Medellín FUTURO

Pago por Servicios Ambientales

Plan de Ordenamiento territorial - Acuerdo 48/2014

Áreas Elegibles

Alcaldía de Medellín
2020 / 2023

Alcaldía de Medellín
Distrito de
Ciencia, Tecnología e Innovación

Alcaldía de Medellín
Distrito de
Ciencia, Tecnología e Innovación

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO PARA LA REALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN, AJUSTE Y AMPLIACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN Y MANEJO DE LOS ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS

INFORME FINAL - PROPUESTA PARA EL ESQUEMA FUNDAMENTAL DEL PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES PARA EL DISTRITO

ALCALDÍA DE MEDELLÍN

DANIEL QUINTERO CALLE
Alcalde

VANESA ÁLVAREZ RESTREPO
Secretaria de Medio Ambiente

LUIS EDUARDO CUERVO TAFUR
Subsecretario de Gestión Ambiental

LINA MARCELA RENDÓN SERNA
Subsecretaria de Recursos Naturales Renovables

DIANA MARCELA SANTACRUZ ORDÓÑEZ
Subsecretaria de Protección y Bienestar Animal

ALCALDÍA DE MEDELLÍN
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE

EQUIPO DE TRABAJO

NATALIA ROA GIRALDO
Supervisora

MANUEL ANTONIO CÁRDENAS GÓMEZ
Coordinador de Supervisión

MARÍA CLAUDIA CASALLAS BEDOYA
Apoyo a la Supervisión Administrativo, financiero y contable

NATALIA MONTOYA GALLEGO
Apoyo a la Supervisión Jurídico

CONSULTORÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARÍAS
SEDE MEDELLÍN

EQUIPO DE TRABAJO

GUILLERMO VÁSQUEZ VELÁSQUEZ, Decano y Director; MARLENY DURANGO LÓPEZ, Coordinadora Técnica; LAURA FLÓREZ BOTERO, Coordinadora Técnica; SEBASTIAN BALBIN BETANCUR, Área Hidrología; EDWIN PUERTO, Área Hidrología; SANDRA MILENA LÓPEZ LOAIZA, Área Social; CONSUELO DURANGO LÓPEZ, Área Física; WILELADO GARCIA CHARRIA, Área Ambiental; MANUELA CASTRO MAZO, Área Ambiental; SARA PATRICIA MOLINA RODRÍGUEZ, Área Ambiental; MATEO BARRERA BETANCOURTH, Sistemas de producción Agrícolas; SEBASTIÁN RAMÍREZ GUERRA, Sistemas de Producción Pecuarios; IVÁN JOSÉ LUIS LÓPEZ MONTIEL, Sistemas de Producción Forestal; DARIO FELIPE JIMENEZ, Evaluación ambiental; LUZ YADIRA GÓMEZ HERNÁNDEZ, Área Económica y Financiera; FRANCISCO JAVIER CORREA RESTREPO, Área Económica y Financiera; ALEJANDRO ALVAREZ GARCIA, Evaluación Financiera; INGRID NATALIA MAZO ZULUAGA, Sistemas de Información Geográfica; LUISA FERNANDA MEDINA PALACIO, Abogada; JUAN RODRIGO VEGA HENAO, Abogado; ALVARO LEMA TAPIAS, Asesor en Estadística; GLORIA PIEDAD RÍOS, Asesora en Valoración; DURSUN BARRIOS HERNADEZ, Asesor en el Área Financiera y Económica; CARLOS ALBERTO ZÁRATE YEPES, Asesor en Legislación Ambiental; SANTIAGO CHICA ARBOLEDA, Auxiliar Administrativo.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción 7
1. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LOS PSA 9
1.1. Definición de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) 9
1.2. Fundamentos económicos 10
1.3. Tipos de PSA 13
1.4. El éxito de los PSA como incentivos de conservación 15
1.5. Eficiencia y Equidad de los PSA 17
1.6. Críticas y limitaciones de los PSA 20
2. CRITERIOS PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PSA 21
2.1. Etapa 1. Diseño y criterios de participación 21
2.2. Etapa 2: Implementación de los PSA 23
2.3. Etapa 3: Monitoreo y Evaluación 25
3. DOCUMENTO PRESCRIPTIVO: PSA PARA EL DISTRITO 28
3.1. Beneficios tributarios y compra de predios 28
3.2. Recomendaciones para equidad y eficiencia 28
3.3. Costos de transacción 30
3.4. Divulgación de información del programa de PSA 30
3.5. Construcción participativa 30
3.6. Acciones de PSA 31
3.7. Modalidades de PSA 32
3.8. FOCALIZACIÓN DE PSA POR ÁREAS 35
3.9. El costo de oportunidad 36
3.10. El valor del incentivo a reconocer 40
3.11. Monitoreo, seguimiento y adicionalidad 42
3.12. recomendaciones para cuencas externas 53
4. CONCLUSIONES 55
5. BIBLIOGRAFÍA 56
Precios hedónicos 64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Valor Económico Total (VET) 12
Figura 2. Escenarios de adicionalidad de PSA. 18
Figura 3. Aspectos fundamentales en el diseño e implementación de los PSA 21
Figura 4. Determinantes de participación en los PSA 22
Figura 5. Cadena de Evaluación del Proceso para PSA. 26

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. VPN y VAE para las actividades económicas más representativas en los corregimientos de Medellín ($COP Millones constantes) con una TSD del 6,4% 38
Tabla 2. Valor de incentivo programa de PSA para el municipio de Popayán, cuenca del río Palacé 38
Tabla 3. Valor unitario del incentivo económico por acción de PSA en SMLV 41
Tabla 4. Tamaño de las parcelas circulares según categorías de tamaño de la vegetación 49
Tabla 5. Ecuaciones alométricas propuestas 50

INTRODUCCIÓN

En el contexto global de degradación de los ecosistemas y expansión de la frontera agrícola y urbana, las políticas públicas ambientales y de gobernanza ambiental se enfocan en el desarrollo de herramienta para la conservación, restauración y el cumplimiento de objetivos ambientales y de sostenibilidad. Para lograrlo, se han desarrollado instrumentos fundamentados en la teoría económica, la teoría de incentivos e innovación, para influir en los procesos de decisión sobre la asignación de los recursos naturales a diferentes usos, de tal manera que se adopten prácticas sostenibles (Blanco, 2008; de Blas et al, 2017). Estas herramientas serán claves para el futuro de las ciudades, pues la presión que genera la acelerada tasa de urbanización en el mundo sobre los recursos naturales impone un alto componente de incertidumbre que puede subsanarse al hacer una planeación estratégica de los ecosistemas.

Los instrumentos económicos y financieros aparecen desde la institucionalidad y pueden ser normativos o coercitivos, como subsidios a sectores o empresas con actividades beneficiosas para el ambiente y la imposición de impuestos o tarifas por contaminación. También se incluyen instrumentos transables, como los permisos o cuotas de contaminación. Para el sector privado, las inversiones e implementación de instrumentos voluntarios para la conservación son cada vez más llamativos al superar lo exigido por la norma con lo cual, los actores privados pueden ser reconocidos (o su marca) como promotores de la sostenibilidad (CEPAL, 2015). Con algunas excepciones, los instrumentos económicos y financieros presentan mayores posibilidades de conservación en el largo plazo y pueden ser más costo-efectivos que los instrumentos de comando y control, como lo son las normas ambientales o las penalizaciones monetarias. Pero sus resultados dependen de la interacción entre contexto, diseño y la implementación. Bien implementados pueden generar impactos sobre la equidad y el bienestar social, que están vinculados al acceso a los recursos naturales.

Los Pagos por Servicios Ambientales (PSA[1]), que consideran compensaciones por la provisión de Servicios Ecosistémicos (SSEE), son uno de los instrumentos o estrategias de gobernanza y política más populares en Latinoamérica, pues las condiciones socioeconómicas y la gran oferta ecosistémica en la región permiten cumplir metas ambientales minimizando costos. En concordancia con la agenda internacional y nacional, y los avances de la normatividad vigente, el Distrito de Medellín ha implementado su sistema de PSA reglamentado según el Decreto Municipal 1910 de 2016 y su modificatorio, el Decreto Municipal 602 de 2018, para lo SSEE Hídricos. Al ser un área urbana en constante crecimiento, la conservación de los recursos naturales y el equilibrio entre urbanización y cuidado del medio ambiente serán fundamentales para garantizar su futuro.

El presente documento tiene como objetivo generar recomendaciones para el ajuste del

[1] En este documento los servicios ambientales y servicios ecosistémicos (SSEE) se usan indistintamente. Un servicio ambiental se constituye por la acción humana sobre el ecosistema, por ejemplo, restauración de una zona degrada o establecimiento de sistemas silvopastoriles; mientras que un servicio ecosistémico proviene de la naturaleza sin la intervención humana, como la regulación del ciclo del agua o la polinización (Karsenty y Ezzine-de-Blas, 2014).

PSA Distrital, considerando los objetivos ambientales, eficiencia, equidad y reducción de la pobreza. Adicionalmente, se presentan recomendaciones para la implementación de los sistemas de monitoreo y seguimiento. Finalmente, con base en los históricos de la implementación del PSA Hídrico en el Distrito y la actualización de la normatividad nacional, analizada detalladamente en el Documento de soporte jurídico para el ajuste del Decreto 1910 de 2016 y su modificatorio Decreto Municipal 602 de 2018 y la propuesta de Decreto , se presentan recomendaciones desde la teoría económica para el ajuste del costo de oportunidad y la focalización espacial de los pagos con la presentación del mapa de áreas Elegibles para PSA, como productos de la consultoría.

El documento tiene en cuenta las características técnicas y de política que deben considerarse en el diseño de sistemas de PSA. *Los análisis presentados se basan en una cuidadosa revisión de literatura de la teoría económica que soporta los esquemas para compartir beneficios como los PSA, así como los documentos técnicos de implementación de incentivos de conservación como PSA en ciudades capitales de Colombia y América Latina, y la actualización de la normatividad vigente*. La implementación en el Distrito de Medellín es un reto porque se implementaría en zonas periurbanas y rurales con alta complejidad social y ambiental, sometidas a presiones urbanísticas significativas y con alto porcentaje de recambio de usos del suelo hacía suelo urbano.

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS PSA

1.1. DEFINICIÓN DE PAGOS POR SERVICIOS AMBIENTALES (PSA)

Los PSA son acuerdos institucionales que compensan a los productores de externalidades positivas y que ofrecen un conjunto de incentivos para proteger o mejorar la prestación de SSEE. Estos acuerdos son comunes en América Latina (Ezzine-De-Blas et al., 2016), en parte, debido al documento sobres aspectos prácticos de PSA (Wunder, 2005). A continuación, se presentan definiciones que permitirán entender los fundamentos de teoría económica que se prestarán posteriormente. Entre ellas, la estipulada por la normatividad colombiana es de mayor alcance porque considera el carácter voluntario de los acuerdos, los pagos condicionados y las modalidades de pagos en especie o dinero.

- Los PSA son instrumentos económicos de gobernanza ambiental, creados con el objetivo de garantizar la provisión de SSEE, a través de incentivos económicos, para cambiar comportamientos no deseables como el deterioro de los recursos naturales y reforzar los comportamientos positivos en términos ambientales (Wunder, 2015).

- Los PSA motivan a los propietarios de la tierra a adoptar prácticas respetuosas que garanticen la conservación y/o restauración de los ecosistemas mediante incentivos económicos (Engel et al., 2008). La premisa básica es compensar a los propietarios de la tierra por la adopción de prácticas de gestión que tienen resultados beneficiosos para el medio ambiente pero que no se adoptarían si no hubiera un pago compensatorio (Layton & Siikamäki, 2009; Lueck & Michael, 2003).

- Los PSA implican transferencias, monetarias o no monetarias, de recursos entre actores sociales, que crean incentivos para alinear las acciones colectivas e individuales referentes al uso de la tierra buscando el mejoramiento del recurso natural (Muradian et al., 2010).

- Los PSA implican la gestión colectiva de las acciones de diferentes actores sobre los SSEE fomentando la cooperación entre el sector público, como gobiernos nacionales, regionales y locales; y entidades privadas con intereses en la cooperación para el desarrollo y la conservación (de Blas et al., 2017).

- Un PSA es una transacción voluntaria, donde un servicio ambiental bien definido (o un uso de la tierra que aseguraría ese servicio) es “comprado” por al menos un comprador (…) a por lo menos un proveedor (…), sólo si el proveedor asegura la provisión del servicio ambiental transado (condicionamiento) (Wunder, 2005).

Desde el punto de vista normativo, para Colombia, en el Decreto 870 de 2017 en el Artículo 4, se define a los PSA como un:

- *“(..) incentivo económico en dinero o en especie que reconocen los interesados de los servicios ambientales a los propietarios, poseedores u ocupantes de buena fe exenta de culpa por las acciones de preservación y restauración en áreas y*

ecosistemas estratégicos, mediante la celebración de acuerdos voluntarios (…).

Estos programas, que surgieron en el ámbito de la agricultura (OECD, 2003) y para promover la provisión de SSEE asociados a la deforestación evitada, la protección de las aguas subterráneas, y las prácticas de gestión de la tierra dirigidas a aumentar el secuestro de carbono en los suelos agrícolas y forestales (Layton & Siikamäki, 2009; von Thaden et al., 2021), deberán cumplir con las siguientes características:

- **Condicionalidad:** los administradores de los SSEE reciben un pago *sí y sólo sí* cumplen con las obligaciones pactadas. Por tanto, los acuerdos deben ser fáciles de entender y estar acompañados de sistemas de monitoreo y sanción. El diseño del sistema de sanción podría desincentivar la adherencia a los programas. Podría, diseñarse una reducción del incentivo que sea creíble y relevante con respecto al valor económico del mismo (Ferraro & Pattanayak, 2006; van Hecken, Bastiaensen, & Huybrechs, 2015; Wunder, 2005, 2015).

- **Acuerdos voluntarios:** los proveedores de SSEE pueden elegir responder o no a los incentivos ofrecidos por el comprador potencial de manera voluntaria, a diferencia de los enfoques de mando y control (Wunder, 2005). Cuando la participación es voluntaria, se reducen los costos comparados con la compra de tierras por parte del Estado y se promueve el uso eficiente de recursos en la plantación de cultivos, la cosecha de madera u otras opciones de gestión de la tierra de los propietarios individuales (Layton & Siikamäki, 2009). Si, adicionalmente, se han incorporado criterios de equidad (Pascual et al., 2014) en los diseños de PSA, pueden convertirse en complemento de los programas de desarrollo local y alivio de la pobreza rural (Pagiola et al., 2005; van Hecken, Bastiaensen, & Huybrechs, 2015).

- **Pago:** establecen una transferencia de recursos (monetarios, especie o mixtos) del comprador al proveedor, posiblemente a través de un operador. Los pagos usualmente toman como punto de referencia el costo de oportunidad, es decir, los retornos económicos de actividades alternativas a las de conservación y uso sostenible del territorio. Estos pagos pueden ser individuales o colectivos; pueden ser por acciones de preservación, restauración o por promover prácticas productivas sostenibles.

Los programas de PSA son una alternativa a medidas normativas tradicionales. Sin embargo, al imponer responsabilidades a los propietarios, podrían generar deterioro de las áreas de conservación para evitar la adhesión obligatoria (Layton & Siikamäki, 2009).

1.2. FUNDAMENTOS ECONÓMICOS

Con base en la revisión cuidadosa de la literatura empírica y estudios de caso, se presentan los fundamentos económicos de los PSA. Estos, igualmente, son presentados Wunder, et al., (2018), como patrones comunes en el diseño de PSA exitosos a nivel global.

- ***PRIMER FUNDAMENTO. La disponibilidad a aceptar (DAA) compensaciones por parte de los proveedores probablemente exceda la disponibilidad a pagar (DAP) compensaciones por parte de quienes estén interesados en la provisión de SSEE***

Es un principio fundamental de los instrumentos económicos que indica que el valor percibido por el usuario debe exceder el valor de los costos esperados de los propietarios de la tierra para la provisión de los SSEE. Es decir, la DAP de los usuarios de los programas debe ser mayor o igual a la DAA de los proveedores. Esto reviste un desafío importante: se debe conocer el valor que otorgan ambas partes al SSEE en cuestión.

Por lo general, no conocemos el valor exacto que otorgan los propietarios por las dificultades para definir su valor económico. La naturaleza y el origen del valor se han discutido en diferentes áreas del conocimiento[2] desde antes de la aparición de la disciplina económica, pero es desde esta que se han logrado los aportes más importantes a su definición. La primera definición de valor económico apareció con la Riqueza de las Naciones de Smith, (1776) para quien el valor estaba dado por la cantidad de trabajo necesaria para producir un bien intercambiable, incluyendo el trabajo necesario para desarrollar cualquier capital real utilizado en la producción.

Durante los últimos 60 años se ha definido el valor económico en términos de *trade-offs*[3]*:* cuánto de un bien una persona está dispuesta a dejar de consumir para poder consumir otro. Esto depende del nivel de satisfacción total que el consumo de un bien puede generarle a un agente y del coste de oportunidad. Esta definición agrega una dimensión intrínsecamente subjetiva y contingente al concepto, a la vez que implica que lo que se mide cuando se hace referencia únicamente a la satisfacción de las necesidades objetivas es el valor de uso: el valor económico medido como el precio de intercambio, en el que se puede utilizar dinero u otro bien numerario (Hanemann, 2007).

A partir de esta última definición, aparece el concepto de Valor Económico Total (VET) que permite la valoración económica de bienes de no mercado, dentro de los cuales se encuentran los SSEE. El VET está conformado por los valores de uso y de no uso (Ver Figura 1) y se describen a continuación. El VET debería considerarse para la definición del valor del incentivo y la definición del costo de oportunidad para los Instrumentos económicos para la conservación. (Figura 1).

Dentro de los valores de uso, se encuentra el valor de uso directo que obtienen las personas en su uso consuntivo (la mayoría de los servicios de provisión) o no consuntivo (como los servicios culturales o turísticos) de los ecosistemas. En segundo lugar, el valor de uso indirecto que corresponde al beneficio que se obtiene de funciones ecosistémicas que se aprovechan indirectamente (León et al., 2012). Finalmente, aparece el valor de opción que constituye la posibilidad de postergar el disfrute de un recurso, bien o servicio para un momento futuro (Martín-López et al., 2012).

Por su parte, los valores de no uso se dividen en el valor de existencia, que está basado en el beneficio que se obtiene por el simple hecho de que un recurso, bien o servicio exista y el valor de legado, que está basado en la satisfacción que una persona adquiere al saber que las futuras generaciones podrán disfrutar de cualquiera de los recursos, bienes o

[2] Para Aristóteles, por ejemplo, el valor era intrínseco al propósito natural del bien, al uso que se le da. Mientras que, para los humanistas italianos, el valor reflejaba una preferencia humana, más que la satisfacción de una necesidad (Hanemann, 2007).

[3] O tasa marginal de sustitución del consumo.

servicios ecosistémicos (Martín-López et al., 2012).

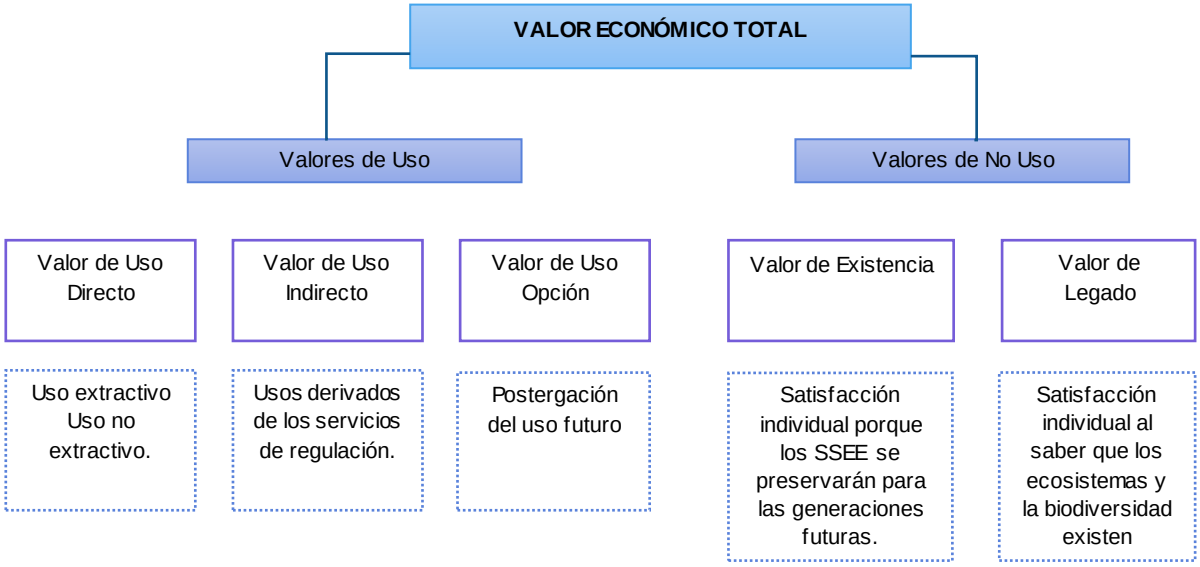


Figura 1. Valor Económico Total (VET)
Fuente: Elaboración propia con información de (MinAmbiente, 2018).

- ***SEGUNDO FUNDAMENTO. Los usuarios de SSEE son capaces de organizar pagos internamente***

Los SSEE tienen características de bienes públicos y privados, es decir, se consideran recursos comunes. Como bienes públicos no se puede excluir de su consumo a quien desee acceder al bien. Respecto a su característica de bien privado, aparece la rivalidad en el consumo, pues su consumo por parte de un individuo impide el consumo simultáneo por parte de otros o aparecen problemas de congestión, reduciendo más no impidiendo el consumo (Varian, 2014). Por la rivalidad, los recursos comunes enfrentan problemas de agotamiento o sobre explotación[4]. La solución más eficiente a su sobre explotación requiere de la presencia de los actores clave ya no solo como personas que adoptan los instrumentos sino como participantes en su definición.

El trabajo de Elionor Ostrom, premio Nobel de Economía en el año 2009, mostró que quienes utilizan los recursos naturales "frecuentemente desarrollan sofisticados mecanismos de decisión y aplicación de reglas para manejar conflictos de interés… promoviendo resultados positivos". Poniendo en el centro de los esfuerzos de conservación en todos los niveles la importancia de crear mecanismos consensuados con los grupos de interés para lograr los mejores resultados (Ostrom, 1990).

Los PSA representan una forma contemporánea de responsabilidad ambiental y social que

[4] La Tragedia de los Comunes: una situación en la cual varios individuos motivados solo por el interés individual y actuando independiente pero racionalmente, destruyen un recurso compartido limitado (el común) aunque a ninguno de ellos, ya sea como individuos o en conjunto, les beneficia tal destrucción (Ostrom, 2009).

por tradición siempre existió en las comunidades rurales: *"en el pasado, los bienes colectivos estaban regulados por reglas y normas sociales comunes y aceptadas por todos, las cuales eran arbitradas por una autoridad reconocida y contemplaban serias sanciones para quienes las trasgredieran, como la exclusión del grupo social" (de Blas et al., 2017).*

- ***TERCER FUNDAMENTO. Los propietarios de tierras y los administradores de recursos deben estar a cargo de los procesos de toma de decisiones que determinarán la provisión de SSEE***

Relacionado con la participación de los actores clave, es fundamental que los propietarios de las tierras donde se realizarán los proyectos estén comprometidos con el cumplimiento de los contratos, pero también hagan parte del proceso de establecimiento de las reglas que en ellos están consignadas. En muchos casos será fundamental que no se les impongan los lugares donde se ubicarán las áreas de conservación, sino que sean pactadas con los propietarios, que por su conocimiento del terreno sabrán cuáles están dispuestos a ofrecer, incrementando la adhesión a los programas.

- ***CUARTO FUNDAMENTO. Cualquier motivación intrínseca preexistente para una buena administración no se ve desplazada por incentivos extrínsecos de PSA***

Una vez se han establecido los instrumentos, estos deberían convertirse en incentivo para ofrecer más SSEE y fortalecer su proceso de conservación, sin desplazar iniciativas anteriores y sin verse desplazados por la existencia de motivaciones preexistentes, externas al programa. Esto refuerza la importancia de la participación de los propietarios de las tierras en el proceso de establecimiento de las reglas de los contratos, lo que garantizará su compromiso con el cumplimiento y sostenibilidad de los programas.

1.3. TIPOS DE PSA

La literatura especializada clasifica los PSA según los actores que definen las reglas, según el tipo de objetivos y las características de los pagos. El primer grupo se clasifica los PSA como Piguvianos y Coseanos (Muradian et al., 2010; Wunder, Brouwer, Engel, Ezzine-De-Blas, et al., 2018). Los programas Pigouvianos son diseñados y financiados completamente por el gobierno, mientras que los programas Coseanos requieren de la participación de agentes privados. Las primeras definiciones de PSA guardan una estrecha relación con el teorema propuesto por Ronald Coase (1960), premio Nobel de Economía, que sostiene que:
"las situaciones socialmente subóptimas pueden resolverse mediante transacciones voluntarias similares a las del mercado, siempre que los costos de transacción sean bajos y los derechos de propiedad estén claramente definidos y se apliquen" (Pattanayak et al., 2010).

De acuerdo con el Teorema de Coase, en ausencia de costes de transacción y de grandes asimetrías de información, si los derechos de propiedad están bien definidos, los mercados competitivos compuestos por agentes racionales deberían producir resultados pareto-

eficientes[5], independientemente de cómo se asignen inicialmente esos derechos (Coase, 1937; Mabsout & Radmard, 2020)[6]. Así, los PSA definidos entre actores privados, en ausencia de una intervención de tercera parte (gobiernos, intermediarios) son una respuesta coaseana a un problema de gobernanza ambiental que permite internalizar una externalidad positiva o corregir una situación socialmente subóptima como la provisión escasa de SSEE (Bingham et al., 2021; Diswandi, 2017; Wunder, Brouwer, Engel, Ezzine-De-Blas, et al., 2018).

La propuesta Coaseana destaca el papel de la confianza y el capital social para mejorar la acción colectiva (Bremer et al., 2014; Hendrickson & Corbera, 2015; van Hecken, Bastiaensen, & Huybrechs, 2015), lo que lleva al reconocimiento de la necesidad de investigación multidisciplinar para formular incentivos que conduzcan a una voluntad cooperativa y un compromiso para la conservación de largo plazo (van Hecken, Bastiaensen, & Huybrechs, 2015).

Lo más común es que se implementen y documenten PSA con enfoques híbridos, que toman elementos de ambos tipos. Esta perspectiva destaca que los PSA son complementarios a un conjunto de políticas más amplio o a una estructura de gobernanza híbrida, pues difícilmente se logrará la conservación solo por la voluntad de cooperación de los individuos (Diswandi, 2017; Muradian & Gómez-Baggethun, 2013; Sattler et al., 2013; Wunder, Brouwer, Engel, Ezzine-De-Blas, et al., 2018).

Los sistemas híbridos compensan los altos costos de los sistemas Pigouvianos al hacerlos más eficientes y reducen las dificultades de los programas Coaseanos al establecer un marco político e institucional bien definido. Sin embargo, son un desafío dado que la negociación directa entre los actores permite realizar transacciones adaptadas a la satisfacción de intereses y limitaciones específicas. Un conjunto dado de PSA financiados por los usuarios puede ser muy variable y heterogéneo, y es aquí donde toma mayor relevancia el papel de la política pública en la creación de un marco que permita establecer reglas del juego en las que los agentes privados puedan tomar las decisiones sobre su propia tierra siempre que exista una condicionalidad para hacer parte de los programas (Bingham, 2021). Además, las mejoras en la eficiencia requieren la ausencia de una alternativa de menor coste para un incremento en los beneficios por provisión de los SSEE en comparación con el *statu quo*, una meta ambiciosa dada la incertidumbre y los tiempos de espera en muchos acuerdos de PSA (Bennett et al., 2014; Bingham, 2021).

Estos sistemas híbridos, de acuerdo con la fuente de financiación, pueden ser públicos, privados o mixtos, lo que implica que la forma como los operadores, financiadores y actores relevantes conciben los alcances y objetivos de los esquemas de PSA se puede distanciar de conceptos de la economía ambiental, por lo cual los esquemas se desenvuelvan de maneras diversas en los territorios dependiendo de quién tenga mayor influencia en los sistemas (Moros et al., 2020).

---

[5] Situaciones en las que no se puede mejorar el bienestar de uno de los participantes, sin empeorar el del otro, y, por tanto, se han agotado las ganancias del intercambio (Varian, 2014).

[6] El teorema de Coase ha tenido diferentes interpretaciones en la teoría, para evitar confusiones, en este documento se hace referencia específicamente a la definición presentada.

La segunda clasificación se puede hacer por tipos de objetivos como PSA de creación de activos y PSA de restricción del uso. Los primeros, pagan a los propietarios para que establezcan o restauren los SSEE mediante la adopción de prácticas beneficiosas para el medio ambiente que también pueden ser rentables, por ejemplo, prácticas silvopastoriles (Calle, 2020; Pagiola et al., 2005; Wunder, 2005). Mientras que los segundos, pagan a los propietarios por restringir el uso de un recurso, por ejemplo, la protección de los bosques. Los sistemas de restricción del uso suelen basarse en contratos de larga duración (por ejemplo, mayores a 10 años) para garantizar que los propietarios mantengan los comportamientos de conservación inducidos por el PSA a largo plazo (Etchart et al., 2020; Wunder, 2005).

Una última clasificación puede darse de acuerdo con el tipo de pago: monetario, en especie o mixto. Los pagos monetarios entregan dinero a quienes hacen parte de los programas, los pagos en especie se enfocan a la provisión de insumos para proyectos productivos sostenibles. Los PSA también podrían ser clasificados por el tamaño del área (a nivel nacional, regional o de cuenca) y la focalización de los pagos.

1.4. EL ÉXITO DE LOS PSA COMO INCENTIVOS DE CONSERVACIÓN

Independientemente del tipo de PSA que se seleccione, existen consideraciones importantes, desde el punto de vista de la teoría económica para que los PSA se constituyan en verdaderos incentivos para la conservación y se describen a continuación:

1.4.1. *Consideración 1. Los contratos deben ser sencillos y construidos socialmente*

Los contratos deben ser sencillos, claros y ser construidos socialmente con la participación de los gobiernos y las organizaciones sociales como mediadores, sin servir *a priori* a los intereses corporativos globales (Corbera et al., 2009). Según Etchart et al., (2020), los acuerdos de este tipo, que además tienen contratos condicionados conducirán a una mayor financiación privada y a la asignación más eficiente de los escasos recursos de conservación (Ferraro & Pattanayak, 2006).

1.4.2. *Consideración. 2 Los fondos de los PSA deben estar garantizados*

La inestabilidad en los pagos podría detener la implementación del esquema e incluso revertir los resultados obtenidos, así como poner en riesgo la participación futura. Los programas de incentivos económicos son usualmente financiados por gobiernos, fondos multilaterales o bilaterales, y el Estado desempeña el papel de comprador o intermediario (Ezzine-De-Blas et al., 2016), esto implica considerar que las agencias gubernamentales están sujetas a presiones que pueden provocar inestabilidad institucional y económica (Engel et al., 2008; Karsenty & Ongolo, 2012). Adicionalmente, la mayoría de estos organismos tienen horizontes de financiación limitados para la conservación. Por tanto, los proveedores pueden reaccionar limitando sus períodos de participación en los programas e incluso no participando (da Conceição et al., 2018; Wunder et al., 2018). En el caso específico de PSA, aquellos definidos para la “creación de activos” requieren de mayores pagos en el corto plazo para las inversiones iniciales y pueden no requerir pagos continuos

para obtener resultados de conservación a largo plazo (Calle, 2020). En contraste, los PSA de "restricción del uso" requieren de pagos continuos y garantías de flujos de recursos a largo plazo (Etchart et al., 2020; Wunder, 2015).

1.4.3. *Consideración 3. Equidad, pobreza y derechos de los participantes*

Los PSA pueden alcanzar objetivos de conservación del medio ambiente y a la vez contribuir a la reducción de la pobreza por incremento de recursos en poblaciones vulnerables. Como tal, pueden buscar la participación de propietarios de escasos recursos en sus programas (Grieg-Gran et al., 2005). Sin embargo, es probable que estos participantes no dispongan de recursos legales para proteger sus derechos en caso de incumplir las condiciones de los programas, especialmente en programas de restauración de ecosistemas en los que ellos mismos deberán realizar las actividades pactadas. Esto puede incrementar su aversión a adherirse a los programas o ser utilizado como mecanismo de negociación, pues revertir (o amenazar con revertir) su actividad de conservación contratada puede ser su único recurso de influencia o defensa (Etchart et al., 2020). Otro aspecto relacionado es el tamaño de las parcelas, pues se ha mostrado que los proveedores con parcelas más grandes suelen tener más éxito, posiblemente debido a las economías de escala[7]. Quienes tienen menores recursos, probablemente tendrán parcelas más pequeñas y por tanto, se deben diseñar estrategias para una mayor participación en este grupo y que se puedan reducir los costos asociados al actividad de conservación (Bingham, 2021). Este último aspecto es fundamental en territorios con alta presión de urbanización en los que la participación de personas con predios de menor tamaño puede contribuir a la conservación de los ecosistemas en los lugares más urbanizados.

1.4.4. *Consideración 4. Casos de éxito y participación en el largo plazo*

Esto se relaciona con la percepción de éxito de los PSA que tienen los participantes presentes y potenciales y los aspectos que incrementan su participación de largo plazo. Es más probable que los participantes continúen interesados si perciben que el programa es exitoso, sus razones para participar son distintas a la ganancia monetaria, o tienen suficientes recursos financieros para superar los costos de oportunidad asociados con la conservación. Esto hace fundamental encontrar incentivos compatibles con las personas de menores recursos y acompañar los programas con campañas que permitan a los proveedores encontrar razones adicionales a la compensación monetaria para participar. También se considera que la persistencia después del pago es más probable cuando se mantienen los pagos en el largo plazo, la práctica de conservación es sencilla, se convierte en habitual y más fácil de realizar con el tiempo. Dado que los pagos compensan a los proveedores de los SSEE por renunciar a las prácticas perjudiciales para el medio ambiente, se espera que los participantes en el PSA de conservación enfrenten una gran presión de volver a sus prácticas de uso de la tierra anteriores al PSA una vez que finalicen

[7] Las economías de escala son una situación en la que una empresa reduce sus gastos de producción al expandirse, se asocian a la situación donde una unidad productiva reduce su costo medio de producción en la medida que aumenta la producción hasta llegar a un costo medio mínimo, en donde se está utilizando al máximo la capacidad para producir (Varian, 2014).

los pagos (Dayer et al., 2018; Etchart et al., 2020; Ferraro & Pattanayak, 2006).

1.4.5. *Consideración 5. Justicia en la asignación de recursos*

Se debe garantizar que las partes interesadas perciban los procesos de asignación y fijación del valor del incentivo como justos y transparentes, lo cual podría incrementar la probabilidad de participación y éxito (Bingham et al., 2021). Sin embargo, estos conceptos son matizados, multidimensionales y relativos, y están condicionados por cuestiones como la escala y la comprensión del funcionamiento del sistema, por esto, deben incorporarse a la hora de hacer el diseño (Etchart et al., 2020).

1.4.6. *Consideración 6. Reducción de los costos de transacción*

La participación depende de los costos de transacción, es decir, de los costos de puesta en marcha (búsqueda, negociación, contratación) y de funcionamiento de un sistema de PSA (administración, seguimiento, aplicación), que se distribuyen entre los compradores, operadores y los vendedores. Los costos de transacción de los PSA son muy variables y dependen del contexto institucional en que se generen. En términos generales, la evidencia de PSA en el mundo, muestra que los costos de transacción son más elevados cuando intervienen muchos pequeños propietarios y múltiples actores, cuando las instituciones y los derechos de propiedad son débiles y cuando los costos de obtener información de referencia, de seguimiento del uso de la tierra y de la prestación de servicios son elevados. Las economías de escala parecen reducir los costos medios de transacción en los sistemas de mayor envergadura, como los sistemas de pagos públicos de ámbito nacional. Desgraciadamente, esto suele producirse a costa de una menor focalización y adicionalidad en los SSEE. Los costos de puesta en marcha tienden a ser más altos que los costos de funcionamiento, especialmente en el caso de los sistemas piloto; por ello, las subvenciones iniciales tienen un papel positivo en este sentido (Ferraro & Pattanayak, 2006).

1.5. EFICIENCIA Y EQUIDAD DE LOS PSA

De acuerdo con Wunder (2007) entender la eficiencia de los PSA, requiere partir de la pregunta ¿tiene el sistema propuesto "adicionalidad" suficiente?, si la respuesta es afirmativa, se puede decir que el esquema es eficiente. La adicionalidad se refiere a la diferencia en la provisión de SSEE entre el escenario con PSA y la línea de base sin PSA. El establecimiento de la línea base es un desafío en sí mismo. Existen líneas de base estáticas (Figura 2, escenario A) bajo el supuesto que los SSEE permanecen constantes en un escenario de no intervención. La diferencia con esta línea de base estática se atribuye entonces a intervenciones específicas del PSA. Sin embargo, también puede suponerse que el punto de partida debe ser decreciente (Figura 2, escenario B). No obstante, las regiones o los países que se encuentran en fases avanzadas de su proceso de transición forestal también recuperan la cubierta forestal como resultado de sus estrategias de desarrollo incluso sin la creación de incentivos o intervenciones específicas, como es el caso de Costa Rica. En este caso, la adicionalidad es la diferencia entre el incremento en la provisión de SSEE como resultado de la estrategia de desarrollo del país y el incremento por PSA (Figura 2, escenario C).

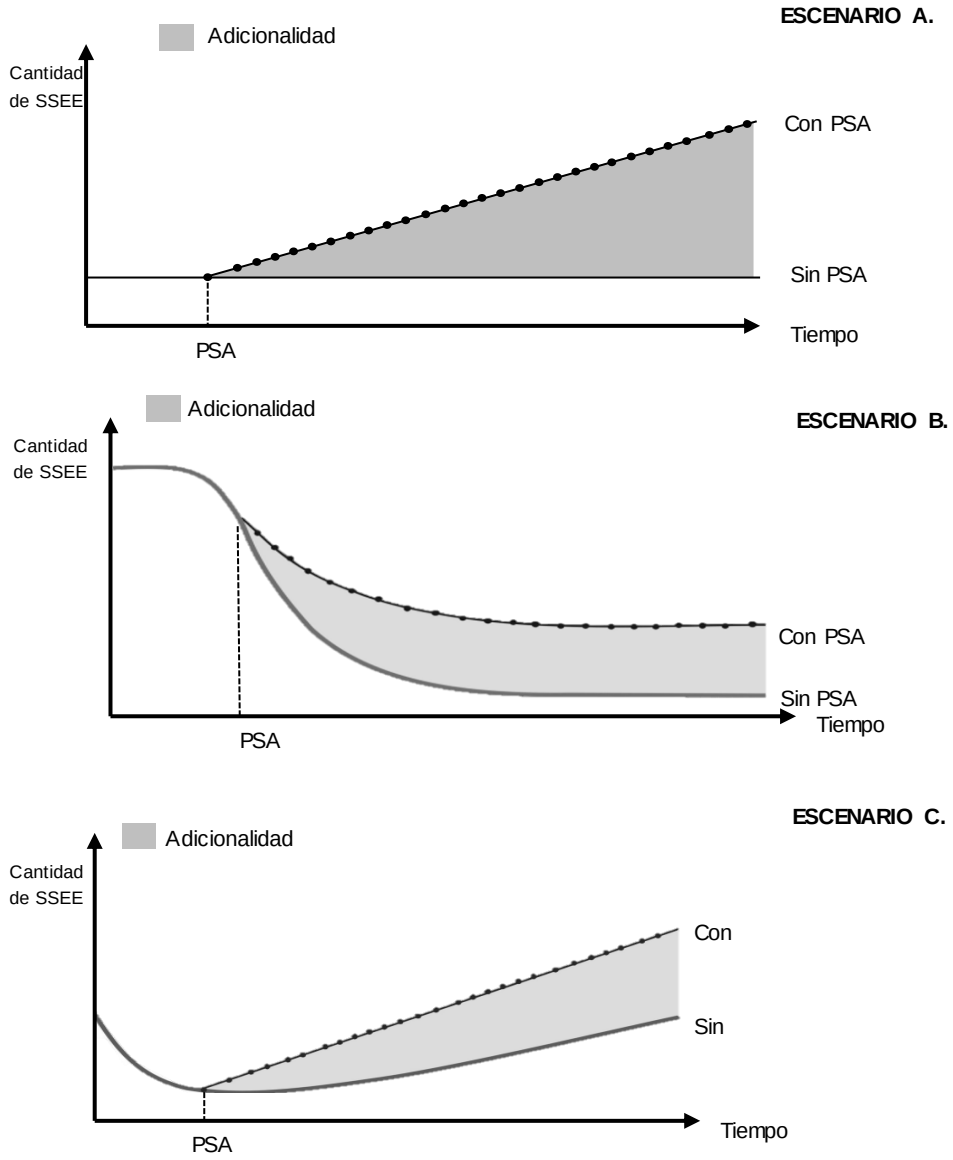


Figura 2. Escenarios de adicionalidad de PSA.
Escenarios: (a) estático, (b) en deterioro, y (c) mejora de la línea base de prestación de servicios. Las líneas punteadas muestran los SSEE con PSA; las líneas sólidas muestran la línea de base contrafactual "sin PSA". La adicionalidad es el incremento de los SSEE con respecto a la situación de referencia contrafactual y está representada por el área gris.
Fuente: Adaptado de Wunder, (2007).

Por tanto, la elección de la línea de base es importante para la evaluación de los impactos ambientales de los programas de PSA y su eficiencia. Si en una situación como la de Costa Rica, se selecciona una línea base estática, es posible que se pague por un nivel de conservación que habría ocurrido de todos modos (adicionalidad reducida) porque la línea base está aumentando. Por el contrario, si en realidad se tiene un Escenario B y se opta

por una línea base estática, pueden crearse programas o incentivos incapaces de frenar la pérdida. Así, adoptar un punto de partida erróneo puede reducir la eficiencia de los PSA o, en el peor de los casos, generar inversiones espurias: si no se consigue un cambio de comportamiento de facto, no se generará una provisión adicional de SSEE (Wunder, 2007). Dos conceptos importantes para la eficiencia de los PSA son las Fugas y la Permanencia, relevantes cuando el alcance de los SSEE excede en tiempo o espacio el alcance de la intervención específica del PSA (por ejemplo, cuando un esquema de PSA quiere abordar un problema global y/o de largo plazo a través de una intervención local puntual y/o de corto plazo). Las fugas se generan cuando un esquema de PSA financia la reforestación de una zona determinada, pero esto provoca presiones de deforestación en una zona vecina, se dice entonces que el sistema PSA tuvo una fuga, es decir, logró una alta adicionalidad sólo para la zona del proyecto y no para el objetivo global más amplio. La permanencia se refiere a la continuidad de la provisión de los SSEE una vez terminado el programa. Si, tras la finalización del programa, todos los árboles reforestados se recogen inmediatamente para su uso como leña, la permanencia será menor que si los árboles se dejan en pie (Wunder, 2007).

Los esquemas de PSA se enfrentan a contradicciones intrínsecas, al tener que equilibrar los objetivos de adicionalidad y eficiencia con las consideraciones de equidad y de recompensa por la gestión (Wunder, 2007). En este sentido, la eficiencia de los PSA dependerá de cómo se eviten las situaciones de selección adversa, que suceden cuando el programa selecciona participantes que habrían cumplido con las acciones acordadas de conservación y restauración sin necesidad del incentivo económico. Una manera de evaluarlo es pensar que la conservación inducida por los pagos no continuará una vez que éstos cesen (Engel et al., 2008) y que la persistencia de las acciones de conservación en ausencia de pagos puede revelar inversiones de conservación mal dirigidas porque se están asignando recursos escasos a acciones que no los requerían (Ferraro & Pattanayak, 2006; Pattanayak et al., 2010).

Esto no significa, sin embargo, que se deban dejar de lado las consideraciones de equidad y requiere de una visión equilibrada de ambos conceptos en su diseño. Los PSA deben tener en cuenta tres dimensiones interrelacionadas: equidad en el acceso a los programas, equidad en los procesos de toma de decisiones y equidad en los resultados (K. Brown & Corbera, 2003). La equidad en el acceso se refiere a quiénes pueden acceder a los beneficios y se relaciona con los criterios de elegibilidad. Por ejemplo, los PSA pueden reforzar estructuras de poder inequitativas, cuando no incorporan criterios de elegibilidad que permitan participar a propietarios informales (Milne & Adams, 2012; Rodríguez-de-Francisco & Budds, 2015). Pero pueden mejorar condiciones de desigualdad preexistentes, de modo que más comunidades o familias puedan beneficiarse de los incentivos (Hendrickson & Corbera, 2015; van Hecken, Bastiaensen, & Huybrechs, 2015).

La equidad en el proceso se refiere a cuánto participan los diferentes grupos de interés en la toma de decisiones sobre el diseño y la implementación de los esquemas. Los PSA pueden mejorar las condiciones locales, por ejemplo, cuando logran empoderar a los beneficiarios para participar en los organismos de gobernanza local (Martín-López et al., 2012); pero pueden fomentar también mecanismos de toma de decisión excluyentes, que refuercen las relaciones de poder preexistentes (Pascual et al., 2014). Finalmente, la

equidad en los resultados permite establecer qué tanto pueden contribuir a mejorar los ingresos económicos de los participantes y cuál es la manera de distribuir los beneficios derivados de los esquemas. La evidencia empírica sobre mejora en ingresos es limitada, pero sugiere un efecto positivo de los PSA en China, México y Mozambique (Hegde & Bull, 2011; Sims & Alix-Garcia, 2017; UCHIDA et al., 2007).

1.6. CRÍTICAS Y LIMITACIONES DE LOS PSA

Con la popularidad de los PSA, han aparecido también múltiples críticas sobre sus limitaciones y dificultades. Existen tres puntos comunes en estas críticas:

1. Los sistemas de PSA podrían ser inapropiados e incluso perversos, ya que pretenden presentar una solución basada en el mercado a los problemas medioambientales causados por el propio funcionamiento del capitalismo (Mcafee, 1999). Según esta corriente, los PSA no se preocupan tanto por salvar la naturaleza sino por encontrar nuevos ámbitos de actuación para los mercados (van Hecken, Bastiaensen, & Huybrechs, 2015). Este punto es una preocupación teórica que debe tenerse en cuenta de manera práctica al momento de crear incentivos y esquemas en los que el gobierno (y no las corporaciones) son los principales clientes.

2. Las transacciones de PSA ocultan asimetrías de poder más profundas y, por tanto, corren el riesgo de reproducir las desigualdades existentes en el acceso y el uso de los recursos naturales. Los PSA pueden dar lugar a una mayor competencia por el control de los valiosos flujos de SSEE que los proporcionan, dando lugar a nuevas formas de despojo medioambiental y de "acaparamiento verde" en detrimento de los más vulnerables (Fairhead et al., 2012; van Hecken, Bastiaensen, & Huybrechs, 2015). En este sentido, es fundamental garantizar que las personas en condiciones más vulnerables, con menores recursos y menor acceso a los SSEE puedan hacer parte de los programas. Esto se relaciona también con la creación de incentivos para propietarios con parcelas más pequeñas.

3. La naturaleza de los PSA oculta cuestiones de justicia ambiental global. El argumento del "menor coste de la conservación" que subyace en la mayoría de los mecanismos internacionales de comercio de SSEE implica una oportunidad de comprar la conservación a un precio más bajo en los países en desarrollo. Sin embargo, esto puede equivaler a pagos por "renunciar al desarrollo", compensando a las poblaciones locales según su nivel de pobreza actual. Esto plantea cuestiones éticas fundamentales que comprometen las sinergias beneficiosas para todos de los PSA, tanto a nivel de desarrollo como de conservación (Muradian & Gómez-Baggethun, 2013; van Hecken, Bastiaensen, & Huybrechs, 2015). En este punto, será fundamental que los pagos se alejen de la base de los salarios precarios de los países en desarrollo y empiecen a incorporar aspectos como el valor de la tierra y el valor de los SSEE (Greenleaf, 2020).

2. CRITERIOS PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PSA

En la primera etapa del diseño e implementación de PSA debe considerar los criterios de participación y los cuatro fundamentos económicos; en la segunda etapa, correspondiente a la implementación, se debe considerar la focalización espacial, diferenciación de pagos y condicionalidad (Muradian et al., 2010; Pascual et al., 2014; Wunder, Brouwer, Engel, Ezzine-de-Blas, et al., 2018); Finalmente, en la etapa tres se presentan los de monitoreo y evaluación. La Figura 3 presenta el diseño esquemático y se describen a continuación:

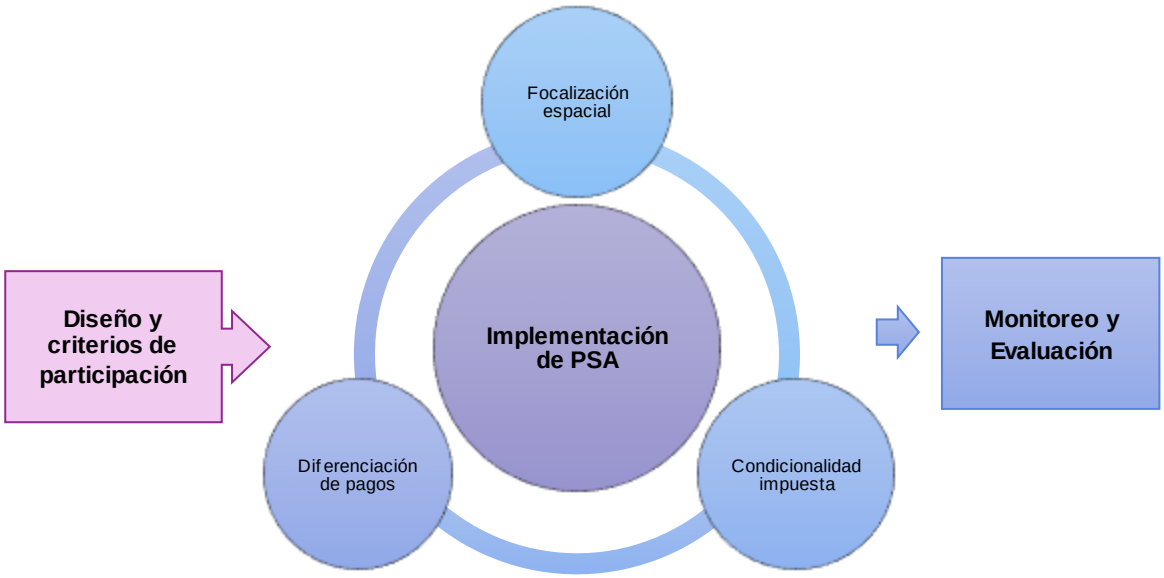


Figura 3. Aspectos fundamentales en el diseño e implementación de los PSA
Fuente: Adaptado de (Wunder, Brouwer, Engel, Ezzine-De-Blas, et al., 2018).

2.1. ETAPA 1. DISEÑO Y CRITERIOS DE PARTICIPACIÓN

Las teorías de la adopción de los instrumentos económicos para la conservación ambiental parten de la teoría planteada por Albrecht (1969) que considera la adopción de un instrumento como una innovación. Por tanto, deben entenderse los aspectos que influyen en la decisión de innovar y considerarlos en el diseño e implementación de los PSA (Wünscher et al., 2011). En la Figura 4 se presentan los principales determinantes de la participación en un esquema PSA las características sociodemográficas de los participantes, el apoyo recibido, la presencia de actores clave y el acceso a información. Los determinantes se presentan descritos posteriormente.

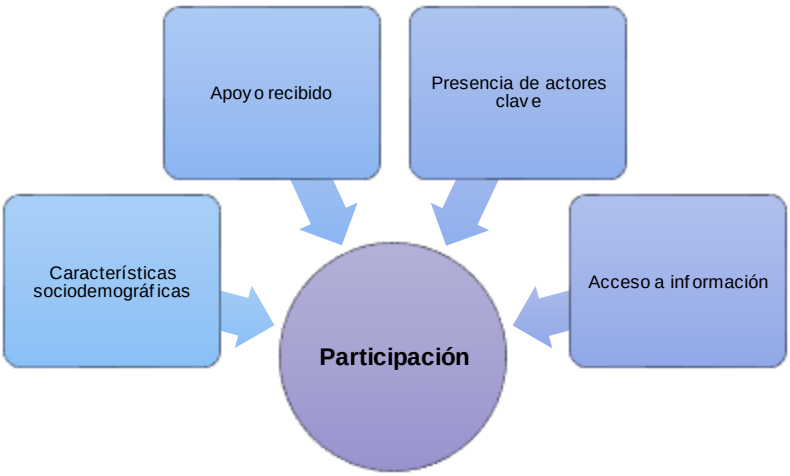


Figura 4. Determinantes de participación en los PSA
Fuente: Elaboración propia con información de (Wünscher et al., 2011)

- **Características sociodemográficas:** las características sociodemográficas de los proveedores de SSEE afectan su participación en los PSA, especialmente los niveles de ingreso y educación. Los niveles de ingresos afectan la participación en PSA dado que los propietarios con menores ingresos son menos propensos a asumir el riesgo de "innovar" en su actividad económica, por considerar que esto podría llevarlos a la dependencia económica o incluso, poner en peligro sus ingresos. Respecto al nivel educativo, cuanto más alto, mayor es la capacidad de los propietarios para identificar estrategias y es más probable que busquen información y soluciones no tradicionales (Wünscher et al., 2011). Otros aspectos importantes son las relaciones de género, la confianza y la distribución de la riqueza en el lugar en que se implementan, que pueden influir directamente tanto en la propensión como en la capacidad de cumplimiento. Estas características toman especial importancia en países de bajos ingresos, porque enmarcan las expectativas de los participantes que los diseñadores deben cumplir para promover la adherencia y permanencia (Bingham et al., 2021).

- **Presencia de actores claves en cada comunidad:** cuando participan del proceso y adoptan los instrumentos, por su fuerte influencia en las opiniones colectivas, se incrementa la confianza de otros en la innovación y es más probable que lo adopten ellos mismos (Wünscher et al., 2011).

- **Apoyo del Estado:** el apoyo recibido del Estado y otras instituciones para la toma de decisiones, así como la solución de problemas que puedan aparecer, incrementarán la probabilidad de adopción. En este sentido será fundamental lograr información simétrica y completa para todos los participantes (Greenleaf, 2020). Este determinante se relaciona con el determinante de acceso a la información.

- **Acceso a la información:** una de las principales necesidades de información es la relativa a la inscripción potencial en los programas de PSA. Cuando la inscripción es voluntaria -característica clave de los programas de PSA-, un mejor conocimiento de la inscripción ayuda a las agencias de conservación a evaluar mejor los programas

alternativos y a mejorar su rendimiento (Layton & Siikamäki, 2009).

El acceso a la información minimiza las limitaciones que aparecen por la aversión al riesgo de los proveedores. La aversión al riesgo es la preferencia de un inversor por evitar incertidumbre en sus inversiones financieras (Varian, 2014), cuanto menor sea la aversión al riesgo de un propietario, mayor será la probabilidad de adherirse a los programas de incentivos económicos. Este es un aspecto subjetivo que no se puede medir y es muy heterogéneo entre los participantes pero que puede reducirse mediante el suministro de información precisa y oportuna a los potenciales participantes de los programas. Más allá, más información sobre los beneficios y el apoyo que se entregará a los proveedores incrementará también la adhesión.

2.2. ETAPA 2: IMPLEMENTACIÓN DE LOS PSA

- **Focalización espacial:** se refiere a la necesidad de considerar que los SSEE y su influencia en el cambio en la calidad de los ecosistemas se distribuyen de forma desigual espacialmente. Por tanto, dependiendo de la distribución algunos lugares son más relevantes que otros a la hora de considerar la implementación de PSA. Con recursos limitados, es fundamental diseñar instrumentos dependiendo de la distribución de SSEE, e incluso diseñar diferentes tipos de incentivos para diferentes áreas y distribuciones.

  La focalización espacial implica que, según la investigación en PSA, estos deben: [...] suficientemente flexibles como para adaptarse a las necesidades locales y a las limitaciones de varias partes que los emplean, pero lo suficientemente robustos como para mantener una identidad común en todos los sitios [...] débilmente estructurados en el uso común, y [...] fuertemente estructurados en el uso individual de los sitios" (Bingham et al., 2021).

  Espacialmente también aparece el enfoque de paisaje en el diseño de PSA, que implica que no se busca solo adherir a proveedores atomizados sino lograr un "paisaje de conservación" que favorezca la conectividad y sostenibilidad (von Thaden et al., 2021). Por tanto, los programas deben ir más allá de hábitats o ecosistemas aislados y considerar las interacciones entre ecosistemas dentro del mismo paisaje (Calvet-Mir et al., 2015). Esto puede contribuir a incrementar la conectividad ecológica y la adicionalidad ambiental. Adicionalmente, considerar la interdependencia entre el sistema ambiental y social para ofrecer otros SSEE como los culturales que pueden generar ingresos a las comunidades participantes (por turismo, por ejemplo). Tal como plantean Reed et al., (2017), a través de la focalización en el paisaje y no solo en las hectáreas específicas dedicadas a la conservación, se puede incentivar la participación y promover una visión positiva de los PSA que facilite la adherencia de nuevos proveedores en el futuro.

  Esto requiere de coordinación espacial que puede introducirse en los programas a través de la estimulación de la coordinación entre los propios proveedores (bottom-up), o al ofrecer mayores precios cuantas más áreas se adhieran en una zona (top-down), o ambos. Estos diseños suelen suponer que los propietarios de las tierras tienen un

conocimiento preciso de sus propios costes de oportunidad (Bingham et al., 2021).

- **Diferenciación de pagos**: como los instrumentos deben considerar la heterogeneidad socioeconómica de los usuarios de SSEE y los diferenciales en los costos de conservación, aparece la necesidad de hacer diferenciación de pagos. Los proveedores pueden diferir en densidad y también en costos de provisión, por ejemplo, los propietarios de tierras de valor más alto (por suelos más fértiles o por estar más cerca de los mercados agrícolas) probablemente deberán renunciar a mayores ingresos por convertir sus tierras en reservas y por tanto, pueden requerir mayores compensaciones por cubrir sus costos de oportunidad. A menos que se tengan proveedores de SSEE homogéneos, los implementadores de los instrumentos deben ofrecer diferentes pagos de acuerdo con los usos sustitutos de la tierra y los beneficios ambientales específicos del lugar (Wunder et al., 2018).

- **Condicionalidad impuesta**: una vez que los participantes han sido seleccionados y los niveles de pago establecidos, la condicionalidad es el núcleo de los instrumentos. Esto se refiere a la combinación del monitoreo a los participantes de los programas para verificar que están cumpliendo con los compromisos pactados (típicamente combinando tecnologías de detección con verificación en el terreno *in situ*) y sanciones impuestas a quienes incumplen. En este sentido, el contrato que se establece debe tener mecanismos de sanción creíbles, fáciles de monitorear y ejecutar porque de lo contrario, no serán cumplidos. En este aspecto será fundamental acudir a la economía institucional y la teoría de contratos (Wunder et al., 2018).

  Un aspecto fundamental de la condicionalidad será desarrollar estrategias para gestionar el riesgo tanto de selección adversa (por ejemplo, un beneficiario paga a un proveedor para que haga algo que habría hecho de todos modos) como de riesgo moral (por ejemplo, un beneficiario paga a un proveedor para que haga algo que no puede supervisar, por lo que el proveedor elude la tarea) (Bingham et al., 2021).

- **Riesgo moral:** este riesgo se produce cuando un proveedor contratado elude o descuida las medidas de control de costes o de mitigación de riesgos. Preocupa sobre todo cuando los contratos prescriben intervenciones que son difíciles de supervisar o verificar. Esto se puede mitigar a través de un estudio detallado de los costos de la actividad que limiten las posibilidades de desviarse del proveedor y estableciendo mediciones de efectos e impactos en el corto, mediano y largo plazo. Por supuesto, si los resultados son fáciles de medir, entonces podría ser posible una norma basada en el rendimiento, lo que posiblemente evitaría el dilema. Las visitas al terreno pueden ofrecer la oportunidad de establecer una relación con los propietarios y reducir el riesgo moral (Bingham et al., 2021).

- **Selección adversa:** La selección adversa se produce cuando las parcelas de bajo valor imitan a las de alto valor, o bien cuando los productores de bajo coste imitan a los de alto coste. En el primer caso, la fiabilidad con la que se pueden clasificar las parcelas en función de la relación calidad-precio depende en gran medida de las métricas de los ecosistemas. En el segundo caso, a diferencia de la calidad del emplazamiento (que puede observarse y evaluarse), los costes de oportunidad y las intenciones de gestión

futura representan información privada para los proveedores. Aquellos con más posibilidades de proporcionar un SSEE de forma gratuita pueden presentar ofertas muy competitivas, pudiendo extraer rentas equivalentes a la totalidad del pago. Se sugieren como posibles soluciones la modificación del diseño del mecanismo o la inclusión de una función de selección. El riesgo de selección adversa se ve influido por variables contextuales como el presupuesto, las amenazas normativas, las correlaciones entre el coste de oportunidad y la provisión de SSEE, y el cumplimiento de la línea de base (Bingham et al., 2021).

2.3. ETAPA 3: MONITOREO Y EVALUACIÓN

Los PSA requieren entender el concepto de consumo intertemporal y la importancia de conservar los SSEE para consumo futuro. Siempre es necesario tener una idea de lo que ocurriría hipotéticamente sin el sistema de PSA (es decir, construir una línea de base de SSEE). Lamentablemente, gran parte de los programas de PSA no suelen incluir marcos claros y explícitos para el seguimiento y la evaluación de su propio éxito, una característica que comparten con otras intervenciones de conservación (Ferraro & Pattanayak, 2006). En este apartado se hace una propuesta para un sistema de monitoreo y evaluación que subsane esta debilidad de los PSA.

- **Monitoreo:** el proceso puede pensarse para el corto y mediano plazo (hasta 5 años) y en este caso se sugiere lo que se conoce como Evaluación del Proceso (EP). Las EP se centran en establecer cómo se implementa y funciona un programa, considerando si corresponde a su diseño original, documentando su desarrollo y funcionamiento para evaluar sus resultados y finalmente, poder concluir sobre los impactos que este ha tenido. Aportando valiosa información sobre cómo mejorar la implementación del programa, así como la coherencia entre los objetivos planteados inicialmente y los resultados de interés (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017).
-

  La EP se puede realizar a través de una cadena de resultados, una manera de describir una cadena causal, especificando las condiciones e influencias externas y la determinación de los supuestos clave para el monitoreo. Una cadena de resultados provee al análisis con un marco que establezca la lógica causal desde el inicio del programa, empezando con los recursos disponibles y evaluando cada uno de los procesos. Identificando todas las etapas de la EP. Para cada paso se deben identificar indicadores que simplifiquen la implementación del sistema. En la Figura 5 se presenta la definición de cada etapa y los indicadores se presentan en el sistema de monitoreo, seguimiento y adicionalidad.

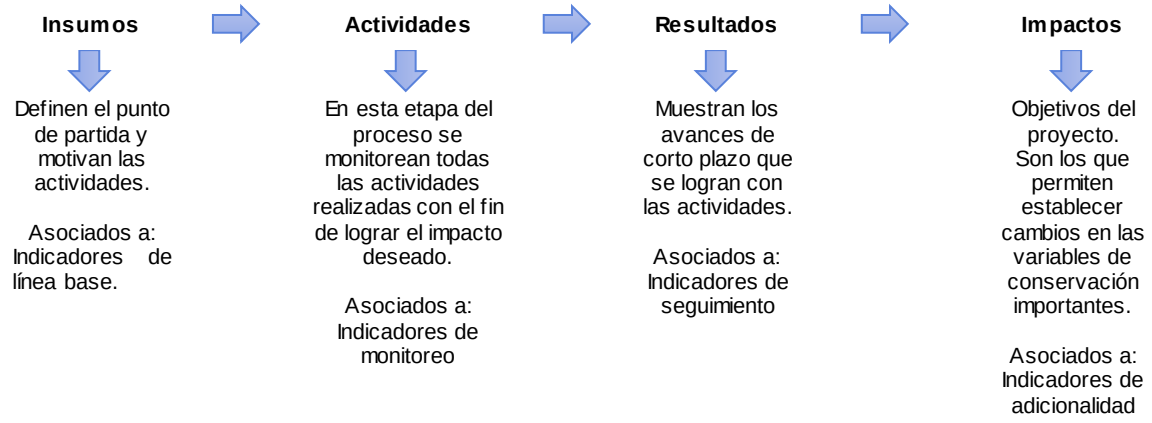


Figura 5. Cadena de Evaluación del Proceso para PSA.
Fuente: Adaptado de (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017).

2.3.1. *Evaluación de impacto cuantitativa*

La evaluación de impacto es una herramienta para evaluar políticas públicas que requiere un trabajo continuo de recolección de información y planeación en el mediano plazo. En el estadío actual del PSA del Distrito se recomienda considerar incluir esta herramienta para la evaluación de las inversiones ambientales. A continuación, se realiza una revisión teórica con el objetivo de exponer lo que se puede lograr al implementarla. La recolección de información con los indicadores de monitoreo, seguimiento y adicionalidad permiten aplicar un método cuasiexperimental para evaluación de impacto.

Los diseños cuasiexperimentales permiten crear grupos de beneficiarios y de control con características preprograma similares para estimar el efecto de una variable de política sobre una variable resultado, o el denominado Efecto de Tratamiento (ET) y haciendo que la pregunta principal de la evaluación de impacto sea de atribución y no solo de asociación, aislando el efecto del programa de otros factores y posible sesgo de selección (Aedo, 2005; Cerulli, 2015). Hacer un diseño de este tipo, permitiría monitorear los programas de PSA e identificar la causalidad entre sus características específicas y su eficiencia (adicionalidad), para potenciar los aspectos exitosos y modificar aquellos que presenten oportunidades de mejora.

En este tipo de diseños se pueden utilizar datos secundarios para realizar la medición, mientras es limitado por la selección de un grupo de control adecuado, pues es imposible observar los resultados de un individuo intervenido en caso de no haber recibido la intervención (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017). En el caso específico de la Evaluación de Impacto de los programas de PSA requiere comparar los resultados del participante con y sin la intervención o tratamiento. Sin embargo, un individuo no puede tener dos existencias simultáneas y, por tanto, no puede estar en los grupos de tratamiento (PSA) y control (no PSA) al mismo tiempo. Por esta razón se debe crear un grupo de comparación (control) que sea muy similar al grupo tratado, de modo que aquellos que recibieron tratamiento hubieran tenido resultados similares a los del grupo de comparación en ausencia de tratamiento. Este es un aspecto determinante en el éxito de la evaluación

de impacto: la creación de un grupo de control convincente y razonable, que permita evaluar si existen relaciones de causa-efecto entre el programa y los resultados, y proceder a una cuantificación de los beneficios (Aedo, 2005). En este caso, el grupo de control puede darse por los predios identificados en este proyecto como predios elegibles y que decidan no participar del programa. El grupo de tratamiento serán los predios que participan del mismo.

3. DOCUMENTO PRESCRIPTIVO: PSA PARA EL DISTRITO

La propuesta para el ajuste y actualización del sistema de PSA para el Distrito de Medellín es complementaria al Documento de soporte jurídico para el ajuste[8] del Decreto 1910 y el Decreto Municipal 602 y la propuesta de Decreto, el documento para el ajuste del costo de oportunidad y la focalización espacial de los pagos en el mapa de áreas elegibles propuesto. Por tanto, se generan recomendaciones técnicas en línea de los ajustes normativos, y con base en los fundamentos teóricos de PSA y los criterios para el diseño e implementación. A continuación, se definen.

3.1. BENEFICIOS TRIBUTARIOS Y COMPRA DE PREDIOS

- El PSA para el Distrito de Medellín que se estable con base en el Artículo 111 de la Ley 99 de 1993, el Decreto – Ley 870 y el Decreto 1007 tiene su fundamento en la provisión de bienes y servicios ecosistémicos que son relevantes para la sociedad en áreas de importancia estratégica. Es decir, el PSA es un sistema para la administración y asignación de recursos de naturaleza ambiental. Por tanto, es inadecuado concebir el PSA como un instrumento urbanístico. En este sentido, deben definirse claramente los alcances de los beneficios y exenciones tributarias y su ámbito de aplicación en los documentos de ordenación territorial como el POT y definiendo la complementariedad con los PSA, toda vez que el alcance del PSA se define en la citada norma, en la propuesta del Decreto y su memoria jurídica justificativa.

- El Articulo 111 de la Ley 99 de 1993 define la dedicación específica de los recursos para la compra y mantenimiento de predios, y la implementación de PSA. Todos los predios ubicados en las áreas definidas según el Artículo 5 de la propuesta del Decreto son objeto de compra, incluyendo aquellos con alto valor ecológico y ambiental por las coberturas vegetales para preservación, siempre y cuando se demuestre su relevancia en la modalidad del PSA de regulación y calidad hídrica. Mientras que predios relevantes para las otras modalidades de PSA pueden ser adquiridos por el Distrito con recursos diferentes a los definidos por el Artículo 111.

3.2. RECOMENDACIONES PARA EQUIDAD Y EFICIENCIA

Previamente se presentó las potenciales contradicciones que podrían enfrentar los PSA al equilibrar objetivos de: reducción de la pobreza y equidad, eficiencia, adicionalidad. A continuación, se presentan las recomendaciones y las implicaciones para la propuesta del Decreto en estos criterios:

- **Reducción de la pobreza y equidad:** los PSA podrían ser complementarios a los instrumentos para la reducción de pobreza e incluso como fuente de ingresos para

[8] La propuesta del Decreto (Producto 01 – Ajuste Decreto) termina con la derogación del artículo 1910 como resultado de la propuesta de la Universidad Nacional. Sin embargo, en cumplimiento de los estudios previos de la alcaldía se deja como sugerencias de ajustes.

familias de escasos recursos. Sin embargo, el cumplimiento de este objetivo se contrapone con los objetivos de eficiencia e incluso adicionalidad ambiental al asumir que las personas de bajos ingresos no son propietarios de áreas extensas de interés para la conservación o restauración. Para este tipo de propietarios, el análisis se realiza en el proceso de focalización de áreas para PSA, posteriormente.

En cumplimiento de la normatividad nacional vigente, en la propuesta del Decreto de PSA para el Distrito en el Articulo 2 y 4 se presentan las condiciones para la selección de beneficiarios y la priorización por consideraciones socioeconómicas, respectivamente. En este sentido, el PSA del Distrito considera parámetros de priorización para la reducción de la pobreza y con objetivos de equidad, pero sus objetivos son mayoritariamente ambientales.

- **Eficiencia:** el cumplimiento a los criterios de eficiencia del PSA se relaciona con la adicionalidad ambiental, por tanto, debe evitarse la selección adversa, las fugas, la permanencia y el riesgo moral.

  Para los criterios de selección adversa y fugas, la propuesta del Decreto considera los Artículo 2, 5, 6 y 7 que definen el ámbito de aplicación, las áreas de implementación de PSA que se relacionan con el Producto mapa con áreas Elegibles PSA, las modalidades de PSA y los criterios para selección de predios, con énfasis en la modalidad de PSA de regulación y calidad hídrica que cuenta con la metodología desarrollada por la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, denominada "Identificación, caracterización y formulación de alternativas de manejo de ecosistemas estratégicos asociados a microcuencas que surten acueductos veredales en el municipio de Medellín". Los artículos previamente mencionados se basan en el reconocimiento de la importancia ambiental de las áreas y los potenciales riesgos de la pérdida del flujo se SSEE por cambios en el uso del suelo, expansión de la frontera agrícola y deforestación.

  Para los criterios de permanencia se presenta el Articulo 9 sobre el cálculo del valor del incentivo que sea eficiente y genere permanencia en los programas de PSA, adicionalmente, el Articulo 17 que define los compromisos de las partes, el Artículo 18 con la duración de los contratos según la normatividad nacional y la formalización de los contratos según el Artículo 19. La condicionalidad del pago definido en el Articulo 20 también considera criterios de permanencia.

  El Articulo 10, sobre el diseño e implementación de la estrategia de comunicación, divulgación y educación que incluya el reconocimiento público de los éxitos históricos de la implementación de PSA funciona, como se presentó previamente, como una motivación para la vinculación de beneficiarios y su permanencia. Es importante considera que la divulgación de la información no incluirá aquella que podría afectar negativamente el PSA, comprometer su funcionamiento o información que se considere sensible y privada, como la información de los propietarios de los predios.

  Finalmente, el riesgo moral corresponde al no cumplimiento de las obligaciones por parte de los beneficiarios y se relaciona con los criterios de permanencia más el monitoreo (Articulo 22) seguimiento (Articulo 23) que se desarrollan en este documento

y el Articulo 24 sobre adicionalidad ambiental que da cuenta del efecto positivo de las acciones de los beneficiarios para la protección y generación de SSEE.

3.3. COSTOS DE TRANSACCIÓN

Los costos de transacción podrían determinar la participación de los propietarios en los PSA. Para incrementar los porcentajes históricos de participación, estos costos deberán ser asumidos por la Secretaría de Medio Ambiente e implementados a través de los operadores. En este sentido, en el documento propuesta del Decreto considera que los propietarios, poseedores, ocupantes de buena fe exentos de culpa deben cumplir únicamente con el Artículo 11 y los formularios para formalizar la participación serán provistos por la Secretaría.

3.4. DIVULGACIÓN DE INFORMACIÓN DEL PROGRAMA DE PSA

En la Consideración 4. Casos de éxito y participación en el largo plazo de los fundamentos teóricos del PSA, se analiza la importancia de la información y su divulgación para incentivar la participación en el PSA e incluso, vincular a beneficiarios que cumplirían con los compromisos ambientales cuando cese el pago.

En este sentido, la propuesta del Decreto incorporó el Artículo 10 cuyo objetivo fundamental es que la Secretaría de Medio Ambiente diseñe e implemente la estrategia de comunicación, divulgación y educación para informar a las comunidades sobre la existencia y proceso de vinculación en los PSA del Distrito. Esta estrategia debe considerar la información sobre los hitos y éxitos más importantes del programa, el número de beneficiarios y predios en el PSA, el proceso de vinculación, los compromisos y acuerdos definidos en el contrato del PSA tanto para conservación como para restauración, y los beneficios privados y sociales del programa. Es importante hacer hincapié en la necesidad de presentar la información de los acuerdos contractuales y compromisos de manera clara y de fácil entendimiento para que los agentes económicos puedan tomar decisiones sobre su propia tierra.

3.5. CONSTRUCCIÓN PARTICIPATIVA

La construcción participativa de los PSA permite considerar las expectativas y riesgos de los propietarios, reducir los riesgos de incumplimiento, fomentar medidas de monitoreo y sanción efectivas. Adicionalmente, permite considerar equidad de acceso. Es decir, los PSA deben adoptar prácticas de gobernanza que incluyan activamente a los actores del proceso, de manera que sus intereses y visiones se vean reflejados en el diseño, implementación y resultados del esquema, con lo cual podrían obtenerse mejores resultados ambientales y sociales. Finalmente, la construcción participativa también podría generar sostenibilidad de los resultados en el tiempo. Para el Distrito, la construcción participativa se definirá por los aspectos siguientes:

- Participación voluntaria por parte de los propietarios.
- Las áreas en los predios para la implementación de las acciones de PSA deberían ser propuestas por los propietarios, ello en consideración del Tercer Principio Económico

según el cual, la vinculación voluntaria de los propietarios y definición de las áreas por ellos garantizaría la permanencia en el programa y potencialmente la adicionalidad ambiental.

- Concertación de las acciones a implementar en los predios. En la formulación de las acciones a implementar en los predios por parte de la Secretaría de Medio Ambiente Artículo 15 de la propuesta de Decreto será concertada con los propietarios, por los argumentos del inciso previo.
- Concertación de los contratos y los acuerdos. Esta concertación tiene como objetivo el entendimiento por parte de las partes de los acuerdos y garantizar su cumplimiento.
- Duración del contrato. Según el Decreto Único Nacional 1076 de 2015, el reconocimiento del incentivo podrá efectuarse hasta por cinco (5) años, sin embargo, se recomienda que la duración de los contratos sea concertada entre la Secretaría de Medio Ambiente y los propietarios, haciendo hincapié en que los acuerdos que involucren acciones de restauración (PSA de creación de activos) deberán ser de mayor período que los de conservación para garantizar la viabilidad de las inversiones.

3.6. ACCIONES DE PSA

El Decreto – Ley 870 y el Decreto 1007 actualizan las acciones a implementar, es decir, el tipo de PSA. Las acciones para implementar en el PSA del Distrito y para todas las modalidades de PSA se presentan en el Artículo 8 de la propuesta del Decreto, tal como se presenta a continuación:

- **Acción destinada a la preservación**: es la acción que reconoce el incentivo de PSA a los propietarios, poseedores u ocupantes de buena fe exenta de culpa por destinar áreas de sus predios para mantener las coberturas naturales y la biodiversidad.
- **Acción destinada a la restauración:** es la acción que reconoce el incentivo de PSA a los propietarios, poseedores u ocupantes por destinar áreas de sus predios que han sido degradados o deforestados, para su restauración y rehabilitación.

Dentro de las acciones destinadas a la restauración se incluyen aquellas que se adelanten en sistemas productivos, respetando el régimen de uso y manejo del área o ecosistema estratégico del cual se trate, procurando la sostenibilidad de estas actividades a partir de la restauración de acuerdo con los lineamientos del Plan Nacional de Restauración y para lo cual tendrán en consideración además los lineamientos del Plan Nacional de Negocios Verdes.

Implicaciones para el PSA del Distrito

- **Las acciones de preservación:** serán entendidas para el Distrito como las medidas de conservación de las coberturas naturales actuales en los predios. La acción aplica para los bosques mixtos siempre que se haya perdido totalmente su potencial de ser explotados económicamente y toda vez que el riesgo de la conversión a no bosque sea baja por las actividades económicas. Estas medidas no consideran intervenciones en los predios diferentes al aislamiento o cercamiento.

- **Las acciones de restauración:** consideran intervenciones a realizar en el predio para

restaurar y rehabilitar los ecosistemas, como el establecimiento de individuos arbóreos. Según el Plan Nacional de Restauración, la *Restauración ecológica* se entiende como las acciones que dan como resultado un ecosistema autosostenible, garantizando la conservación de las especies y SSEE. En este caso el ecosistema debe regresar a una condición similar a como se encontraba antes de la degradación. Mientras que los sistemas Rehabilitados deben ser autosostenibles, preservar algunas especies y prestar algunos SSEE. No es necesario recuperar la composición original.

- **Restauración pasiva:** cuando la acción de restauración no implica el establecimiento de individuos, entonces es restauración pasiva que se asimila a las acciones de preservación según las definiciones de PSA. El valor del incentivo corresponderá al valor de la acción de preservación más el costo del cercamiento.

- **Implicaciones en el valor del incentivo:** con base en los Análisis de Precios Unitarios (APU) de la Secretaría de Medio Ambiente, en el Artículo 9 Tabla 1 del documento propuesta del Decreto se presentan los valores a reconocer por la implementación de las acciones de PSA. En el Artículo 9, Parágrafo 1, se especifica que los valores de PSA Restauración – Establecimiento (Vr_r), PSA Restauración - Mantenimientos año 1 (Vr_{mto1}), PSA Restauración – Mantenimientos (Vr_{mtos}) presentados en la Tabla 1 se calcularon para una (1) ha con una densidad de siembra de 1736 árboles/ha. El detalle de los cálculos se presenta en el Anexo 3 del presente documento. Para áreas y densidades de siembra diferentes a implementar en las acciones de restauración del PSA, el valor se calculará proporcionalmente por área a intervenir y densidad de siembra.

- La Secretaría de Medio Ambiente del Distrito, según la propuesta del Decreto Artículo 15. Definiciones de acciones para la implementación, definirá las áreas a implementar las acciones del PSA, igualmente, las especificaciones técnicas del diseño de las acciones para su implementación tales como: densidad de siembra, especies y número de mantenimientos.

Compra de predios: se definieron las acciones y modalidades del PSA. Sin embargo, es importante considerar que el Articulo 111 de la Ley 99 de 1993 define la dedicación específica de los recursos para la compra y mantenimiento de predios, y la implementación de PSA. Todos los predios ubicados en las áreas definidas según el Artículo 5 de la propuesta del Decreto son objeto de compra, incluyendo aquellos con alto valor ecológico y ambiental por las coberturas vegetales para preservación, siempre y cuando se demuestre su relevancia en la modalidad de PSA de regulación y calidad hídrica. Mientras que predios relevantes para las otras modalidades de PSA pueden ser adquiridos por el Distrito con recursos diferentes a los definidos por el Articulo 111.

3.7. MODALIDADES DE PSA

El Decreto – Ley 870 y el Decreto 1007 actualizan las modalidades de PSA y se definen en el Artículo 8 de la propuesta del Decreto, tal como se presenta a continuación:

- **PSA de regulación y calidad hídrica**: corresponde al PSA asociado al recurso hídrico que permiten el abastecimiento del agua en términos de ***cantidad o calidad***, para satisfacer prioritariamente el consumo humano, e igualmente, otros usos como el agropecuario, la generación de energía, uso industrial y el mantenimiento de procesos ecosistémicos.

  Esta modalidad de PSA se orientará prioritariamente a áreas o ecosistemas estratégicos y predios con nacimientos y cuerpos de agua, o en zonas de recarga de acuíferos, que surten de agua fuentes abastecedoras especialmente de acueductos municipales, distritales y regionales, y distritos de riego; igualmente, las zonas de importancia para la regulación y amortiguación de procesos y fenómenos hidrometeorológicos y geológicos extremos con incidencia en desastres naturales.

- **PSA para la conservación de la biodiversidad:** corresponde al PSA que permite la conservación y enriquecimiento de la diversidad biológica que habitan en las áreas y ecosistemas estratégicos.

  Se tendrán en consideración para la aplicación de esta modalidad las áreas y ecosistemas estratégicos y predios que proveen o mantienen el hábitat de especies importantes o susceptibles para la conservación y/o grupos funcionales de especies, o que corresponden a áreas de distribución de especies de importancia ecológica entre ellas endémicas, amenazadas, migratorias, o especies nativas con valor cultural y socioeconómico.

- **PSA de reducción y captura de gases efecto invernadero (GEI):** corresponde al PSA para la mitigación de las emisiones de GEI. Se tendrán en consideración para la aplicación de esta modalidad las áreas y ecosistemas estratégicos y predios cuya cobertura vegetal cumpla una función esencial en dicha mitigación, para lo cual se tendrá en cuenta la información reportada por los diferentes sistemas de monitoreo disponibles y las recomendaciones técnicas y normativas establecidas por las autoridades ambientales competentes.

- **PSA culturales, espirituales y de recreación:** corresponde al PSA por los beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas, a través del enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas. Se tendrán en consideración para la aplicación de esta modalidad las áreas y ecosistemas estratégicos y predios que, por su conformación geográfica, riqueza de especies y belleza escénica, otorgan los beneficios no materiales antes señalados.

Implicaciones para el PSA del Distrito

- **Definición de áreas por modalidad de PSA y priorización de predio:** la definición de las modalidades de PSA requieren que las áreas para su implementación consideren características específicas, por ejemplo, para el PSA de regulación y calidad hídrica es estratégico definir las áreas de intervención que determinan los caudales para los acueductos, mientas que para el PSA de reducción y captura de gases efecto invernadero (GEI) se deberán definir las áreas con potencial para la captura de carbono.

En este sentido, la propuesta del Decreto definió el área para todo el sistema de PSA en el Articulo 5. Sin embargo, en el Artículo 6 - Parágrafo 1, se define que para el PSA de regulación y calidad hídrica se realizará la aplicación de la metodología para la "*Identificación, caracterización y formulación de alternativas de manejo de ecosistemas estratégicos asociados a microcuencas que surten acueductos veredales del municipio de Medellín*". Esta metodología permite definir las áreas estratégicas de inversión para esta modalidad. Es importante considerar que si las cuencas y áreas de interés de los acueductos de agua cruda se encuentran dentro de las áreas definidas por el Articulo 5 pueden ser incluidos en PSA, sin embargo, requerirá la implementación de la metodología para la priorización de los predios y focalización de inversiones.

Se requiere que el Distrito desarrolle metodologías específicas para definir las áreas y predios estratégicos para las inversiones de las modalidades de PSA diferentes a regulación y calidad hídrica. Se debe tener en cuenta que, los PSA generan mayor adicionalidad en zonas de alta densidad de SSEE, con potencial para la restauración de ecosistemas estratégicos y con alta probabilidad de cambios en el uso del suelo (ampliación de la frontera agrícola, presiones urbanísticas y la deforestación). Sin embargo, en áreas donde el cambio en el uso del suelo se da para el establecimiento de actividades altamente productivas o urbanas, los PSA tienen bajo rango de acción, pues las presiones de los costos de oportunidad son altas en comparación con los incentivos.

En este sentido, áreas y predios con coberturas conservadas en áreas de interés para la conectividad ecológica o con registros de especies de especial interés como endémicas, amenazadas, migratorias, o especies nativas con valor cultural y socioeconómico serían óptimas para el PSA para la conservación de la biodiversidad; mientras que áreas y predios con coberturas conservadas y alta probabilidad de deforestación serían óptimos para la modalidad de PSA de reducción y captura de gases efecto invernadero (GEI). Las metodologías deben permitir establecer la línea base del estado actual de los ecosistemas y los SSEE de tal manera que una vez implementados los PSA se monitoreo la adicionalidad y el impacto de los sistemas.

- **Pago del incentivo:** en las áreas priorizadas según el Artículo 5 de la propuesta de Decreto y que posteriormente pueden ser refinadas para cada modalidad de PSA es probable que en un predio se priorice simultáneamente por su relevancia en la provisión de diferentes servicios ecosistémicos. En estos casos específicos el valor del incentivo solo se reconocerá por una modalidad de PSA, tal como se consignó en el Parágrafo 3 del Artículo 9: en áreas en donde concurran varios servicios ambientales como una expresión de la riqueza de la biodiversidad el Distrito otorgará el incentivo por una única modalidad de PSA, sin que se generen pagos adicionales o complementarios. Este parágrafo se justifica con base en el uso eficiente de los recursos y considerando que los servicios ecosistémicos son provistos por las estructuras de los ecosistemas y las funciones ecosistémicas de manera conjunta, lo cual genera bienes y servicios finales e intermedios.

3.8. FOCALIZACIÓN DE PSA POR ÁREAS

El PSA para el Distrito de Medellín debe considerar la adicionalidad ambiental de cada predio que se incluye en el programa, es decir, el potencial marginal de generar bienes y servicios ecosistémicos para cada una de las modalidades del PSA cuando se incluye un área adicional. Los criterios de priorización de predios se especifican en los Articulo 5, 6 y 7 del documento de la propuesta de Decreto. La definición del área para implementación del PSA es el resultado del Producto 05_Areas elegibles de PSA, según la cual el instrumento puede ser aplicable en todas las áreas estratégicas del Distrito y no únicamente a las áreas de protección del Distrito definidas según el POT vigente.

Por criterios de costo-efectividad, el PSA debería enfocarse en vincular propietarios cuyos predios superen una hectárea de extensión con la presencia de coberturas vegetales para las acciones de preservación o con potencial para las acciones de restauración. Estas condiciones permitirían la optimización del uso de los recursos financieros y focalizar la implementación de las acciones. En este sentido, se definió un criterio de eficiencia (CE) para la focalización del valor del incentivo a reconocer que se presenta posteriormente en función del área del predio en PSA.

Los predios de menos de una hectárea podrían no compensar los altos niveles de inversión. Es decir, en predios de menos de una hectárea no se garantiza que la relación beneficio/costo del programa de PSA sea mayor que uno, fundamentalmente porque el aporte a la provisión de servicios ambientales sería marginal ante las acciones de PSA e incluso podría tener limitaciones en la resiliencia ambiental. Un criterio adicional, sería la existencia de diversos predios de menos de una hectárea, no conexos, que no aportarían significativamente a la conectividad ecológica, por lo cual el aporte de estos predios incluiría altos niveles de incertidumbre sobre la adicionalidad ambiental a esperar.

Desde el punto de vista económico, la renta actual y potencial de los predios menores de una ha en las áreas rurales de Medellín tiene una fuerte presión al alza. Es decir, existen costos de oportunidad crecientes en estos predios por la presión de cambios de uso del suelo hacia uso residencial y comercial debido a la expansión urbana. El propietario del predio ante la baja rentabilidad de las actividades agrícolas y ganaderas tendría una mejor opción en la venta del predio. En este sentido el PSA no correspondería a un incentivo económico fundamentalmente porque se calcula a partir del uso actual y no del potencial, por tanto, no considera las expectativas de los propietarios.

Finalmente, la inclusión individual de los predios menores a una hectárea podrán estar sujetos a la complejidad en la tenencia de la tierra, como tierras bajo derechos proindiviso, problemas de titularidad, litigios por herencia familiares e invasiones, entonces se incrementarían significativa los trámites legales e incluso el período de implementación por lo cual aumentarían los costos de transacción para el Distrito y, además, se incrementaría significativamente el riesgo moral y la no permanencia de los predios.

Todos los predios en las áreas definidas según el Artículo 5 de la propuesta de Decreto podrían ser beneficiarios de PSA, siempre y cuando, se consideren los criterios de priorización que se consignan en los Artículos 6 y 7 de la misma propuesta. Se recomienda

que el Distrito, priorizando los criterios ambientales y el proceso de focalización de áreas del Articulo 5, considere los PSA en la totalidad de predios de las áreas elegibles y no se impongan criterios de focalización por extensión, toda vez, que se demuestra la importancia de estas áreas en la provisión de servicios ambientales tan relevantes como el agua.

3.9. EL COSTO DE OPORTUNIDAD

El costo de oportunidad es importante en los debates teóricos sobre PSA por ser la base para la definición de un pago que se constituya en incentivo para que los propietarios cambien sus actividades presentes o las que esperan realizar en el futuro y destinen la tierra a la conservación. Estos pagos estarían destinados a compensar a los propietarios de tierras por el dinero perdido al no realizar esas actividades. En economía, el costo de oportunidad suele definirse como *el valor de la siguiente mejor alternativa* (Ferraro & Pattanayak, 2006). Por tanto, el costo de oportunidad es el valor que se pierde al elegir una opción en lugar de otra mutuamente excluyente como la alternativa de mayor rentabilidad segura que se deja de elegir por el proyecto o actividad en estudio.

El costo de oportunidad se centra en la toma de decisiones individuales y factores económicos, políticos y culturales. Los costos de oportunidad varían en función de factores como el valor económico de los usos alternativos de la tierra, el acceso al mercado y la calidad del suelo. Los propietarios con mejor acceso a los mercados y mayor calidad del suelo podrían ganar más con un cultivo, por lo cual costo de oportunidad para mantener su bosque en pie sería mayor comparativamente. Para que se consideren económicamente eficientes los PSA deberían cubrir los costos de oportunidad (Greenleaf, 2020). Es decir, si los programas de PSA no cubren los costos de oportunidad del uso alternativo más valioso de la tierra, la lógica económica sostiene que los proveedores de SSEE no participarán (Pattanayak et al., 2010).

Los costos de oportunidad se subestiman cuando los niveles comparativos de pobreza y los bajos costos de la mano de obra y la tierra (McAfee & Shapiro, 2010). Sin embargo, la reducción de la deforestación, y otras formas de provisión de SSEE, pueden resultar más costosas de lo que sugieren estas estimaciones de bajo costo de oportunidad. La política, la historia, el derecho, la infraestructura y la cultura pueden complicar el buen funcionamiento de las transacciones económicas y hacer que aparezcan, por ejemplo, costos de transacción que reduzcan el interés de los participantes (Greenleaf, 2020).

Según Wünscher et al., (2011), la estimación del costo de oportunidad debería considera los elementos históricos y las expectativas sobre el valor de la tierra que tengan los propietarios, sus características sociodemográficas y sus preferencias. Asociado a esto está el concepto de renta potencial que podrían ser altamente variables. El caso más evidente es el de los terrenos vacantes, cuyas rentas reales son nulas, pero el precio del terreno se fija en función de las rentas potenciales. Las expectativas también aparecen de manera relevante cuando se presentan cambios de uso, inversiones estatales en infraestructura y servicios públicos.

En consecuencia, para el Distrito de Medellín se propone la actualización al cálculo del costo de oportunidad (CO) según la siguiente expresión matemática:

$$CO = Beneficio\ Económico\ Neto\ (BEN) + Renta\ de\ la\ tierra$$
(Ecuación 2).

La Ecuación 2 tiene como objetivo actualizar el costo de oportunidad como base para el incentivo. La actualización del Beneficio Económico Neto (BEN) y los flujos de caja se desarrolló en el documento para el ajuste del costo de oportunidad a continuación se presenta una síntesis del informe. El Anexo 1 presenta una propuesta para el ajuste de la estimación y que puede calcularse una vez se colecte la información necesaria para construir la renta de la tierra con precios hedónicos y en el Anexo 2 contiene un índice que permite precisar la focalización espacial por incremento de la urbanización en la cuenca.

3.9.1. *Beneficio Económico Neto y Flujos de Caja*

En el documento para el ajuste del costo de oportunidad, se realizó la identificación de las actividades económicas más representativas para el Distrito y por corregimiento. Los resultados muestran que la actividad corresponde a ganadería doble propósito. Para esta actividad y adicionalmente para los cultivos considerados en las caracterizaciones se realizaron los cálculos de los Beneficios Económicos Netos y la construcción de los flujos de caja considerando las estructuras adecuadas de costos y beneficios. Según la Resolución 1092 de 2022 del Departamento Nacional de Planeación (DPN), los indicadores financieros como el BEN y el Valor Anual Equivalente (VAE) fueron descontados con el 6,4% efectivo anual. Los resultados se incorporaron como base para el cálculo del incentivo en el Artículo 9 - Tabla 1 del documento propuesta del Decreto.

Según los resultados del trabajo interdisciplinar del proyecto, se identificó que las actividades económicas reportadas para los predios del Distrito corresponden a subsistencia y economía familiar, lo que implica que las actividades no corresponden con la principal fuente de ingresos para las familias, sino ingresos complementarios a los principales que pueden ser como empleados o al jornal. Ello tiene implicancias en el cálculo del costo de oportunidad dado que genera presión sobre el flujo de caja para hacerlo rentable y en este sentido el costo de oportunidad es bajo. Por ello, en la Tabla 1 el sistema productivo de Ganadería doble propósito con tecnología tradicional presenta un valor negativo, mientras que los otros valores de VAE son positivos para todas las actividades productivas.

Para temas comparativos de los valores del costo de oportunidad, se realizó la revisión de los PSA en las ciudades capitales del país que se presentaron en el evento: “Los Pagos por Servicios Ambientales (PSA) como estrategia para la conservación de ecosistemas de zonas estratégicas que abastecen acueductos de ciudades capitales”[9], y se describen detalladamente a continuación. Sin embargo, los resultados muestran que los valores para todas las ciudades son menores a los calculados para el Distrito.

[9] https://www.minambiente.gov.co/negocios-verdes/minambiente-y-asocapitales-promueven-estrategia-de-pagos-por-servicios-ambientales-en-ciudades-capitales-del-pais/

Tabla 1. VPN y VAE para las actividades económicas más representativas en los corregimientos de Medellín ($COP Millones constantes) con una TSD del 6,4%

Sistema productivo	Tecnología	Período de producción (Años)	TSD* (% E.A.)	VPN ($COP millones/ha)	VAE ($COP /ha-año)
Ganadería doble propósito*	Tradicional	9	6,4	-2,29	-351.832**
Ganadería doble propósito	**Avanzado**	**9**	**6,4**	**16,14**	**2.414.580**
Ganadería especializada – Leche	Avanzada	7	6,4	27,40	4.099.041
Hortalizas	Tradicional	1	NA		2.649.367
Plantaciones forestales	Tradicional	11	6,4	11,24	1.454.916
Promedio					2.053.214
Máximo					4.099.040
Mínimo***					1.454.916

En negrita se presenta el valor base para el sistema de Pago por Servicios Ambientales porque la ganadería doble propósito avanzada es la actividad más representativa en el Distrito y por corregimientos.
*La TSD se definió según la Resolución 1092 de 2022 del Departamento Nacional de Planeación, Articulo 2.
**El valor VPN y VAE de Ganadería doble propósito tradicional fue menor que 0. Lo que implica que financieramente no es una actividad rentable para el productor.
***El valor mínimo no consideró los valores negativos.
Fuente: Tabla 3.3. Producto 02 – Costo de oportunidad

Para el municipio de Popayán se adelanta la implementación de un PSA en la cuenca del río Palacé. En la
Tabla 2 se presentan los valores calculados como incentivo para las actividades económicas existentes. El PSA tiene como objetivo realizar una transición de las actividades económicos hacía actividades sostenibles y garantizar la sostenibilidad territorial. El PSA, por tanto, se diseñó con enfoque participativo y teniendo en cuenta los mercados locales y la optimización de los procesos productivos.

Tabla 2. Valor de incentivo programa de PSA para el municipio de Popayán, cuenca del río Palacé

Sistema Productivo representativo y escala de producción	Beneficio económico neto (ha/año)	
	Papa - Ganadería doble propósito*	Lechería especializada
Pequeño (< 3ha)	1.537.000	NA
Mediano (5 ha)	3.958.044	9.852.719
Grande (10 - 20 ha)	2.741.223	7.423.300
Promedio	2.745.422	8.638.005

*Papa parda en sistema de producción de rotación con ganadería doble propósito.
Fuente: https://www.asocapitales.co/nueva/wp-content/uploads/2020/06/POPAYAN-Palac%C3%A9-Caso-Popayan.pdf. Versión del 7 de diciembre de 2022.

El PSA para el municipio de Neiva se enfoca en Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y para la conservación de las especies forestales y rondas hídricas en la cuenca del río Las Ceibas. Es decir, es un PSA con un enfoque de reconversión y manejo sostenible de las actividades económicas y conservación. Entre las actividades de conservación, el acuerdo de PSA considera que es el municipio quien debe proveer todos los insumos para las actividades a realizar, incluyendo el aislamiento de áreas y la protección de cercas vivas. El valor del incentivo promedio (considerando el reporte público) es de $ 316.160 ha/año.

Para el municipio de Cali, el PSA se estableció para la conservación de las áreas con mayor cobertura boscosa y con alto riesgo de cambio en el uso del suelo como consecuencia de la expansión de la frontera agrícola. Para la selección de beneficiarios, se tienen en cuenta el potencial de conectividad ecológica con áreas protegidas, la conservación *in situ*, la concurrencia de diferentes tipos de SSEE como expresión de la biodiversidad, la existencia de acuerdos de restauración con Parques Nacionales Naturales y beneficiar mayor número de personas. El monto estimado, según los acuerdos públicos para el 2019 es de 1.695.000 ha/año[10]. El PSA, tuvo en cuenta la producción agrícola potencial en las áreas y tiene como objetivo aunar esfuerzos para que los propietarios transiten hacía sistemas productivos sostenibles o de negocios verdes, es decir, es un incentivo complementario cuyas actividades ejecutoras se define con base en los acuerdos con los propietarios.

Finalmente, para Bogotá, se diseñó e implementó un PSA con enfoques de acuerdos de conservación. El valor del incentivo es de 1.680.000 ha/año. El objetivo de los PSA es la conservación de la naturaleza y la oferta de servicios ecosistémicos bajo esquemas de corresponsabilidad e incentivos a la conservación con mirar a la reducción de la crisis climática. La implementación del programa busca el mejoramiento en la regulación de la cantidad y calidad del recurso hídrico de las fuentes que abastecen los acueductos veredales de la zona rural, y apoyará a las organizaciones y comunidades a que se vinculen a este proyecto con transferencia técnica, de tecnología y el fortalecimiento de la gestión del territorio. Por tanto, el PSA se enfoca en realizar acciones que permitan la preservación, la restauración ecológica, la rehabilitación o la recuperación ambiental.

3.9.2. *Renta de la tierra*

Previamente se mostró que una de las falencias en la estimación del Costo de Oportunidad como base para el incentivo de PSA es la no inclusión del valor de la tierra. En este sentido, el presente numeral presenta dos vías para aproximarse a este valor. El primero de ellos a partir del incremento en el precio de los precios de vivienda que puede atribuirse a la existencia de la bocatoma, tomando como punto de partida la teoría de precios hedónicos que se presenta en el Anexo 1, donde se explica también por qué en esta versión no se ha utilizado (características de los datos disponibles) aunque se recomienda para mejorar la precisión del resultado.

La valorización del suelo se vincula directamente con su renta potencial, la cual depende de las expectativas de los propietarios de predios y, en particular, aparecen de manera relevante cuando se presentan cambios de uso del suelo, inversiones estatales en infraestructura y servicios; así el poseedor de la tierra incorpora en el precio las rentas potenciales. Para el caso del Distrito de Medellín esta renta esperada se ve afectada positivamente por la demanda creciente de predios en las zonas rurales para uso residencial y comercial. Dado este fenómeno económico de presión para el cambio de suelo rural de Medellín hacia usos residenciales y comerciales, una adecuada y funcional aproximación a la renta de potencial de suelo puede establecerse por el canon de arrendamiento promedio del predio para uso residencial, factor que es una variable *proxi*

[10] https://www.cali.gov.co/documentos/3154/acuerdos-de-pagos-por-servicios-ambientales-del-2019/

de la rentabilidad de la tenencia de tierra. Para fijar el valor máximo de la renta mensual puede utilizarse una tasa del 1% del valor comercial del predio, que es el valor máximo de canon de arrendamiento que se puede cobrar para vivienda urbana en Colombia, según la Ley 820 de 2003. Así, el valor máximo de la renta anual del suelo será del 12%. Finalmente, el valor de la renta anual para el cálculo del PSA podría fijarse entre el 6% y el 12%, según criterios del indicador de urbanización que se presenta en el Anexo 2.

3.10. EL VALOR DEL INCENTIVO A RECONOCER

El valor para reconocer como incentivo en los PSA esta reglamentados a nivel nacional por los Decretos 953 de 2013, Decreto – Ley 870 de 2017 y Decreto 1007 de 2018. El incentivo se calcula para las actividades productivas más representativas en las áreas de importancia estratégica, y utilizando una de las siguientes opciones:

i) El equivalente a los beneficios económicos netos (BEN) que se generan por el uso del suelo en las actividades productivas antes señaladas, o
ii) El valor de la renta de la tierra, para las actividades productivas antes señaladas.

Para el Distrito de Medellín, la estimación del valor de incentivo se reglamentó por el Decreto Municipal 1910 de 2016, Artículo 5, según el cual, el valor del incentivo se determina según las áreas en conservación y las áreas en restauración de los predios con base en la siguiente expresión matemática:

$$VP_i = [V_c * ABN] + [VR_i * AR]$$

Ecuación 1

donde,

VP_i: valor del incentivo a pagar en el año;
Vc: 1,14 s.m.m.l.v/ ha, es el valor anual unitario por áreas de bosque natural existente a conservar ($/ha/año);
ABN: área con bosque natural existente a conservar en el predio del oferente (ha).
VR_i: 2,78 s.m.m.l.v/ha, es valor anual unitario por área del predio en restauración ($/ha/año);
AR: área del oferente en restauración ($/ha).

Los valores de Vc y VR_i se estimaron, según el Decreto 1910 para la ganadería doble propósito como actividad económica más representativa del Distrito. Es decir, se calculó el costo de oportunidad de no realizar esta actividad en los predios con cobertura vegetal de bosque y para evitar continuar con la actividad para los predios en los cuales se realizará la restauración.

En el documento propuesta de Decreto, el valor del incentivo se presenta en el Articulo 9**,** así: con base en el Artículo 2.2.9.8.2.5. del Decreto 1076 de 2015, para el Distrito el valor del incentivo se calcula con base en los Beneficios Económicos Netos (BEN) de la actividad económica dominante correspondiente a ganadería doble propósito. El valor del incentivo para formalizar los contratos se calcula según la siguiente expresión matemática con base en la información presentada en la Tabla 3.

Tabla 3. Valor unitario del incentivo económico por acción de PSA en SMLV

Variable	Acción de PSA	Valor SMLV ($/ha/año)
Vr_p	Valor anual por hectárea en acción de preservación o compensación por cambio en el uso del suelo ($/ha/año)	2,41
Vr_r	Valor anual por hectárea en acción de restauración, establecimiento ($/ha/año)	12,84
Vr_{mto1}	Valor unitario por mantenimiento de una hectárea en el año 1 ($/ha/año)	4,54
Vr_{mtos}	Valor unitario por mantenimiento de una hectárea para años diferentes al año 1 ($/ha/año)	1,93
Vrc_e	Valor del establecimiento del cerramiento por metro lineal ($/m)	0,05
Vrc_m:	valor del mantenimiento del cerramiento por metro lineal ($/m)	0,01

Fuente: Evaluación, Ajuste y Ampliación de las Estrategias para la Conservación y Manejo de los Ecosistemas Estratégicos del Distrito Especial de Ciencia Tecnología e Innovación de Medellín, Contrato 4600091219 de 2021.

En el Anexo 3 se presentan las memorias de cálculo de Vr_r, Vr_{mto1}, Vr_{mtos}, y Vr_c según información de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito. El valor del incentivo para las acciones de PSA se calculan según las siguientes expresiones matemáticas.

$$Valor\ inecentivo = VrPSA_{Preservación} + VrPSA_{Restauración},$$

Ecuación 2

A continuación, se presentan las expresiones matemáticas para el cálculo de los términos de la Ecuación 2:

- **Acción de Preservación**

$$VrPSA_{Preservación} = [(Vr_p * Ap) * CE] + [Vrc_e * m_e] + [Vrc_m * m_m]$$

Ecuación 3

donde,

$VrPSA_{Preservación}$: valor del incentivo por acción de preservación ($/ha/año);
Vr_p: valor anual por hectárea en acción de preservación o compensación por cambio en el uso del suelo ($/ha/año);
Ap: área del predio con coberturas a preservar (ha);
CE: Criterio de Eficiencia, es igual a 1 para áreas menores o iguales a 20 hectáreas. Para las siguientes 50 hectáreas es igual a 0,75, y para áreas que superen las 70 hectáreas es igual a 0,5;
Vrc_e: valor del establecimiento del cerramiento por metro lineal ($/m);
Vrc_m: valor del mantenimiento del cerramiento por metro lineal ($/m);
m_e: metros lineales de cerramiento a establecer (m);
m_m: metros lineales de cerramiento objeto de mantenimiento (m).

- **Acción de Restauración**

El valor del incentivo se calcula considerando el costo de oportunidad del cambio del uso del suelo de producción a conservación, el valor de establecimiento de la acción de restauración, el valor de los mantenimientos y cerramiento. El número de mantenimientos por año se definirá según informe técnico presentado por la Secretaría de Medio Ambiente

de Medellín en atención al Artículo 15 y 16. El valor se calcula según la siguiente expresión matemática

$$VrPSA_{Restauración} = \left[(Vr_p * Ar) * CE\right] + [Vr_r * Ar] + [Vr_{mto1} * N°Mtos_1] + [Vr_{mtos} * \#Mtos] + [Vrc_e * m_e] + [Vrc_m * m_m]$$

Ecuación 4

donde,

$VrPSA_{Restauración}$: valor del incentivo por acción de restauración ($/ha/año);
Vr_p: valor anual por hectárea en acción de preservación o compensación por cambio en el uso del suelo ($/ha/año);
Ar: área del predio con coberturas a restaurar (ha);
CE: Criterio de Eficiencia, es igual a 1 para áreas menores o iguales a 20 hectáreas. Para las siguientes 50 hectáreas es igual a 0,75, y para áreas que superen las 70 hectáreas es igual a 0,5;
Vr_r: valor anual por hectárea en acción de restauración, establecimiento ($/ha/año);
Vr_{mto1}: valor unitario por mantenimiento de una hectárea en el año 1 ($/ha/año);
$N°Mtos_1$: número de mantenimientos por hectárea realizados en el año 1;
Vr_{mtos}: valor unitario por mantenimiento de una hectárea ($/ha/año), para años diferentes al año 1;
#Mtos: número de mantenimientos por hectárea realizados.
Vrc_e: valor del establecimiento del cerramiento por metro lineal ($/m).
m_e: metros lineales de cerramiento a establecer (m).
Vrc_m: valor del mantenimiento del cerramiento por metro lineal ($/m).
m_m: metros lineales de cerramiento objeto de mantenimiento (m).

3.11. MONITOREO, SEGUIMIENTO Y ADICIONALIDAD

Monitorear el efecto del PSA y los cambios intertemporarles en variables del componente biótico y social puede ser técnicamente desafiante y costoso. Para evaluar la adicionalidad y efectividad de los PSA se requiere la implementación de línea base, la construcción de indicadores de monitoreo, y realizar el seguimiento. Para ello se requiere compilar información del escenario con y sin implementación de PSA. A continuación, se recomienda una batería de indicadores que podrían ser aplicados por el Distrito para monitorear el PSA. Los indicadores propuestos son complementarios a los definidos por la Secretaría del Medio Ambiente para dar cumplimiento al monitoreo de las acciones ambientales del Distrito, igualmente, complementan los indicadores definidos para evaluar el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS 15) por el Departamento Administrativo de Planeación Subdirección de Planeación Territorial y Estratégica de Ciudad.

Equipo técnico para PSA: en el documento que soporta del ajuste de la normatividad de los PSA (Producto 01 – Ajuste Decreto) se presentan las fuentes de financiación posibles. Entre otras, los recursos del Articulo 111 de la Ley 99 de 1993 tienen destinación específica para la modalidad de PSA de regulación y calidad hídrica con acciones específicas y en predios con importancia ambiental identificada para los servicios hidrológicos. Por la destinación específica y la cuantía de los recursos financieros a invertir, las cuatro modalidades de PSA posibles con dos acciones específicas a desarrollar (restauración y preservación) se requiere que consoliden los resultados que permitan evaluar la efectividad y eficiencia del PSA. Por tanto, se sugiere a la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito se conforme un equipo técnico para realizar el seguimiento del PSA, considerando los criterios

presentados en este documento y con el objetivo de generar información necesaria y suficiente sobre los resultados del PSA y para realizar los ajustes requeridos.

Implementación de actividades

En el documento propuesta de Decreto, se definieron las acciones a implementar en el PSA (Articulo 8), correspondientes a preservación y restauración. A continuación, se presentan los indicadores que podrían implementarse para el seguimiento de implementación del PSA, los recursos y las acciones de preservación y restauración por modalidad y período de tiempo:

- **Implementación de PSA:** este indicador tiene como objetivo dar cuenta de la implementación del PSA. Los indicadores funcionan como una razón que se expresa en porcentaje y permite hacer seguimiento, en el tiempo, de las áreas intervenidas y los recursos invertidos por el PSA:

$$PSA\ en\ \ áreas\ elegibles = \left(\frac{Áreas\ (ha)\ en\ PSA\ modalidad\ i, período\ t}{Área\ \ total\ (ha)\ elegible\ para\ PSA\ modalidad\ i\ período\ t}\right) * 100.$$

Ecuación 5

$$Áreas\ en\ PSA\ = \left(\frac{Áreas\ (ha)\ en\ PSA\ \ período\ t}{Áreas\ (ha)\ total\ disponible\ para\ PSA\ período\ t}\right) * 100.$$

Ecuación 6

$$Áreas\ en\ PSA\ POT\ = \left(\frac{Áreas\ (ha)\ en\ PSA\ para\ el\ período\ t}{Áreas\ (ha)\ den\ suelos\ de\ protección\ según\ el\ POT}\right) * 100.$$

Ecuación 7

$$Ejecución\ de\ recursos\ por\ modalidad = \left(\frac{Recursos\ ejecutados\ por\ modalidad\ i, período\ t}{Recursos\ totales\ para\ implementación\ de\ PSA\ modalidad\ i, período\ t}\right) * 100.$$

- Ecuación 8

$$Ejecución\ de\ recursos\ para\ PSA = \left(\frac{Recursos\ ejecutados\ por\ PSA, período\ t}{Recursos\ totales\ para\ implementación\ de\ PSA\ período\ t}\right) * 100.$$

- Ecuación 9

$$Ejecución\ de\ administración = \left(\frac{Recursos\ pagados\ por\ concepto\ de\ administración\ del\ PSA\ \ período\ t}{Recursos\ totales\ para\ PSA, período\ t}\right) * 100.$$

- Ecuación 10

- **Implementación de acciones de PSA:** este indicador tiene como objetivo dar cuenta de la implementación de las acciones del PSA. Según el Artículo 16 de la propuesta del Decreto, el informe técnico de la Secretaría de Medio Ambiente evalúa el predio para la implementación del PSA y define la modalidad, el área a intervenir, las acciones a realizar (preservación y restauración) y las intervenciones al cerramiento (establecimiento o mantenimiento) a implementar. Los indicadores a continuación dan información sobre el cumplimiento de las acciones propuestas. El indicador es una

razón entre lo propuesto y las acciones ejecutadas, expresados en porcentaje:

$$Áreas\ de\ preservación = \left(\frac{Áreas\ (ha)\ de\ preservación\ implementadas\ en\ el\ período\ t}{Áreas\ (ha)\ de\ preservación\ acordadas\ \ por\ el\ PSA\ en\ el\ período\ t}\right) * 100.$$

Ecuación 11

$$Areas\ de\ restauración = \left(\frac{Áreas\ (ha)\ de\ restauración\ implementadas\ en\ el\ período\ t}{Áreas\ (ha)\ de\ restauración\ acordadas\ \ por\ el\ PSA\ en\ el\ período\ t}\right) * 100.$$

Ecuación 12

$$Cerramiento\ establecido = \left(\frac{Cerramiento\ (m)\ establecio\ en\ el\ período\ t}{Cerramiento\ (m)\ acordado\ por\ el\ PSA\ en\ el\ período\ t}\right) * 100.$$

Ecuación 13

$$Cerramiento\ en\ mantenimiento = \left(\frac{Cerramiento\ (m)\ mentenido\ en\ el\ período\ t}{Cerramiento\ (m) objeto\ de\ mantenimiento\ \ acordadas\ porel\ PSA\ en\ el\ período\ t}\right) * 100.$$

Ecuación 14

$$Ha\ en\ mantenimientos = \left(\frac{Áreas\ (ha)\ de\ restauración\ con\ mantenimiento\ realizados\ en\ el\ período\ t}{Áreas\ (ha)\ de\ restauración\ acordadas\ por\ el\ PSA\ en\ el\ período\ t}\right) * 100.$$

Ecuación 15

$$N°\ de\ mantenimientos = \left(\frac{N°\ Mantenimientos\ implementados}{N°\ de\ manteimientos\ de\ áreas\ de\ restauración\ acordadas\ por\ el\ PSA\ en\ el\ período\ t}\right) * 100.$$

Ecuación 16

Indicadores socioeconómicos

El PSA no tiene como objetivo principal el alivio de la pobreza, sin embargo, en la propuesta de Decreto, se definieron criterios para la priorización de propietarios, poseedores u ocupantes de buena fe exentos de culpa en grado de vulnerabilidad socioeconómica. A continuación, se presentan indicadores que permitirían evaluar la relevancia socioeconómica del PSA.

- **Número beneficiarios:** el indicador permitiría evaluar cuantitativamente el incremento o disminución del número de beneficiarios para dos períodos de tiempo (t y t+1). El índice propuesto es una razón, cuando el valor sea mayor que 0, entonces indicaría un incremento en el número de beneficiarios; cuando sea menor que 0 indicaría que hay una disminución.

$$N°\ de\ beneficiarios = \left[\frac{(\text{Beneficiarios t+1} - \text{Beneficiarios en t})}{\text{Beneficiarios en t}}\right] * 100\%$$

Ecuación 17

Se espera que mientras existan áreas disponibles entre aquellas que se definieron en el Artículo 5 de la propuesta de Decreto, entonces se incrementará el número beneficiarios, por tanto, el resultado del indicador será mayor que 0. Sin embargo, estos resultados estarían condicionados a la disponibilidad de recursos.

- **Efectividad del PSA para vincular beneficiarios:** el indicador permitiría evaluar cuantitativamente la efectividad del PSA para vincular beneficiarios en un período de tiempo t. El índice propuesto es una razón, cuando el valor sea igual o mayor que 1, entonces indicaría el número de solicitudes de ingresos al PSA para el año t se cumplió, en caso contario indicaría que no se vincularon todos los beneficiarios que realizaron solicitud de ingreso. Esta información sería útil para diagnosticar problemas en los procesos de vinculación de beneficiarios y mejorar de procesos.

$$Beneficiarios\ vinculados = \left[\frac{(\text{Beneficiarios vinculados al PSA en el período t})}{\text{Solicitud de ingresos de beneficiarios en el período t}}\right]$$

Ecuación 18

Beneficiarios en línea de pobreza: como criterio para la priorización de beneficiarios se definió los indicadores de vulnerabilidad socioeconómica de Sisbén (Artículo 4, propuesta de Decreto. Producto 01 – Ajuste Decreto). Complementario a ello, para evaluar el potencial del PSA para aliviar la pobreza, se requiere compilar información de los ingresos de los beneficiarios para establecer cuántos de ellos están por debajo de la línea de pobreza. El indicador es un porcentaje que permite cuantificar el número de beneficios por debajo de la línea de pobreza que se vinculan a un período de tiempo. Evaluar el indicador en varios períodos permitirá identificar el aporte, a través del tiempo, para aliviar la pobreza en el Distrito.

$$Alivio\ de\ pobreza\ = \left[\frac{(\text{Beneficiarios por debajo de la línea de pobreza en t})}{\text{Beneficiarios vinculados en t}}\right] * 100\%$$

Ecuación 19

Número de empleos: los beneficios de los proyectos ambientales se miden, fundamentalmente, con el potencial para generar empleos formales y el fortalecimiento de las cadenas de valor, medido a través de los empleos indirectos. En este sentido, desde el punto de vista socioeconómico se recomienda cuantificar el número de empleos directos de mano de obra calificada (M. O. Cal.) y no calificada (M.O. No Cal.), y el número de empleos indirectos asociados a la implementación de PSA en un período t. La indexación por tiempo t, permite evaluar este beneficio en el tiempo.

$$Empleos\ período\ t = Empleos\ directos\ M.O.\ Cal. + Empleos\ directos\ M.O\ No\ Cal. + Empleos\ indirectos$$

Ecuación 20

Paisaje – coberturas vegetales

El PSA debería ser evaluado considerando los cambios en las coberturas vegetales. Se espera el incremento en área de bosque y en áreas de restauración en el Distrito. Para ello, se realizará un análisis multitemporal de coberturas vegetales. El análisis considerará un tamaño de píxel que permita análisis a escala grande y detallada[11], y se defina unidad mínima cartografiable con base en la información disponible. Es importante considerar que

[11] En la Resolución 1051 de 2017 de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Artículo 4, Numeral 4 define las consideraciones para el monitoreo y caracterización de línea base para proyectos de restauración y conservación a través de Bancos de Hábitat

para la evaluación de cambios en el uso del suelo de bosque a no bosque en el departamento de Antioquia[12], estudios previos ha utilizado un tamaño de *pixel* de 30 m obteniendo resultados satisfactorios.

Se recomienda considerar las restricciones presupuestales y técnicas existentes parar los monitoreos y diseñar un método de análisis de los cambios de cobertura, incluyendo el área mínima cartografiable, utilizando la mejor información disponible por el Distrito. Es importante que se consideren las recomendaciones de la metodología *Corine Land Cover* adaptada para Colombia (IDEAM 2010) y que en el análisis se establezca una línea base y análisis en el corto (3 años), mediano (5 años) y largo plazo (10 – 15 años).

El método definido debe estandarizarse para que los resultados sean comparables a nivel regional y nacional. Se recomienda para la estandarización, tener en cuenta los estudios y los métodos para el análisis de la deforestación y cambios en las coberturas y usos del suelo definidos para el país por el IDEAM en el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales[13]. La información colectada debería permitir, por período, estimar los siguientes indicadores y realizar su análisis:

- **Número de parches:** este indicador corresponde al número de unidades de cada cobertura que conforman la zona de interés. Busca analizar los arreglos del paisaje en riqueza y dominancia (Zambrano 2007) e indica la cantidad de fragmentos que ocupan un área, siendo así un indicador de fragmentación del paisaje.

  El cuantificador, en este caso es el número de polígonos por tipo de cobertura. Con él se busca monitorear el comportamiento de la fragmentación de la vegetación más conservada e intervenida con acciones de restauración, las cuales se esperan disminuyan su fragmentación o número de parches, unificándose en menos parches de mayor tamaño.

- **Heterogeneidad del paisaje:** la cuantificación de este indicador corresponde al índice de diversidad de *Shannon (H´).* Este índice valora la diversidad paisajística, es decir, la heterogeneidad a partir de la diversidad de fragmentos. Su valor absoluto es útil para comparar distintos paisajes o un mismo paisaje en distintos momentos temporales. Se calcula según la siguiente expresión matemática:

$$H' = -\sum_{i=1}^{m} p_i * lnp_i$$

Ecuación 21

  donde, p_i es la fracción del área de muestreo ocupada por el uso i, m es el número de atributos en el área de muestreo (Shannon y Weaver, 1962). Los valores de H' cercanos a 2 se consideran altos y corresponden a paisajes más heterogéneos.

[12] Ramírez y Orrego. 2011. Modelación Económica con información espacialmente explícita de la deforestación en Urabá, Colombia, 1980-2000. Semestre Económico, volumen 14 – N 29. Pag 31 - 52.

[13] http://smbyc.ideam.gov.co/MonitoreoBC-WEB/reg/indexLogOn.jsp

Como resultado de la implementación del PSA en el Distrito se espera que los valores de H', evaluados para una misma área y en diferentes períodos, sean bajos. Ello como resultado de la consolidación del paisaje a través de las acciones del PSA (preservación y restauración). Por tanto, el paisaje estaría dominado por parches boscosos más conservados y menos fragmentados.

- **Índice de forma:** como cuantificador de este indicador se utilizará la dimensión fractal, la cual calcula el grado de complejidad de cada fragmento a partir de la relación entre área y perímetro. La dimensión fractal usualmente es aplicada a paisajes mediante el uso de la relación área-perímetro y se calcula con la siguiente ecuación:

$$D = \frac{2logP}{logA},$$

Ecuación 22

donde, P es el perímetro en metros y A es el área en metros cuadrados. La dimensión fractal expresa el grado de complejidad de los fragmentos. D oscila entre 1 (formas euclidianas simples) y 2 (formas complejas, amorfas y elongadas).

- **Cambios de cobertura:** este indicador mide los cambios de área de las coberturas del suelo a partir de un análisis multitemporal, mediante el cual se identifican las pérdidas o ganancia de hábitat, la restauración y la preservación. La tasa de cambio estima el grado de conservación de la cobertura, la cantidad de hábitat natural intacto y los patrones de conversión.

Se espera que con la aplicación del PSA, las áreas preservadas no presenten cambios significativos en sus coberturas, es decir, que los tamaños iniciales de los parches boscosos persisten (baja tasa de cambio inferior al 10%), y a su vez las zonas con restauración tengan un cambio mayor del 30, 60 y 80. Las tasas de cambio se calcularán de acuerdo con la ecuación matemática de (FAO 1996):

$$\delta_n = (\frac{S_2}{S_1})^{\frac{1}{n}} - 1,$$

Ecuación 23

donde, δ es la tasa de cambio (para expresar en % hay que multiplicar por 100), S_1 es superficie en período t, S_2 es la superficie en el período t+1; y n es el número de años entre las dos fechas.

- **Conectividad:** este indicador será cuantificado mediante el índice de proximidad, el cual hace referencia a la distancia al fragmento de la misma clase más próximo a partir de un determinado radio de búsqueda. El índice de proximidad (PX) se calcula usando el área y la distancia de borde a borde desde el parche i hasta su parche de bosque vecino más cercano de cada uno de los n parches de bosque identificados dentro del búfer, incluido el parche que se indexa y se calcula con la siguiente ecuación (Gustafson y Parker 1994):

$$PX = \sum_{i=1}^{n} \frac{S_i}{Z_i},$$

Ecuación 24

donde, S_i es el área de un parche específico dentro de la distancia de vecindad del parche i; Z_i es la distancia entre el parche vecino y el parche i en metros de borde a borde. Se espera que el valor sea mayor o igual a 0. El valor será mayor en la medida que los parches vecinos son de la misma clase.

Altos valores de proximidad indican que fragmentos vecinos, del mismo tipo de cobertura, están menos aislados, grandes y agregados. Bajos valores indican que los fragmentos se encuentran aislados y pueden tener tamaños pequeños. Con la implementación del PSA, se busca que el valor del índice de proximidad al interior del área de interés sea alto, solo en el caso de que la cobertura más conservada se encuentre fragmentada y requiera de una alta conectividad entre los parches, esta conectividad se logrará mediante acciones de restauración, por ende, se busca que en el mediano y largo plazo el índice disminuya al convertir las áreas en un parche de bosque unificado y conectado.

Finalmente, se realizará un análisis de conectividad a una escala regional, considerando áreas protegidas o de interés ambiental, con el objeto de evaluar la importancia de las intervenciones del PSA con la conectividad en la Estructura Ecológica Principal municipal. Este indicador a escala regional se realizará en el corto (3 años) y mediano plazo (5 años).

Flora

Con base en las coberturas identificadas según la metodología *Corine Land Cover* adaptada para Colombia, se realizarán inventarios forestales en las áreas de preservación y restauración. Se sugiere establecer la línea base y a partir de ahí, el monitoreo podría realizarse cada 3 o 5 años. La periodicidad debería ser definida con base en la evolución del comportamiento de las acciones, siendo necesario un monitoreo más frecuente para las acciones de restauración. Durante cada inventario se describirá las áreas a muestrear para identificar los tensores ambientales que puedan afectar el proceso de preservación y restauración. Todo el proceso será registrado fotográficamente como evidencia del cumplimiento de las actividades.

El proceso de inventarios es estándar para evitar errores de medición, para garantizar la comparabilidad de los datos y teniendo en consideración las exigencias técnicas de la medición forestal. Por tanto, el inventario será realizado con muestro estadístico considerando el número de coberturas existentes y para generar información necesaria y suficiente que permite evaluar la tasa de mortalidad y sobrevivencia, la productividad vegetal, el crecimiento, la demografía, la regeneración (renuevos, brinzales, latizales y fustales), las especies focales y el análisis estructural de las coberturas (distribución de alturas y diámetros).

El tamaño de la muestra por cobertura se sugiere calcular teniendo como base el premuestreo, la información de línea base, información reportad en la literatura y estudios previos del PSA, y el área a inventariar. Según la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales (2018)[14] para Colombia, el tamaño de las parcelas depende de las unidades de vegetación que se identifiquen y su tamaño, de las categorías de tamaño de los individuos, del tamaño y/o grado de heterogeneidad del área de muestreo, y/o la riqueza y/o diversidad de las especies. Por tanto, se debe planificar el uso de una o varias metodologías de muestreo para caracterizar adecuadamente cada una de las unidades de vegetación. Se recomienda para PSA del Distrito el uso del Manual de Métodos para el Desarrollo de Inventarios de Biodiversidad del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt[15], realizando los ajustes de los métodos a las condiciones de las áreas a muestrear y considerando fustales (DAP > 10 cm), latizales (2,5 cm ≤ DAP < 10 cm) y brinzales (alturas > 30 cm – DAP ≤ 2,5 cm). En la Tabla 4 se presentan los tamaños más comunes de parcelas utilizados en los Estudios de Impacto Ambiental para Colombia.

Tabla 4. Tamaño de las parcelas circulares según categorías de tamaño de la vegetación

Categoría de tamaño de la vegetación	Tamaño de la parcela (m^2)	Radio de la parcela (m)	Categoría de tamaño de la vegetación	Tamaño de la parcela (m^2)	Radio de la parcela (m)
Fustal	500	12,62	Fustal	250	8,92
Latizal	250	8,92	Latizal	100	5,64
Brinzal	50	3,99	Brinzal	50	3,99

Para cada uno de los períodos evaluados, se calcularán los siguientes indicadores y se realizarán los siguientes análisis:

- **Tasa de mortalidad y sobrevivencia:** este indicador tiene como objetivo cuantificar la supervivencia de los individuos establecidos en las actividades de restauración. Para ello se realiza la comparación de los individuos sobrevivientes por período de tiempo en concordancia con los mantenimientos en comparación con los individuos establecidos. Cuando la mortalidad supera los el 10% de los individuos establecidos se considera un límite superior que exige la implementación de medidas correctivas.

$$Mortalidad = \left(\frac{Número\ de\ individuos\ que\ sobreviven}{Número\ de\ inviduos\ establecidos}\right) * 100.$$

Ecuación 25

- **Productividad vegetal – biomasa y carbono:** el indicador se cuantificará mediante el incremento de la biomasa aérea en las diferentes coberturas. La biomasa aérea se calculará de manera indirecta, aplicando ecuaciones alométricas a partir de las estructuras diamétricas. La biomasa será ajustada con el factor de expansión para tener en cuenta la biomasa de raíces. Para la conversión de biomasa a carbono se asume que la biomasa de los árboles vivos contiene aproximadamente 50% de carbono (Clark et al. 2001).

[14] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. 2018. Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales. Bogotá D.C.

[15] http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31419/63.pdf

Con base en la revisión de literatura, se presentan en la Tabla 5 las ecuaciones alométricas que podrían considerarse en las áreas rurales del Distrito de Medellín. Esta información podría complementarse con revisiones de literatura periódicas y también se podría implementar el uso de las ecuaciones por zonas de vida de Holdridge [16] e información del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)[17].. Este indicador permitiría establecer las áreas de interés para la Modalidad de PSA de carbono y reducción de GEI, identificando aquellas con mayor cantidad de carbono almacenado y también estableciendo tasa de acumulación cuando se hacen cuantificaciones intertemporales.

Tabla 5. Ecuaciones alométricas propuestas

Unidad de paisaje	Ecuación	Localidad	Fuente
Bosques secundarios	Log10 B= -4,47+2,7log10dap	Nicaragua	Ferreira (2001)
Árboles en potrero	Log10 B = -2,18 + 0,08(dap)-0,0006(dap2)	Nicaragua	Ruiz (2002)
Bosques ribereños	Ln B = -2,13 + 2,42 Ln (dap)	Colombia	Zapata et ál. (2003)
Bosques secos tropicales mundiales	B= ρi * exp(-0.667 + 1.784*ln(Dap) + 0.207(ln(Dap))2-0.0281(ln(Dap)3))	Global	Chave et al. (2005)
	B= exp[-2.187 + 0.916 * ln(ρi(DAP)2H)]	Global	
Lianas	BA = 0,028 + 1,841 ln Dap	Antioquia, Colombia	Zapata et al. 2003 Orrego & del Valle (2003)

- **Crecimiento apical y diamétrico:** los indicadores de crecimiento se cuantificarán mediante el incremento medio anual (IMA) de altura y diámetro. El valor del incremento o crecimiento medio anual (IMA) expresa la media del crecimiento total a cierta edad del árbol. El indicador IMA es obtenido por la división del mayor valor actual de la variable considerada, dividida por la edad a partir del tiempo cero.

$$IMA = \sum_{i=1}^{n} \frac{y_t}{t_0},$$

Ecuación 26

donde, IMA es el incremento medio anual, y_t es el diámetro o altura que se desea analizar, t_0 es la edad a partir del tiempo cero.

Para el PSA del Distrito las mediciones de productividad vegetal y de crecimiento medio anual permiten identificar las especies que más velozmente permiten cumplir con los objetivos ambientales. Sin embargo, es importante considerar que todos los resultados deben ser comparados con parámetros y datos de referencia. Igualmente, es necesario considerar la ecología de las especies y sus respectivas tasas de crecimiento.

[16] Juan Fernando, P. B., Álvaro Javier, D. M., Adriana Patricia, Y. Q., Kenneth Roy, C. T., María Claudia, G. D., Diego Alejandro, N. E., Esteban, Á. D., & Dairon, C. L. (2011). *Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales deColombia. Estratificación, alometría y métodos análiticos* (M. y E. A.-I.- Instituto de Hidrología (ed.); Vol. 1).

[17] http://smbyc.ideam.gov.co/MonitoreoBC-WEB/reg/indexLogOn.jsp

- **Demografía:** los indicadores que expresan avances y estabilidad en el componente demográfico se cuantificarán por medio de la tasa de reclutamiento y tasa de mortalidad. Las variables estructurales como densidad, área basal y número de especies, fluctúan en torno de un valor medio a lo largo del tiempo. Esa constancia relativa es mantenida a través de un balance adecuado entre las tasas de mortalidad y reclutamiento de árboles (Ramirez, et al., 2002). Este indicador se debe aplicar a las áreas de preservación del PSA del Distrito.

  Las tasas de mortalidad y reclutamiento se calcularán con las siguientes ecuaciones:

$$rm = \left[1 - \left(\frac{N_S}{N_0}\right)^{\frac{1}{t}}\right] * 100,$$

Ecuación 27

  donde, rm es la tasa anual de mortalidad expresada en porcentaje; N_0 es el número de individuos inventariados en el período 1; N_S es el número de individuos inventariados sobrevivientes para el período t+1. De ahí se deriva que, N_S es igual a la diferente entre N_0 y los individuos muertos (Mu en el período t. El período t corresponde al intervalo de tiempo entre dos inventarios.

$$rr = \left[\left(\frac{N_t}{N_0}\right)^{\frac{1}{t}} - 1\right] * 100,$$

Ecuación 28

  donde, rr es la tasa anual de reclutamiento expresada en porcentaje; N_t es el número de individuos inicialmente inventariados más los reclutados durante el periodo t+1, N_0 es el número de individuos inventariados en el período 1. De ahí se deriva que N_t es igual al N_0 más los individuos reclutados en el período t.

- **Renuevos, brinzales, latizales y fustales:** en el inventario la regeneración natural, se realizaría de la siguiente manera: se selecciona el primer y último sub cuadrante de cada parcela, dentro de los cuales se delimita un cuadrante, según la metodología definida, donde se van a contar y medir todas aquellas especies arbóreas de la categoría de latizales y brinzales. Los resultados se comparar para los períodos t y t+1.

$$(Rn) = \frac{\#\ de\ especies\ nuevas}{\#\ de\ especies\ Inicial}\ x\ 100\%$$

Ecuación 29

- **Riqueza de especies:** el indicador se cuantifica mediante el cálculo del índice de riqueza específica de Margalef. Este índice es una medida utilizada en ecología para estimar la biodiversidad de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies, en función del número de individuos existentes en la muestra analizada (Margalef 1969). El índice se calcula según la siguiente expresión matemática:

$$D_{MG} = \frac{(S-1)}{lnN},$$

Ecuación 30

donde: S es el número de especies y N es el número total de individuos. Los valores inferiores a 2 son relacionados con zonas de baja diversidad (en general resultado de efectos antropogénicos) y valores superiores a 5 son considerados como indicativos de alta biodiversidad. Por tanto, se espera que, para el PSA del Distrito, en las áreas de preservación el índice sea constante en el tiempo o con incrementos leves, mientras que en las áreas de restauración se incremente con la siembra de individuos de nuevas especies en el momento de la intervención. Este índice debería de utilizarse para la comparación de áreas intervenidas por el PSA.

- **Especies focales:** las especies focales pueden ser plantas y animales que engloban las necesidades de una gama más amplia de especies, y que ayuda a determinar los atributos espaciales, de composición y de manejo de un paisaje para mantener poblaciones viables en el largo plazo (Lambeck 1997). Las especies seleccionadas dentro de esta categoría deben encontrarse entre las más vulnerables a la reducción poblacional a causa de la actividad humana y, por lo tanto, si se conservan con un manejo adecuado del hábitat, las especies menos vulnerables también estarán protegidas (Calle y Piedrahita 2007).

  Para la implementación de este indicador se requiere que en la línea base se identifiques las especies de especial interés (endémicas), con poblaciones reducidas o en veda (nacional y regional), luego de ello con base en la revisión de literatura se establece su grado de focales. A mayor número de especies focales presentes en el área a preservar y restaurar, mayor grado de conservación tendrá y mayor garantía tendrán las estrategias a implementar, por ser especies que engloban necesidades de un grupo más grande de especies.

Fauna

Para optimizar el uso de recursos, en las campañas de los inventarios de vegetación se realizará las campañas de monitoreo de fauna. El cuantificador de este indicador se desarrolla a partir del número de especies encontradas por cada grupo de animales, asociado al tiempo y/o intensidad de muestreo, así mismo se identificarán las especies focales y los análisis de diversidad como se presentaron previamente. Para lo anterior se cuantificará en cada campaña de muestreo en el tiempo t:

- Número de especies de herpetos registrados en una cobertura y para un período t.
- Número de especies de aves registradas en una cobertura y para un período t.
- Número de especies de mamíferos registrados en una cobertura y para un período t.

Se espera que las especies y riqueza de fauna aumente en el corto, mediano y largo plazo en las coberturas destinadas a restauración y que esta riqueza se mantenga en las coberturas de preservación.

Para sofisticar los métodos de muestreo, se recomienda que el Distrito ajuste a sus requerimientos y necesidades la Metodología General para la Elaboración y Presentación

de Estudios Ambientales (2018)[18] para Colombia y el Manual de Métodos para el Desarrollo de Inventarios de Biodiversidad del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt[19],

Monitoreo de caudales y calidad del agua

La actualización de la normatividad nacional referente al PSA incluye el reconocimiento de los servicios ecosistémicos hídricos en términos de calidad y cantidad de agua. Se recomienda que para todas las cuencas en las cuales se implementa el PSA en el Distrito podría realizar la implementación de sistemas de instrumentalización y monitoreo de la cuenca, considerando las especificidades de cada una de ellas y con el objetivo de generar información necesaria y suficiente para la caracterización del comportamiento de la cuenca ante los cambios implementados. Para los protocolos técnicos de estos monitoreos se recomienda el uso de los documentos generados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH) correspondientes a las redes de monitoreo complementarias regionales y para usos específicos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022).

3.12. RECOMENDACIONES PARA CUENCAS EXTERNAS

Con el Decreto Ley 870 de 2017 y el Decreto 1007 de 2018, se habilita la posibilidad de realizar inversiones por parte del Distrito de Medellín en áreas de interés para la provisión de SSEE en áreas externas a su jurisdicción. En este sentido, se recomienda que se realicen acuerdos con las autoridades municipales de estas áreas con el acompañamiento de las autoridades ambientales y la gobernación para realizar las inversiones requeridas para garantizar la protección y restauración del capital natural. Estos acuerdos podrían enfocarse en el apoyo a la estructuración, desde el punto de vista técnico y financiero, de PSA en áreas de interés para la provisión de servicios hidrológicos, incluyendo entre otras las áreas de retiro de las quebradas y nacimientos. Igualmente, se apoye la compra y mantenimiento de predios en asociación con las alcaldías municipales y en cumplimiento del Artículo 111 de la Ley 99 de 1993. Finalmente, esta asociación tendrá como objetivo, igualmente, velar por el cumplimiento de las disposiciones del EOT en cuanto a protección y manejo del agua en la microcuenca.

3.13. CONDICIONALIDAD IMPUESTA Y PROCESO SANCIONATORIO

Se recomienda que el Distrito de Medellín establezca que la Secretaría de Medio Ambiente o su delegado continúe con el monitoreo y seguimiento del cumplimiento de las obligaciones estipuladas en el contrato de PSA y se verifique el uso acordado del suelo en los predios objeto de PSA. Cuando el informe de la visita de verificación revele incumplimientos del contrato de PSA, el Distrito de Medellín podría formular los correspondientes requerimientos que deberán ser atendidos por el propietario, poseedor u ocupante de buena fe exenta de culpa del predio, los cuales de no cumplirse en el período estipulado el Distrito procederá a

[18] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. 2018. Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales. Bogotá D.C.

[19] http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31419/63.pdf

la liquidación unilateral de contrato e informar a las autoridades competentes en los casos a que haya lugar.

El proceso sancionatorio da cuenta de la verificación del cumplimiento del contrato según el Artículo 25 de la propuesta del Decreto, considerando que el Decreto 1007 de 2018 excluye lo atinente a garantías, multas y consecuencias por terminación unilateral del contrato de PSA.

4. CONCLUSIONES

Se analizaron los PSA desde sus fundamentos teóricos y las recomendaciones para su diseño e implementación con base en estudios académicos de alto impacto, el análisis de políticas nacionales y documentos técnicos de la implementación PSA y experiencias nacionales e internacionales. Luego de esta cuidadosa revisión, el documento presenta los aspectos fundamentales en la formulación de una propuesta para la actualización del PSA para el Distrito de Medellín que sirvieron como base para formular la propuesta de ajuste al Decreto, el documento para el ajuste del costo de oportunidad y la focalización espacial de los pagos en el mapa de áreas elegibles para el PSA, objeto de esta consultoría.

Este documento presenta las recomendaciones, acciones y propuestas para la actualización del PSA del Distrito, haciendo énfasis en los aspectos teóricos necesarios para la propuesta de Decreto, en él se presentan de manera explícita la relación del Decreto con soportes teóricos y recomendaciones de políticas, y se realzan interpretaciones de los aspectos técnicos. Es importante considerar que los fundamentos teóricos permiten definir los aspectos prácticos de la implementación de la norma y generan recomendaciones para las implementaciones de acciones específicas, como los sistemas de comunicación, divulgación y los monitoreos.

Las recomendaciones construidas tienen como objetivo que el PSA sea un instrumento efectivo para la conservación ambiental y la provisión de bienes y servicios ambientales a la vez que aporta a las actividades económicas de las comunidades donde se emplaza, haciendo un aporte al objetivo de aliviar la pobreza. Para esto, se identificaron las necesidades de focalización espacial, el área mínima de intervención, las definiciones de condicionalidad impuesta para eficiencia del instrumento, así como la mejor forma de incluirlos en el cálculo del incentivo a pagar. Como resultado, se presenta un valor actualizado del costo de oportunidad y una propuesta para incluir la renta de la tierra que debe implementarse una vez se establezca la línea base. También se identificaron aspectos que van más allá de establecer una cifra que incentive la adherencia al programa. Como se define en el Decreto, las estrategias de comunicación y divulgación pueden fomentar la inscripción de beneficiaros pues facilitan el proceso de inscripción y minimizan las reservas que pueden tener los proveedores más adversos al riesgo. Además, los PSA deben ser percibidos como justo por los participantes, que consideren que los recursos están garantizados y que son exitosos. En respuesta a estas estrategias, se incrementará la permanencia de los beneficiarios y como resultado, se garantizará la adicionalidad ambiental.

Finalmente, para garantizar el cumplimiento de los objetivos de los programas y su sostenibilidad, se propone un sistema de monitoreo y se hacen recomendaciones para la evaluación en el corto, mediano y largo plazo. El monitoreo permite hacer ajustes al sistema en el corto plazo y mediano plazo mientras que la evaluación de impacto cuantitativa permitiría establecer relaciones de causalidad entre las inversiones del PSA y la provisión de servicios ambientales, es decir, permite evaluar el objetivo de adicionalidad ambiental.

5. BIBLIOGRAFÍA

Abreu, Zoraida, Luis Llambí, y Lina Sarmiento. 2009. "Sensitivity of Soil Restoration Indicators during Páramo Succession in the High Tropical Andes: Chronosequence and Permanent Plot Approaches". Restoration Ecology 17: 619–27.

Aedo, C. (2005). Evaluación de Impacto. Serie Manuales - CEPAL.

Aguilar, Mauricio, y Wilson Ramírez. 2015. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos

Alexander von Humboldt (IAvH) Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres.

Albrecht, H. (1969). Innovationsprozesse in der Landwirtschaft.

Arnott, R. J., & Mcmillen, D. (2007). A Companion to Urban Economics. https://doi.org/10.1002/9780470996225

Banco Interamericano de Desarrollo. (2017). La Evaluación de Impacto en la Práctica. (Segunda Edición). Banco Mundial.

Bennett, D. E., Gosnell, H., Lurie, S., & Duncan, S. (2014). Utility engagement with payments for watershed services in the United States. Ecosystem Services, 8, 56–64. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.02.001

Bingham, L. R. (2021). Vittel as a model case in PES discourse: Review and critical perspective. In Ecosystem Services (Vol. 48). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101247

Bingham, L. R., da Re, R., & Borges, J. G. (2021). Ecosystem services auctions: The last decade of research. In Forests (Vol. 12, Issue 5). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/f12050578

Bremer, L. L., Farley, K. A., & Lopez-Carr, D. (2014). What factors influence participation in payment for ecosystem services programs? An evaluation of Ecuador's SocioPáramo program. Land Use Policy, 36, 122–133. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.08.002

Brown, G. M., & Shogren, J. F. (n.d.). Economics of the Endangered Species Act. In foumal of Economic Perspectives (Vol. 12).

Brown, K., & Corbera, E. (2003). Exploring equity and sustainable development in the new carbon economy. Climate Policy, 3(sup1), S41–S56. https://EconPapers.repec.org/RePEc:taf:tcpoxx:v:3:y:2003:i:sup1:p:s41-s56

Calle, A. (2020). ¿Can short-term payments for ecosystem services deliver long-term tree

cover change? Ecosystem Services, 42, 101084. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101084

Calle, Zoraida, y Lorena Piedrahita. 2007. "¿Cómo diseñar estrategias para el manejo de plantas de interés para la conservación en paisajes ganaderos?" Agroforestería de las Americas 45: 117–22.

Camacho, Jesús H, Nathalia M Forero, Leonardo Ramírez, y Yolanda Rubiano. 2016. "Evaluación de la Textura del Suelo con Espectroscopía de infrarrojo Cercano en un Oxisol de Colombia". 20(1): 2–3. http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v20n1/v20n1a01.pdf.

Cerulli, G. (2015). Econometric Evaluation of Socio-Economic Programs. Theory and Applications (First Edition). Springer.

Clark, Deborah A. et al. 2001. "Measuring net primary production in forests: Concepts and field methods". Ecological Applications 11(2): 356–70.

Coase, R. H. (1937). The Nature of the Firm. Economica, 4(16), 386–405. https://doi.org/10.2307/2626876

Corbera, E., Soberanis, C., & Brown, K. (2009). Institutional dimensions of Payments for Ecosystem Services: An analysis of Mexico's carbon forestry programme. Ecological Economics, 68, 743–761. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.008

CORTOLIMA, CORPOICA, Sena, y Universidad del Tolima. 2007. Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca Hidrográfica Mayor del Río Totare, Convenio Cortolima, Corpoica, Sena y Universidad del Tolima.

da Conceição, H. R., Börner, J., & Wunder, S. (2018). REDD+ as a public policy dilemma: Understanding conflict and cooperation in the design of conservation incentives. Forests, 9(11). https://doi.org/10.3390/f9110725

Dayer, A. A., Lutter, S. H., Sesser, K. A., Hickey, C. M., & Gardali, T. (2018). Private Landowner Conservation Behavior Following Participation in Voluntary Incentive Programs: Recommendations to Facilitate Behavioral Persistence. In Conservation Letters (Vol. 11, Issue 2). Wiley-Blackwell. https://doi.org/10.1111/conl.12394

de Blas, D., le Coq, J.-F., & Guevara Sanginés, A. (2017). Los pagos por servicios ambientales en América Latina. Gobernanza, impactos y perspectivas. (1st ed., Vol. 1). Universidad Iberoamericana.

Diswandi, D. (2017). A hybrid Coasean and Pigouvian approach to Payment for Ecosystem Services Program in West Lombok: Does it contribute to poverty alleviation? Ecosystem Services, 23, 138–145. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.12.005

DNP. (2017). Instrumentos económicos e incentivos financieros para crecimiento verde y fuentes de financiamiento internacional para cambio climático en Colombia. Componente

A: Instrumentos económicos e incentivos financieros (Primera).

Donoso, Claudio. 1992. Ecología forestal: el bosque y su medio ambiente. Editorial Universitaria. https://books.google.com.co/books?id=7fZEAAAAYAAJ.

Doran, J.W. and Parkin, T.B. 1994. "Defining Soil Quality for a Sustainable Environment". Soil Science Society of America Journal: 1994.

Engel, S., Pagiola, S., & Wunder, S. (2008). Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. Ecological Economics, 65(4), 663–674. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.03.011

Etchart, N., Freire, J. L., Holland, M. B., Jones, K. W., & Naughton-Treves, L. (2020). What happens when the money runs out? Forest outcomes and equity concerns following Ecuador's suspension of conservation payments. World Development, 136. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105124

Ezzine-De-Blas, D., Wunder, S., Ruiz-Pérez, M., & del Pilar Moreno-Sanchez, R. (2016). Global patterns in the implementation of payments for environmental services. PLoS ONE, 11(3). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149847

Fairhead, J., Leach, M., & Scoones, I. (2012). Green Grabbing: a new appropriation of nature? The Journal of Peasant Studies, 39(2), 237–261. https://doi.org/10.1080/03066150.2012.671770

FAO. 1996. Forest Resources Assessment 1990: Survey of Tropical Forest Cover and Study of Change Processes. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://books.google.com.co/books?id=pjsusJO5yEcC.

FCM, F. C. de M. (2020). Recomendaciones para la incorporación de las áreas de conservación e instrumentos económicos en el ordenamiento territorial municipal. .

Fearnside, Philip M et al. 1999. "Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará". Forest Ecology and Management 123(1): 65–79. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037811279900016X.

Ferraro, P. J., & Pattanayak, S. K. (2006). Money for nothing? A call for empirical evaluation of biodiversity conservation investments. In PLoS Biology (Vol. 4, Issue 4, pp. 482–488). https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040105

Glaeser, E. (2007). The Economic Approach to Ciites. Working Paper Series - National Bureau of Economic Research, 1696.

Gómez-Hernández, L. Y., & Semeshenko, V. (2018). Transporte y calidad de vida urbana. Estudio de caso sobre el Metroplús de Medellín, Colombia. Lecturas de Economía, 89, 103–131.

Greenleaf, M. (2020). Rubber and Carbon: Opportunity Costs, Incentives and Ecosystem Services in Acre, Brazil. Development and Change, 51(1), 51–72. https://doi.org/10.1111/dech.12543

Grieg-Gran, M., Porras, I., & Wunder, S. (2005). How can market mechanisms for forest environmental services help the poor? Preliminary lessons from Latin America. World Development, 33(9 SPEC. ISS.), 1511–1527. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2005.05.002

Gustafson, Eric J., y George R. Parker. 1994. "Using an index of habitat patch proximity for landscape design". Landscape and Urban Planning 29(2–3): 117–30.

Hanemann, M. (2007). The concept of value in economics. 3rd Meeting of the European Forest Institute.

Hegde, R., & Bull, G. Q. (2011). Performance of an agro-forestry based Payments-for-Environmental-Services project in Mozambique: A household level analysis. Ecological Economics, 71, 122–130. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.08.014

Hendrickson, C. Y., & Corbera, E. (2015). Participation dynamics and institutional change in the Scolel Té carbon forestry project, Chiapas, Mexico. Geoforum, 59, 63–72. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2014.11.022

IDEAM. 2010. "Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000". Area TH-62-04-1(257): 16.

Imaña, José, y Oswaldo Encinas. 2008. Epidometría Forestal.

Karsenty, A., & Ongolo, S. (2012). ¿Can "fragile states" decide to reduce their deforestation? The inappropriate use of the theory of incentives with respect to the REDD mechanism. Forest Policy and Economics, 18, 38–45. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.05.006

Kosoy, N., & Corbera, E. (2010). Payments for ecosystem services as commodity fetishism. Ecological Economics, 69(6), 1228–1236. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.002

Lambeck, Robert J. 1997. "Focal Species: A Multi-Species Umbrella for Nature Conservation". Conservation Biology 11(4): 849–56. http://www.jstor.org/stable/2387320.

Layton, D. F., & Siikamäki, J. (2009). Payments for ecosystem services programs: Predicting landowner enrollment and opportunity cost using a beta-binomial model. Environmental and Resource Economics, 44(3), 415–439. https://doi.org/10.1007/s10640-009-9293-5
León, N., Castiblanco, C., Buitrago, J., & Toro, J. (2012). Valoración económica ambiental: conceptos, métodos y aplicaciones (1st ed.). CAR-IDEA.

Lueck, D., & Michael, J. A. (2003). Preemptive habitat destruction under the endangered species act. In Journal of Law and Economics (Vol. 46, Issue 1, pp. 27–60). https://doi.org/10.1086/344670

Mabsout, R., & Radmard, H. (2020). Experimenting with the Coase theorem. Journal of Economic Methodology, 27(1), 1–17. https://doi.org/10.1080/1350178X.2019.1608457

MacDicken, K G. 1997. "A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects". Specialist (January 1997): iv + 87 pp.

Margalef, R. 1969. El Ecosistema pelágico del mar Caribe. Barcelona. https://books.google.com.co/books?id=dHkHogEACAAJ.

Martín-López, B., González, J. A., & Vilardy, S. (2012). Guía docente Ciencias de la Sostenibilidad. Universidad del Magdalena.

Mcafee, K. (1999). Selling nature to save it? Biodiversity and green deveiopmentaiism (Vol. 17).
McAfee, K., & Shapiro, E. N. (2010). Payments for Ecosystem Services in Mexico: Nature, Neoliberalism, Social Movements, and the State. Annals of the Association of American Geographers, 100(3), 579–599. https://doi.org/10.1080/00045601003794833

Milne, S., & Adams, B. (2012). Market Masquerades: Uncovering the Politics of Community-level Payments for Environmental Services in Cambodia. Development and Change, 43(1), 133–158. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1467-7660.2011.01748.x

MinAmbiente. (2018). Guía de aplicación de la Valoración Económica Ambiental (1st ed.).
Molina, P G, y M Á L de Guevara. 2018. Elementos abióticos, bióticos y antrópicos. UF0732. https://books.google.com.co/books?id=VOdjDwAAQBAJ.

Moros, L., Corbera, E., Vélez, M. A., & Flechas, D. (2020). Pragmatic conservation: Discourses of payments for ecosystem services in Colombia. Geoforum, 108, 169–183. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2019.09.004

Muradian, R., & Gómez-Baggethun, E. (2013). The Institutional Dimension of "Market-Based Instruments" for Governing Ecosystem Services: Introduction to the Special Issue. In Society and Natural Resources (Vol. 26, Issue 10, pp. 1113–1121). https://doi.org/10.1080/08941920.2013.829380

Muradian, R., Corbera, E., Pascual, U., Kosoy, N., & May, P. H. (2010). Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. Ecological Economics, 69(6), 1202–1208. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.006

Ostrom, E. (1990). Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action (Primera).

Ostrom, E. (2009). How Types of Goods and Property Rights Jointly Affect Collective Action. Journal of Theoretical Politics, 15(3), 239–270.

Pagiola, S., Arcenas, A., & Platais, G. (2005). ¿Can Payments for Environmental Services

help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America. World Development, 33(2 SPEC. ISS.), 237–253. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.07.011

Pascual, U., Phelps, J., Garmendia, E., Brown, K., Corbera, E., Martin, A., Gomez-Baggethun, E., & Muradian, R. (2014). Social Equity Matters in Payments for Ecosystem Services. BioScience, 64(11), 1027–1036. https://doi.org/10.1093/biosci/biu146

Pattanayak, S. K., Wunder, S., & Ferraro, P. J. (2010). Show Me the Money: ¿Do Payments Supply Environmental Services in Developing Countries? Review of Environmental Economics and Policy, 4(2), 254–274. https://doi.org/10.1093/reep/req006

Pinot, R. 2000. “Manual de Edafología”. (Ed.Computec).

Priego, Angel, Gerardo Bocco, Manuel Mendoza, y Arturo Garrido. 2010. Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisaje.

Ralph, J. C. S. Droege and J. R. Sauer. 1995. Managing and monitoring birds using point counts: standards and applications. Pp 161-168 in J. C. Ralph, J. R. Sauer and S. Droege, editors. Monitoring bird populations by point counts (U.S. Forest Service General Technical Report PSW-GRT-149).

Ramirez-Angulo, I, A Torres-Lezama, y Julio Serrano. 2002. “Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque nublado de la cordillera de los Andes, Venezuela”. Ecotropicos 15(2): 177–84. http://www.ibcperu.org/doc/isis/13691.pdf.

Remsen, J. V., Jr. et al. 2018. “A Classification of the Bird Species of South America”. American Ornithologists’ Union.

Ricardo, D. (1817). On the Principles of Political Economy and Taxation (First Edition). Cambridge University.

Rodríguez-de-Francisco, J. C., & Budds, J. (2015). Payments for environmental services and control over conservation of natural resources: The role of public and private sectors in the conservation of the Nima watershed, Colombia. Ecological Economics, 117, 295–302. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.05.003

Rosen, S. (1974). Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition. Journal of Political Economy, 82(1), 34–55. http://www.jstor.org/stable/1830899

Sattler, C., Trampnau, S., Schomers, S., Meyer, C., & Matzdorf, B. (2013). Multi-classification of payments for ecosystem services: ¿How do classification characteristics relate to overall PES success? Ecosystem Services, 6, 31–45. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.09.007

Sims, K. R. E., & Alix-Garcia, J. M. (2017). Parks versus PES: Evaluating direct and

incentive-based land conservation in Mexico. Journal of Environmental Economics and Management, 86, 8–28. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jeem.2016.11.010
Sinchi. (2014). Nivel de Urbanización.

Smith, A. (1776). An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations. (1st ed.). Clarendon Press.

Swinton, S. M., Lupi, F., Robertson, G. P., & Hamilton, S. K. (2007). Ecosystem services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. Ecological Economics, 64(2), 245–252. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.09.020

UCHIDA, E. M. I., XU, J., XU, Z., & ROZELLE, S. (2007). ¿Are the poor benefiting from China's land conservation program? Environment and Development Economics, 12(4), 593–620. https://doi.org/DOI: 10.1017/S1355770X07003713

Usda. 1999. "Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo". Instituto de Calidad de Suelos, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos: 88.

van Hecken, G., Bastiaensen, J., & Huybrechs, F. (2015). What's in a name? Epistemic perspectives and Payments for Ecosystem Services policies in Nicaragua. Geoforum, 63, 55–66. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2015.05.020

van Hecken, G., Bastiaensen, J., & Windey, C. (2015). Towards a power-sensitive and socially-informed analysis of payments for ecosystem services (PES): Addressing the gaps in the current debate. Ecological Economics, 120, 117–125. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.10.012

Varian, H. R. (2014). Intermediate Microeconomics: A Modern Approach: Ninth International Student Edition. W.W. Norton. https://books.google.com.co/books?id=A0feCgAAQBAJ
Villarreal, Héctor et al. 2004. "Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad". Programa Inventarios de Biodiversidad; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt: 236.

Vitousek, Peter M. et al. 1997. "Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Causes and Consequences Issues in Ecology". Issues in Ecology 1: 1–17.

Vitt, L J, y J P Caldwell. 2013. Herpetology: An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles. Elsevier Science. https://books.google.com.co/books?id=Gay9N_ry79kC.

von Thaden, J., Manson, R. H., Congalton, R. G., López-Barrera, F., & Jones, K. W. (2021). Evaluating the environmental effectiveness of payments for hydrological services in Veracruz, México: A landscape approach. Land Use Policy, 100. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105055

White, R E. 2009. Principles and Practice of Soil Science: The Soil as a Natural Resource. Wiley. https://books.google.com.co/books?id=KfL02WSp_9gC.

Wunder, S. (2005). Payments for environmental services: Some nuts and bolts. http://www.cifor.cgiar.org

Wunder, S. (2007). The Efficiency of Payments for Environmental Services in Tropical Conservation. Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology, 21, 48–58. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00559.x

Wunder, S. (2015). Revisiting the concept of payments for environmental services. Ecological Economics, 117, 234–243.

Wunder, S., Brouwer, R., Engel, S., Ezzine-de-Blas, D., Muradian, R., Pascual, U., & Pinto, R. (2018). From principles to practice in paying for nature's services. Natural Sustainability, 1, 145–150.

Wunder, S., Brouwer, R., Engel, S., Ezzine-De-Blas, D., Muradian, R., Pascual, U., & Pinto, R. (2018). From principles to practice in paying for nature's services. Nature Sustainability, 1(3), 145–150. https://doi.org/10.1038/s41893-018-0036-x

Wünscher, T., Engel, S., & Wunder, S. (2011). Opportunity Costs as a Determinant of Participation in Payments for Ecosystem Service Schemes. EAAE 2011 Congress Change and Uncertainty.

Yong, Raymond, Benno P Warkentin, Yuwaree Phadungchewit, y Rosa Galvez. 1990. "Buffer capacity and lead retention in some clay materials". Water, Air, and Soil Pollution 53(1): 53–67. https://doi.org/10.1007/BF00154991.

Zambrano, Hernando. 2007. Evaluación de integridad ecológica, propuesta metodológica. Herramienta para el análisis de efectividad en el largo plazo en el área del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia. ed. Instituto Alexander von Humbold WWF UAESPNN. Bogotá.

ANEXOS

ANEXO 1. RENTA DE LA TIERRA

La recolección de información para monitoreo y el seguimiento de la implementación del PSA permitirá sofisticar el calculó del costo de oportunidad para el Distrito de Medellín. Se propone la siguiente la siguiente expresión matemática para ello:

$$CO = Beneficio\ Económico\ Neto\ (BEN) + Renta\ de\ la\ tierra\ |Focalización$$

El cálculo del Beneficio Económico Neto (BEN) se mantiene constante como se estableció en el numeral 3.8 y el Producto 02 – Costo de oportunidad. Para estimar la renta de la tierra se propone la utilización de precios hedónicos, sin embargo, en esta primera aproximación no se incluyó porque los resultados muestran inconsistencias econométricas y estadísticas. El Anexo 2, se presenta un índice para precisar la focalización espacial por incremento de la urbanización en la cuenca. Este índice tomará valores entre 0 y 1. Si el valor del índice es superior a 0,5 se incluirá la renta de la tierra en la estimación, de lo contrario no será necesario pues se asume que la presión por urbanización no es suficiente para incluir la renta de la tierra como parte del incentivo.

PRECIOS HEDÓNICOS

La teoría de precios hedónicos hace parte de una larga tradición teórica sobre el estudio de la relación entre el precio y las rentas de la tierra. Los primeros modelos sobre el valor de la tierra fueron diseñados para explicar la variación en las rentas de la tierra destinada a la agricultura. David Ricardo, desarrolló el primer modelo en su libro *Principles of Political Economy and Taxation*, publicado en 1817 (Ricardo, 1817). En el modelo de Ricardo, las rentas de la tierra varían de acuerdo con su fertilidad; las tierras más fértiles son menos costosas para trabajar que las tierras de menor calidad, requieren de menos fertilizantes y menos mano de obra para prepararlas para la cosecha. Esta ventaja de la tierra más fértil genera una mayor demanda, lo que produce un incremento en su precio debido a la competencia para conseguirla. Esto también hace que las rentas de la tierra varíen en el espacio: serán altas si la fertilidad de la tierra es alta entonces, en estos lugares, los granjeros tendrán una disponibilidad a pagar mayor (Arnott & Mcmillen, 2007). A pesar de que esta versión simple del modelo de Ricardo todavía aplica para las áreas rurales, no puede explicar las rentas de la tierra ni su valor en las áreas urbanas o con actividades diferentes a la agricultura.

Posteriormente, Von Thünen (1826) desarrolló un modelo de los mercados de tierra rurales en el que las rentas de la tierra varían de acuerdo con su acceso a los mercados, en el que la fertilidad de la tierra es la misma en todas partes, pero los agricultores tienen que enviar sus productos al mercado central para venderlos. Puesto que el envío es costoso, los agricultores van a pagar más por los lugares más cercanos al mercado. Este trabajo constituye el primer esfuerzo por incorporar el transporte a un modelo de rentas de la tierra y a pesar de haber aparecido cerca de un siglo antes de los dos principales modelos de la economía urbana, al modelo se le identifica como su predecesor directo porque permite empezar a establecer cómo características diferentes a la fertilidad pueden incorporarse en los precios de la tierra (Arnott & Mcmillen, 2007)

Más de un siglo después, aparece el trabajo de (Rosen, 1974), quién desarrolló el enfoque

hedónico en su paper "*Hedonic prices and implicit markets: product differentiation and implicit markets"* que estima la valoración implícita de las características locales y la calidad de vida a partir de los precios de las propiedades, así como entender cómo evolucionan los precios de vivienda ante cambios en diferentes atributos medio ambientales.

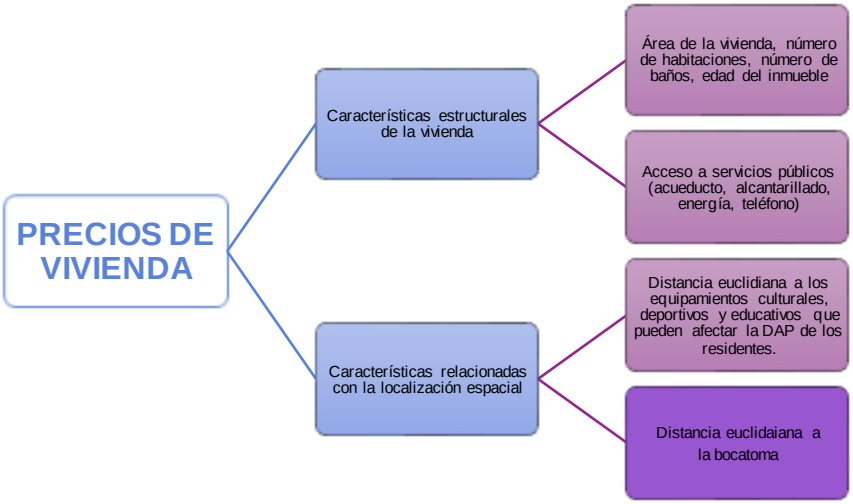
El enfoque se ha utilizado en estudios del mercado de vivienda, para medir el valor que le atribuyen los residentes a diferentes amenidades como calidad de las escuelas, en los que se espera que los precios y rentas de las viviendas sean más altas si la vivienda está cerca de una buena escuela. Por supuesto, hay muchas otras características estructurales de las viviendas y de los barrios que afectan el precio de venta y alquiler, pero después de controlar por tantas características como sea posible, la función de precios hedónicos de la vivienda permite encontrar el valor monetario que le asignan los habitantes de un lugar a la provisión de diferentes SSEE (Glaeser, 2007).

Por su versatilidad, este enfoque tiene una gran tradición empírica y se ha utilizado para medir el precio implícito de los componentes de otros productos multidimensionales: fue utilizado en los estudios iniciales para medir el precio implícito de los componentes de un automóvil. Ha sido utilizado para medir el precio de varios atributos de los computadores personales, y se utiliza en economía laboral para medir los diferenciales en las compensaciones por características del mercado laboral como seguridad en el lugar de trabajo (Arnott & Mcmillen, 2007).

De manera más específica, Swinton et al., (2007) plantean que los precios hedónicos se pueden utilizar para medir el valor de SSEE que se capitalizan en los precios de vivienda porque incrementan los ingresos de la tierra. Para que esto sea viable, se deben cumplir 2 características: 1. La provisión del SSEE debe variar en el espacio y, 2. los participantes del mercado deben tener conocimiento sobre cómo el SSEE influye en la rentabilidad de sus actividades o en su calidad de vida.

Variables para el análisis

Según los estudios previos Rosen, 1974; Swinton et al., (2007), los estudios hedónicos deben incluir características estructurales de las viviendas, así como características relacionadas con la localización espacial de las mismas. En esta primera estimación de utilizaron datos a nivel de CBML entregados en las Fichas Catastrales por la Subsecretaría de Catastro adscrita a la Secretaría de Gestión y Control Territorial, la escala de la información genera problemas estadísticos y econométricos, por lo cual, los resultados son espurios. En la Anexo Figura 1 se presentan las variables a utilizar a nivel de viviendas ubicadas en los predios participantes al programa, con sus características estructurales y las características relacionadas con la localización espacial para mejorar, a futuro, los resultados económicos.



Anexo Figura 1. Variables para la regresión hedónica
Fuente: Elaboración propia

Por tanto, la relación entre los precios de vivienda, las características de vivienda y las características estructurales permiten establecer el valor que otorgan los residentes a la cercanía a la bocatoma, está dada por:

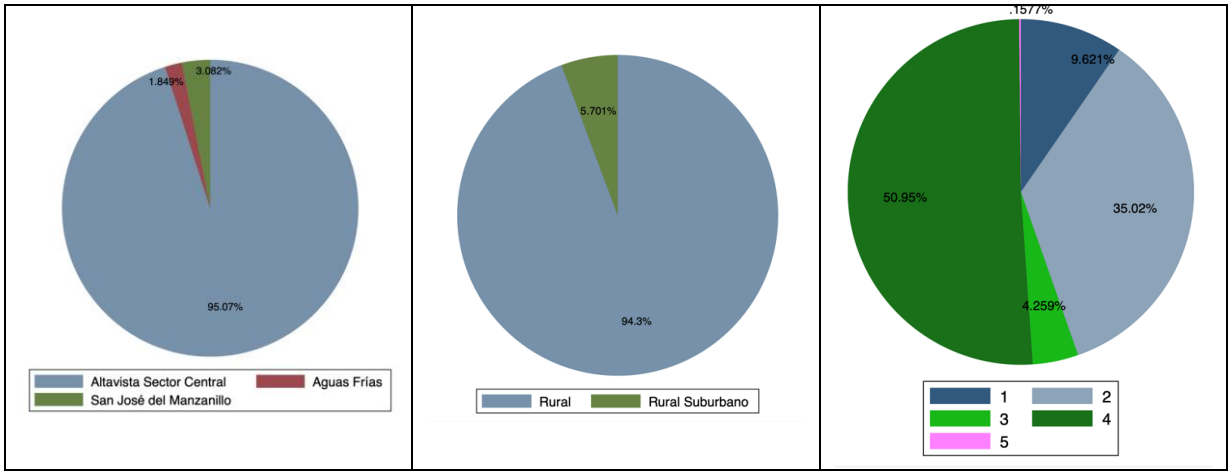
$$lp_i = \alpha_j + Bocatoma_i\beta + E_i\rho + \gamma CBML_i + \mu_i,$$

donde: lp_i es s el logaritmo del precio de la vivienda, $Bocatoma_i$ representa el logaritmo de la distancia euclidiana desde el centroide del CBML en que está ubicada la vivienda hasta la bocatoma más cercana. E_i y $CBML_i$ son las características estructurales de vivienda y las características relacionadas con la localización espacial (del CBML) tal como se presentan en la Anexo Figura **1**. β es el coeficiente de interés pues mostrará cual es el porcentaje de cambio de los precios ante un incremento de 1% en la distancia a la bocatoma. Este porcentaje, multiplicado por el valor medio de las viviendas en la cuenca es el que debe sumarse al Beneficio Económico Neto en la Ecuación 3, para capturar el incremento en el incentivo generado por un incremento en el valor de las viviendas cercanas a la bocatoma.

En este caso, al no contar con los datos a nivel de predios es importante aclarar, que se puede establecer una relación de asociación entre la variable de interés y los precios de vivienda, pero no se demuestra la relación de causalidad por problemas de variables omitidas y endogeneidad.

Resultados

La mayor parte de las unidades residenciales para las que se tienen datos, están ubicadas en Altavista sector central, en suelo clasificado como rural (ver Anexo Figura 2) y más del 50% de las unidades residenciales se encuentran en estrato 4 mientras que el 35,02% se encuentra en estrato 2 (ver Anexo Figura 2).

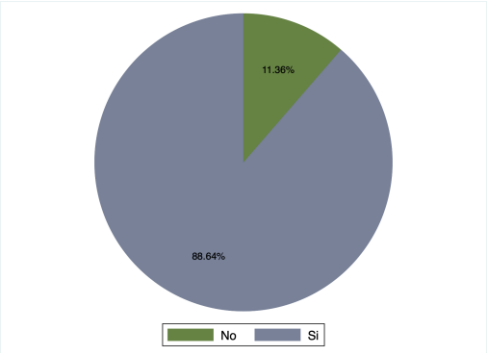


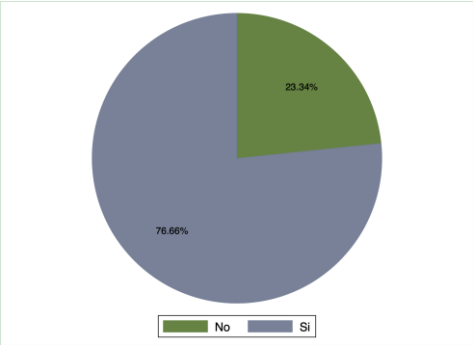
Anexo Figura 2. Sector, tipo de suelo y estrato socioeconómico para las viviendas en Altavista

Fuente: Elaboración propia

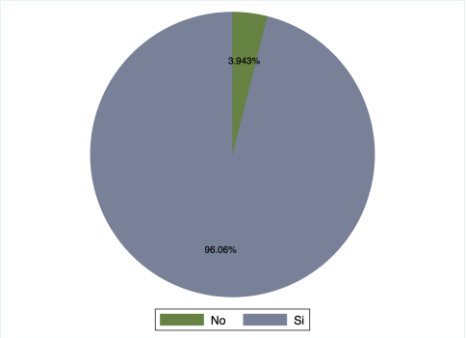
Respecto a las características estructurales, la mayor parte de las unidades residenciales tiene 3 habitaciones, sin embargo, el máximo número de habitaciones encontrados en la muestra es de 12 habitaciones y los inmuebles tienen la mayor parte de los inmuebles tienen edades de hasta 40 años, con una mayor concentración en viviendas de 11 años y 32 años. El servicio público con menor porcentaje de cobertura es el de Alcantarillado con un 23,34% de los inmuebles sin conexión, seguido de teléfono (19,4%) y Acueducto (11,36%). Tan solo el 3,94% de los inmuebles no tiene servicio de energía. Ninguna de las unidades residenciales en la muestra cuenta con servicio de gas en red o internet (o no fue reportado). La Anexo Figura 3 muestra el acceso a los servicios públicos.

Una vez realizado el análisis exploratorio de datos, se procedió con el análisis econométrico que mostró una alta correlación entre las variables disponibles y problemas que asociados a variables omitidas o problemas de selección de la muestra. En el primer caso, los datos pueden omitir información sobre aspectos fundamentales de la estructura de las viviendas y de la localización de estas que pueden sesgar los resultados. En el segundo caso, los datos recibidos son solo para un corregimiento y en muchos casos, se trata de viviendas en propiedades de varios pisos, ubicadas en el mismo CMBL, con lo cual, la variación espacial es mínima.

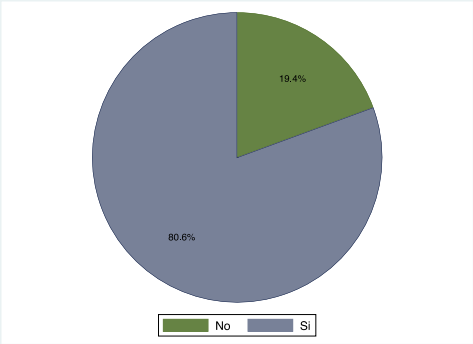




a) Acueducto



b) Alcantarillado



c) Energía

d) Teléfono

Anexo Figura 3. Acceso de las viviendas a servicios públicos
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla se presentan los resultados del coeficiente de interés. Las demás variables muestran el comportamiento esperado y al no ser objeto de estudio, no se presentan. Los resultados sugieren una asociación negativa entre la distancia a la bocatoma y los precios de vivienda, lo que indica que las viviendas ubicadas a mayor distancia de la bocatoma tendrán un menor precio, pero no representan un resultado de causalidad. Al ser un ejercicio meramente ilustrativo que puede servir como punto de partida para ejercicios futuros que cumplan con toda la rigurosidad para utilizar el resultado, no podemos incorporar este coeficiente en el cálculo del incremento del incentivo para la conservación.

Anexo Tabla 1. Estimación del coeficiente de interés con Precios Hedónicos

Variable	Coeficiente
$Bocatoma$	-0.319** (0.133)
Observaciones	526
R^2	0.627
Características Estructurales	✓
Características de barrio	✓

Errores Estándar en Paréntesis
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.10

ANEXO 2. FOCALIZACIÓN ESPACIAL UTILIZANDO INDICADOR DE URBANIZACIÓN

Como propuesta de actualización futura se propone utilizar el Indicador de urbanización del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi, 2014) definido para cada vereda como:

$$NU_{jt} = \left(\frac{PU_{it}}{PT_{jt}}\right) * 100$$

donde,

NU_{jt}: porcentaje que representa la población de la unidad espacial de referencia j que habita en la vereda, con respecto a la población total, en el tiempo t.
PU_{it}: población que habita en la unidad espacial de referencia i en el tiempo *t.* La unidad espacial de referencia corresponde a la vereda para la cual se quiere hacer el cálculo del costo de oportunidad en el periodo *t.*
PT_{jt}: Población promedio que habita en la unidad espacial de referencia *j* en el tiempo *t*. Esta unidad espacial corresponde a la población promedio para las veredas del corregimiento (excluyendo la cabecera municipal) que hacen parte de la cuenca donde se ubica la unidad espacial de referencia.
Para cada vereda, los resultados de este índice tomarán valores entre 0 y 1, que permitirá establecer un umbral a partir del cual, el nivel de urbanización es muy alto y presenta una amenaza para los resultados de PSA. Se espera que NU_{jt} coincida con los niveles de fragmentación de predios en la vereda. En veredas con altos niveles de fragmentación el índice será mayor. El valor de los predios ubicados en veredas dentro de las cuencas con un nivel de urbanización superior a 0,5 deberán tener en cuenta el incremento en la renta de la tierra. Esto significa que el incremento en el precio de la tierra será incluido si y solo si la presión por urbanización es importante en la definición de los precios de vivienda.