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza-C.
- Restrepo, E. M, Rosales, R. B, Estrada, M. X. F, Orozco, J. D. C, & Herrera, J. E. R. (2016). Es posible enfrentar el cambio climático y producir más leche y carne con sistemas silvopastoriles intensivos. *Ceiba*, 54(1), 23-30.
- Martínez Marín, A. L. (2006). Efectos climáticos sobre la producción del vacuno lechero: estres por calor. España. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*, Vol. VII, N° 10.
- Lanuza, E, Gámez, B, Montoya, A, Díaz, A, Ríos Ramírez, N, & Sepúlveda López, C. J. (2013). *Cálculo de la huella hídrica para producir un litro de leche en fincas ganaderas en Jinotega y Matiguás, Nicaragua. Sistemas Silvopastoris*.
- Espinoza, J. R., Quintana, R. M., E., L. S., & Palma, Y. (2015). *La importancia de la huella hídrica en el sector agropecuario y un caso de estudio para la producción de leche de manera sustentable en el norte de México*. *Revista Latinoamericana el Ambient*.