

Diseño de un esquema de Pago por Servicios Ambientales en áreas de importancia estratégica para la conservación, en la microcuenca La Hidráulica del municipio de Sibundoy en Putumayo, Colombia.

Mónica Denir Lombana Luna¹

RESUMEN

A partir de esta investigación se pretendió diseñar un esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA) en áreas de importancia estratégica para la conservación, en la microcuenca La Hidráulica en el municipio de Sibundoy, Putumayo, mediante la identificación de los servicios ofertados por los ecosistemas estratégicos existentes. La determinación de la demanda y disponibilidad para el PSA se fijó por dos métodos, mediante el cálculo del almacenamiento de carbono aéreo en las áreas de bosque ribereñas y en Sistemas Agroforestales (SAF), ubicados dentro de 19 predios que componen parte de la microcuenca, y a través de una valoración contingente de la disposición para sustituir áreas de cultivo por procesos de conservación y reforestación. Se encontró que los principales servicios ambientales ofertados son el secuestro y almacenamiento de carbono, la conservación de la biodiversidad y la protección de los servicios hidrológicos. Las estimaciones indican que, para las zonas de bosque, el potencial de almacenamiento de carbono es de 154 toneladas por hectárea y para las zonas donde hay SAF es de 19 toneladas por hectárea según la mediana. Teniendo en cuenta esas estimaciones en valores monetarios, frente a la estimación de las rentas reales, presuntivas y esperadas que se generarían en los predios, se nota un amplio superávit de los servicios ambientales frente a los costos de poner en marcha el esquema de PSA. Esa condición es positiva porque al involucrar la comunidad beneficiaria de la microcuenca, las compensaciones por los servicios potenciales en los 19 predios, favorece ampliamente el costo de oportunidad de conservación, que garantiza la existencia de una fuente de almacenamiento de carbono para la mitigación de emisiones de GEI, la conservación de la biodiversidad y los servicios hidrológicos, la recreación y provisión de belleza escénica y paisajística, entre otros servicios ambientales.

Palabras claves: Servicios ambientales, áreas estratégicas para la conservación, pago por servicios ambientales PSA.

ABSTRACT.

Based on this research, it was intended to design a Payment for Environmental Services (PSA) scheme in areas of strategic importance for conservation, in the Hydraulics basin in the municipality of Sibundoy, Putumayo, by identifying the services offered by ecosystems strategic. The determination of the demand and availability for the PSA was determined by two methods, by calculating the storage of aerial carbon in the areas of riparian forests and in Agroforestry Systems (SAF), determined within 19 farms that make up part of the basin, and through a contingent valuation of the disposition for the substitution of cultivation areas for conservation and reforestation processes. It was found that the main environmental services

¹ Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias contables, Económicas y Administrativas, Maestría en desarrollo sostenible y medio ambiente, Cohorte XVII. Correo: lombanaluna@gmail.com.

offered are carbon sequestration and storage, biodiversity conservation and protection of hydrological services. The figures indicate that, for forest areas, the carbon storage potential is 154 tons per hectare and for areas where there is SAF it is 19 tons per hectare according to the median. Taking into account these considerations in monetary values, compared to the accuracy of the real, presumptive and expected income generated in the land, there is a large surplus of environmental services against the costs of implementing the PSA scheme. This condition is positive because the beneficiary community of the micro basin is involved, the compensations for the potential services in the 19 lots, favor the cost of conservation opportunity that guarantees the existence of a carbon storage source for the mitigation of emissions from GHG, biodiversity conservation and hydrological services, recreation and provision of scenic and scenic beauty, among others environmental services.

Key words: Environmental services, strategic areas for conservation, payment for PSA environmental services.

1. Introducción

La oferta permanente de bienes y servicios ambientales permite el desarrollo de las diferentes actividades humanas, supliendo necesidades básicas de alimentación, refugio, obtención de materia prima, además, de otros servicios culturales y reguladores que representan el valor cultural, espiritual y de funcionalidad desempeñados por los ecosistemas. Todos éstos relacionados con la regulación del clima, de los gases de efecto invernadero, la formación y protección del suelo, la generación, regulación del flujo y calidad del recurso hídrico, la retención de sedimentos, control de erosión, el reciclado de nutrientes, tratamiento de residuos, polinización y el control biológico; donde los recursos biológicos constituyen el capital con un gran rendimiento potencial de beneficios sustentables (Espinoza, Gatica y Smyle, 1999).

La alteración, fragmentación y pérdida de los ecosistemas naturales es una de las problemáticas ambientales más representativas en el ámbito mundial, nacional y regional, que afecta de manera acelerada los recursos naturales, los bienes y servicios ambientales. Este proceso se deriva principalmente del desarrollo de las actividades de tipo antrópico, representadas en la inadecuada ocupación del suelo, la sobreexplotación de los recursos, la deforestación, la actividad agropecuaria y la contaminación. Asimismo, por la introducción de especies, la caza y la pesca comercial sin control, el desarrollo urbanístico, la minería, la destrucción de humedales, zonas de páramo, y el cambio climático global. Afectaciones a las cuales se suma el desconocimiento del valor potencial de los ecosistemas naturales, la débil capacidad institucional para reducir el impacto de las actividades que generan su pérdida, el desinterés y baja presencia del Estado para la protección de áreas con alto valor ecológico, el establecimiento de cultivos ilícitos, el conflicto armado y el tráfico ilegal de flora y fauna silvestre.

En la región del Alto Putumayo, específicamente en las zonas rurales, donde se ubican de manera simultánea ecosistemas estratégicos como zonas de bosque, páramo y humedales, ese proceso de afectación se debe a la actividad agropecuaria que acarrea un serio deterioro ambiental, teniendo en cuenta el conflicto existente entre la necesidad creciente del desarrollo productivo, económico y social en la región, para la satisfacción de las necesidades básicas de

las comunidades y la conservación de los recursos naturales. De hecho, las zonas destinadas a la producción agrícola y pecuaria, se encuentran inmersas en matrices naturales donde el productor requiere realizar cambios en la conformación de los ecosistemas, para la ampliación de los sistemas productivos, incidiendo en la oferta y calidad del recurso hídrico, las características productivas del suelo, la calidad del aire, la riqueza y diversidad de especies de flora y fauna y en la oferta permanente de los servicios ambientales, todo esto sin considerar un esquema adecuado que permita el aprovechamiento sostenible de los espacios naturales y su conservación.

De esta manera, y con el objeto de contribuir al planteamiento de estrategias encaminadas a la conservación y al desarrollo de sistemas productivos amigables con el ambiente, se hace indispensable la búsqueda de mecanismos que fomenten la conservación de la biodiversidad y de los recursos, que al mismo tiempo estén basados en los sistemas de mercado, como herramientas que puedan llevar a la gestión sostenible de recursos naturales, tanto locales como de importancia global, y permitan brindar beneficios a quienes preservan dichos servicios. Por tal razón, a partir de esta investigación se pretendió: “Diseñar un esquema de pago por servicios ambientales en áreas de importancia estratégica para la conservación, asociadas a la microcuenca la Hidráulica en el municipio de Sibundoy, en el departamento del Putumayo”, reconociendo los esquemas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) como un medio por el cual sea posible incentivar a los usuarios de la tierra de áreas rurales, al manejo y conservación adecuada de su ambiente natural para asegurar de este modo el flujo de servicios ambientales. Para lograr este objetivo, fue necesario 1) Caracterizar las áreas de importancia estratégica para la conservación, asociadas a la microcuenca, 2) identificar los servicios ambientales ofertados por los ecosistemas estratégicos del área de influencia de la microcuenca y 3) determinar la demanda y disponibilidad de pago para la implementación de un PSA en el área de influencia.

El diseño del PSA propuesto surge a partir de la caracterización de áreas de importancia estratégica para la conservación, además de la identificación de los servicios ambientales ofertados por los ecosistemas existentes en el área de influencia de la Microcuenca y la determinación de la demanda y disponibilidad de aceptar compensaciones económicas por mantener y ampliar la oferta de servicios ambientales en la zona. En tal sentido, el documento se divide en siete capítulos, el primero es esta introducción, el segundo presenta una reflexión sobre los esquemas de compensación por servicios ambientales, y luego en el capítulo tres, se exponen algunas experiencias sobre valoración de dichos servicios y el establecimiento de un esquema de PSA. Esta reflexión se complementa en el capítulo cuatro con un panorama normativo en Colombia sobre el Pagos por Servicios Ambientales. Posteriormente en el capítulo cinco, se detalla la metodología del estudio desde la ubicación de las características físico-bióticas de la microcuenca, las condiciones estructurales y los métodos de valoración. En el capítulo seis, se presentan los resultados con una caracterización socioeconómica, forestal y de los potenciales servicios ambientales, especialmente en captura de carbono. Más adelante se muestran las estimaciones de los servicios ambientales y la valoración de los mecanismos de compensación por los PSA. Finalmente, en el capítulo siete, se muestran las principales conclusiones del estudio.

2. Los esquemas de servicios ambientales y las formas de compensación

Un servicio ambiental es cualquier bien o servicio provisto por la naturaleza, que provee bienestar a algunas o muchas personas. Wunder, Wertz y Moreno (2007) describen los servicios ambientales, como beneficios indirectos, generalmente no transados en mercados, que la sociedad obtiene de los ecosistemas. Éstos, pueden ser los servicios de provisión, incluyendo los productos o bienes tangibles que se obtienen de los ecosistemas y que en su mayoría presentan un mercado estructurado; los servicios de regulación relacionados con los procesos ecosistémicos que aportan a la regulación del sistema natural; y los servicios culturales, ligados a los valores humanos, su identidad, al comportamiento de base o soporte, siendo necesarios para el funcionamiento de los ecosistemas y la producción de servicios ecosistémicos.

Entre los servicios ambientales más ampliamente reportados en la literatura por su evidente conexión con los sistemas económicos locales y globales que aplican para la implementación de un PSA se encuentran: El secuestro y almacenamiento de carbono, y la mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero; generándose un enorme reto en las posibilidades para cuantificar y valorar los servicios forestales, así como para establecer el precio adecuado de este servicio para promover el desarrollo sostenible, siendo éste un mercado global impulsado por el protocolo de Kyoto, políticas nacionales de reducción de GEI y oportunidad de compra para compensación, dando lugar a transacciones millonarias para la provisión de secuestro de carbono o Certificados de Reducción de Emisiones (CER's) (Cuellar, Herrador, González y Rosa, 1999; Robledo, Tobón y Restrepo, 2002; PROFOR-BM, 2004). La Conservación de la biodiversidad, un servicio que se vende de manera indirecta, relacionando la asignación de valores de uso del suelo específicos que permiten la conservación de especies, los ecosistemas y la diversidad genética (Unísfera, 2004; Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt, 2004). Los servicios hidrológicos, relacionados con la reducción de cargas de sedimentos en vías fluviales, regulación del ciclo hidrológico, aumento del volumen de agua disponible durante todo el año, mejoramiento de la calidad del agua disponible para consumo doméstico; los cuales representan pagos económicos definidos de usuarios específicos a proveedores específicos por servicios relacionados con el agua a través de la conservación o recuperación de la cobertura vegetal donde hay una gran demanda por el recurso (PROFOR-BM, 2004). Y finalmente la recreación y provisión de belleza escénica, asociada principalmente con el valor estético o cultural que se otorga a sitios específicos, reconociéndose al ecoturismo como uno de los principales demandantes y beneficiarios de este servicio, evidenciado en diversas experiencias de pago por belleza del paisaje en varios países de Latinoamérica (Unísfera, 2004; Rosa, Herrador y González, 1999)

De hecho algunos servicios ambientales se han convertido en generadores de riqueza por lo que se les reconoce un valor económico (belleza escénica, agua) y dado que importantes actividades económicas como el turismo, industria pesquera y generación de energía tienen una gran dependencia en los ecosistemas (y en ciertos usos de la tierra), su mantenimiento ha cobrado especial importancia en la administración del medio ambiente, generando influencia en la actitud de quienes producen o se benefician del Servicio Ambiental, contribución a una mejor asignación de los beneficios y costos de medidas de conservación y manejo ambiental, y la distribución de los costos y beneficios de manejo/protección ambiental (forestal, agua,

recreacionales) (Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía Colombiana, 2009).

De esta manera los Pagos por Servicios Ambientales (PSA) son transacciones voluntarias entre usuarios de servicios y proveedores de servicios que están condicionados a las reglas acordadas de gestión de los recursos naturales, para generar servicios externos (Wunder, 2015). El pago por servicios ambientales (PSA), representa la disponibilidad para el aprovechamiento y conservación de la oferta ambiental natural, incentivando a los usuarios de la tierra al manejo y conservación adecuada de los recursos naturales para asegurar el flujo de servicios ecosistémicos. En tal sentido, estos son un medio por el cual se incentiva a los usuarios de la tierra al manejo y conservación adecuada de su ambiente natural para asegurar de este modo el flujo de servicios ambientales (Pagiola y Platiais, 2002). Además, requiere del monitoreo del servicio ambiental, para así determinar niveles de cumplimiento y éxito aceptables (Wunder, 2005).

Los sistemas PSA son mecanismos promisorios para mejorar las condiciones de diversos recursos (especialmente el recurso hídrico) porque pueden servir como instrumento de sensibilización de la población participante respecto al valor de los recursos naturales. Además, facilitan la solución de conflictos y la obtención de consensos entre los actores involucrados y mejoran la eficiencia en la asignación de recursos naturales, sociales y económicos. Los PSA también generar nuevas fuentes de financiamiento para la conservación, restauración y valoración de los recursos naturales y crean indicadores de importancia relativa de los recursos naturales. La ventaja de estos esquemas es que transfieren recursos a sectores socioeconómicamente vulnerables involucrados en la oferta servicios ambientales.

3. Algunas experiencias en la valoración de iniciativas PSA

La valoración de los bienes y servicios ambientales, principalmente aquellos relacionados con los bosques como protectores y reguladores hidrológicos en las cuencas, como conservadores de la biodiversidad y como potenciales para la captura del carbono se han intensificado en los últimos años, en diferentes regiones del mundo. En Latinoamérica, se ha observado un creciente desarrollo de iniciativas de PSA, las cuales buscan la reducción de los impactos a los ecosistemas naturales mediante el reconocimiento social y económico de los servicios ambientales, ofreciendo en su mayoría compensaciones voluntarias, directas monetarias o en especie, y condicionadas a la provisión del servicio ambiental.

Este es el caso de Costa Rica, país que sobresale en el tema, puesto que ha adoptado a partir de la Ley Forestal, (1996), la valoración e incorporación a las cuentas nacionales de los servicios ambientales producidos por el bosque y la vegetación en general, identificando cuatro servicios principales: 1) Protección de agua para consumo humano y/o generación hidroeléctrica; 2) protección de biodiversidad con fines de uso sostenible; 3) mantenimiento de la belleza escénica natural para fines turísticos y científicos; 4) captura de carbono y contribución para resolver el problema del cambio climático (Tattenbach, 1998 citado por González y Riascos, 2007). El financiamiento para el programa proviene de recursos públicos (impuestos sobre la gasolina y los recursos forestales); acuerdos con empresas privadas (como Energía Global y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz) y proyectos y mecanismos de mercado (como el Proyecto

Ecomercados financiado por el Banco Mundial). Desde su inicio el programa ha ayudado a detener la deforestación y a incrementar la superficie forestal del país. Además, el programa ha ayudado a disminuir la pobreza, especialmente en las áreas rurales, aunque inicialmente no fue diseñado con este propósito (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal- FONAFIFO, 2005).

De igual forma, en República Dominicana, mediante el proyecto de manejo y conservación de los recursos naturales de la cuenca alta del Río Yaque, considerada la más importante del país, se ha buscado la conservación del recurso hídrico, con la creación de un sistema de PSA que fomenta sistemas forestales, agroforestales y agrícolas, ecológicamente viables y económicamente rentables, acompañados de medidas participativas para el desarrollo comunitario; con el fin de reducir la erosión y la carga de sedimentos. Además, de buscar ampliar el financiamiento del sistema recurriendo a otros usuarios de la cuenca y vinculando fondos nacionales de la Corporación Dominicana de Energía, e internacionales como el Fondo de Cooperación Alemana (Díaz, s.f, Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con el apoyo de FAO-Facility).

Por su parte el Salvador a pesar de carecer de una institucionalidad organizada para la internalización de beneficios ambientales, ha realizado algunas experiencias de PSA como la del Parque Nacional “El Imposible”, donde las familias que se benefician del sistema de agua potable pagan una tarifa mensual para financiar la administración, la operación, el mantenimiento del sistema y el trabajo de dos guardaparques promotores del medio ambiente. Entre los estudios de valoración económica de los servicios ambientales para la implementación de esquemas de PSA, se resalta el realizado en la parte alta de la cuenca del Río Lempa, donde se buscó determinar la disponibilidad de pago de las familias por el suministro sostenible del agua que actualmente consumen, asociado a la conservación de las coberturas arbóreas que protegen el recurso hídrico en su nacimiento (Rosa, Herrador y Gonzáles, 1999).

Ecuador y Brasil también cuentan con diferentes experiencias exitosas, Ecuador por ejemplo, cuenta con el desarrollo de Esquemas de protección de cuencas en Pimampiro, el Fondo para la Protección del Agua (FONAG) en Quito y PSA por protección de biodiversidad en las comunidades Chachis en el noroccidente de Ecuador que contó con la Cooperación Técnica Alemana (GTZ) y Conservación Internacional (CI), quienes aunaron esfuerzos para el diseño y la implementación del esquema, donde las comunidades se comprometieron a no realizar actividades de extracción de madera y caza en una área de reserva comunal, recibiendo una compensación monetaria anual (Albán, Moreno, Moscoso, Southgate y Wunder, 2008). Por su parte, Brasil ha implementado el Programa de Desarrollo Social y Ambiental PROAMBIENTE, enfocado en la producción agrícola de familia, promoviendo políticas a nivel estatal y local que fomentan la participación y la planificación a través de la formación de nuevas asociaciones y redes para la negociación del uso de los recursos. El objetivo del programa es ayudar a que los productores hagan la transición de las prácticas agrícolas tradicionales que prevalecen hoy en día en la frontera Amazónica a prácticas más diversificadas y sostenibles, con el fin de reducir la conversión forestal y las emisiones de gases; estableciendo incentivos para actividades económicas más sostenibles mediante compensaciones, directas o indirectas, a productores de familias por implementar buenas prácticas agrícolas, la conservación y el manejo forestal, la reducción de los incendios forestales y de la fragmentación, el mantenimiento de los márgenes de las corrientes de agua, la conservación del suelo, la recuperación de zonas degradadas y la

conservación de la biodiversidad (Ministerio de Ambiente de Brasil, citado por Departamento de Desarrollo Sostenible de los Estados Americano, 2005).

En Argentina también se han documentado casos sobre la exploración de oportunidades para la puesta en marcha de un esquema de pagos por servicios ambientales en la cuenca Los Pericos – Manantiales, Juyuy. En una consultoría llevada a cabo por la Universidad Nacional de Santiago del Estero para la Secretaría de Ambiente de la Nación, se sentaron las bases para determinar la factibilidad en la implementación de un sistema de PSA, identificando la oferta de servicios ambientales fundamentales para el sistema, así como los oferentes y los demandantes del mismo, no obstante, a la fecha ha sido solamente una iniciativa (Sarmiento y Ríos, 2009).

En el ámbito colombiano, el PSA se encuentra representado por varias iniciativas entre ellas el Incentivo Forestal de Conservación regulado a partir del Decreto 900 de 1997 y Reforestación amparado por la Ley 139 de 1994, los cuales tienen por objeto compensar la conservación de bosques naturales y fomentar las actividades de reforestación. El programa de Familias Guardabosques, que representa un incentivo entregado por el gobierno nacional a familias campesinas, indígenas o afrocolombianas que se encuentren ubicadas en ecosistemas ambientalmente estratégicos, involucradas o en riesgo de sembrar cultivos ilícitos (coca y amapola) y que deseen erradicarlos y adelantar “alternativas productivas legales” a cambio del cuidado de bosques (conservación o regeneración) (Blanco, Wunder y Navarrete, 2005).

No menos importantes se encuentran y pueden considerarse como experiencias significativas las iniciativas de PSA privadas, las cuales en su mayoría se han establecido como una alternativa de conservación de cuencas hidrográficas y de los servicios ambientales generados por las mismas, siendo relevantes los esquemas desarrollados por el Centro de Investigación en Sistemas Sostenible de Producción Agropecuaria, CIPAV, en la cuenca del Río La Vieja, en el cual se estableció el pago, mediante recursos provenientes del Fondo Global Ambiental (GEF), para la conversión de sistemas ganaderos intensivos tradicionales hacia sistemas silvopastoriles que permitan la captura de CO₂ y la conservación de la biodiversidad (Pagiola et al., 2004; Centro para la Investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria-CIPAV, 2005). También, el Proyecto Pro-Cuenca, priorizado para la conservación de la cuenca del río Chinchiná, una de las fuentes abastecedoras de la ciudad de Manizales en el departamento de Caldas, mediante pagos realizados por la FAO e INFI-Manizales permitió el establecimiento de corredores biológicos, prácticas de manejo forestal, manejo de la regeneración natural, revegetalización, restauración y reforestación de áreas.

Con un mismo enfoque se planteó el PSA en la Microcuenca de Chaina, en el Departamento de Boyacá, una experiencia, impulsada por los habitantes del municipio de Villa de Leyva, apoyada por el Instituto Alexander von Humboldt (IAvH) y el Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR). Su fase de implementación inició en agosto del 2005, en el marco de ordenación y manejo ambiental de la cuenca Cane-Iguaque en Boyacá, con pagos realizados desde abril del 2007 a las familias propietarias de la microcuenca (Borda, Moreno y Wunder, 2010). Esta iniciativa se desarrolló con el propósito de reducir sedimentos actuales y futuros y favorecer la regulación estacional del caudal; así los usuarios de cinco acueductos rurales privados, localizados en la parte baja de la microcuenca, pagan a las familias propietarias de la parte alta una compensación por la conservación y la revegetalización natural de la cuenca; los

aportes provienen de los usuarios y se administran a través de una asociación constituida por las cinco juntas de agua.

El estudio de caso de PSA en la Laguna de Fúquene al norte de Bogotá, también es otro caso donde se analizaron las externalidades relacionadas con la dinámica hidrológica, con el fin de apoyar una nueva forma de desarrollo rural a partir de transferencias del sector urbano, justificadas por un cambio positivo en la provisión de los bienes y servicios ambientales que esta cuenca brinda. Para ello se utilizó un esquema experimental de teoría de juegos en economía, para contextualizar el conflicto y luego determinar cuál era la disposición a cooperar frente al dilema sobre el uso y el manejo de recurso hídrico (Estrada, Quintero, Girón y Pernet, 2004).

Otros esfuerzos se han concentrado en la realización de estudios para el diseño de instrumentos de política e incentivos para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad, encontrándose entre éstos la valoración y diseño de políticas económicas para la gestión de la biodiversidad a nivel local, donde se evaluó los límites y alcances de cada una de las técnicas disponibles de valoración económica, los aspectos ligados a la descentralización y sus implicaciones en materia de gestión local de los recursos naturales (Departamento Nacional de Planeación-DNP e IAvH). Entre ellos se destaca el análisis de la viabilidad económica e institucional de una estrategia de conservación de los bosques de roble de los municipios del Encino y Charalá (Santander) y la evaluación de la exención del impuesto predial como instrumento de apoyo a la implementación de la estrategia (Fundación Natura e IAvH, 2004).

Del mismo modo, estudios como el diseño de una propuesta de incentivos a la conservación de humedales como sitio Ramsar: Laguna de La Cocha, Nariño (IAvH y WWF), el proyecto modelo de financiación alternativo para el manejo sostenible de los bosques de San Nicolás, ejecutado en el Oriente Antioqueño y la Evaluación de procesos institucionales en el pago por servicios ambientales, en la cuenca Alta del río Pasto (Narváez, Paz, Guapucal, y Leonel, 2016), se han desarrollado como alternativa de apoyo a las estrategias de conservación de ecosistemas estratégicos, además de reducir la degradación de los recursos naturales, identificar nuevos productos forestales y reconocer la importancia de servicios ambientales como la belleza escénica, el recurso hídrico y la biodiversidad.

En la actualidad, ha generado gran impacto el reconocido Esquema BanCO₂ – Servicios Ambientales Comunitarios, en el cual se trabaja por la protección del medio ambiente, a través de la compensación económica a familias vinculadas, por medio del pago de servicios ambientales. Esta iniciativa es el resultado del esfuerzo de diferentes entidades ambientales, aliados estratégicos, entidades compensadoras; que nace de la corporación Más Bosques, avalada por el programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Hoy cuenta con 1.600 familias vinculadas en la protección de 25.956 hectáreas de bosque nativo protegido y 2.795.000 toneladas de CO₂ compensadas aproximadamente.

Por su parte, en el departamento del Putumayo los avances en la compensación por servicios ambientales es muy escasa, encontrándose algunos estudios realizados por la autoridad ambiental como el análisis preliminar de las posibilidades de formulación de un esquema de pago por servicios ambientales en la jurisdicción de Corpoamazonía (Corporación para el desarrollo sostenible del sur de la amazonia, 2009) y el Desarrollo y validación del esquema de

compensación por servicios ambientales y reconversión de sistemas ganaderos en cuencas hidrográficas abastecedoras de acueductos municipales pertenecientes a la cuenca del río Putumayo (Corpoamazonía, 2010). En el marco de estos estudios CIPAV en el año 2010 realizó el apoyo a la construcción e implementación de una estrategia de conservación y valoración de bienes y servicios ambientales en la Cuenca Alta del Río Putumayo, en el municipio de Sibundoy, contribuyendo a su conservación y reconversión de ecosistemas de alto valor. A pesar de lo anterior, estas iniciativas aún son incipientes y tienen varias dificultades metodológicas y operaciones.

4. Contexto y normatividad de los esquemas de PSA

La normatividad relacionada con el pago por servicios ambientales inicia con las declaraciones internacionales, a partir de las cuales se determinan los conceptos base que posteriormente se han incluido en la normatividad Nacional. De esta manera, a partir de las Declaraciones de Estocolmo y de Río en 1992, se determina que es deber de los Estados hacer una planificación racional que concilie las diferencias que puedan surgir entre las experiencias del desarrollo y la necesidad de proteger y mejorar el medio ambiente; además se establece que las autoridades nacionales deben procurar fomentar la internalización de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos (Declaración de Río, principio 16; 1992).

De la misma manera, la Convención Marco de Cambio Climático (Ley 164 de 1995), el Protocolo de Kyoto (Ley 629 de 2000) y el Convenio de Diversidad Biológica (Ley 165 de 1994) son marcos legales internacionales que acogió la ley colombiana como directrices de acciones macro en la participación de la mitigación del Cambio Climático y la conservación de la diversidad biológica. De hecho, en el desarrollo de la Ley 164 de 1995 y el documento de política CONPES 3243, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial adoptó los principios, requisitos, criterios y el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), mediante Resolución 453 de 2004; y mediante la Resolución 454 de 2004, se regula el funcionamiento del Comité Técnico Interinstitucional de Cambio Climático. En general el documento CONPES 3243 aprobado el 25 de agosto de 2003, denominado estrategia institucional de servicios ambientales de mitigación de cambio climático, busca promover la participación competitiva de Colombia en el mercado de reducciones verificadas de emisiones de GEI mediante el establecimiento y consolidación de un marco institucional nacional.

En el país, desde 1974 con la expedición del Decreto 2811, posteriormente con los artículos 79 y 80 de la Constitución Política de 1991 y con la Ley 99 de 1993, se consagró la obligación del Estado de proteger y aprovechar de forma sostenible la biodiversidad y para ello se diseñaron una serie de instrumentos económicos, financieros y tributarios, orientados a modificar directa o indirectamente los costos o beneficios de los agentes económicos por el uso de los recursos naturales, pero no para incentivar a quienes conservan los ecosistemas y los servicios ambientales que estos generan.

Es así, como el Certificado del Incentivo Forestal (CIF) creado mediante la Ley 139 de 1994, se convierte en uno de los primeros instrumentos que buscó compensar los beneficios asociados a la actividad forestal, a través del cual, se reconocieron las externalidades positivas generadas

por la reforestación (CIF-reforestación) y fue ampliado para fines de conservación (CIF-conservación), como reconocimiento por los costos directos e indirectos en los que incurre un propietario por conservar en su predio ecosistemas naturales boscosos.

Posteriormente, a partir del artículo 106 de la Ley 1151 de 2007 (se modifica el artículo 111 de la Ley 99 de 1993), imponiendo a los departamentos y municipios la obligación de dedicar un porcentaje no inferior al 1% de sus ingresos corrientes para la adquisición y mantenimiento de las zonas de su territorio en las que se encuentren los recursos hídricos que surten de agua los acueductos municipales y distritales o para financiar esquemas de pago por servicios ambientales. En el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2010- 2014 Prosperidad para todos (Ley 1450 de 2011), se incorporó la posibilidad de que las autoridades ambientales e institutos de investigación científica ambiental efectuaran aportes técnicos, financieros y operativos requeridos para la consolidación y el desarrollo de proyectos.

A partir del Decreto 0953 de 2013, se buscó la conservación de áreas estratégicas para el suministro de agua a los acueductos municipales, distritales y regionales a través de la adquisición de predios ubicados en estas áreas o la financiación de esquemas de Pago por Servicios ambientales. Este decreto establece los lineamientos para la identificación, delimitación y priorización de las áreas estratégicas por parte de las autoridades ambientales y define criterios técnicos para la selección de predios por parte de las entidades territoriales, que podrán optar por su adquisición o la aplicación del incentivo económico de PSA. Aunque este marco normativo permitió avanzar en el desarrollo de elementos técnicos y operativos, principalmente de recurso hídrico, no fue suficiente para aumentar el número de proyectos; debido a que el incentivo es de carácter transitorio y aplica cuando resulta temporalmente inviable la adquisición del predio por parte de la entidad territorial. Teniendo en cuenta que los avances normativos se enfocaron en promover los PSA asociados al recurso hídrico, la Política Nacional de Gestión Integral de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (PNGBSE) enfatizó en la necesidad de incluir otros servicios ecosistémicos en los instrumentos existentes para gestionar la biodiversidad, incluyendo los PSA.

Entre los años 2014 a 2018, a través de la estrategia de crecimiento verde, se reconoció la necesidad de ampliar el número de beneficiarios de PSA a través de la implementación del Programa Nacional de PSA en ecosistemas estratégicos. De esta manera partir del artículo 174 de la Ley 1753 de 2015 se modificó el artículo 108 de la Ley 99 de 1993, habilitando fuentes de recursos del orden nacional y regional, para la implementación de PSA u otros incentivos económicos para la conservación de recursos naturales en áreas de interés estratégico. Dichas fuentes se refieren a la tasa por utilización de agua, a las transferencias del sector eléctrico, a la inversión forzosa del 1% del valor de proyectos que requieran recurso hídrico, a las compensaciones por pérdida de biodiversidad en el marco de la licencia ambiental, y al CIF con fines de conservación.

El 14 de junio de 2018, se expidió el decreto 1007, por el cual se modifica el capítulo 8 del título 9 de la parte 2 del libro 2 del decreto 1076 de 2015, Decreto único Reglamentario del Sector de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la reglamentación de los componentes generales del incentivo de pago por servicios ambientales y la adquisición y mantenimiento de predios en áreas y ecosistemas estratégicos. Este decreto se aplica a las autoridades ambientales, entidades territoriales y demás personas públicas o privadas, que promuevan, diseñen o

implementen proyectos de pago por servicios ambientales financiados o cofinanciados con recursos públicos y privados, o que adelanten procesos de adquisición y mantenimiento de predios de acuerdo a las normas señaladas en el artículo.

Actualmente, la expedición del Decreto 870 de 2017, permite establecer el pago por servicios ambientales y otros incentivos a la conservación, indicando que podrán ser beneficiarios del incentivo los propietarios, poseedores u ocupantes de predios en áreas y ecosistemas estratégicos descritos en el artículo 60 de la siguiente manera:

“Quienes sean objeto de restitución o del instrumento de compensación en los términos de la Ley 1448 de 2011, así mismo, quienes estén ubicados en áreas de protección y de manejo ambiental especial -incluidas las áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas - SINAP-, antes de la entrada en vigencia del Decreto Ley 870 de 2017”

Además, establece que las autoridades ambientales y los que a cualquier título administren alguna de las áreas protegidas y ecosistemas estratégicos, deberán incorporar dentro de su gestión, la caracterización de los beneficiarios del incentivo y la definición de planes o instrumentos de manejo aplicables en cada caso. Los propietarios, poseedores y ocupantes de los predios que se beneficien del incentivo, deberán respetar el régimen de uso y manejo del área o ecosistema estratégico del cual se trate.

En virtud del contexto anterior, es claro que la legislación colombiana amparada en las declaraciones y acuerdos internacionales promueve la compensación de servicios ambientales en zonas estratégicas de conservación, por lo cual el principal desafío para los gobiernos locales y la comunidad civil empoderada de estos procesos, es identificar el potencial de la oferta de servicios, la delimitación de áreas y los posibles beneficiarios. Bajo esa consideración a continuación se presenta una propuesta metodológica con la cual se hizo la delimitación de áreas, beneficiarios y la estimación de los servicios ambientales y perspectivas de compensación.

5. Diseño Metodológico

5.1 Ubicación del área de estudio

La investigación se desarrolló en la microcuenca La Hidráulica, ubicada en el municipio de Sibundoy, en el departamento del Putumayo, tomando como áreas para el diseño del esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA), los predios ubicados al lado y lado del área de influencia directa del cauce principal de la microcuenca, abarcando la parte alta (desde la bocatoma del acueducto municipal) de la misma, al interior del área identificada, delimitada y priorizada como área de importancia estratégica para la conservación, por parte de la autoridad ambiental competente en la jurisdicción CORPOAMAZONIA, y que corresponde inicialmente a la microcuenca La Hidráulica presentada en la Figura 1.

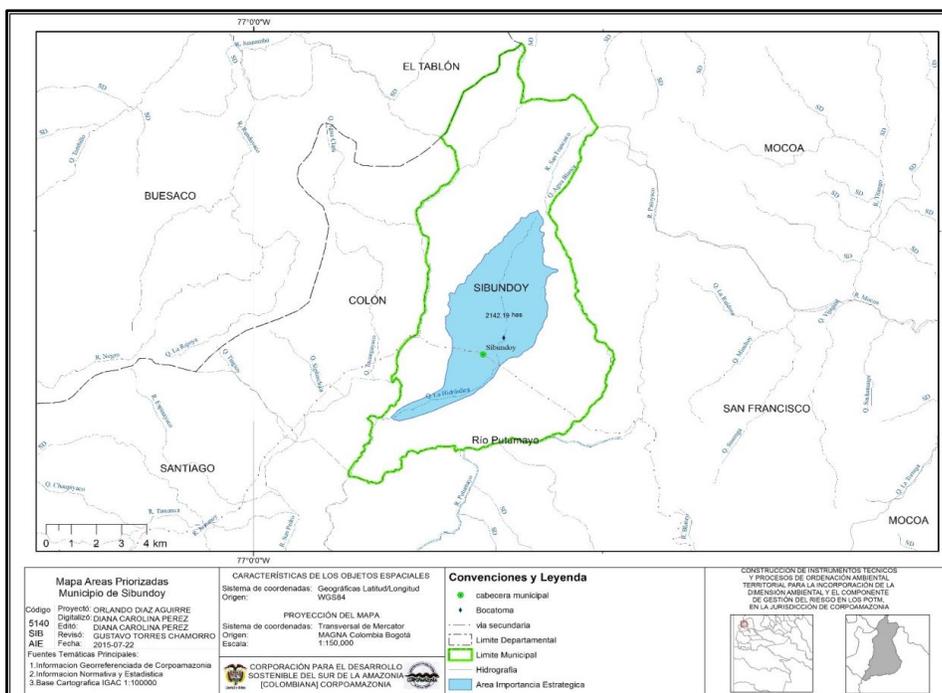


Figura 1. Área de importancia estratégica para la Conservación, identificada, delimitada y priorizada para el Municipio de Sibundoy, Putumayo.

Fuente: Corpoamazonía, 2015.

La microcuenca La Hidráulica forma parte de la Cuenca alta del Río Putumayo, que de acuerdo con la información consignada en el POMCA (Corpoamazonía, 2008), tiene un área de 21.31 km². Se caracteriza por presentar una temperatura media anual de 16.3 °C, la humedad relativa es del 85%, con una precipitación anual de 1.400 mm aproximadamente, el brillo solar varía entre 500 y 700 h/año, con un valor anual de 669.9 h/año, con promedio mensual de 55.83 h/mes. La altitud varía entre los 2.000 y 3.700 msnm. Influye de manera directa en las veredas Bellavista, Villafior, Campo Alegre, San José de La Hidráulica, Llano grande, Las Palmas, El Ejido, Machindinoy, El Cedro, Sagrado corazón de Jesús y el Resguardo Indígena Caméntsá parte alta, e incluye además un área total urbana de 298.07 km², albergando una población de 8.998 habitantes.

En la microcuenca se encuentran 677 predios rurales aproximadamente. Se desarrollan actividades productivas primarias como la siembra de frijol (294 ha), frutales (34ha), ganadería (2957ha) y piscicultura; además de realizar la extracción de materiales de recebo. La demanda del recurso hídrico corresponde a 3456 m³ día⁻¹ para la zona urbana, además de 67,5 m³ día⁻¹ para la producción bovina, 5595,4 m³ día⁻¹ para la piscicultura y 0,605 m³ día⁻¹ de uso industrial (Corpoamazonía, 2008).

5.2 Caracterización de las áreas de importancia para la conservación

La caracterización de las áreas de importancia para la conservación en la microcuenca implicó realizar un mapeo de actores, un levantamiento cartográfico, el análisis de la estructura forestal y de la biodiversidad asociada y una caracterización de las condiciones socioproductivas en la zona de estudio. Para esto se hizo en principio una recolección de

información secundaria técnica y cartográfica en entidades territoriales, instituciones públicas, privadas, y ONG's, que permitió obtener datos físico-bióticos, socioeconómicos y ambientales del área de estudio.

La elaboración de la cartografía temática de la microcuenca se obtuvo a partir de una Imagen Geosar, Banda P 2007 de 3 x 3 m de resolución para generar curvas de nivel, drenajes y límites de la microcuenca. Además, se utilizaron 4 hojas IGAC 430IA, 430IB, 430IC, 430ID a escala 1:25.000; Imagen RAPIDEYE a resolución de 3 x 3 m para corregir drenajes generados por DEM de la banda P de la imagen Geosar. La información fue procesada con el programa Arcview (Software libre).

Para la recolección de información primaria que permitiera obtener la caracterización de las áreas y el diseño del esquema de pago por servicios ambientales (PSA), entre los meses de septiembre y diciembre de 2018 y enero y febrero de 2019 se aplicó una encuesta de tipo personal a 19 propietarios de predios ubicados sobre la ronda hídrica del cauce principal de la microcuenca, indagando por ocho dimensiones fundamentales a saber: 1) Datos generales, con Información del predio y el propietario, áreas y precio estimado del predio, edad promedio de cultivos, porcentaje de árboles en producción y distancias de siembra. 2) Condiciones de producción y comercialización, donde se calcula la producción y costo promedio por cultivo, medios de transporte de productos, precio de venta, comprador, distancia a lugar de venta del producto. 3) Las condiciones socioeconómicas, sobre vivienda, uso de combustible para cocinar, personas en el hogar, fuentes de ingresos, participación en organizaciones y asistencia técnica. 4) Manejo del recurso hídrico dentro de la finca según la fuente de aprovisionamiento, las condiciones de abastecimiento de agua, manejo de agua residual y las acciones de manejo y cuidado del agua. También se consideró 5) el Manejo de residuos sólidos, tales como basuras, residuos de cultivos, estiércol y químicos, producción de abonos. 6) Manejo del suelo, según el porcentaje de Cobertura vegetal, erosión, pendiente, ocurrencia de deslizamientos, zonas de inestabilidad, estudios de suelo, uso de fertilizantes, manejo de plagas y enfermedades. 7) Conservación de la biodiversidad, áreas naturales y potencial de almacenamiento de biomasa, además de presencia de fauna silvestre, cacería, porcentaje de área en monocultivos, áreas en sistemas silvopastoriles, especies y números de árboles y distancia de cultivos a fuentes hídricas. 8) Intención de sustituir zonas de cultivo por zonas de bosque, donde se identifica el interés por el medio ambiente, la disposición a contribuir con la conservación, la disponibilidad de sustitución de áreas de cultivo por bosque, la disposición a desarrollo de actividades de restauración y la perspectiva de recibir un incentivo por conservación.

Además, durante las visitas a los predios y con el fin de corroborar la información suministrada por los propietarios y la información secundaria revisada, se realizaron recorridos en campo, abarcando los diferentes ecosistemas, con el fin de evidenciar características particulares de los predios, relacionadas con las dimensiones analizadas, principalmente aquellas que permitieron obtener información relevante para la valoración de los servicios ambientales ofertados en el área o unidad de análisis, y en las cuales son evidentes conflictos asociados al uso y aprovechamiento inadecuado del suelo, que promueve la afectación de los recursos naturales y de los servicios ambientales.

5.3 Identificación de los servicios ambientales en la Microcuenca

La identificación del potencial de oferta de los servicios ambientales o ecosistémicos definidos como el conjunto de funciones y/o componentes ecológicos de los ecosistemas que están relacionadas con los beneficios que las poblaciones humanas consumen, disfrutan y contribuyen al bienestar humano de una manera directa o indirecta (Groot, Wilson y Boumans, 2002); se determinó teniendo en cuenta las condiciones estructurales físico-bióticas, socioeconómicas y culturales de las áreas de estudio, analizando de manera general la relación de las funciones ecosistémicas y los servicios ambientales generados, teniendo en cuenta los aportes técnicos realizados por Groot et al, 2002; Costanza y Groot, 1997; relacionando las siguientes funciones con los respectivos servicios ambientales: 1) Funciones de regulación (de gases, del clima, de perturbaciones, de agua, oferta de agua, control de erosión y retención de sedimentos, formación del suelo, reciclaje de nutrientes, tratamiento y disposición de desechos, polinización, control biológico), 2) Funciones de hábitat (refugio, vivero/criadero), 3) Funciones de producción (alimentos, materia prima, recursos genéticos, recursos medicinales y ornamentales), y 4) Funciones de información (estética, recreación, artística y cultural, espiritual e histórica, ciencia y educación).

Así, y con base en la información secundaria revisada y la información primaria obtenida en campo (Aplicación de encuestas y muestreo por observación directa para el caso de la flora y fauna asociada), se procedió a describir los Servicios ambientales evidenciados, teniendo en cuenta la clasificación propuesta por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005), la cual clasificó los servicios ecosistémicos según el aprovechamiento que las sociedades humanas obtienen de estos, en las siguientes cuatro categorías:

1. Servicios de soporte: Son aquellos servicios que son la base para los servicios de provisión, regulación y culturales. Sus beneficios son percibidos de manera indirecta y a largo plazo (Biodiversidad, Ciclo de nutrientes, Formación de suelo, Producción primaria, Polinización, Control biológico).
2. Servicios de provisión: Son los servicios que generan bienes, recursos materiales y productos (Alimento, Materias primas, Recursos genéticos, Recursos medicinales, Recursos ornamentales).
3. Servicios de regulación: Son los servicios que derivan de procesos ecológicos que regulan el estado de la biosfera en términos de clima, regulación hídrica, polinización, etc (Regulación de gas, del clima, Prevención de disturbios, Regulación de agua, Provisión de agua, Tratamiento de desechos).
4. Servicios culturales: Servicios no materiales que se derivan de los ecosistemas para la población directa del ecosistema (Belleza escénica, Recreación, Información cultural y artística, Información espiritual e histórica, Ciencia y Educación).

Adicionalmente, teniendo en cuenta las características de los ecosistemas asociados a las áreas de estudio, que corresponden a zonas de bosque secundario y en regeneración; y al

proceso adelantado por los propietarios de los predios relacionado con la implementación de sistemas agroforestales y la producción sostenible dirigida a la configuración de Reservas Naturales de la Sociedad civil; durante el proceso de identificación de los servicios ambientales se hizo énfasis en la estimación del potencial de almacenamiento de CO₂ de las áreas dispuestas con sistemas agroforestales (SAF) y las zonas de bosque, teniendo en cuenta la importancia del ecosistema de bosque como potencial para la captura de carbono, protectores y reguladores hidrológicos de las cuencas y conservadores de la biodiversidad (EcoSecurities, 2005; INBio, 2006), siendo éstas las necesidades ambientales evidenciadas a fortalecer con el fin de garantizar la oferta permanente del recurso hídrico y el mantenimiento del desarrollo sociocultural de las comunidades rurales y urbanas que confluyen en la microcuenca. Así mismo, esta priorización corresponde con los avances obtenidos por Corpoamazonía en la identificación y priorización de servicios ambientales para el desarrollo de esquemas de PSA, en los cuales se sustenta como más factibles para ser desarrollados en la zona, la protección de fuentes hídricas y la captura de CO₂ (Corpoamazonía, 2009).

De esta manera, en los sistemas agroforestales se estimó el valor promedio de las especies del total de árboles registrados y en las zonas de bosque natural se levantaron 11 parcelas, distribuidas a lo largo de la ronda hídrica de la microcuenca, siguiendo la metodología propuesta por Gentry (1982), a partir de la cual se evaluaron transeptos de 50 x 2 m (0,01 ha), muestreando las especies arbóreas y arbustivas con alturas mayores a 1.5 m y DAP mayor a 4.5 cm. La determinación de la altura se estimó por aproximaciones visuales y para la estratificación vertical se siguió la escala propuesta por Rangel y Lozano (1986), para estudiar la distribución vertical de la vegetación del gradiente montañoso andino de Colombia que contempla los siguientes intervalos (Tabla 1).

Tabla 1. Escala de estratificación.

Estrato	Alturas (m).
Rasante	<0.3
Herbáceo	0.3-1.5
Arbustivo (r)	1.5-5
Arbóreo(a)	>5

Fuente: Rangel y Lozano, (1986).

Con los datos registrados en campo se calcularon los siguientes parámetros estructurales: Frecuencia (Matteucci y Colma, 1982), Frecuencia Relativa (%) (Ramírez, 1995), Densidad, Densidad Relativa (%) (Matteucci y Colma, 1982), Área basal (Rangel y Velásquez, 1997), Área basal Relativa (%), para finalmente calcular el Índice de valor de Importancia (IVI), el cual corresponde a un estimativo de cuán dominante es cada especie con respecto a la totalidad de las especies registradas en el muestreo (IAVH, 2004) y además, permite hacer una relación directa de las especies de mayor importancia ecológica dentro del ecosistema con los bienes y servicios del bosque y su capacidad en cuanto a la captura de CO₂.

$$IVI = \text{Densidad Relativa (\%)} + \text{Frecuencia Relativa (\%)} + \text{Área basal Relativa (\%)}$$

Entre tanto, la biomasa aérea (BA), expresada en kilogramos (kg) para los individuos arbóreos muestreados, tanto en los SAF como en las zonas de bosque, se calculó a partir de la utilización de ecuaciones alométricas propuestas por Álvarez, *et al* (sf) ajustadas para el contexto colombiano por Phillips *et al.*, 2011 e Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales- IDEAM (2011), las cuales se han asignado teniendo en cuenta el tipo de bosque natural, en el cual se encuentra ubicada en área de estudio, que corresponde a Bosque húmedo montano bajo.

$$BA = \exp(2,225 - 1,552 * \ln(D) + 1,236 * (\ln(D))^2 - 0,126 * (\ln(D))^3 - 0,237 * \ln(p))$$

Dónde: La biomasa aérea (BA) se expresa en función del diámetro (D) y de la densidad de la madera (p).

Para obtener la densidad de la madera de las especies registradas se utilizó la base de datos obtenidos por el método Zanne *et al*, (2009). Para calcular el contenido de carbono los valores de la biomasa aérea se multiplicaron por el factor de conversión 0,5, asumiendo que el contenido de carbono corresponde al 50% de la biomasa de los árboles vivos. Finalmente, la cantidad de carbono almacenada en valores a la medida métrica utilizada para comparar las emisiones de GEI, es decir, obtener el contenido de dióxido de carbono equivalente (CO₂e), la cantidad de carbono almacenado se multiplicó por 3,67, factor que resulta de dividir el peso atómico de una molécula de dióxido de carbono (44), por el peso específico del carbono (12) (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC, 2003, 2006).

Se debe aclarar que, para el cálculo de la biomasa en las zonas de bosque, se hizo una depuración de la base de datos con la muestra inicial (516 árboles), con la que se calcularon los parámetros estructurales del ecosistema (Frecuencia e IVI), dejando únicamente las especies con densidad potencial de captura de biomasa y un DAP mayor o igual a 10 cm. De esta manera, la muestra para la estimación de la Biomasa fue de 316 árboles en 11 transeptos que suman un área de 1.100 m². Luego de obtener los promedios por transecto, se aplicó el factor de expansión según la guía metodológica del Yepes *et al*, IDEAM (2011), como indica la siguiente tabla:

Tabla 2. Factor de expansión para obtener los valores de la biomasa en kilogramos por hectárea.

Área muestra	Área hectáreas	Área metros ²	Factor
10 x 10	0,010	100	100
20 x 20	0,040	400	25
25 x 25	0,063	625	16
50 x 50	0,250	2500	4
100 x 100	1,000	10000	1
50 x 2	0,010	100	100

Fuente: adaptación propia con base en Yepes *et al*, IDEAM, 2011, p. 52.

5.4 Estimación de la base de cálculo para el PSA

Para determinar la base de cálculo del PSA se desarrollaron dos procedimientos, uno mediante la amortización del stock de carbono aéreo almacenado tanto en las áreas ribereñas dentro de los predios analizados, como de los árboles en SAF dentro de las zonas de cultivo y potrero; y adicionalmente mediante una Valoración Contingente (MVC) según la disposición de los propietarios de los predios para sustituir áreas de cultivo por áreas en reforestación o conservación. Esta información se cotejó con un peritaje preliminar de cambios en productividad según los ingresos percibidos en las fincas por la venta de productos agrícolas, como un costo de oportunidad por la sustitución de cultivos, no obstante, este último procedimiento se considera apenas como un panorama piloto.

Para el primer caso se tuvo en cuenta la muestra de 316 árboles, distribuidos en 11 transectos sobre la zona ribereña y a partir de allí se estimó el potencial de captura de biomasa aérea con los procedimientos descritos en el apartado anterior, para luego hacer una interpolación en el área de ronda hídrica comprendida en los predios que fueron focalizados para recibir el PSA. Este valor se complementó con los datos del stock de carbono para árboles ubicados en SAF y áreas de cultivo o potrero de los predios. Luego de tener el inventario potencial de carbono se estimó el valor monetario de la biomasa; teniendo en cuenta como valor de referencia el promedio de precios del Sistema Europeo de negociación de CO₂ (U\$ 11,63 dólares por tonelada) entre el año 2010 y 2019; y la tasa de cambio actual (\$3.357).

La valoración alométrica del carbono sirvió de referencia para cotejar la disposición a recibir una compensación económica por hectárea cultivada al año por parte de los campesinos o propietarios de los predios. Este método se conoce como Valoración Contingente (MVC), a partir del cual se plantea la construcción hipotética o simulación del mercado del bien a valorar mediante el planteamiento de preguntas directas de disponibilidad a pagar a los individuos bajo situaciones hipotéticas. Esto significa, que el punto de partida de este método es la implementación de encuestas, entrevistas o cuestionarios que se realizan directamente a los individuos, a quienes se les indaga sobre su disponibilidad a pagar o disponibilidad a aceptar por algún perjuicio o beneficio en su nivel de percepción sobre la calidad ambiental del recurso a valorar (Contraloría General de la Nación, Fundación Agriteam-Proyecto Comunica, Universidad Nacional de Colombia, 2018).

El método (MVC) se puede obtener según la propensión marginal de consumo de bienes y servicios ambientales, que indica la disponibilidad de pago en función de las preferencias reveladas, las restricciones presupuestarias y las funciones de utilidad de los potenciales consumidores de dichos servicios. En la investigación, la valoración se estimó a partir de la aplicación de una encuesta (19 propietarios encuestados), basada en preguntas directas que conforman la Dimensión 8 de la misma (Intención de sustituir zonas de cultivo por zonas de bosque), en la cual se relacionaron las siguientes preguntas: ¿Considera de importancia recibir un incentivo por la conservación de áreas de bosque que garanticen la oferta de servicios ambientales? - ¿Qué tipo de incentivo considera el más adecuado? (Económico, En especie, Otro) - ¿Cuál sería el valor que estaría dispuesto a recibir por reemplazar las áreas de cultivo o de producción por áreas de bosque?; poniendo en contexto un escenario hipotético de valoración del servicio ambiental, a partir del cual se estimó la compensación

mínima que los propietarios de los predios evaluados estarían dispuestos a recibir por efectuar la sustitución de áreas de producción por áreas de bosque en las zonas de conservación.

La información se comparó con los valores de referencia de la producción agropecuaria en los predios, como un valor de oportunidad (B/C) que supone el reemplazo efectivo de usos de la tierra por acciones de reforestación para la conservación de las áreas y ecosistemas estratégicos, teniendo en cuenta los beneficios económicos netos que generan las actividades productivas y el valor de la renta o alquiler de la tierra.

Finalmente, después de la revisión de las condiciones de los tres esquemas de compensación, por captura de carbono, valoración contingente y el costo de oportunidad, se hizo un balance de los sistemas de retribución a las familias campesinas, unificando por hectárea y tipo de vocación agropecuaria los resultados obtenidos. Para la determinación del valor anual del incentivo a reconocer por hectárea, se tuvo en cuenta el menor costo de oportunidad calculado. Teniendo como límite el valor obtenido en el numeral anterior, y de conformidad con el principio de costo-efectividad, se determinó el valor de manera que, con los recursos disponibles, el incentivo cubra una mayor cantidad de área. Este valor resultante es el valor máximo del incentivo a reconocer anualmente por hectárea que regirá para todos los predios que hacen parte del área o ecosistema estratégico respectivo, ya sea que las áreas de los predios se destinen para la preservación o restauración.

6. Resultados y discusión

6.1. Caracterización de áreas de importancia estratégica para la conservación

▪ *Caracterización físico-biótica*

La microcuenca La Hidráulica ubicada en la cabecera del municipio de Sibundoy tiene aproximadamente 2364,4 hectáreas, nace en el páramo Azonal denominado El Paramillo (Resguardo Indígena Camentsá Biyá Parte Alta) y es fuente abastecedora del acueducto municipal de Sibundoy, suministrando recurso hídrico a 2.872 usuarios (JAAS, 2019). Sus características han sido tomadas en cuenta para ser identificadas, delimitadas y priorizadas como un área de importancia estratégica para la conservación, por parte de la autoridad ambiental competente en la jurisdicción CORPOAMAZONIA, siendo éste un criterio de importancia para la implementación de un esquema de pago por servicios ambientales.

De acuerdo a la información consignada en el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca alta del Río Putumayo (Corpoamazonía, 2008) se caracteriza por presentar un área de 21,31 km², un perímetro de 25,67 km, una longitud de 12,65 km, un factor forma de 0,13, un coeficiente de compacidad de 1,57 que corresponde a una forma Oval.

Por las características regionales el área presenta un declive topográficamente natural, de piedemonte hacia las periferias del Valle de Sibundoy o parte plana, considerándose una de las numerosas corrientes fluviales que atraviesan esta región que presenta cursos y un caudal representativo que lleva esta misma dirección, desembocando en la parte plana, alimentando a los canales del Distrito de drenaje. En épocas de invierno, transporta gran cantidad de

sedimentos contribuyendo a la acumulación de la tasa de sedimentación y al desbordamiento paulatino del cauce, generando inundaciones, principalmente en épocas de alta pluviosidad.

La microcuenca presenta coberturas vegetales correspondientes a zonas de Bosque primario (417.2 ha), Bosque en regeneración (58.8 ha), Páramo Azonal (102,4 ha) en el caso del área de nacimiento, en su mayoría abarca amplias zonas de cultivos y potreros (954, 7 ha) y pastos naturales (671.4 ha), con presencia de diferentes afluentes, diferenciándose entre los principales las quebradas Lavapies, Cristales y Oroyaco.

Predomina la zona de vida de Bosque húmedo montano bajo (bp-mb) caracterizada por poseer temperaturas promedias de 11°C a 16°C y un promedio anual de lluvias entre 1710 – 2000 mm. Esta zona se encuentra siempre húmeda y los suelos saturados por lluvias intensas. La evapotranspiración potencial es inferior a la precipitación efectiva, presentándose un excedente de agua, de gran importancia en la regulación de caudal de la microcuenca. Esta zona está dedicada a la explotación de ganadería de leche y cultivos como fríjol, papa, granadilla, aguacate y lulo; se encuentran sistemas de pastizales en arreglos con árboles introducidos como el pino, eucalipto, aliso, acacia, urapán, ciprés, entre otros; y en ella se encuentra ubicada la mayor parte de la población urbana y rural. En esta zona de vida se registran algunos géneros de plantas como: *Hedyosmum*, *Clusia*, *Palicourea*, *Brunellia*, *Drymis*, la vegetación presente caracteriza a los tipos fisiónómicos de vegetación selvática y boscosa asociadas a especies de los géneros *Miconia*, *Ocotea*, *Sauraruia* y *Weinmannia*, que se establecen en los filos de laderas y quebradas. (Rangel, O; Lowy, P y Aguilera, M. 1997).

Los suelos predominantes de la microcuenca se clasifican en consociación Santiago (SP) (1311 ha) actualmente cubiertos con pastos naturales, cultivos de fríjol, lulo, tomate y granadilla; asociación Chilcayaco (SI) (401,2 ha), dedicados a la ganadería de propósito lechero con pastos de kikuyo y rye grass y a los cultivos de fríjol, maíz, tomate y lulo, asociación Santiago (ST) (333.2 ha), con cobertura de bosque y asociación Secayaco (SS) (33,08 ha), dedicado a la explotación de potreros con pastos como kikuyo y romanza, entre otros, para el sostenimiento de ganaderías de tipo lechero de raza holstein.

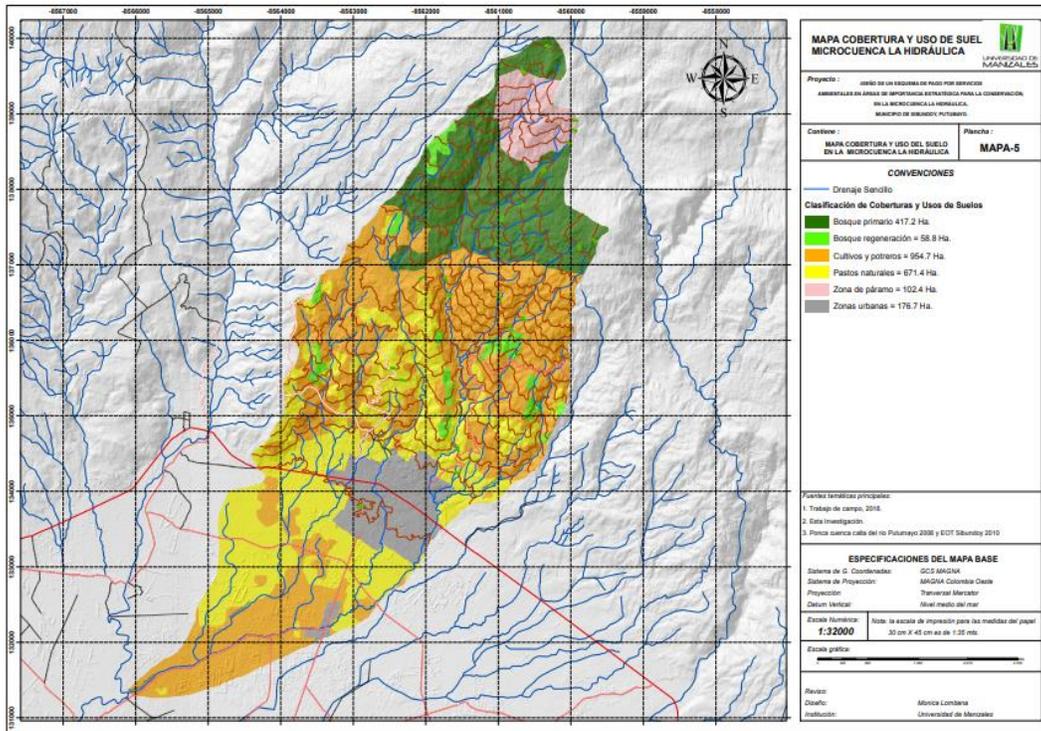


Figura 2. Coberturas Microcuenca La Hidráulica.
Fuente: Esta investigación, 2018 - Corpoamazonía, 2008.

- *Caracterización socioproductiva y predial de los beneficiarios del PSA*

La identificación de los predios potenciales de incluir en el esquema de PSA, se obtuvo a partir de la obtención del mapa predial de la microcuenca, registrándose un total de 24 predios de propiedad de la comunidad, que corresponden a 163,5 ha (6,91% del total del área), ubicados sobre la franja protectora o ronda hídrica, en la cual se han evidenciado la mayor parte de conflictos por el uso del suelo y la afectación de los recursos naturales, principalmente del recurso hídrico.

Del total de los predios identificados y con la participación concertada de los propietarios se realizó la aplicación de 19 encuestas a 19 propietarios de fincas ubicadas sobre la ronda hídrica del cauce principal de la microcuenca, desde la bocatoma del acueducto municipal hasta el área de influencia del Resguardo indígena Camentsá Biyá parte alta que corresponde a 653,08 hectáreas, zona actualmente en conservación (Figura 3).

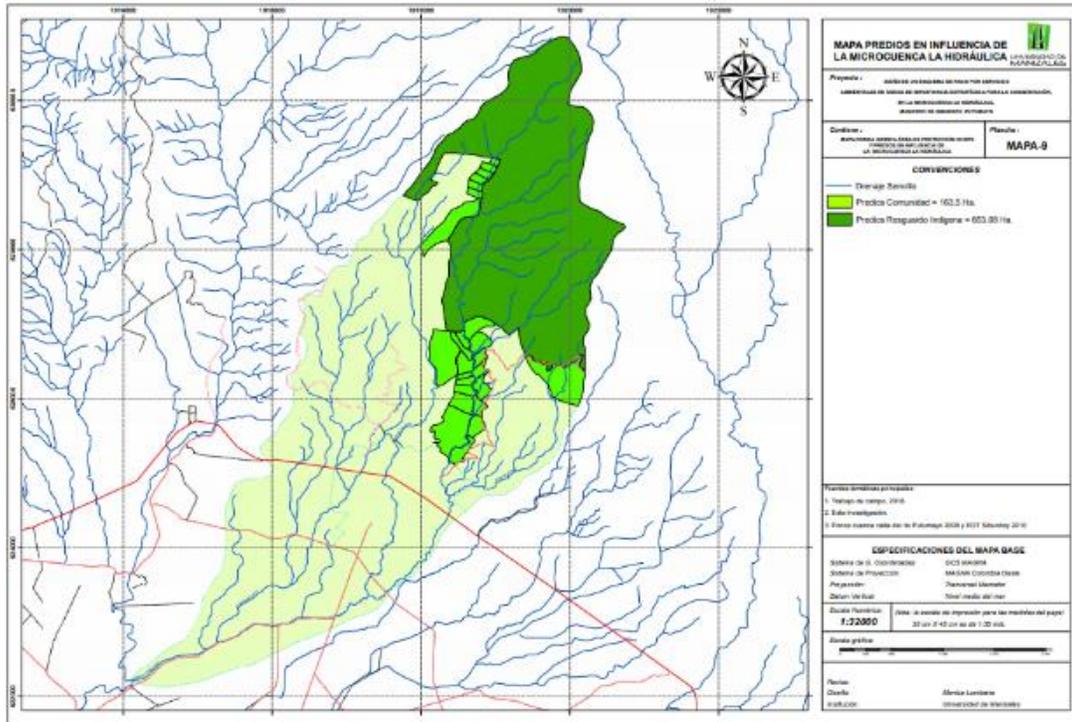


Figura 3. Predios ubicados en el área de estudio, Microcuenca La Hidráulica.
Fuente: Esta investigación, 2019 - Corpoamazonía, 2008.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las encuestas, se encontró que los predios analizados son de propiedad en su mayoría de hombres (84%) quienes se consolidan como la cabeza principal del hogar y por ende los principales administradores de las actividades que se realizan en las fincas, alcanzando una edad promedio de 60 años. La tenencia de la tierra es del 94,7% y solo un predio pertenece a una organización (Diócesis de Mocoa – Sibundoy). En total los predios evaluados son pequeños entre 0,9 y 7,0 ha, registrándose únicamente 3 predios de 14 ha, 28 ha y 30 ha. De esta manera el área total evaluada corresponde a 129,07 hectáreas, de las cuales 70,2 ha son pastizales (54,38%), 50,92 ha zonas de bosque (39,45%) y 8,95 ha sistemas productivos (6,93%), donde predomina el desarrollo de la actividad agrícola (42,1%) con cultivos extensivos de granadilla, maíz, papa, frijol, arveja y aguacate. También se desarrolla la actividad pecuaria (36,8%) con la producción de ganadería de leche y en un menor número de predios (31,57%) se han implementado sistemas agroforestales y silvopastoriles como producto de la participación de las familias en proyectos de reconversión ganadera, producción limpia y reforestación.

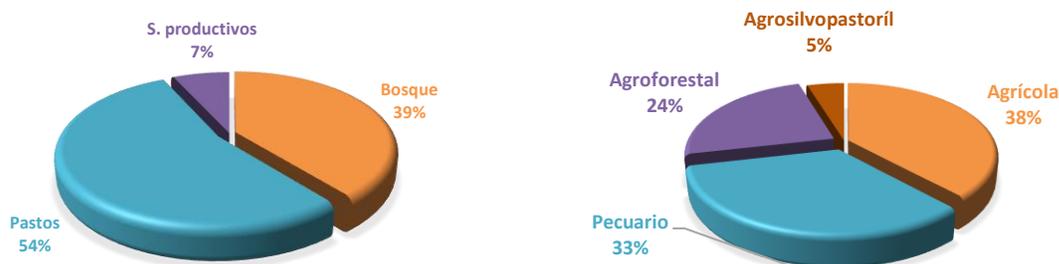


Figura 4. Distribución de áreas de los predios y sistemas productivos implementados.
Fuente: Esta investigación, 2019.

Frente a las condiciones de producción y comercialización, del total de predios evaluados 10 realizan actividades productivas, siendo la producción agrícola la actividad más representativa y específicamente el cultivo de granadilla (5 predios) el más implementado, estimando, de acuerdo con la información proporcionada por los propietarios, que la producción promedio al año es de 550 cajas, la cual tiene un precio de venta de \$30.000 cada caja, y se vende a compradores particulares de la región. Este producto es transportado en vehículo (moto, carro), realizando recorridos de aproximadamente 10 a 30 minutos, desde el lugar de producción hasta el sector urbano donde se dispone en bodegas. Este cultivo se ha incrementado en el municipio y se implementa de manera extensiva desde el año 2008, si se considera que anteriormente eran aproximadamente 19 ha y hoy por hoy ha alcanzado cerca de 37 has. De hecho, en Colombia ocupa un lugar muy importante, y el crecimiento promedio en los últimos 5 años ha sido de entre 4.000 ha y 4.300 ha, con un promedio de 10 a 12 toneladas por ha (Instituto Colombiano Agropecuario-ICA, 2012). Sin embargo, la alteración en las condiciones climáticas se considera una amenaza para este cultivo, debido a la incidencia de plagas y enfermedades que limitan el óptimo desarrollo del cultivo, requiriéndose la aplicación de agroquímicos que son utilizados de manera inadecuada por los productores, generando procesos de contaminación en el suelo y de las fuentes hídricas debido a la cercanía de los cultivos con el cauce principal de agua, caso evidente en el área de estudio.

Del total de predios evaluados 9 poseen casa o vivienda en condiciones medianamente adecuadas para habitar. Se utiliza como principal fuente de energía para la preparación de alimentos la leña y en menor frecuencia el gas en pipeta y la gasolina, para suplir las necesidades de alimentación de hogares conformados por 3 a 4 personas en promedio. Además de las actividades de producción agrícola y pecuaria, se identificaron otras fuentes de ingresos de las familias que viven en los predios tales como el arriendo de potreros y el jornaleo. El 78% de las personas encuestadas (15) no forman parte de asociaciones o grupos comunitarios y sólo el 35.1% (6 predios) reciben asistencia técnica por parte de entidades como el ICA y las casas comerciales con quienes adquieren los productos agroquímicos. Los predios tienen un abastecimiento de agua del 94,7%, encontrándose en un rango de buenas a muy buenas condiciones de abastecimiento que permiten desarrollar las actividades productivas y el uso doméstico en los pocos predios donde se utiliza con este fin. Las aguas residuales son de beneficio productivo o uso doméstico y se tratan a partir de pozos sépticos. Cabe destacar que con el objeto de contribuir a la conservación del recurso hídrico todos los predios desarrollan acciones de manejo y cuidado del agua, relacionadas con el uso adecuado

del recurso, así como con el manejo apropiado de los residuos sólidos y el mantenimiento y mejoramiento de las zonas de bosque, realizando procesos de reforestación, aislamiento y repoblamiento de dichas áreas que permitan aportar a la regulación hídrica y al incremento de la diversidad biológica. En cuanto al manejo de residuos sólidos (plásticos y residuos químicos) en las fincas implementan principalmente la recolección, separación y entrega a la empresa de aseo ASVALLE, y en una menor proporción se realiza la quema (4 predios). Un número pequeño de predios aprovecha los residuos orgánicos, los residuos provenientes de los cultivos y el estiércol para la producción de abonos orgánicos.

La cobertura vegetal del suelo en todos los predios evaluados es del 75%, además se evidencian pocos procesos de erosión en una porción reducida de las áreas (6.61% en promedio). Las fincas están en una zona con pendientes que se encuentran entre el 5% – 20% de inclinación. En 10 de los predios han ocurrido deslizamientos de tierra, eventos que se encuentran asociados a las temporadas de precipitaciones altas, donde es muy común el desbordamiento de la fuente hídrica y a la existencia de zonas inestables y degradadas por el desarrollo de la actividad ganadera, la deforestación y el uso inadecuado del suelo, debido a la carencia de estudios de análisis de suelo y a la utilización inadecuada de agroquímicos para el manejo de plagas y enfermedades de los cultivos existentes.

El porcentaje de área en monocultivos es del 40,75% en promedio a diferencia del porcentaje de área en sistemas agroforestales del 6,91%, hecho que puede contribuir a la disminución en la riqueza y abundancia de especies de fauna en la zona, donde las zonas de bosque han disminuido de manera acelerada en los últimos años, encontrándose áreas estructuralmente diferentes a los ecosistemas originales con cercanía de 100 metros de distancia a la fuente hídrica. Incluso en esta zona la presencia de fauna silvestre es reducida a pesar de que las actividades como la cacería son poco habituales.

Los sistemas agroforestales en el área de estudio están representados por un total de 7 especies: *Acacia melanoxylon* (Acacia), *Alnus acuminata* (Aliso), *Cedrella sp.* (Cedro), *Cupressus sempervirens* (Ciprés), *Eucalyptus globulus* (Eucalipto), *Pinus patula* (Pino) y *Fraxinus chinensis* (Urapán), las cuales se caracterizan por ser de rápido crecimiento, logrando alcanzar más de un metro por año, generando espacios con zonas de sombra, barreras vivas de protección, mejoramiento de las características del suelo y funcionamiento como corredores de biológicos y conectividad de ecosistemas.

6.2. Identificación de los servicios ambientales en la Microcuenca

A partir de la información secundaria analizada y de las observaciones realizadas en los recorridos de campo, la aplicación del instrumento de recolección de información primaria (Encuesta) y teniendo en cuenta la conformación estructural de los ecosistemas existentes en cada una de las áreas, se efectuó la identificación y descripción de los servicios ambientales ofertados por los ecosistemas existentes en los predios evaluados, siguiendo la clasificación propuesta con anterioridad (EEM, 2005), como se detalla a continuación:

Tabla 3. Servicios ambientales ofertados por los predios evaluados en el área de estudio.

Servicio	Descripción
Servicios base o de soporte	<p>A partir del levantamiento de información cartográfica, fue posible determinar que en el área de estudio se presentan coberturas vegetales correspondientes a zonas de Bosque primario (417.2 ha), Bosque en regeneración (58.8 ha), Páramo Azonal (102,4 ha) y en su mayoría abarca amplias zonas de cultivos, potreros (954, 7 ha) y pastos naturales (671.4 ha), con presencia de diferentes afluentes, diferenciándose entre los principales las quebradas Lavapies, Cristales y Oroyaco; permitiendo destacar la importancia de los relictos de bosque secundario y en regeneración que se encuentran asociadas a los predios, ya que éstos desarrollan procesos ecosistémicos y estructurales que hacen que sea posible la generación bienes y servicios ambientales generando efectos positivos sobre el bienestar de las personas y las comunidades del área en general, permitiendo la oferta de recursos naturales de base como la formación del suelo asociado a la productividad, así como el reciclado de nutrientes (Figura 2). Sin embargo, y con relación a la existencia de amplias coberturas de cultivo y potreros, se hace evidente las condiciones inadecuadas de uso del suelo generalmente asociado a la producción agropecuaria, promoviendo la implementación de áreas de monocultivos que requieren por las condiciones ambientales de humedad y la alta proliferación de plagas y enfermedades, el uso de sustancias químicas que se aplican en altas concentraciones (Información directa población encuestada), afectando los procesos de polinización, por la afectación a poblaciones de insectos que cumplen esta función, afectando a la vez las funciones de control biológico.</p>
Servicios de provisión	<p>Entre los recursos tangibles y finitos en la zona, identificados a partir del muestreo de la vegetación en las zonas de bosque, se encuentran la provisión de alimentos principalmente frutos del bosque y de materias primas, encontrándose especies de aprovechamiento maderable (23 ssp), leña (14 ssp), posteadura y fibras (3 ssp); que son utilizadas para la construcción de viviendas, implementación de cercas y cierros, cocción de alimentos y elaboración de artesanías (4 ssp); algunas plantas son utilizadas en la medicina tradicional y como recursos ornamentales (7 ssp), otras como forraje para alimentación de especies bovinas (2 ssp).</p> <p>En la zona es evidente el aprovechamiento de nacimientos de agua para el abastecimiento doméstico y beneficio productivo principalmente (Información directa población encuestada). De hecho, la microcuenca abastece de agua al municipio de Sibundoy (2.872 usuarios), constituyéndose en un área de importancia para la conservación de acuerdo con los lineamientos establecidos por la autoridad ambiental Corpoamazonía. De igual manera, los fragmentos o relictos de bosque existentes proveen de hábitat a diferentes especies de fauna, principalmente aves y en una menor representatividad mamíferos, registrándose a partir de los recorridos en campo (Muestreo por observación directa) y revisión de información secundaria, un total de 17 especies de mamíferos y 174 especies de aves.</p> <p>De acuerdo con las observaciones realizadas, el bosque es el hábitat que alberga un número importante de estas especies, al igual que las zonas de rastrojo de las riberas y zonas de “protección” de la microcuenca, hecho que puede explicarse teniendo en cuenta la oferta permanente de alimento y refugio y a la heterogeneidad del paisaje, encontrándose representatividad de familias de aves como los colibríes (Trochilidae), atrapamoscas (Tyrannidae) y fruteros (Thraupidae) que evidencia la disponibilidad de recursos como néctar, insectos y frutos.</p> <p>En los sistemas agroforestales y silvopastoriles implementados en los predios también es evidente la presencia de un número importante de especies de mamíferos y aves, teniendo en cuenta que este tipo de hábitat ofrece árboles y arbustos que son usados principalmente como sombra para los cultivos, barreras vivas, forrajes y la obtención de madera para cercas, combustible e indirectamente como refugio para especies silvestres comunes y migratorias que utilizan estos sistemas como un medio que facilita su desplazamiento ya que permiten la conectividad de estas zonas con otros hábitat, como los remanentes o fragmentos de bosque cercanos, además estos hábitat por sus características biofísicas ofrecen las condiciones para el establecimiento de especies con requerimientos de hábitat menos específicos fuera de la época reproductiva (Kattan, 1994).</p>

Servicios de regulación	<p>Estos servicios se encuentran relacionados con los procesos y funciones naturales de los ecosistemas existentes en los predios y en general en el área de influencia de la microcuenca, los cuales corresponden a zonas de bosque en regeneración para el caso específico de los predios y bosque primario, páramo y humedal para la cuenca en general; funciones a través de las cuales se regulan las condiciones del ambiente, contribuyendo desde el ámbito local a la regulación de gases atmosféricos, del clima, de disturbios ambientales y del ciclo hidrológico, para este último caso cuando se realiza acciones de manejo adecuado del suelo y se conserva las zonas de bosque.</p> <p>Los servicios ambientales evidentes por la funcionalidad de los ecosistemas se ven representados en la captura de CO₂, mantenimiento de un clima favorable para el hábitat humano e implementación de cultivos, drenaje e irrigación natural, provisión de agua para uso doméstico y productivo, prevención de daños por erosión, mantenimiento de la productividad del suelo y ecosistemas saludables, polinización de especies silvestres y cultivos, control de enfermedades, hechos que fueron notificados por la información directa de las comunidades a partir de la aplicación de la encuesta.</p>
Servicios culturales	<p>Corresponden a los servicios no materiales que el hombre obtiene de los ecosistemas a través del enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y el disfrute estético; se ven representados en la zona de estudio por el aprovechamiento de la microcuenca como espacio físico para el desarrollo de actividades como el turismo de naturaleza (Senderismo y avistamiento de aves), alojamiento en espacios naturales y etnoturismo para el conocimiento de la medicina tradicional, además de facilitar por el acceso a vías terciarias del desarrollo de actividades deportivas como el senderismo, el atletismo y el ciclomontañismo; posibilitando la interacción del hombre con el entorno y con la diversidad de comunidades que confluyen en la región.</p> <p>Es importante resaltar la oferta de servicios ambientales como la inspiración cultural y artística, la inspiración espiritual e histórica, la ciencia y la educación que confluyen alrededor del conocimiento y conservación de este territorio como sitio sagrado y ancestral representado en la existencia de la Comunidad Indígena Camentsá Biyá, que ha desarrollado su cultura, usos y costumbres en torno a la zona de Resguardo, una zona de Bosque Primario y Páramo, donde los recursos naturales son aprovechados para el fortalecimiento de los procesos culturales de esta Comunidad y su interrelación con otras comunidades indígenas como Ingas y Pastos y con la comunidad Colona, en un territorio diverso y pluricultural en armonía con el ambiente.</p>

Fuente: Esta investigación, 2019.

Identificados los servicios ambientales ofertados por la zona y teniendo en cuenta que entre los servicios ambientales más ampliamente reportados en la literatura por su evidente conexión con los sistemas económicos locales y globales que aplican para la implementación de un PSA se encuentran, el secuestro y almacenamiento de carbono, la mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero y los servicios hidrológicos, así como las características de los predios evaluados y la intensión voluntaria de sustitución de zonas de producción por zonas de bosque, además de la accesibilidad metodológica y financiera para la valoración de los servicios ambientales, para efectos de esta investigación se procedió a realizar la valoración o estimación del potencial de almacenamiento de CO₂ de las áreas dispuestas con sistemas agroforestales-SAF y las zonas de bosques (secundario y en regeneración) existentes en el área de estudio. Es importante mencionar que estas estimaciones corresponden únicamente entre el 10% y el 15% de los servicios ambientales de todo el ecosistema, sin embargo se catalogan como una línea base para el aprovisionamiento de información que permita la consolidación de esquemas de PSA en la región, teniendo en cuenta a la vez los avances obtenidos por Corpoamazonía en la

identificación y priorización de servicios ambientales para el desarrollo de esquemas de PSA, en los cuales se sustenta como más factibles para ser desarrollados la protección de fuentes hídricas y la captura de CO₂ (Corpoamazonía, 2009).

De esta manera, para las zonas correspondientes a SAF, a partir de los recorridos en campo y la información suministrada por los propietarios de los predios, se logró el registro de un total de 11.432 árboles en las zonas de cultivo y potreros que en promedio equivale a 279 árboles por hectárea, distribuidos en 7 especies: *Acacia melanoxylon* (Acacia), *Alnus acuminata* (Aliso), *Cedrella sp.* (Cedro), *Cupressus sempervirens* (Cipré), *Eucalyptus globulus* (Eucalipto), *Pinus patula* (Pino) y *Fraxinus chinensis* (Urapán), la mayoría especies introducidas de rápido crecimiento, las cuales han sido implementadas por el desarrollo de proyectos de reforestación y reconversión ganadera por los propietarios con el apoyo de instituciones locales y gubernamentales, así como por el apoyo de ONG's.

Los individuos registrados presentan una altura promedio de 11,39 m y DAP de 34,4 cm, la biomasa aérea total es de 4.979 toneladas, correspondiente al total de árboles evaluados que se encuentran distribuidos en las 79,15 hectáreas, que suman los 19 predios y que incluyen Sistemas Agroforestales (SAF) asociados a áreas de potrero y de cultivo. Las especies con mayor cantidad de biomasa área acumulada por árbol fueron *Eucalyptus globulus* con 1,5 toneladas, *Cupressus sempervirens* con 0,8 toneladas, *Acacia melanoxylon* con 0,7 toneladas y *Pinus patula* con 0,6 tonelada. Se aclara que las estimaciones presentan una amplia dispersión por especie y características de los árboles, por lo que ha sido más coherente utilizar para la estimación de la biomasa por predio, la media armónica que se ajusta mejor a la dispersión de los datos. El histograma de la captura de carbono por árbol se presenta a continuación:

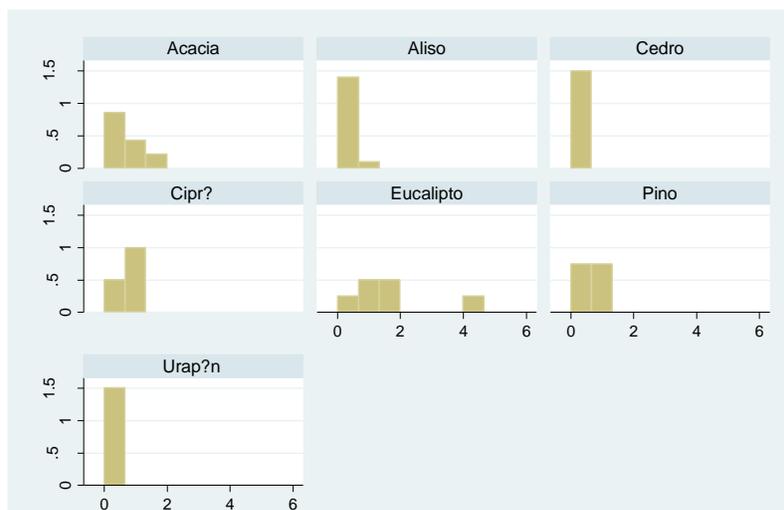


Figura 5. Histograma de captura de carbono por árbol por especie en SAF.

Fuente: Esta investigación, 2019.

Estos resultados pueden explicarse teniendo en cuenta las características en cuanto al DAP y la altura promedio. De hecho, se ha encontrado que las diferencias en biomasa aumentan de manera proporcional al diámetro del árbol, por lo tanto, al aumentar el diámetro hay mayor

biomasa en ramas y hojas (Tovar y Meneses, 2014). De esta manera se evidencia también que estas especies presentan las mayores cantidades de carbono almacenado, hecho que está relacionado proporcionalmente con la cantidad de biomasa, concluyendo que, a mayor biomasa, mayor cantidad de carbono (Rosas y Salazar, 2004) (Tabla 4).

Tabla 4. Biomasa aérea, Captación de CO₂ (Kg), CO₂ eq almacenado de acuerdo a IPCC por árbol por especie en SAF.

N. científico	N. común	Biomasa (ton)	Carbono (ton)	CO ₂ eq (ton)
<i>Acacia melanoxylon</i>	Acacia	1,3	0,7	2,4
<i>Alnus acuminata</i>	Aliso	0,7	0,4	1,3
<i>Cedrella sp</i>	Cedro	0,1	0,1	0,3
<i>Cupressus sempervirens</i>	Cipré	1,7	0,8	3,0
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto	3,1	1,5	5,6
<i>Fraxinus chinensis</i>	Urapán	0,6	0,3	1,2
<i>Pinus patula</i>	Pino	1,2	0,6	2,1

Fuente: Esta Investigación, 2019.

Adicionalmente se estimó la biomasa aérea (CO₂) en las zonas de bosque asociadas al área protectora de los predios dentro de la microcuenca, que abarcan un total de 50,92 ha. Como se advirtió con anterioridad, se levantaron un total de 11 parcelas que representan 1.100 m² (0,11ha). Se registraron 61 especies de plantas, distribuidas en 29 familias y 34 géneros; siendo las familias más representativas de acuerdo con el número de especies *Melastomataceae* con 7 ssp; *Lauraceae* con 5 ssp y *Aquifoliaceae*, *Cunnoniaceae* y *Rubiaceae* con 4 ssp cada una.

Los parámetros estructurales de la vegetación indica que las especies con mayor importancia o peso ecológico (IVI) son: *Cecropia teleinitida* Cuatr. (Yarumo) con el 15,48%; *Myrica pubescens* Willdenow (Laurel) y *Saurauria pruinosa* R.E. Schultes (Moquillo) con el 14,78%; *Weinmannia sp1* (Encino) y *Ocotea sp.* (Aguacatillo) con el 12,93%; *Cyathea caracasana* (Kl.) Domin. (Helecho arbóreo) con 12,23%; *Palicourea sp.* (Cascabel) con el 11,67%; *Hedyosmum traslucidum* Cuatr. (Granicillo) y *Clethra fagifolia* Kunth. (Mandur) con el 10,84% y 10,35% respectivamente. A partir del análisis de parámetros estructurales y la obtención del IVI se pretendió analizar la heterogeneidad y complejidad del hábitat. De esta manera se expresó por medio de un histograma, la proporción del IVI respecto a las 33 primeras especies de mayor peso ecológico, y la agrupación del resto dentro de la categoría de especies raras, encontrando que el área se caracteriza por ser altamente heterogénea y por consiguiente rica en especies, ya que el mayor peso ecológico lo tienen en su conjunto, las especies raras (Kageyama, 1994).

De igual manera, mediante la construcción de un histograma de frecuencia, a partir de los cuales se evaluó la estructura horizontal del ecosistema analizado, agrupando las especies en 5 categorías o clases de frecuencia absoluta, se logró determinar que en el área la clase I presenta valores altos (1-20%); las clase II (21-40%) y III (41-60%) presentan valores representativos y no se registran valores para las clases IV y V que agrupan especies con porcentajes entre 61-80% y 81-100%, respectivamente, lo cual indica la existencia de una

heterogeneidad florística notoria, siendo posible determinar que el hábitat tiene una tendencia a la heterogeneidad presentándose para las clases I y II valores altos con relación a los valores de las clases IV – V, en general bajos (Figura 6)

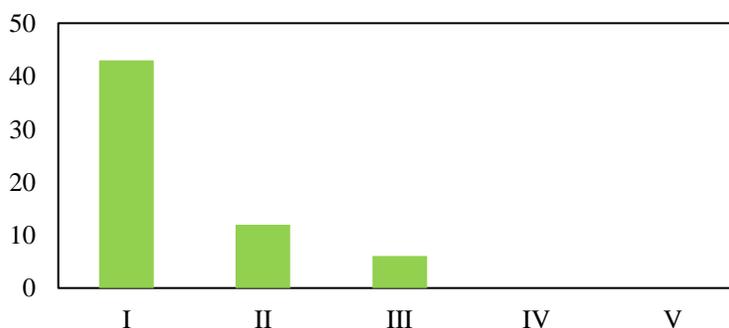


Figura 6. Histograma de frecuencias de la flora registrada en el área de estudio.
Fuente: Esta investigación, 2019.

En la zona de bosque al aplicar los factores de expansión de la biomasa aérea según la muestra por transectos, se encontró que las especies que almacenan mayor cantidad de biomasa y por ende carbono, corresponden a *Ocotea sp.* (Aguacatillo), *Cecropia teleinitida Cuatr.* (Yarumo); *Palicourea sp.* (Cascabel), *Weinmannia sp1* (Encino) y *Weinmannia heterophylla H.B.K.* (Encino), las cuales se registran como especies con mayor peso ecológico en el área, presentando valores representativos de área basal y densidad relativa, evidenciando que, características como el diámetro a la altura del pecho y el número de individuos, puede incidir en el potencial de biomasa y carbono almacenados. Al realizar la interpolación del resultado obtenido al área ribereña o ronda hídrica que equivale a 50,92 hectáreas, se advierte que ésta almacena aproximadamente 7.842 Ton de CO₂ y el CO₂ equivalente es de 28.779 toneladas. Eso implica que el promedio de captura de carbono por hectárea es cercano a 154 toneladas de CO₂, para un promedio de 2.873 árboles por hectárea.

A partir de los resultados obtenidos es posible evidenciar que en la zona persisten condiciones de heterogeneidad con presencia de un número importante de familias y especies de flora propias de bosques en regeneración, promoviendo la existencia de heterogeneidad en las condiciones ambientales, de manera que se pueden identificar parches de diferentes características físicas o bióticas debido a la variación causada por factores a mediana escala como topografía, tipos de suelo y clima a escala local, patrones de perturbación natural, procesos de sucesión y patrones de uso de la tierra (Kattan & Naranjo, 2008).

Estos hábitats heterogéneos permiten a su vez la posibilidad de un intercambio constante de la fauna entre zonas aledañas facilitando el aprovechamiento de los recursos que ofrecen otros hábitats cercanos. De esta manera y con base en el uso del hábitat y movimiento de los organismos a una escala del paisaje, en este caso compuesto por parches de variedad de tipos de hábitat o coberturas de vegetación correspondientes a zonas de bosque secundario, áreas en diferentes etapas de regeneración, áreas inundables y ecosistemas antropogénicos como potreros, cultivos, sistemas silvopastoriles y agroforestales es posible encontrar un porcentaje determinado de especies asociadas, hechos que evidencian una percepción de la heterogeneidad del paisaje y la definición del hábitat como conceptos dependientes de la

escala a la cual funciona cada especie y los movimientos que pueda realizar (Kattan & Naranjo, 2008). Además, la vegetación en crecimiento activo toma dióxido de carbono de la atmósfera y lo convierte en tejidos vegetales como la madera y las hojas.

Por su parte la evaluación de árboles de sombrero o sistemas agroforestales (SAF) en los predios permiten resaltar la importancia de su implementación; siendo éstos formas de uso de la tierra, donde los árboles o arbustos interactúan biológica y económicamente en una misma superficie con cultivos y/o animales, asociados de forma simultánea o secuencial (Nair, 2004), como una alternativa de manejo sostenible ya que ofrecen múltiples bondades, no sólo al ambiente sino también al productor, puesto que protegen al suelo de la erosión y adicionan materia orgánica, proveen de alimento y sombra para los animales todo el año, y mantienen una alta biodiversidad (Sánchez, 1995). Asimismo, promueven la recuperación de áreas degradadas (Razz y Clavero, 2006), y la captura de dióxido de carbono, uno de los principales gases causantes del efecto invernadero (Mutuo, Cadisch, Albrecht, Palm y Verchot, 2005).

Se afirma que el potencial de almacenamiento de carbono de los SAF oscila entre 12 a 228 t·ha⁻¹ por ha, teniendo mayor potencial en las zonas del trópico húmedo que tienen la capacidad de almacenar hasta 70 t·ha⁻¹ por ha en la vegetación (biomasa aérea) y 25 t·ha⁻¹ por ha en los primeros 20 cm de profundidad del suelo (Dixon, 1995; Mutuo et al., 2005). Para el caso de estudio en los 19 predios, cuya área productiva es de 79,15 ha, con una relación de 11.432 árboles, el carbono almacenado es en promedio, según la mediana, de 19 t·ha⁻¹ por ha, lo cual es un resultado positivo como servicio ambiental.

6.3. Determinación del sistema de incentivos y el PSA

La valoración económica del secuestro de carbono, una vez obtenido el carbono total almacenado en los predios, teniendo en cuenta el análisis de árboles en los sistemas agroforestales, se consideró teóricamente, expresando el pago anual que el productor o propietario del predio percibiría por el servicio ambiental de secuestro de carbono aéreo, tanto en la zona de bosque como el área en SAF. La conversión de carbono en CO₂ equivalente se realizó multiplicando el total de carbono fijado por 44/12 (relación entre el peso molecular del CO₂ con respecto al carbono): 1 t de carbono acumulado equivale a 3,67 toneladas de CO₂ (IPCC 2003,2006). Para estimar el pago potencial al productor se utilizó el valor promedio de la serie de precios de referencia (U\$11,63 dólares por tonelada) del Sistema Europeo de negociación de CO₂, obteniendo los resultados presentados en la tabla 5.

De igual modo, al relacionar las parcelas de flora levantadas en la zona de bosque que corresponden a 0,11 ha y se ubican en algunos de los predios caracterizados, y al realizar la interpolación del stock de carbono se logra evidenciar un incremento significativo en la valoración del CO₂ eq (Tabla 5), principalmente para aquellos predios que no cuentan son sistemas agroforestales implementados, pero que conservan importantes áreas de bosque, determinando la importancia del bosque como sumideros de CO₂ siendo imprescindible su capacidad de almacenar el carbono (C) en los tejidos de las plantas y en otros componentes del bosque como los suelos, la hojarasca y la necromasa.

Tabla 5. Valoración económica del Stock de carbono por predio en área SAF y bosque.

Predio	Valoración del CO2 en SAF						Valoración del CO2 en áreas de protección ambiental				
	Área SAF	Arboles SAF	Stock CO2 (ton)	CO2 eq (ton)	Valor \$US	Valor COP	Área Bosque	Stock CO2 (ton)	CO2 eq (ton)	Valor \$US	Valor COP millones
1	24,0			-	-	-	6,0	924	3.391	39438	132.394.240
2	1,8	430	89	325	3.781	12.691.353	-	-	-	0	-
3	4,0	300	414	1.520	17.674	59.333.038	2,0	308	1.130	13146	44.131.413
4	11,5	1400	824	3.025	35.180	118.098.852	2,5	385	1.413	16433	55.164.267
5	4,7			-	-	-	3,0	462	1.696	19719	66.197.120
6	0,9	63	17	63	730	2.449.062	-	-	-	0	-
7	-	300	67	248	2.879	9.665.360	3,0	462	1.696	19719	66.197.120
8	0,5	32	3	12	140	469.361	0,5	77	283	3287	11.032.853
9	14,0	400	73	269	3.133	10.517.851	14,0	2.156	7.913	92023	308.919.894
10	2,5	72	35	128	1.491	5.006.890	3,5	539	1.978	23006	77.229.973
11	-	300	33	121	1.413	4.742.147	1,2	180	661	7690	25.816.877
12	1,0	50	11	41	480	1.610.893	2,0	308	1.130	13146	44.131.413
13	0,5	400	183	672	7.817	26.243.043	0,5	77	283	3287	11.032.853
14	2,5	265	119	437	5.086	17.072.663	1,0	154	565	6573	22.065.707
15	3,0	7000	2.904	10.657	123.938	416.060.033	4,0	616	2.261	26292	88.262.827
16	1,0	60	30	109	1.269	4.258.681	2,0	308	1.130	13146	44.131.413
17	0,8	30	12	43	501	1.683.050	0,3	39	141	1643	5.516.427
18	2,5	230	143	526	6.113	20.521.583	2,5	385	1.413	16433	55.164.267
19	4,0	100	21	76	879	2.951.477	3,0	462	1.696	19719	66.197.120
Total	79,2	11.432	4.979	18.272	212.504	713.375.336	50,9	7.842	28.779	334.699	1.123.585.785

Fuente: Esta investigación, 2019.

Por otra parte, a partir de los resultados obtenidos con la aplicación de la encuesta, en la cual se indagó a los propietarios de los predios con relación a la recepción de un incentivo por la conservación de áreas de bosque que garanticen la oferta de servicios ambientales (¿Considera de importancia recibir un incentivo por la conservación de áreas de bosque que garanticen la oferta de servicios ambientales? – SI o NO), se encontró que el 100% de las personas encuestadas (19 personas) respondieron de forma afirmativa; considerando que el incentivo más adecuado a recibir entre el Económico (19 personas – 100%), En especie (0 personas - 0%) u otro (0 personas - 0%) sería de tipo económico, estableciendo en un 100%, que el valor que estarían dispuestos a recibir por reemplazar las áreas de cultivo o de producción por áreas de bosque sería de \$828.116 pesos al mes, que corresponde al Salario Mínimo Legal Vigente en Colombia para el año 2018, es decir, \$9.937.392 al año.

De hecho, hay amplias intenciones de los campesinos de sustituir zonas de cultivo por zonas de bosque, si se considera que todas las personas encuestadas (19) manifestaron con relación a la pregunta ¿A usted le interesa el medio ambiente? su interés en este aspecto, indicando entre las opciones de respuesta que lo consideran en un mayor porcentaje “Valioso” (89,4%), “Muy importante” (5,26%) e “Importante” (5,26%). Además, y respecto a la pregunta ¿Esta dispuesto a contribuir con la conservación de la microcuenca la Hidráulica para mejorar la oferta de servicios ambientales? (SI o NO), un 100% (19 personas) fueron determinantes en ratificar su disposición para contribuir con la conservación de esta zona; indicando su respuesta a la pregunta ¿Tendría disponibilidad para realizar la sustitución de áreas de producción por áreas de bosque? ¿Qué área? un potencial de sustitución de un total de 19,25 ha, realizando actividades de restauración y mantenimiento de los ecosistemas naturales. Así, las personas propietarias de los predios de interés manifiestan la necesidad de recibir un incentivo económico por la conservación de dichas áreas que garanticen la oferta permanente de servicios ambientales y al mismo tiempo les permita suplir las necesidades básicas y económicas de sus familias.

Por otra parte, la estimación del costo de oportunidad (B/C) de sustitución de cultivos se realizó como un pilotaje utilizando la metodología de flujos de costos y beneficios, con base en información primaria recopilada a partir de las encuestas aplicadas a los propietarios de los predios. Se estimó el costo de oportunidad por hectárea como el beneficio neto promedio por hectárea de las actividades productivas que se desarrollan en el predio (Tabla 6), encontrando que los beneficios netos, producto de la actividad agrícola desarrollada en algunos predios en el área de estudio, son en promedio de \$7.722.222 por ha/año para la granadilla, \$11.722.222 por hectárea/año para el frijol y \$700.000 para la papa. Los detalles se presentan a continuación:

Tabla 6. Costo de oportunidad promedio de las actividades productivas agrícolas en el área de estudio por año por hectárea

Ingresos	Unidades	Ingreso	Costo	Utilidad
Venta de granadilla	550 cajas	16.500.000	8.777.778	7.722.222
Venta de frijol	50 bultos	14.500.000	2.777.778	11.722.222
Venta de papa	30 bultos	1.500.000	800.000	700.000

Fuente: Esta investigación, 2019.

La estimación de los beneficios netos de la actividad agrícola, representan el punto de partida para negociar el pago con los propietarios de los predios por cambiar el uso agrícola actual del suelo, y permitir la regeneración natural en la ronda hídrica de la quebrada La Hidráulica. En la Tabla 7 se presenta la información sobre superficie de área con cobertura de sistemas productivos agrícolas y potreros y el costo de oportunidad por hectárea estimada para cada predio según el tipo de cultivo.

Adicionalmente, se estimó la renta presuntiva si los propietarios rentaran el área total de sus fincas para cualquier uso considerando un valor de referencia del 1% sobre el valor total del predio a precios de mercado estimado por los mismos propietarios, con lo cual se identificó que en promedio la renta presuntiva por año sería de \$12.126.316 si se destinara toda el área de la finca, incluida la zona de bosque, a la producción agropecuaria, mientras que en la estructura actual la renta presuntiva solo de las áreas para sistemas productivos y pastos sería en promedio de \$7.797.845 por año. En la tabla 7 se presentan los detalles de dicho análisis.

Tabla 7. Costos de oportunidad estimados en el área de estudio.

Predio	Área en sistemas Productivos	Origen	Valor ganancia neta / ha	Valor ganancia neta total por año	Valor total del predio	Renta presuntiva total año (1%)	Renta presuntiva área producción y pasto año (1%)
1	0		-	-	50.000.000	6.000.000	1.200.000
2	1,8	Agrícola	11.722.222	21.100.000	80.000.000	9.600.000	9.600.000
3	0		-	-	240.000.000	28.800.000	9.600.000
4	1,5	Agrícola	5.333.333	8.000.000		-	-
5	0		-	-	280.000.000	33.600.000	15.044.776
6	0,9	Agrícola	12.888.889	11.600.000	70.000.000	8.400.000	8.400.000
7	0		-	-	90.000.000	10.800.000	10.800.000
8	0,5	Agrícola	700.000	350.000	50.000.000	6.000.000	6.000.000
9	0		-	-	300.000.000	36.000.000	18.000.000
10	0		-	-	240.000.000	28.800.000	16.800.000
11	0		-	-	0	-	-
12	0		-	-		-	-
13	0		-	-	30.000.000	3.600.000	1.800.000
14	2,5	Agrícola	11.000.000	27.500.000	150.000.000	18.000.000	18.000.000
15	0		-	-	100.000.000	12.000.000	6.857.143
16	1		-	-	150.000.000	18.000.000	18.000.000
17	0,75	Agrícola	1.666.667	1.250.000	50.000.000	6.000.000	6.000.000
18	0		-	-		-	-
19	0		-	-	40.000.000	4.800.000	2.057.143
Promedio			2.279.532	3.673.684	120.000.000	12.126.316	7.797.845

Fuente: Esta investigación, 2019

Luego de la revisión de condiciones de los tres esquemas de compensación, por captura de carbono, valoración contingente y el costo de oportunidad, se hizo un balance de los sistemas de retribución a las familias campesinas, unificando por hectárea y tipo de vocación agropecuaria. En tal sentido, los servicios ambientales, como pasivos no internalizados solo por tener sistemas agroforestales (SAF) en las áreas destinadas para pastos y producción agrícola, sería en promedio de \$17.489.135 pesos anuales por predio (descontando los *outliers*), mientras que la conservación de las rondas hídricas tendría una valoración del servicio ambiental de \$59.112.867 de pesos por predio.

Entre tanto, para que los productores estuvieran dispuestos a sustituir sus cultivos, la base de negociación sería de \$9.937.392 de pesos al año por predio, los cuales son más altos que el costo de oportunidad efectivo que tendrían los campesinos por desarrollar sus actividades productivas, considerando unos beneficios económicos de entre \$3.673.684 por la renta real y \$7.797.845 de pesos anuales por renta presuntiva en toda el área con potencial de aprovechamiento económico. De esta manera la relación de beneficios y costos ambientales y sociales al compensar a los propietarios de los predios con un sistema de Pago por Servicios Ambientales, sería superavitaria en casi un 90,7%, y eso teniendo en cuenta que solo se está valorando el servicio de almacenamiento de carbono. A continuación, se presenta el balance económico de las compensaciones y el valor de los servicios ambientales estimados (Tabla 8).

Tabla 8. Relación de beneficios y costos ambientales y sociales por predio.

Detalle	Beneficios sociales y ambientales por año	Detalle	Costos de compensación por año
Captura de CO2 en sistemas agroforestales por predio	\$17.489.135	Promedio de ganancias en actividades agrícolas (B/C)	\$ 3.673.684
Captura de CO2 en bosque sobre rondas hídricas por predio	\$59.112.867	Promedio de renta presuntiva actividades agropecuarias (B/C)	\$ 7.797.845
		Promedio disposición a recibir por compensación (MVC)	\$ 9.937.392
Total	\$76.602.002	Promedio	\$ 7.136.307

Fuente: Esta investigación, 2019.

Con base en lo anterior, se puede concluir que el impacto de un esquema de PSA en la microcuenca La Hidráulica del municipio de Sibundoy, sería muy positivo si se considera que habría un superávit de \$69.465.695 pesos entre las compensaciones que implica el PSA frente a los servicios potenciales del ecosistema en esos 19 predios por concepto de captura de carbono y los beneficios biológicos conexos como la mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, la Conservación de la biodiversidad, los servicios hidrológicos, la recreación y provisión de belleza escénica.

Con la información obtenida, el PSA se referencia como un instrumento económico enfocado en impulsar las buenas prácticas por parte de los propietarios de los predios con áreas estratégicas de conservación que proveen servicios ambientales a la comunidad del municipio de Sibundoy, considerando la actual transformación de los ecosistemas, que refleja una problemática que evoluciona de manera acelerada, afectando la disponibilidad y la calidad de los servicios ambientales y con ello la calidad de vida y el desarrollo productivo de las comunidades. Este sistema se percibe como una herramienta que permite contrarrestar el acelerado proceso de transformación de los ecosistemas, disminuyendo la pérdida en la calidad y disponibilidad de los servicios ambientales, mejorando las condiciones ambientales, permitiendo que las comunidades puedan convivir con los ecosistemas y no se generen conflictos por uso del suelo (Díaz, 2008).

De hecho, como lo propone Landell y Porras (2002) los PSA relacionados con el mercado de carbono generan beneficios económicos, sociales y ambientales. Los beneficios económicos directos están representados en el logro de reducción de emisiones de GEI al mínimo costo, flujos financieros y créditos de carbono a los países que generan los proyectos, flujos de ingresos regulares o estables para reducir vulnerabilidad de pobladores locales a los cambios estacionales en actividades basadas en el uso del suelo (ej. Agricultura) y beneficios indirectos como incremento en la producción forestal, desarrollo de infraestructura, transferencia de tecnología, productividad agrícola mejorada, costos de tratamiento de agua potable disminuidos y efectos positivos para ecoturismo, bioprospección, negocios de productos orgánicos y otros productos verdes.

Los beneficios sociales; se relacionan con la investigación y entrenamiento en sostenibilidad forestal, industrias basadas en el aprovechamiento de bosques, ecoturismo, monitoreo de carbono, certificación, calentamiento global, manejo de proyectos, mejoramiento en la seguridad de la tenencia de la tierra (o los recursos) donde los acuerdos de compensación de carbono resultan en la formalización de la tenencia de la tierra, constitución de instituciones sociales e impactos positivos en la salud humana a través del mejoramiento de la calidad del aire y del agua.

Por su parte los beneficios ambientales son evidentes en el incremento en la biodiversidad dentro de las nuevas áreas y/o por alivio de la presión en los bosques naturales adyacentes, oferta de agua más regular y mejor calidad del agua como resultado de los impactos en el bosque, en hidrología y por reducción de área agrícola sujeto a uso de fertilizantes y pesticidas, control de inundaciones, mejoramiento en la fertilidad del suelo, erosión por efecto del viento reducida, mejoramiento en la calidad del aire asociada con reducción en incendios forestales e incremento en belleza escénica.

De la misma manera los mercados basados en la protección de fuentes hídricas generan beneficios económicos, incrementando los ingresos para proveedores, ahorro en costos de comando y control para alcanzar la protección efectiva de la microcuenca, ahorro en costos por el control de la contaminación en la fuente, beneficios directos de la protección del agua y efectos positivos en forestería, agricultura, pesca y actividades recreativas. Socialmente, se obtendrían beneficios asociados a la protección de cuencas, en salud como resultado directo del mejoramiento en el agua para consumo humano e indirectamente del mejoramiento de la agricultura, promoción de la Educación ambiental y de la DAP por protección de microcuencas, entrenamiento en mejores prácticas de uso del suelo, mejores oportunidades de recreación, reducción de contaminación auditiva y de olores, repercutiendo ambientalmente en el mejoramiento de la calidad del agua, protección contra inundaciones, mantenimiento del flujo base a través de la recarga del nivel freático, control de la erosión del suelo, mantenimiento de la fertilidad del suelo, protección de biodiversidad y de la belleza escénica

Es así importante reconocer que esta medida contingente de conservación se diferencia de otras en la medida que en vez de presuponer soluciones gana-gana, reconoce los conflictos que se originan con relación al uso de la tierra y, por ende, busca conciliar los intereses opuestos adoptando medidas de compensación. Aun así, están quienes se oponen a los PSA, desde posturas radicales que manifiestan el afán por mercantilizar los recursos y las culturales tradicionales en un paradigma economicista, y, quienes afirman que existe una demanda limitada y pocas garantías institucionales en la transferencia de beneficios contingentes y directos hacia las comunidades oferentes (Wunder, 2015). Sin embargo, y pese a las críticas, los PSA se visualizan como un paso hacia estrategias interconectadas de conservación de recursos y protección del ambiente, mostrando el peso que tiene en las dimensiones económicas, sociales y de política pública. De esta forma, los PSA han generado fuertes

expectativas como medidas de transición hacia economías más sostenibles, garantizando la provisión de recursos para las generaciones futuras y al tiempo se espera, que por medio de prácticas conservacionistas se mejore la calidad de vida e ingresos de comunidades campesinas e indígenas (Wunder, 2015).

6.4. Diseño del esquema de PSA de la microcuenca la Hidráulica

Como se acaba de señalar, el diseño de un esquema de PSA en la microcuenca la Hidráulica, en el municipio de Sibundoy, surge de la necesidad de implementar una estrategia que permita generar acuerdos entre los actores sociales, ubicados en la ronda hídrica de la parte alta de la cuenca, sitio en el cual se evidencian conflictos territoriales por el uso inadecuado del suelo, la deforestación y fragmentación de zonas de bosque, afectación de la calidad y cantidad del recurso hídrico e inequidad en la distribución de los costos y beneficios de la conservación.

A partir del PSA en el área de estudio y de acuerdo con los resultados obtenidos se busca garantizar la provisión de los servicios ambientales de captación de CO₂, regulación hídrica y mantenimiento de la biodiversidad por cambios en el uso del suelo y cambios en las prácticas productivas, mediante la implementación de procesos de reconversión de sistemas productivos, aislamiento, regeneración natural y conservación de las zonas de bosque. Por parte de los propietarios ubicados aguas arriba de la microcuenca, serán compensados económicamente por los usuarios localizados aguas abajo.

En tal sentido, si se considera un promedio de compensación por predio de \$69.465.695 pesos según la disponibilidad aceptar el PSA por parte de sus propietarios, y la relación de sustitución en función de los beneficios económicos y las rentas presuntivas, el valor total del PSA sería de \$135.589.833 pesos anuales, distribuidos en los 19 campesinos, los cuales se financiarían, por ejemplo, con la factura del servicio de agua dividido entre los 2.872 usuarios de la cabecera municipal de Sibundoy, para la cual éstos asumirían un costo de \$47.211 pesos anuales o lo que equivale \$3.934 pesos mensuales.

Con la implementación del esquema de PSA se espera, mejorar las condiciones de captación de CO₂, permitir el mejoramiento de la calidad y cantidad del agua con la reducción de los niveles de turbiedad, sedimentación y procesos erosivos, así como con la regulación del caudal, además de dar lugar al incremento de la biodiversidad, teniendo en cuenta la funcionalidad de las zonas de bosque que garantizan la oferta permanente de estos servicios ambientales, como ya se explicó con anterioridad.

Para el proceso de implementación del Esquema de Pago por Servicios Ambientales es fundamental la participación de todos los actores identificados, inicialmente los propietarios de predios ubicados en la ronda hídrica de la parte alta de la cuenca, además de las poblaciones asentadas en la parte baja de la cuenca y los actores institucionales que apoyen su implementación, tales como Corpoamazonía, como autoridad ambiental, y la Alcaldía municipal de Sibundoy.

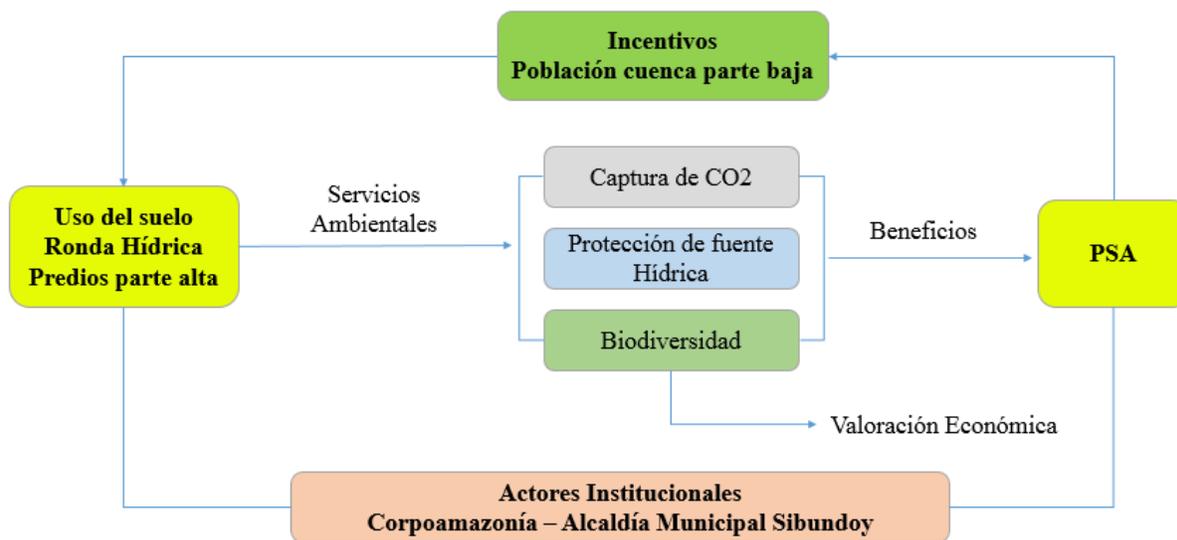


Figura 7. Esquema general de esquema de pago por servicios ambientales.
Fuente: Esta investigación, 2019.

Para el proceso de concertación con los actores evidenciados para la implementación del esquema de PSA, que corresponden a los propietarios de los predios ubicados sobre la ronda hídrica de la microcuenca La Hidráulica y las poblaciones de la parte baja de la cuenca, ubicados en el casco urbano del municipio de Sibundoy, además de la empresa de Acueducto municipal, se considera de importancia la destinación de recursos para la realización de un estudio de evaluación del estado de tenencia de los predios en la microcuenca, así como de las características requeridas para la implementación del PSA (Decreto 870 de 2017), con el objeto de priorizar los predios a ser involucrados, teniendo en cuenta el siguiente esquema de concertación:

Tabla 9. Esquema de concertación.

criterio	Descripción	Responsabilidades	Beneficios
Servicios ambientales	Captura de CO ₂ Protección de fuente hídrica Biodiversidad		
Tipo de pago	Económico o en especie		
Zona de intervención	Ronda Hídrica		
Vendedor u oferente	Propietarios predios	Acciones de restauración y mantenimiento.	Incentivo económico o en especie.
Comprador o demandante	Población parte baja Usuarios acueducto	Pago voluntario para financiar acciones de conservación y restauración en la microcuenca y pago de incentivo económico.	Mantenimiento o mejora mediante acciones de conservación.
Mecanismo de operación y financiero	Administración municipal, Empresa de acueducto y Corpoamazonía	Garantizar la continuidad del proceso y su viabilidad legal y jurídica dentro del ámbito de sus competencias.	Conservación en áreas estratégicas.
Fuentes de financiamiento con recursos locales o nacionales	Población de Sibundoy Administración municipal, Corpoamazonía.	Disposiciones estipuladas en los Decreto 870 de 2017 y 1007 de 2018.	Cumplimiento de la normatividad ambiental.

Fuente: Esta investigación, 2019.

El esquema de PSA está diseñado para generar cambios en el uso del suelo y garantizar la conservación de los remanentes de bosque natural, hecho que se materializará a partir de la firma de contratos entre proveedores y compradores que incluyan la compensación por la destinación de potreros para restauración (aislamiento, regeneración natural, reforestación) y por la protección de los bosques en estado de conservación al momento de la firma. Esto sin duda facilitará la conservación del ecosistema y un arreglo sostenible en materia social y ambiental en la microcuenca La Hidráulica del municipio de Sibundoy. Para la puesta en marcha del PSA se hace necesario tener en cuenta los costos de su implementación, los cuales incluyen inversiones asociadas al inicio de la implementación del esquema y los costos de operación anuales, requeridos para el funcionamiento permanente del esquema. Dichos costos se relacionan a continuación (Tabla 10):

Tabla 10. Esquema de concertación.

Costos de inversión		
Actividad	Descripción	Valor
Restauración de áreas	Aislamiento y reforestación de áreas (19,25 ha)	4.500.000 x ha.
Administrativos	Proceso de negociación	5.000.000
TOTAL		91.625.000
Costos de operación anual		
Actividad	Descripción	Valor
Incentivo	Pago a propietarios de predios	135.589.833
Asistencia técnica	Monitoreo de áreas	1.400.000
Mantenimiento	Áreas restauradas (19 ha)	2.000.000 x ha
TOTAL		174.989.833

Fuente: Esta investigación, 2019.

7. Conclusiones

La Microcuenca la Hidráulica en el municipio de Sibundoy, por sus características biofísicas constituye un conjunto de ecosistemas naturales que provee de recursos naturales y servicios ambientales de base o provisión, regulación y servicios culturales sobre los cuales se sustenta el desarrollo de un modelo económico basado principalmente en la productividad agrícola, la cual genera ciertos recursos económicos para el sostenimiento de las familias de los predios, pero al tiempo genera impactos negativos sobre el área de protección o ronda hídrica de la cuenca, afectando directamente el recurso suelo, el agua y la biodiversidad, contrarrestando las acciones de conservación promulgadas y establecidas por la normatividad ambiental vigente en relación a la protección de las cuencas hidrográficas.

La captura de carbono, la regulación y protección del recurso hídrico y la diversidad biológica se consideran los servicios ambientales más representativos en el área de estudio, siendo necesario y evidente a partir del análisis de conflictos en el uso del suelo, la implementación de estrategias de manejo que garanticen su oferta permanente, de tal manera que se permita el desarrollo socioeconómico y cultural del territorio, basado en el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales asociados a las zonas de bosque de la microcuenca.

La valoración económica del *stock* de carbono en los predios y el análisis de costo de oportunidad de la producción agrícola, permite evidenciar que el desarrollo de un modelo económico basado en la venta de un servicio ambiental generaría en la zona mayor estabilidad económica para los propietarios de los predios, a diferencia de los ingresos obtenidos por la producción agrícola y pecuaria, hecho que se evidencia a partir de la estimación de los beneficios netos de la actividad agrícola y la valoración económica de los servicios ambientales en SAF y zonas de bosque. Eso plantea un impacto positivo en la relación de beneficios y costos ambientales y sociales al compensar a los propietarios con un sistema de PSA, por la oferta de servicios potenciales del ecosistema en los 19 predios por concepto de captura de CO₂ y otros servicios como la mitigación de emisiones de GEI, la conservación de la biodiversidad y los servicios hidrológicos, la recreación y provisión de belleza escénica.

La implementación de un esquema de PSA en la microcuenca La Hidráulica en el municipio de Sibundoy requiere de la articulación de las diferentes instituciones administrativas y de carácter ambiental así como de los propietarios de los predios y la sociedad civil que permita la gestión oportuna de los recursos económicos disponibles y que se sustentan en la normatividad ambiental vigente en el país, como los decretos 0953 de 2013, 870 de 2017 y 1007 de 2018, así como la constitución política colombiana y la ley 99 de 1993, con el objeto de garantizar la oferta de los servicios ambientales en la zona, actualmente afectados por el desarrollo de diferentes actividades antrópicas.

Este proceso permitiría consolidar una estrategia real de compensación de la conservación de los ecosistemas hoy presentes en tierras privadas, de propiedad de familias que ante las desventajas de la productiva agrícola y pecuaria, aúnan esfuerzos en la construcción de un tejido social amigable con el ambiente con la consolidación de reservas naturales de la sociedad civil y otros espacios de aprovechamiento como la protección de los sitios sagrados y la apropiación del turismo de naturaleza como oportunidad para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y respuesta directa al llamado global por el cuidado del planeta, actuando desde la territorialidad y desde el espacio local.

8. Bibliografía

Albán, Moreno, Moscoso, Southgate y Wunder, (2008). *Memorias del Taller: Diseño de pagos por servicios ambientales en Ecuador y Colombia*. Center for International Forestry Research (CIFOR); Bogor Indonesia.

Álvarez, E., Cogollo, A., Melo, O., Rojas, E., Sánchez, D., Velásquez, O., Sarria, E., Jiménez, E., Benítez, D., Velásquez, C., Serna, M., Londoño, A.C., Stevenson, P.R., Duque, A., Galeano, G., Peñuela, M.C., Vallejo, M., García, F., Ramos, Y., y Palacios, J. (sf). *Biomasa de los bosques de Colombia en diferentes zonas de vida*. Sometido a la Revista Colombia Forestal.

Blanco, Wunder y Navarrete, (2005). *La experiencia colombiana en Esquemas de pago por servicios ambientales*. Bogotá: Ecoversa y CIFOR. 108p.

Borda, Moreno y Wunder, (2010). *Pagos por Servicios Ambientales en Marcha: La Experiencia en la Microcuenca de Chaina, Departamento de Boyacá, Colombia*. Centro para la Investigación Forestal Internacional. 60p.

Centro para la Investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria-CIPAV, (2005). *Proyecto Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas*. En:http://www.cipav.org.co/index.php?option=com_content&task=view&id=41&Itemid=181.

Centro para la Investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria-CIPAV. (2010). *Apoyo a la construcción e implementación de una estrategia de conservación y valoración de bienes y servicios ambientales en la Cuenca Alta del Río Putumayo*,

en el municipio de Sibundoy, contribuyendo a su conservación y reconversión de ecosistemas de alto valor.

CONPES 3243. Estrategia Institucional para la venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Bogotá, 25 de agosto de 2003.

Contraloría General de la Nación, Fundación Agriteam-Proyecto Comunica, Universidad Nacional de Colombia. (2018). *Procedimiento especializado de aplicación del principio de valoración de costos ambientales*. Tomo I: Marco conceptual, normativo y metodológico. Bogotá. 142p.

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía – CORPOAMAZONÍA, (2008). *Plan de ordenación y manejo de la Cuenca alta del Río Putumayo*.

Corporación para el desarrollo sostenible del sur de la amazonia (2009-2010). *Desarrollo y validación del esquema de compensación por servicios ambientales y reconversión de sistemas ganaderos en cuencas hidrográficas abastecedoras de acueductos municipales pertenecientes a la cuenca del río Putumayo*.

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía – CORPOAMAZONÍA, (2015). *Construcción de instrumentos técnicos y procesos de ordenación ambiental territorial para la incorporación de la dimensión ambiental y el componente de gestión de riesgo en los POTM en la jurisdicción de Corpoamazonía*. Área de importancia para la conservación del municipio de Sibundoy Putumayo.

Cuellar, N., Herrador, D., González, M., y Rosa, H. (1999). *Comercio de servicios ambientales y desarrollo sostenible en Centro América: Los casos de Costa Rica y El Salvador* – Síntesis Internacional Institute for Sustainable Deveploment, IISD. Ottawa, Canadá. P. 161.

Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Principio 16. Río de Janeiro, 14 de junio de 1992

Decreto 900 de 1997. Incentivo forestal con fines de conservación. Diario Oficial No. 43.013, del 3 de abril de 1997.

Decreto 2811 de 1974. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. 18 de diciembre de 1974.

Decreto 0953 de 2013. Reglamenta el artículo 111 de la Ley 99 de 1993 modificado por el artículo 210 de la ley 1450 de 2011. Bogotá, 17 de mayo de 2013.

Decreto 1076 de 2015. Decreto único reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, mayo 26 de 2015.

Decreto 870 de 2017. Por el cual se establece el Pago por Servicios Ambientales y otros incentivos a la conservación. Bogotá, 25 de mayo de 2017.

Decreto 1007 de 2018. Por el cual se modifica el Capítulo 8 del Título 9 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1076 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la reglamentación de los componentes generales del incentivo de pago por servicios ambientales y la adquisición y mantenimiento de predios en áreas y ecosistemas estratégicos que tratan el Decreto Ley 870 de 2017 y los artículos 108 y 111 de Ley 99 de 1993, modificados por los artículos 174 de la Ley 1753 de 2015 y 210 de la Ley 1450 de 2011, respectivamente. Bogotá, 14 de junio de 2018.

De Groot, R.S., Wilson, M.A. y Boumans, R.M.J. (2002). *A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services*. Ecological Economics 41: 393-408.

Departamento de Desarrollo Sostenible de la Organización de los Estados Americanos, (2005). *Pago por servicios ambientales*. Taller de expertos sobre el apoyo al Desarrollo Sostenible a través de la agricultura, la silvicultura y el turismo. San José, Costa Rica. 5p.

Díaz, Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con el apoyo de FAO-Facility. (sf). *Mecanismo de pago por servicios ambientales en la cuenca del Río Yaque del Norte en la República Dominicana*. 11p.

Díaz, M. (2008). *Conflicto de ocupación en áreas protegidas Conservación versus derechos de comunidades*. Opinión Jurídica, 7, (14), pp. 53 – 69.

Dixon, R. K. (1995). *Agroforestry system: sources or sinks of greenhouse gases*. Agroforestry Systems, 31: 99-116. DOI: 10.1007/ BF00711719.

Ecosecurities Ltda. Environmental Finance Solutions. (2005). *Identificación, cuantificación, valoración y comercialización de servicios ambientales en los ecosistemas forestales en el Valle de San Nicolás, Colombia*. Informe para el Instituto Federal Suizo de Investigación y prueba de materiales y tecnologías – EMPA. Oxford. 45p.

Espinoza, Gatica, y Smyle, (1999). *El pago de servicios ambientales y el desarrollo sustentable en el medio rural*. Unidad Regional de Asistencia Técnica (RUTA). 88p.

Estrada, Quintero, Girón y Pernet, (2004). *Pago por servicios ambientales en la Laguna de Funeque*. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecoregión Andina, CONDESAN.

Fondo Nacional de Financiamiento Forestal - FONAFIFO. (2005). Más de una década de acción, San José, Costa Rica. *The Economist. Servicios de los Ecosistemas, Greening the Books*. Sección de Ciencia y Tecnología.

Gentry, A. (1986) citado por: Cuayal y Ramírez (1993). *Especies vegetales nativas aptas para la recuperación de áreas de protección en cuencas altas del municipio de Pasto*. Trabajo de grado, biólogo con énfasis en ecología. Pasto.

IAVH, Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt. (2004). *Proyectos, instrumentos de política e incentivos para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad*. En: http://www.humboldt.org.co/usoyval/val_pro2.htm.

IAVH, Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt. (2004). *Proyectos valoración económica de los beneficios generados por la biodiversidad*. En: http://www.humboldt.org.co/usoyval/val_pro.htm.

INBio National Biodiversity Institute. (2006). *Usos y valoración de los bienes y servicios de la biodiversidad*.

ICA, Instituto Colombiano Agropecuario. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de granadilla (Passiflora ligularis) Medidas para la temporada invernal*. Bogota D.C. 31 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry*. IPCC National Green-house Gases Inventory Programme, Institute for Global Environmental Strategies (IGES). 610 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngar T. y Tanabe K. (Eds). Published by: IGES, Japón.

Junta de acueducto y alcantarillado del municipio de Sibundoy. (2019). *Base de datos de usuarios*.

Kattan, G., H. (1994). *Forest fragmentation and bird extinctions: San Antonio eighty years later*. En: *Conservation Biology* Vol.6. p. 64-70.

Kattan, G y Naranjo, L. (2008). *Regiones Biodiversas: Herramientas para la planificación de sistemas regionales de áreas protegidas*. Talleres de comunicaciones WWF-Colombia. Santiago de Cali. Colombia. p. 224.

Landell-Mills y Porras. (2002). *Marketing forest environmental Services – Who Benefits?* Internacional Institute for Environment and Development. Sustainable Agriculture and Rural Livelihoods Programme. P. 71-152.

Ley 139 de 1994. Por la cual se crea el certificado de incentivo forestal y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 41.401. Bogotá, 22 de junio de 1994.

- Ley 164 de 1995. Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992. Diario Oficial No. 41.575, del 28 de octubre de 1994.
- Ley 629 de 2000. Por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997. Diario Oficial No. 44.272, de 27 de diciembre de 2000.
- Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental -SINAy se dictan otras disposiciones. Bogotá, 22 de diciembre de 1993. Matteucci, S y Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. Monografía. Washington: Secretaría general de la OEA. Programa regional de desarrollo científico y tecnológico.
- Ministerio de Agricultura, (1994) Ley 139 de 1994: Por la cual se crea el certificado de incentivo forestal y se dictan otras disposiciones. Junio 21 de 1994. 6p.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2007). Decreto 900 de 1997: Por el cual se reglamenta el certificado de incentivo forestal para conservación. Diario oficial N. 43.013, del 3 de abril de 1997. 6p.
- Mutuo, P.K., Cadisch, G., Albrecht, A., Palm, C.A., Verchot, L. (2005). *Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics*. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 71: 43-54. DOI: 10.1007/s10705-004-5285-6.
- Nair, P. K. (2004). *Agroforestry: Trees in support of sustainable agricultura*. In: Hillel, H.; Rosenzweig, C.; Powlson, D.; Scow, K.; Singer, M.; Sparks, D. (eds). *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier, London, U.K. pp. 35-44.
- Narváez, Paz, Guapucal, y Leonel. (2016). *Evaluación de procesos institucionales en el pago por servicios ambientales, cuenca Alta del río Pasto*. Rev. Cienc. Agr. 33(1):64 - 72.
- Pagiola, Agostini, Gobbi, Haan, Ibrahim, Murgueitio, Ramírez, Rosales, Ruíz. (2004). *Paying for biodiversity conservation services in agricultural landscapes*. Environment Department Paper N. 96. World Bank. Washington DC.
- Pagiola y Platais. (2002). *Payments for environmental services*. Environment strategy notes. Washington, dc. Banco mundial. 12p.
- Phillips, J.F., Duque, A.J., Cabrera, K.R., Yepes, A.P., Navarrete, D.A., García, M.C., Álvarez, E., Cárdenas, D., Galindo, G., Ordoñez M.F., Rodríguez, M.L., Vargas, D.M. (2011). *Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Bogotá D.C. Colombia. 32 pp.

- PROFOR, Programa de bosques – Banco Mundial. (2004). Incentivos económicos para el manejo forestal sostenible (MFS) y la restauración del paisaje. Volumen 1. Edición 2. Financiamiento innovativo para MFS. Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (MAVDT), Conservación Internacional – Colombia Forest Trends, UICN y PROFOR. p. 8.
- Ramírez, B. (1995). *Principios y métodos en Ecología vegetal*. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas y de Educación. Departamento de Biología, Popayán.
- Rangel y Lozano. (1986). *Un perfil de vegetación entre La Plata (Huila) y El Volcán Puracé*. En: Caldasia 14. (68-70). Universidad Nacional.
- Rangel y Velásquez. (1997). *Métodos de estudio de la vegetación* En: Rangel-Ch. O. Colombia Diversidad Biótica II: Tipos de vegetación en Colombia. Santa Fé de Bogotá.
- Rangel, O; Lowy, P y Aguilera, M. (1997). *Colombia Diversidad Biótica II. Tipos de Vegetación en Colombia*. Bogotá. p. 177.
- Robledo C., Tobón P. y Restrepo A. (2002). *Valoración de bienes y servicios forestales en el proyecto OIMT 54/99 (F). “Modelo alternativo de financiación del manejo sostenible de los bosques de San Nicolás”*. Presentación en el encuentro de especialistas en valoración económica de bienes y servicios ambientales de bosques amazónicos y sistemas agroforestales. Lima, Perú. p. 17.
- Rosa, Herrador y González. (1999). *Valoración y pago por servicios ambientales: Las experiencias de Costa Rica y El Salvador*. En: Prisma No 35. San Salvador. p.1 – 20. En: <http://www.prisma.org.sv/pubs/prisma35.pdf>.
- Rosas, W. y Salazar, M. (2004). *Estimación de la biomasa y el carbono en el sistema agroforestal cercos vivos en la vereda Mocondino, municipio de Pasto*. Universidad de Nariño. Pasto. 81 p.
- Sánchez, P. A. (1995). *Science in agroforestry*. Agroforestry Systems. 30: 5-55. DOI: 10.1007/BF00708912.
- Sarmiento y Rios. (2009). *Factibilidad de implementación de un esquema de pagos por servicios ambientales en la cuenca Los Pericos – Manantiales, Juyuy, Argentina*. Quebracho Vol. 17 (1,2), p64-76.
- Tattenbach. (1998). *Valoración económica de los servicios ambientales: La experiencia en Costa Rica*. Sistema Nacional para el Desarrollo Sostenible (SINADES), Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN) y Gobierno de Costa Rica, citado por González y Riascos. (2007). *Panorama latinoamericano del pago por servicios ambientales*”. Gestión y Ambiente. Pp.129-144.

- Tovar, A y Meneses, D. (2014). *Cuantificación del almacenamiento de carbono de leñosas perennes en el municipio de Pasto, Departamento de Nariño*. Universidad de Nariño. Pasto. 25 p.
- Unísfera. (2004). *Pago por servicios ambientales: Estudio y evaluación de esquemas vigentes*. Informe presentado por Karel Mayrand y Marc Paquin (Unisfera Internacional Centre) a la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA). Montreal. p. 65.
- Wunder, Sven; Wertz-Kanounnikoff, Sheila; Moreno-Sánchez, Rocío. (2007). *Pago por servicios ambientales: una nueva forma de conservar la biodiversidad*. Gaceta Ecológica, núm. 84-85, julio-diciembre, 2007, pp. 39-52.
- Wunder, Sven. (2005). *Payments for environmental services: Some nuts and bolts*. En: CIFOR Occasional Paper No. 42(s). 24p.
- Wunder, Sven. (2015). *Revisiting the concept of payments for environmental services*. En: Ecological Economics. Enero de 2015.
- Yepes A.P., Navarrete D.A., Duque A.J., Phillips J.F., Cabrera K.R., Álvarez, E., García, M.C., Ordoñez, M.F. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 162 p.
- Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G.*, Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C., and Chave, J. (2009). *Global wood density database*. Dryad. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.