

ESQUEMA DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES DEL PÁRAMO SABANA RUBIA EN EL MUNICIPIO DE MANAURE DEPARTAMENTO DEL CESAR

Liseth K. Posada-Solano¹, Emilyn Rodríguez-Chamorro², Karina P. Torres-Cervera³, Paul K. Arias-Ruidiaz⁴, Pedro Juan Torres-Flores⁵

Ingeniera Ambiental y Sanitario. Valledupar, Colombia. lkposada@unicesar.edu.co

² Ingeniera Ambiental y Sanitario. Valledupar, Colombia, emilyndrodriguez@unicesar.edu.co

³ PhD en Ciencias de la Educación, MSc en Medio Ambiente y Desarrollo, Docente Universidad Popular del Cesar, karinaptorres@unicesar.edu.co

⁴ Magister en Ciencias Ambientales, Ingeniero Ambiental y Sanitario, Universidad Popular del Cesar, ingpaulklement07@gmail.com

⁵ Esp en Matemáticas y física, Docente Universidad Popular del Cesar, pedrotorres@unicesar.edu.co

RESUMEN

El presente estudio propone un Mecanismo de Pago por Servicios Ambientales (PSA) para conservar el Páramo Sabana Rubia, en Manaure, Cesar. El objetivo es diseñar un esquema que incentive la preservación de sus valores ecosistémicos mediante compensaciones económicas o en especie. Se utilizó un enfoque cuantitativo, aplicando encuestas y métodos de Valoración Económica Ambiental y Contingente, respaldados por Regresión Lineal Múltiple. El muestreo aleatorio simple permitió seleccionar a los participantes, y se realizaron análisis econométricos para estimar la disposición a pagar (DAP). Los resultados muestran una DAP promedio ajustada de 1.400 pesos colombianos por familia y una relación costo-efectividad de 1,29. Se priorizaron 4.449,18 hectáreas para conservación y restauración. Se recomienda implementar un esquema de PSA con estrategia de financiamiento mixta para asegurar su sostenibilidad. La conservación del páramo resulta viable mediante un modelo adaptado a las condiciones socioeconómicas locales y con activa participación comunitaria.

Palabras clave: Conservación y restauración; Disposición de Pago; Participación comunitaria; Servicios Ambientales; Valor de Beneficio.

Recibido: 29 de abril de 2025. Aceptado: 13 de mayo de 2026

Received: April 29, 2025. Accepted: May 13, 2026

PAYMENT SCHEME FOR ENVIRONMENTAL SERVICES OF THE SABANA RUBIA PALM GROVE IN THE MUNICIPALITY OF MANAURE DEPARTAMENTO DEL CESAR

ABSTRACT

This study proposes a Payment for Environmental Services (PES) mechanism for the conservation of the Sabana Rubia Páramo, located in Manaure, Cesar. The objective is to design a scheme that incentivizes the preservation of its ecosystem values through monetary or in-kind compensation. A quantitative approach was employed, including surveys and the application of Environmental and Contingent Economic Valuation methods, supported by Multiple Linear Regression. A simple random sampling method was used to select participants, and econometric analyses were conducted to estimate the willingness to pay (WTP). Results show an adjusted average WTP of 1,400 Colombian pesos per household and a cost-effectiveness ratio of 1.29. A total of 4,449.18 hectares were prioritized for conservation and restoration. It is recommended to implement a PES scheme with a mixed financing strategy to ensure long-term sustainability. The conservation of the páramo is deemed feasible through a model adapted to local socioeconomic conditions and active community participation.

Keywords: *Conservation and Restoration; Payment Disposition; Community Participation; Environmental Services; Value of Benefit.*

Cómo citar este artículo: L. Posada, E. Rodríguez, K. Torres, P. Arias-Ruizdiaz, P. Torres. "Esquema de pago por servicios ambientales del páramo Sabana Rubia en el municipio de Manaure departamento del Cesar", Revista Politécnica, vol.22, no.43 pp.94-117, 2026. DOI:10.33571/rpolitec.v22n43a7

1. INTRODUCCIÓN

Este artículo científico tiene como propósito central el diseño de un Mecanismo de Pago por Servicios Ambientales (PSA) enfocado en el páramo Sabana Rubia, un ecosistema de alta montaña ubicado en la Serranía de Perijá, dentro del municipio de Manaure Balcón del Cesar, Colombia. Se trata de un entorno estratégico, tanto por su riqueza ecológica como por su valor social, ya que cumple funciones vitales como la regulación del recurso hídrico, la preservación de la biodiversidad y el control del cambio climático. Estas características lo convierten en un pilar esencial para garantizar la calidad de vida de las comunidades tanto locales como regionales.

No obstante, el páramo Sabana Rubia enfrenta hoy amenazas graves. El avance no planificado de la frontera agrícola, la presión turística creciente y la explotación indiscriminada de sus recursos naturales han deteriorado progresivamente su equilibrio ecológico. Este deterioro se ha visto agravado con la apertura de nuevas vías de acceso, una situación que surgió tras el repliegue de actores armados ilegales que antes impedían el ingreso masivo a la zona.

Frente a este panorama, surge la necesidad de reconocer y valorar adecuadamente los servicios ecosistémicos que ofrece este ecosistema, especialmente su rol como proveedor de agua para las poblaciones vecinas. Por ello, este estudio plantea la creación de un mecanismo que permita compensar económicamente las prácticas de conservación y restauración ambiental, con el fin de establecer un equilibrio entre el uso racional de los recursos y la protección del entorno natural.

Desde una perspectiva metodológica rigurosa, se emplea la técnica de valoración contingente para estimar la disposición a pagar de la comunidad beneficiaria por los servicios ambientales que presta la vereda Sabana Rubia. Además, se identifican las estrategias más eficaces para fomentar la conservación ambiental sin comprometer el desarrollo económico y social de los habitantes del área.

El análisis incluye una caracterización profunda del contexto biofísico y social del páramo, lo que permite identificar diversas barreras que dificultan la implementación de esquemas sostenibles. Entre los principales obstáculos se encuentra la difícil accesibilidad al territorio objeto de estudio y la falta de cooperación por parte de algunos propietarios de predios, quienes se muestran renuentes a participar en los procesos de valoración ambiental. Estos factores reflejan la necesidad de incorporar variables socioeconómicas en la planeación e implementación de los mecanismos de PSA, para asegurar que las medidas propuestas sean viables, inclusivas y con aceptación comunitaria.

En cuanto a su fundamentación legal, el modelo propuesto se apoya en el marco jurídico colombiano, particularmente en las normativas referidas en los [3], [4] y [5], que promueven la protección de ecosistemas estratégicos como los páramos. De forma complementaria, se integran herramientas tecnológicas avanzadas, como el uso de ArcGIS para el análisis espacial y la aplicación de métodos estadísticos sólidos, entre ellos modelos econométricos de regresión logística, para estimar con precisión el valor económico asociado a la disposición a pagar por parte de los beneficiarios.

En suma, este estudio se propone caracterizar los servicios ambientales que brinda la vereda Sabana Rubia y analizar el rol de los distintos actores que participan en su conservación. El objetivo final es diseñar un esquema de PSA ajustado a las particularidades del ecosistema y alineado con las necesidades reales de la población. Asimismo, se busca cuantificar la disposición a pagar de quienes se benefician de estos servicios, como paso clave hacia un modelo de conservación que sea a la vez económicamente viable y socialmente justo.

2. MATERIALES Y METODOS

Este proyecto de investigación se enmarca dentro de la línea de “Sostenibilidad y Gestión Ambiental”, más precisamente en la sublínea de “Gestión Integral de la Biodiversidad y del Patrimonio Ambiental”, de acuerdo con lo establecido en el Acuerdo No. 003 del 8 de julio de 2021 de la Universidad Popular del Cesar. Se adopta un enfoque cuantitativo, basado en la medición y el análisis estadístico de fenómenos, siguiendo una lógica deductiva, sistemática y empírica, que permite interpretar de manera objetiva las dinámicas observadas [1]. El estudio se orienta hacia un nivel explicativo, ya que su interés radica en identificar las causas que explican determinados fenómenos físicos o sociales, particularmente la forma en que las comunidades perciben y asumen la transición hacia alternativas económicas sostenibles que contribuyan a la conservación del Páramo Sabana Rubia [2].

La población objeto de estudio corresponde a las comunidades ubicadas en los alrededores del páramo, delimitado oficialmente por la Resolución 1628 de 2016. Para seleccionar la muestra, se recurrió a un muestreo aleatorio simple, aplicando la fórmula sugerida por [6], la cual toma en cuenta el tamaño poblacional, las probabilidades de éxito y fracaso, así como un nivel de confianza adecuado:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 N q p}{e^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 N p a} \quad (1)$$

Dónde,

n = Tamaño de la Muestra mediante selección aleatoria simple y al azar.

N = es el tamaño de la población o universo (número total de posibles encuestados).

p = es el factor de éxito (normalmente asumido como 50%).

q = es el factor de fracaso (se calcula así, $q = 1 - p$; que para este caso sería 50%).

Z_{α} = es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos: un 95,5 % de confianza es lo mismo que decir que nos podemos equivocar con una probabilidad del 4,5%.

Los valores de Z_{α} se obtienen de la tabla de la distribución normal estándar $N(0,1)$.

Aplicando esta fórmula, se calculó la muestra para las comunidades seleccionadas en el área de estudio, obteniendo los siguientes resultados

Tabla 1. Resultados Muestra Poblacional

No.	Municipio / Comunidad	No. Habitantes	Muestra Poblacional
1	Manaure Balcón del Cesar	8991	451
2	San José de Oriente y Betania	1217	341
3	Robles La Paz	20901	464
4	San Diego	18531	462
5	Agustín Codazzi	52992	470

Nota: Elaborado por los Autores (2023), considerando el Censo 2018 del [7]

En el trabajo de campo se logró aplicar un total de 800 encuestas, lo que representa un 36,56% de las 2.188 personas inicialmente previstas como universo poblacional. Esta cobertura resultó adecuada para la Valoración Económica Ambiental, pese a que la recolección de información se vio limitada por la desconfianza de los encuestados, muchos de los cuales interpretaron el proceso como parte de una estrategia política. A ello se sumó la naturaleza transitoria de la población, dado que muchos habitantes trabajan fuera del territorio. Posterior a una rigurosa depuración realizada por el especialista en econometría, la muestra quedó en 796 encuestas válidas, suficientes para obtener resultados representativos y robustos.

El estudio se diseñó bajo una perspectiva explicativa, aplicando metodologías de Valoración Económica Ambiental y Contingente. Para analizar la disposición a pagar, se utilizó un modelo de Regresión Lineal Múltiple, permitiendo comprobar hipótesis relacionadas con los factores que influyen en dicha disposición, además de calcular los costos de oportunidad y estimar la eficiencia económica del esquema propuesto. Cada variable independiente fue sometida a los supuestos de Gauss-Markov, y la validez estadística del modelo se evaluó mediante Análisis de Varianza (ANOVA) [8]:

$$P(Si / X) = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 * x_3 + \dots + \beta_n * x_n \quad (2)$$

El desarrollo metodológico contempló diversas etapas. Inicialmente, se procedió a caracterizar los servicios ecosistémicos provistos por la vereda Sabana Rubia y a identificar los actores implicados en su conservación. Para ello, se aplicaron técnicas como la revisión documental, el uso de paneles de expertos bajo el método Delphi, y visitas de campo orientadas a la zonificación ambiental, apoyadas en el Sistema de Información Geográfica ArcGIS. La estimación de los incentivos económicos se basó, entre otros factores, en el cálculo del costo de oportunidad.



Figura 1. Ciclo Progresivo y Jerárquico del Método Delphi

Para el análisis de los datos recolectados, se empleó el software STATA, lo cual permitió una sistematización precisa y un tratamiento estadístico riguroso, mediante el modelo de Regresión Lineal Múltiple. Este análisis incluyó la elaboración de matrices de datos, la estimación de coeficientes y la verificación de supuestos, conforme al método de los mínimos cuadrados ordinarios, garantizando así la fiabilidad de los resultados obtenidos.

La Disposición a Pagar (DAP) se estimó con base en el modelo econométrico desarrollado, ajustado mediante la mediana de las DAP obtenidas, conforme a las recomendaciones metodológicas de [9] y los lineamientos del extinto Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Esta etapa fue clave para cuantificar los beneficios esperados del proyecto y evaluar las posibles fuentes de financiamiento, siguiendo los lineamientos del Departamento Nacional de Planeación sobre esquemas de PSA, particularmente en su modalidad hídrica.

En su conjunto, el diseño, enfoque y metodología de esta investigación configuran un marco técnico robusto para valorar la viabilidad económica y ambiental de un Mecanismo de Pago por Servicios Ambientales adaptado al Páramo Sabana Rubia. La integración de elementos teóricos, herramientas analíticas y criterios prácticos permite avanzar hacia una gestión ambiental sostenible, pertinente y efectiva.

3. RESULTADOS

El proceso investigativo dio inicio con la caracterización de los servicios ecosistémicos presentes en el páramo Sabana Rubia, un paso clave que permitió identificar tres componentes fundamentales a partir del análisis de las respuestas obtenidas en un panel de expertos.

1. Revisión bibliográfica de fuentes científicas y documentales: Durante esta primera fase, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de literatura especializada, a partir de la cual se seleccionaron doce estudios referenciados que guardan estrecha relación con el ecosistema de Sabana Rubia. Uno de los aportes más relevantes proviene de [11], quienes realizaron una caracterización profunda de la vegetación y biodiversidad del páramo en la Serranía de Perijá, haciendo énfasis en especies endémicas y las asociaciones vegetales características de la zona de Sabana Rubia. Estos resultados constituyen un insumo valioso para definir estrategias de conservación ambiental y establecer una línea base ecológica sobre la cual estructurar futuras valoraciones económicas del ecosistema.

De igual forma, el estudio desarrollado por [12] aportó elementos claves al identificar distintas unidades sintaxonómicas, que permiten comprender y cuantificar con mayor precisión el valor ecológico del páramo, reforzando su importancia desde una perspectiva de conservación.

Por su parte, [13] documentó la existencia de especies únicas en la zona, como la mariposa Forsterinaria, destacando el valor intrínseco del ecosistema no solo como un reservorio biológico, sino también como un potencial atractivo para el turismo ecológico. Asimismo, investigaciones orientadas al análisis climático y topoclimático, como las de [14], ayudaron a comprender mejor los patrones de comportamiento del clima en la región y su relación directa con la dinámica de la biodiversidad local. Estos elementos se consideran esenciales para determinar la viabilidad de conservación a largo plazo del ecosistema.

En conjunto, la evidencia recopilada refuerza la urgencia de implementar un esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA), tal como lo respaldan diversos autores, con el objetivo de incentivar la protección y manejo sostenible de este territorio estratégico.

2. Participación de actores clave: En paralelo con la revisión documental, se desarrolló un panel de expertos mediante el cual se recogieron opiniones cualitativas valiosas. Para ello, se diseñó un conjunto de preguntas temáticas abiertas, construidas con base en la literatura revisada y el conocimiento previo sobre el páramo. Estas preguntas permitieron indagar en aspectos como la percepción general sobre los servicios ecosistémicos ofrecidos, las principales amenazas identificadas, así como la experiencia de los participantes en procesos similares de manejo y conservación ambiental.

Los expertos convocados pertenecían a campos profesionales afines, como la gestión ambiental, la conservación de ecosistemas y la planificación de servicios ambientales. Sus aportes se consolidaron a través de reuniones y encuentros con actores clave del territorio, cuya interacción se representa en la figura 2 del documento. Estas sesiones resultaron determinantes para comprender el contexto social y técnico en el cual se desarrollará el futuro esquema de PSA.



Figura 2. Participación de Jose Gregorio Hernández, líder en proyectos de resiembra de Frailejones

Durante el desarrollo del panel de expertos, se identificaron varios bienes y servicios ambientales considerados esenciales para el páramo Sabana Rubia. Entre ellos, sobresalen la conservación de los recursos hídricos, la biodiversidad y la regulación climática, junto con un fuerte reconocimiento del potencial del ecosistema para el turismo ecológico y la conservación del patrimonio cultural. Estos elementos posicionan al páramo como un ecosistema de importancia estratégica, no solo para el municipio de Manaure Balcón del Cesar, sino también para otras zonas que dependen de sus servicios ecosistémicos.

Los aportes de los expertos también pusieron en evidencia las principales amenazas que enfrenta este ecosistema. Se mencionaron de forma reiterada actividades como la ganadería extensiva, la deforestación, la ampliación no planificada de la frontera agrícola, el turismo desregulado y los incendios forestales. Todos estos factores representan una presión directa sobre los bienes y servicios que provee el páramo, y refuerzan la urgencia de adoptar acciones concretas de conservación.

Uno de los puntos destacados fue el consenso entre los expertos sobre la necesidad de abordar estas amenazas desde una visión intersectorial, promoviendo la articulación entre actores comunitarios, autoridades locales, organizaciones gubernamentales y organizaciones no gubernamentales (ONGs). Esta integración se considera fundamental para diseñar estrategias sostenibles, adaptadas a las realidades del territorio y con respaldo técnico y social.

La sensibilidad de los participantes frente a las amenazas humanas, especialmente la ganadería extensiva, la tala indiscriminada y la expansión agrícola; fue notoria. A esto se suma la preocupación por el avance del turismo sin regulación y la ocurrencia de incendios, fenómenos que podrían comprometer seriamente los servicios ecosistémicos del páramo. La necesidad de proteger estos servicios es crucial no solo desde un punto de vista ambiental, sino también para garantizar el bienestar presente y futuro de las comunidades que dependen de este territorio.

Cabe resaltar que para la fase de reconocimiento en campo se utilizó equipo tecnológico especializado, como tal se contaron con equipos como GPS, drone, pluviómetro digital, multímetro, conductímetro, y otros elementos, puesto que se hizo un recorrido integral y se tomaron muestras para determinar la calidad del suelo alrededor de los nacimientos de agua, identificados en los lugares de visita, lo cual permitió realizar una observación directa y sistemática del área de estudio, cuyos detalles se presentan en la figura 3 del documento.

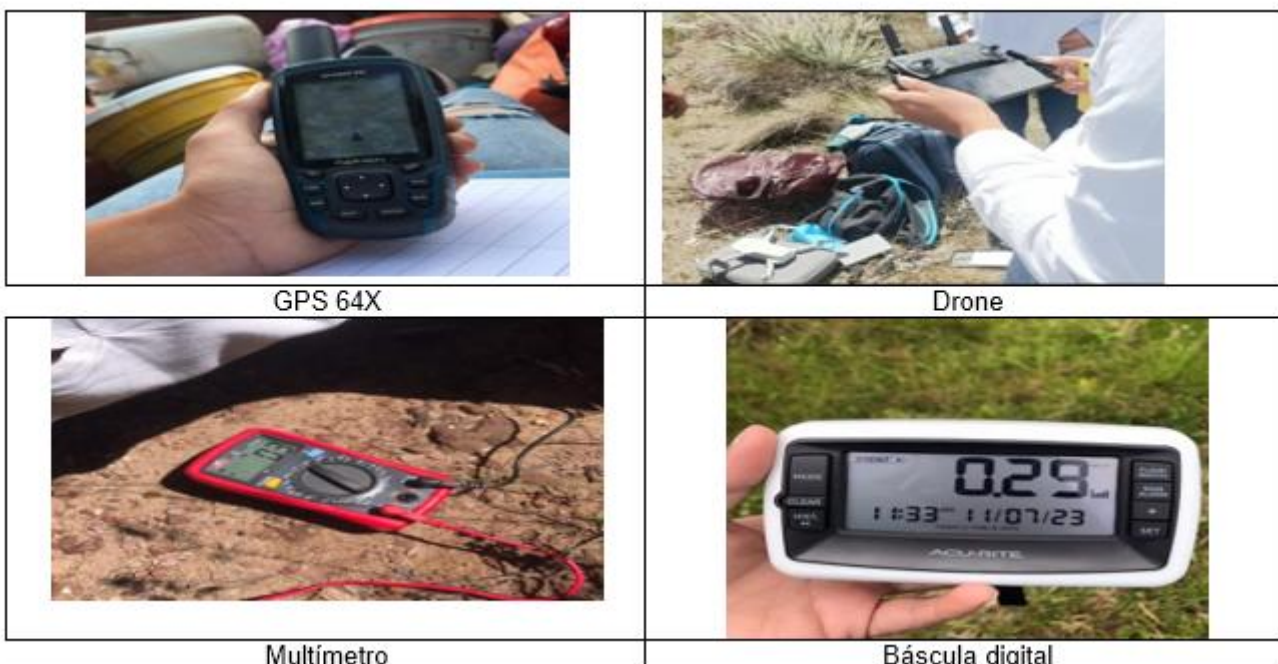


Figura 3. Se recopiló información de geoposicionamiento global y aerofotografías con dron

Un punto de consenso fue el cambio observado en la disponibilidad de flora y fauna, indicativo de alteraciones ecológicas o climáticas en la región. La disminución en la diversidad y abundancia de especies nativas y los cambios en su distribución evidencian la presión sobre el ecosistema del páramo, resaltando la necesidad de medidas efectivas de conservación y restauración.

Clasificación de Actores y su Implicación en el Esquema de PSA: La clasificación de los actores involucrados en la gestión del Esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA) se realizó utilizando la metodología de Mendelow, que permite categorizar a los actores según su nivel de influencia, poder, e interés en el proyecto. A través de esta clasificación, se identificaron distintos niveles de participación y responsabilidad para cada actor, facilitando así la planificación y asignación de recursos en la gestión del PSA para el páramo Sabana Rubia.

- **Distribución de los Actores según Influencia y Poder**

El análisis reveló que actores como la Gobernación del Cesar, CORPOCESAR, y la Alcaldía de Valledupar son fundamentales debido a su alto poder e influencia en la gestión de recursos ambientales. Estos actores están posicionados en la categoría de gestión de relaciones estrechas, lo que significa que deben ser monitoreados constantemente e involucrados activamente en todas las etapas del diseño e implementación del PSA. Su participación es clave para asegurar que el esquema sea viable, tanto en términos de políticas públicas como de sostenibilidad económica y ambiental.

Por otro lado, instituciones como la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) y la empresa YARA, aunque cuentan con un conocimiento valioso, se ubican en un rol más pasivo. Estas entidades requieren una gestión mínima o nula, ya que su impacto directo en la implementación del PSA es limitado (ver figura 4).

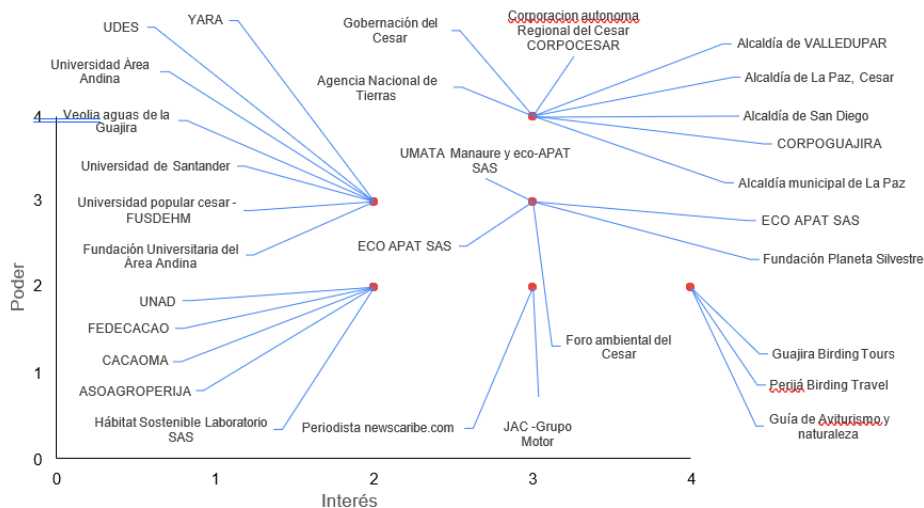


Figura 4. Relación de la Influencia versus Poder entre los actores

- **Implicaciones para la gestión del PSA**

La clasificación de los actores según su nivel de interés e influencia resulta fundamental para una administración más eficaz del esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA), ya que permite optimizar tanto los recursos disponibles como las relaciones interinstitucionales necesarias para su implementación. En este sentido, entidades como CORPOCESAR y otras autoridades ambientales regionales, al contar con

alto poder de decisión, deben ser consideradas aliadas estratégicas. Su vinculación activa garantiza que el diseño y ejecución del PSA esté en sintonía con las normas y políticas ambientales vigentes.

Por otro lado, actores del sector privado como FEDECACAO y algunas empresas dedicadas al turismo ecológico han mostrado un elevado interés en el desarrollo del esquema, lo que indica que pueden convertirse en socios clave para estructurar incentivos económicos orientados a promover prácticas sostenibles de uso del suelo y conservación de la biodiversidad en el páramo.

En cuanto a aquellos actores con menor grado de influencia, tales como ciertos medios de comunicación locales y guías de turismo, su rol no es menos importante. Aunque su participación en la toma de decisiones es limitada, su intervención puede ser decisiva en procesos de divulgación, educación ambiental y sensibilización comunitaria. Estos actores pueden contribuir significativamente a que las comunidades comprendan y respalden los objetivos del PSA, facilitando su apropiación social.

- **Visita de reconocimiento y zonificación del páramo Sabana Rubia**

Como parte esencial del trabajo de campo, se realizó una visita técnica al páramo Sabana Rubia con el propósito de recolectar información directa sobre el estado actual de los recursos naturales, con énfasis en los servicios de regulación hídrica. Para tal fin, se emplearon instrumentos especializados como GPS, drones, pluviómetro digital, multímetro y conductímetro, que permitieron realizar mediciones detalladas y precisas.

Gracias a estos equipos, fue posible evaluar la calidad del suelo en áreas cercanas a los nacimientos de agua, así como identificar zonas prioritarias para la conservación. Esta información técnica resulta clave para orientar la implementación efectiva del esquema PSA, garantizando que se actúe sobre las áreas más vulnerables y con mayor potencial de impacto positivo en la sostenibilidad del ecosistema.

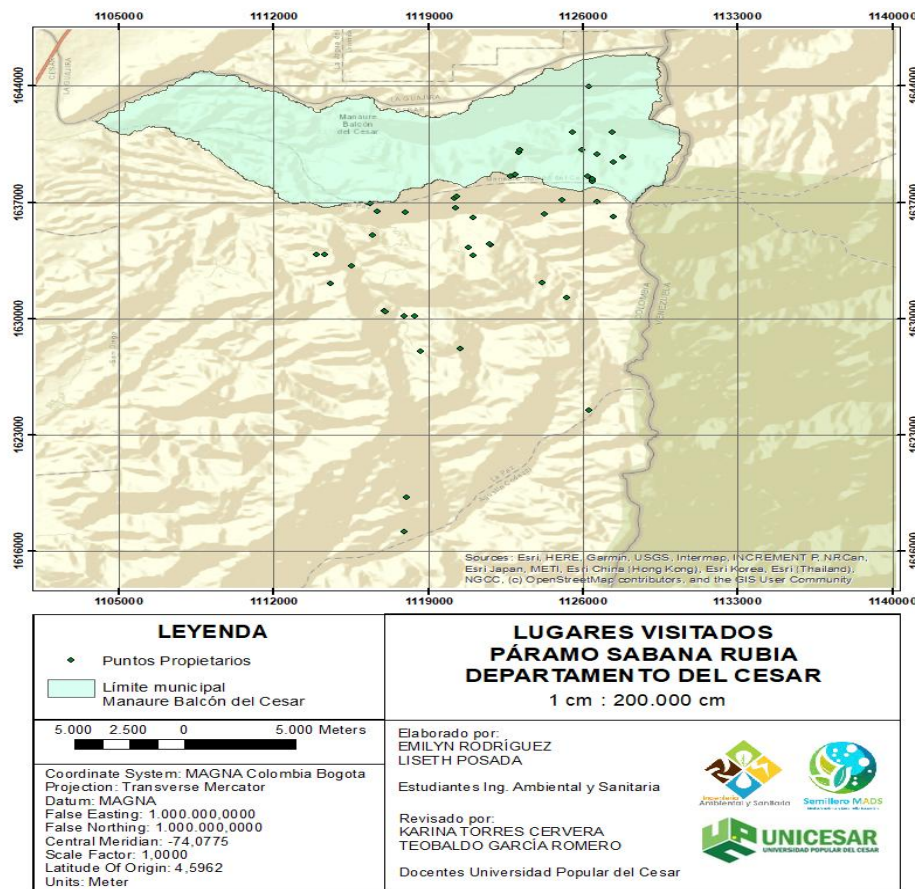


Figura 5. Lugares visitados en el área del páramo Sabana Rubia (algunos puntos fueron registrados en jurisdicción del municipio de San Diego y Agustín Codazzi (zona de alta montaña).

Durante la visita técnica al páramo Sabana Rubia, se recolectaron datos geoespaciales que luego fueron procesados y analizados mediante el uso del software ArcGIS (ver figura 5). Este análisis permitió la elaboración de un mapa de zonificación ambiental, en el cual se integraron variables como la disponibilidad de fuentes hídricas, la calidad del suelo, la densidad y cobertura vegetal, así como los distintos usos del suelo observados en las áreas evaluadas. Esta información facilitó una clasificación detallada de las zonas más urgentes de conservar y de aquellas que presentan mayor potencial para intervenciones de manejo sostenible.

La incorporación de este análisis espacial al diseño del esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA) fortalece la toma de decisiones, asegurando que las acciones propuestas estén sustentadas en una base técnica rigurosa. De este modo, se busca garantizar la eficiencia en la conservación de los servicios ecosistémicos del páramo, priorizando aquellas zonas estratégicas donde el impacto ambiental y social puede ser más significativo. En lo que respecta a la segunda etapa metodológica del estudio, centrada en el desarrollo de una propuesta concreta de PSA para el páramo, se destacan tres aspectos clave, fundamentados en los hallazgos obtenidos y representados gráficamente en las figuras del documento.

Estimación del valor del incentivo y viabilidad económica: A través de un análisis comparativo entre costos y beneficios asociados a las actividades productivas y de conservación, se determinó el valor aproximado del incentivo que recibirían los propietarios por destinar sus predios a la protección ambiental. El estudio reveló que la diferencia promedio entre los ingresos generados por la venta de productos agrícolas y los costos de mantenimiento de estas actividades asciende a 1.407.738 pesos colombianos. Esta cifra constituye un referente técnico para definir un esquema de compensación justo y viable.

La figura 6 muestra de manera comparativa la rentabilidad de diferentes actividades económicas, lo cual resulta fundamental para comprender las dinámicas económicas del territorio y tomar decisiones informadas en el diseño del PSA. Esta evaluación económica permite identificar en qué medida la conservación ambiental puede convertirse en una alternativa sostenible frente a las prácticas productivas actuales.

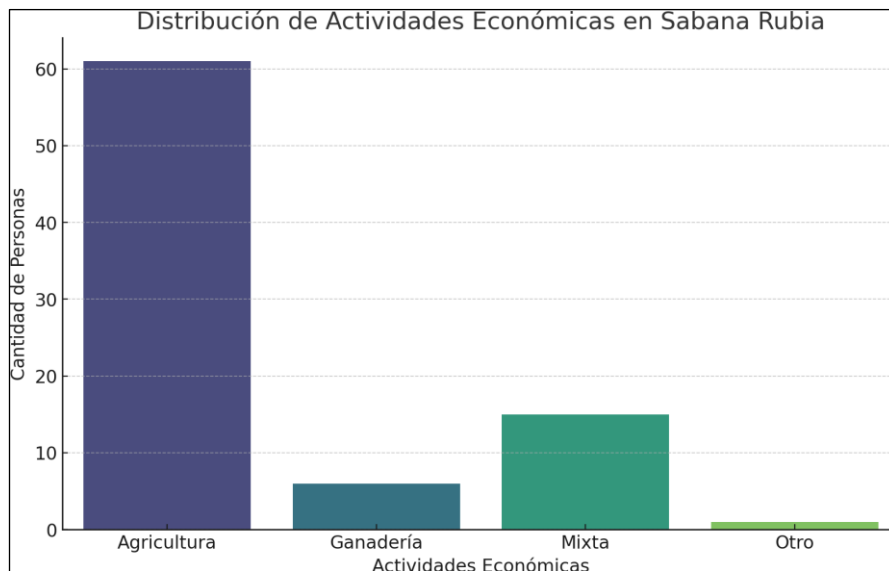


Figura 6. Distribución de las Actividades Económicas que se desarrollan en el Páramo

Para establecer el valor del incentivo económico dentro del esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA), se tomó como referencia el Retorno de Inversión (ROI), estimado en 1.29. Esto implica que por cada peso invertido en actividades productivas, los propietarios obtienen un retorno de 1.29 pesos en ingresos, lo que sirvió como punto de partida para determinar una compensación razonable por destinar parte de sus predios a la conservación ambiental.

Este cálculo fue complementado con otros parámetros esenciales: el tamaño del área del predio destinada a protección (tPP), la superficie total del predio (tP), y el valor promedio de la renta del suelo (\$R). Con base



en los datos recolectados, se determinó que el valor promedio de renta del suelo por hectárea es de 14.437.037 pesos colombianos, aunque se observó una alta dispersión en los datos, reflejada en una desviación estándar considerable. Esto evidencia que existen diferencias marcadas en el valor de los predios dentro del área de estudio.

A partir de estos datos, se estimó un valor promedio de beneficio por hectárea/año de 1.475.076,52 pesos, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Valor Beneficio} = \frac{ROI \times tPP \times \$R}{\frac{tPP}{tP}} \times 12 \quad (3)$$

Donde:

ROI es el Retorno de Inversión.

tPP es el tamaño del área destinada a protección (en hectáreas).

tP es el tamaño total del predio (en hectáreas).

SR es el valor de la renta del suelo por hectárea.

El factor de 12 convierte el valor a un cálculo anual (meses por año).

Este valor se convierte en una referencia clave para establecer el incentivo económico adecuado, al considerar tanto la rentabilidad del uso del suelo como el costo de oportunidad que enfrentan los propietarios al destinar áreas productivas a la conservación.

Con base en los cálculos realizados, también se determinó el valor de costo-efectividad (CE), que representa el incentivo económico por hectárea/año para cada predio. Este valor no es uniforme, ya que depende del tamaño y características de la porción de terreno destinada a conservación. En promedio, el incentivo asciende a 24.960,28 pesos por hectárea/año, con una variabilidad que va desde 26.132,56 pesos hasta un máximo de 365.855,84 pesos por hectárea/año, dependiendo de cada caso particular.

Distribución de la renta del suelo por hectárea: La figura 7 proporciona una visualización detallada de esta variabilidad dentro del área de estudio en el páramo Sabana Rubia. El análisis de dicha figura pone en evidencia una amplia gama de valores de renta, lo cual es crucial para diseñar un PSA que sea justo y adaptado a las realidades económicas de los propietarios. Se identificó que mientras algunos predios generan ingresos considerables, otros enfrentan dificultades para cubrir los costos operativos asociados a la conservación, lo que refuerza la necesidad de diseñar incentivos diferenciados y proporcionales.

Distribución de la Renta del Suelo por Hectárea: La figura 7 ofrece una representación visual detallada de la variabilidad en la renta del suelo por hectárea dentro del área de estudio del páramo Sabana Rubia. Esta variabilidad es de suma importancia para la concepción de un esquema de pago por servicios ambientales (PSA) que sea equitativo y eficaz. Al examinar la figura, se observa claramente que hay una amplia gama de valores de renta del suelo, lo que sugiere que algunos predios pueden generar ingresos significativos mientras que otros enfrentan dificultades para cubrir los costos asociados con la conservación y mantenimiento de las actividades económicas.

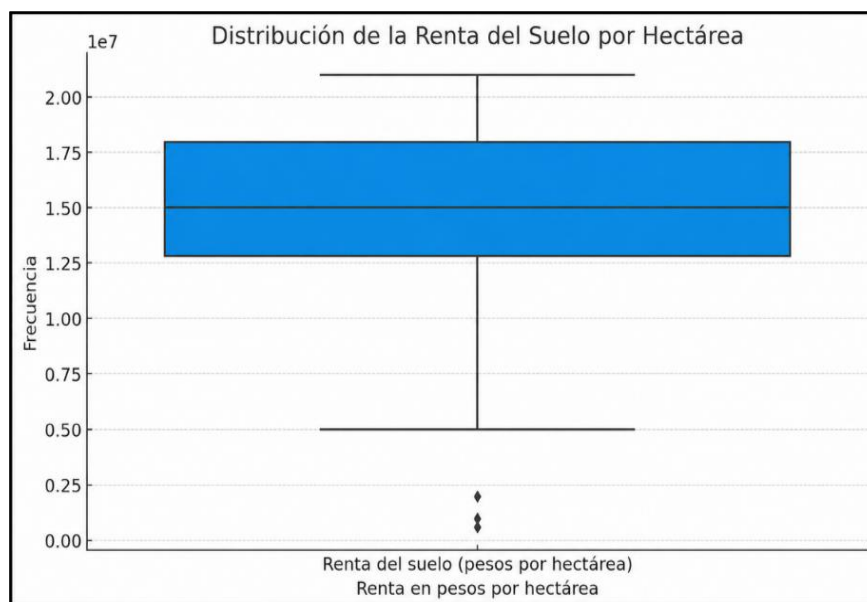


Figura 7. Distribución de la Renta del Suelo por Hectárea del páramo Sabana Rubia

La variabilidad encontrada en los valores de renta del suelo pone de manifiesto la necesidad urgente de ajustar los incentivos del esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA) a las condiciones particulares de cada predio. Esta personalización resulta fundamental para que el esquema no solo sea atractivo, sino también equitativo para todos los propietarios involucrados. Si no se reconocen y abordan estas diferencias, se corre el riesgo de diseñar un sistema que excluya a ciertos actores o que no logre motivar suficientemente la conservación ambiental. Por ello, garantizar un enfoque inclusivo y adaptativo es clave para la efectividad del PSA en la protección de los servicios ecosistémicos del páramo Sabana Rubia.

Cadena de valor y zonificación por acciones estratégicas del PSA:

Tal como se muestra en la figura 6, una zonificación detallada del territorio es esencial para lograr una gestión eficiente del páramo. Clasificar las distintas áreas en función de sus necesidades de conservación o restauración permite que los recursos técnicos, humanos y financieros se asignen de manera más precisa y estratégica, lo que incrementa la eficacia del esquema propuesto.

En este contexto, se desarrolló una cadena de valor ambiental, en la cual se identificaron los insumos, actividades y productos que generan valor dentro del esquema PSA, aplicando un enfoque metodológico estructurado en seis fases. Estas fases se vinculan directamente con los niveles de impacto ambiental detectados en el ecosistema, y permitieron delimitar de manera diferenciada las zonas destinadas a conservación y restauración (ver figura 8).

Los resultados obtenidos mediante el análisis multicriterio en ArcGIS indican que aproximadamente el 74,54 % del área evaluada debe priorizarse para acciones de conservación, mientras que el restante 25,46 % requiere intervenciones orientadas a procesos de restauración ecológica. Esta información, visualizada en la figura 9, constituye un insumo técnico valioso para orientar las decisiones de manejo, garantizando que el esquema PSA responda a las necesidades reales del territorio y se ejecute de forma técnica, eficiente y sostenible.



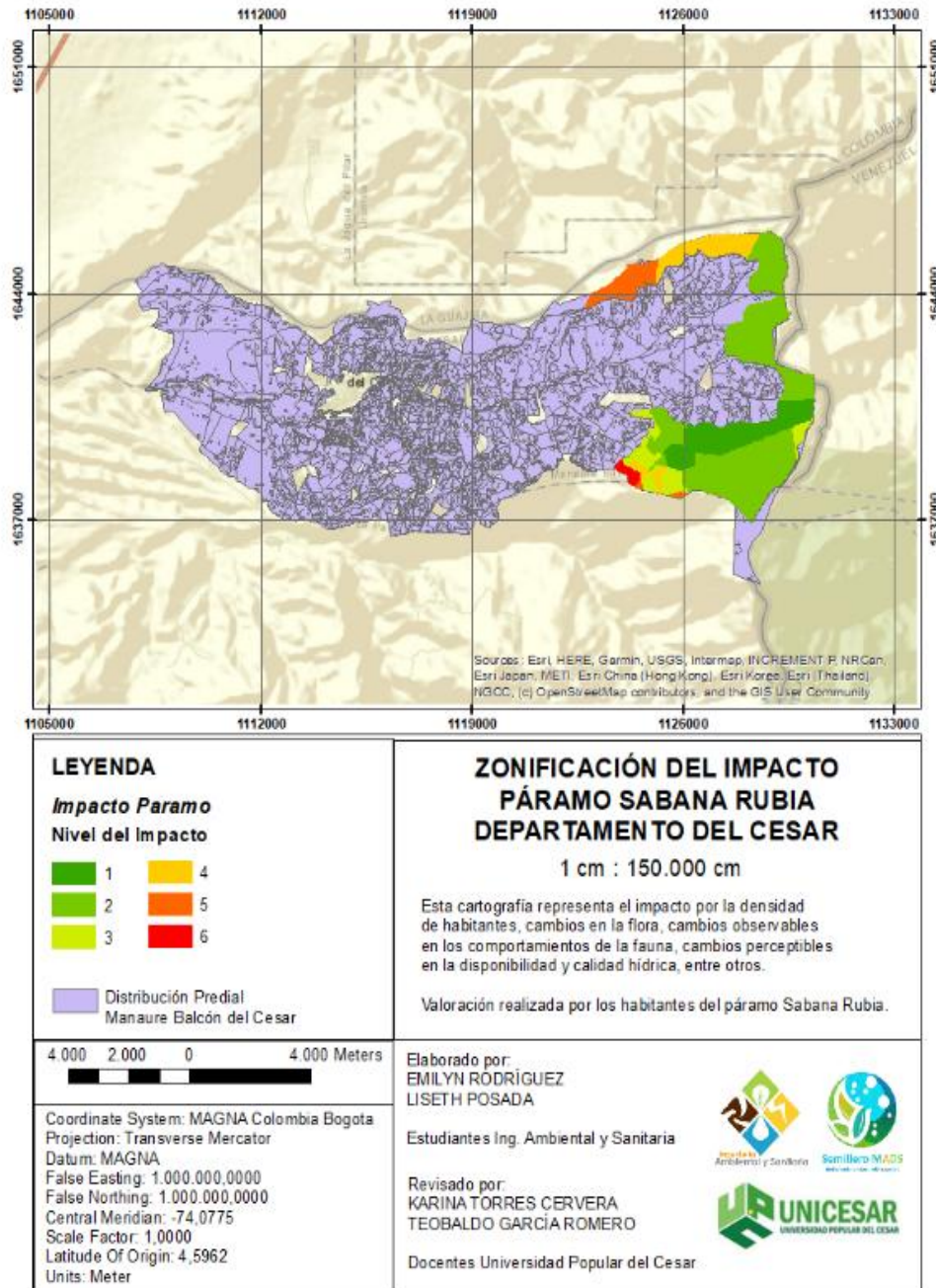


Figura 8. Zonificación de las Medidas de Manejo del Páramo Sabana Rubia

Asimismo, se priorizó la intervención en zonas con mayores impactos, destinando recursos significativos a su restauración, mientras que las áreas con menor impacto se enfocaron en actividades de conservación.

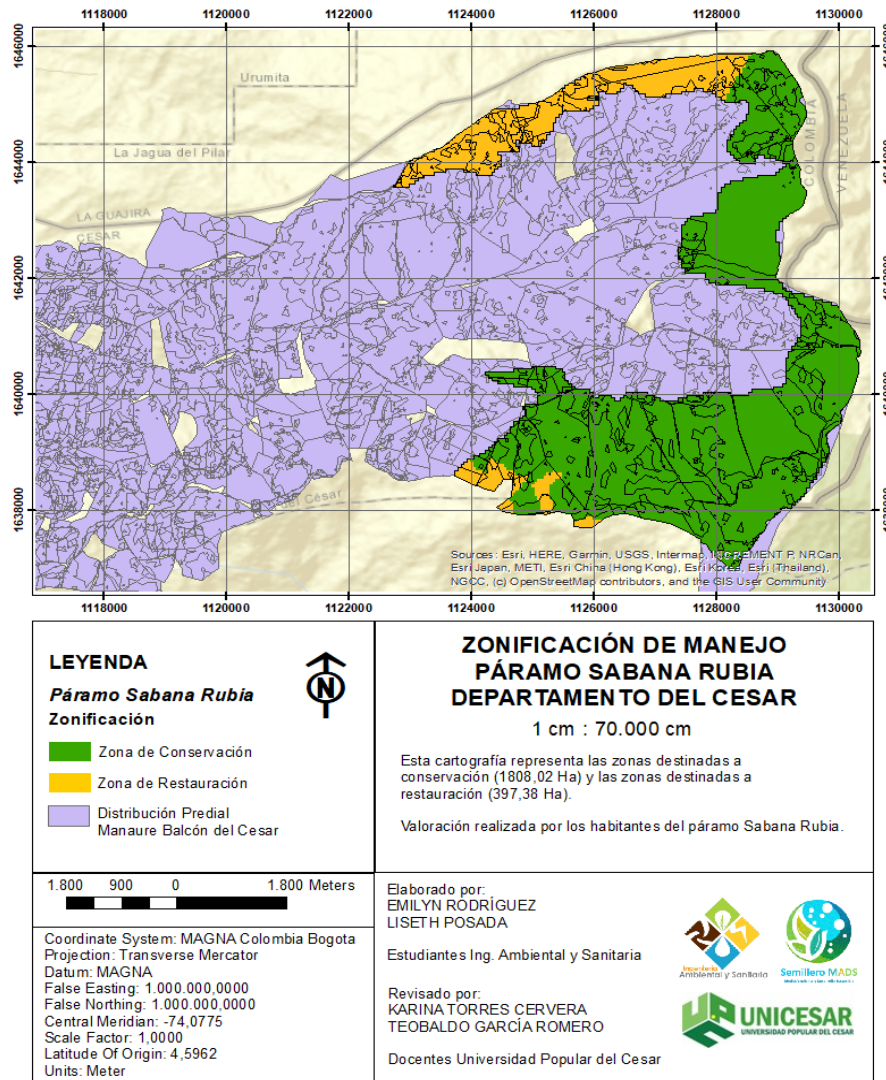


Figura 9. Zonificación de las Medidas de Manejo del Páramo Sabana Rubia

Para cada una de las fases de intervención definidas dentro del esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA), se establecieron los insumos esenciales requeridos para su adecuada implementación. Estos incluyen mano de obra calificada, como ingenieros ambientales, biólogos y técnicos especializados, así como materiales específicos (por ejemplo, herramientas de geolocalización, licencias de software especializado) y equipos tecnológicos, entre ellos drones y estaciones de monitoreo ambiental.

Las actividades ejecutadas en el terreno abarcaron diversas acciones clave, tales como la instalación de estaciones de monitoreo en puntos estratégicos del páramo, la reforestación de áreas degradadas con especies nativas, y la capacitación de las comunidades locales en prácticas de manejo sostenible. Estas intervenciones no solo buscan restaurar y proteger el ecosistema, sino también fortalecer la apropiación comunitaria del proceso de conservación.

En cuanto a la estimación de costos por hectárea, los resultados reflejan que las acciones de conservación requieren una inversión promedio de \$4.483.625 por hectárea, mientras que las destinadas a restauración tienen un costo estimado de \$2.562.030 por hectárea. Esta diferencia evidencia la necesidad de priorizar las áreas de intervención o, en algunos casos, ejecutar las actividades de forma parcial y escalonada, según la disponibilidad presupuestal y los niveles de impacto ambiental identificados.

Entre los productos derivados de estas acciones se encuentran: informes trimestrales de monitoreo ecológico, áreas reforestadas con especies adaptadas, sistemas para el almacenamiento de agua instalados en zonas estratégicas, y comunidades capacitadas para dar continuidad a las acciones de conservación y restauración ambiental.

Análisis de los riesgos: El componente de gestión del riesgo representa una pieza fundamental en la planificación del PSA para el páramo Sabana Rubia. Durante el proceso, se identificaron cuatro tipos principales de riesgos que pueden comprometer la implementación del esquema: riesgos de mercado, operacionales, legales y administrativos. Cada uno de ellos fue evaluado de acuerdo con su probabilidad de ocurrencia y la magnitud del impacto que podrían generar.

La metodología utilizada para esta evaluación siguió los lineamientos establecidos por la [15] para la Gestión del Riesgo, permitiendo una valoración técnica que contribuye a diseñar estrategias de mitigación y planes de contingencia que aseguren la sostenibilidad del PSA a largo plazo.

El resultado de la valoración de los riesgos se aprecia en la siguiente Figura 10:

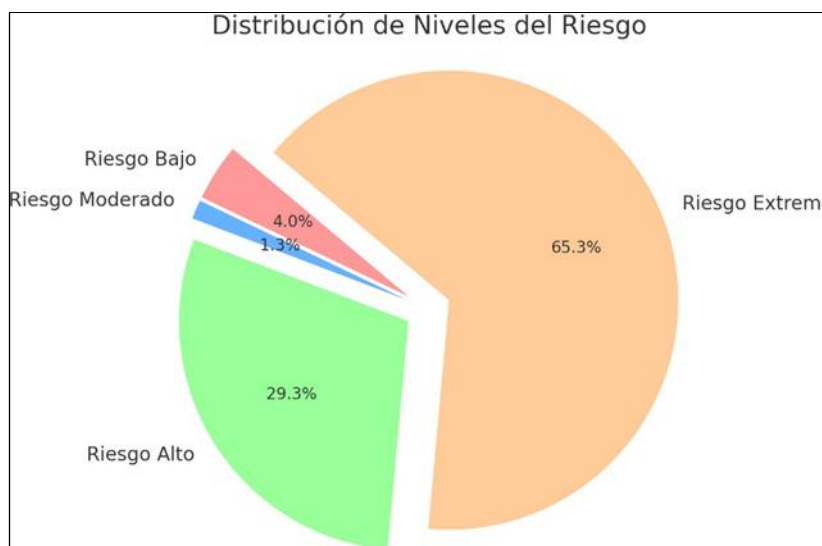


Figura 10. Zonificación de las Medidas de Manejo del Páramo Sabana Rubia

Dentro de las actividades orientadas a la conservación del páramo Sabana Rubia, se identificaron diversos riesgos que podrían comprometer la eficacia del esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA). En el ámbito de los riesgos de mercado, uno de los más relevantes es la posible escasez de equipos especializados o el encarecimiento de los mismos en el mercado local, lo que dificultaría la adquisición de estaciones de monitoreo y otros insumos clave.

- En cuanto a los riesgos operacionales, se reconocieron potenciales errores en la selección de los puntos estratégicos para ubicar las estaciones de monitoreo, así como condiciones climáticas adversas que podrían dificultar el acceso a ciertas zonas, limitando la ejecución de las actividades planificadas.
- En el plano legal, se advirtieron posibles restricciones de acceso a áreas protegidas y riesgos relacionados con el incumplimiento de normativas de privacidad y protección de datos, especialmente en lo concerniente al uso de tecnologías de monitoreo ambiental.
- Desde la perspectiva administrativa, se señaló la falta de personal especializado como una debilidad significativa, así como problemas asociados a la coordinación interna y liderazgo técnico del equipo responsable de implementar el esquema.
- Respecto a las actividades de restauración ecológica, los riesgos de mercado incluyen la disponibilidad limitada de terrenos adecuados para la reforestación y la carencia de proveedores

confiables de imágenes satelitales de alta calidad, fundamentales para evaluar y priorizar las zonas degradadas.

- Los riesgos operacionales abarcan la posibilidad de que factores climáticos afecten las jornadas de siembra, así como un seguimiento inadecuado al desarrollo de las especies reforestadas, lo cual podría reducir las tasas de supervivencia.
- En el ámbito legal, se identificaron obstáculos como restricciones normativas en el uso de técnicas para el control de especies invasoras y conflictos relacionados con la titularidad legal de los predios, lo que podría dificultar las acciones de intervención.
- A nivel administrativo, la falta de expertos en técnicas específicas de restauración y la necesidad de mejorar la coordinación y planificación de actividades, así como los procesos de formación del personal local, representan retos importantes para el éxito de estas intervenciones.

Determinación de la Disposición a Pagar (DAP): En la fase metodológica orientada a conocer la disposición a pagar por parte de la población beneficiaria de los servicios ecosistémicos del páramo Sabana Rubia, se obtuvieron resultados relevantes a partir de un diseño estructurado y validado de encuesta.

Diseño e implementación del instrumento de recolección:

La encuesta fue construida aplicando los fundamentos del método de Valoración Contingente, con el propósito de medir la Disposición a Pagar (DAP) de los habitantes de los municipios que reciben beneficios directos del ecosistema. El cuestionario fue dividido en secciones que abordaban aspectos como datos demográficos, percepción ambiental, nivel de conocimiento sobre el páramo y sus servicios ecosistémicos, así como preguntas específicas destinadas a establecer el valor monetario que estarían dispuestos a aportar por su conservación.

Antes de su aplicación masiva, el cuestionario fue validado mediante una prueba piloto con 50 personas, lo que permitió realizar ajustes en redacción y claridad, garantizando su comprensión y efectividad en el levantamiento de la información.

El tamaño muestral se determinó mediante un muestreo aleatorio simple, basado en la población total de los municipios de Manaure Balcón del Cesar, Robles La Paz, San José de Oriente, San Diego y Agustín Codazzi, los cuales suman en conjunto 102.632 habitantes. Utilizando la fórmula de muestreo para poblaciones finitas, y un nivel de confianza del 95 %, se proyectó un total de 2.188 encuestas. Sin embargo, debido a limitaciones logísticas y la resistencia de algunas personas a participar, solo fue posible aplicar 800 encuestas, lo cual representa un 36,56 % de la muestra inicialmente proyectada (ver Tabla 1).

El análisis posterior de la muestra indicó una amplia representatividad, con encuestados pertenecientes a diversas categorías socioeconómicas y perfiles demográficos, lo que permitió obtener una visión completa y contextualizada sobre las actitudes de la población frente a la conservación del páramo y su disposición a contribuir con su sostenimiento:

- **Género:** El 52% de los encuestados eran hombres y el 48% mujeres.
- **Edad:** El 30% de los encuestados tenían entre 18 y 24 años, el 35% entre 25 y 38 años, el 20% entre 39 y 55 años, y el 15% más de 55 años.
- **Nivel educativo:** El 25% de los encuestados tenía educación primaria, el 40% educación secundaria, el 20% formación técnica o tecnológica, y el 15% educación universitaria o superior.
- **Ingreso promedio mensual:** El 35% de los encuestados reportó ingresos inferiores a un salario mínimo mensual legal vigente (SMLV), mientras que el 50% tenía ingresos entre uno y dos SMLV, y el 15% reportó ingresos superiores a dos SMLV.



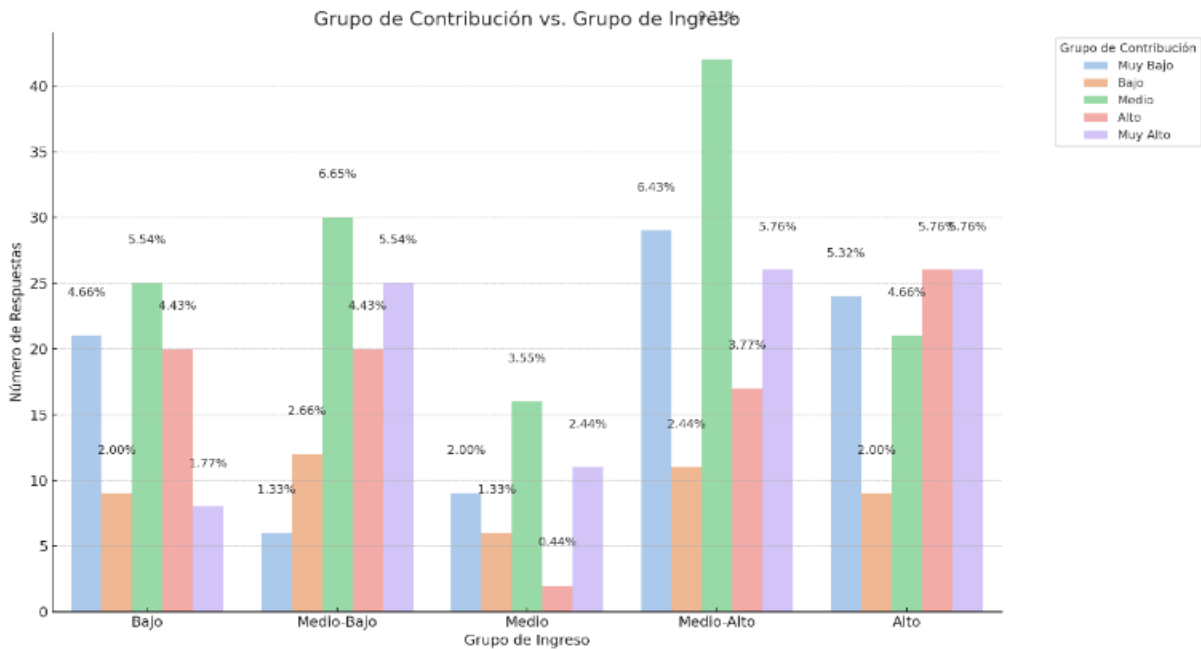


Figura 11. Relación de la Contribución versus los Grupos de Ingresos

Para analizar los factores que influyen en la Disposición a Pagar (DAP) por los servicios ecosistémicos del páramo Sabana Rubia, se empleó un modelo de regresión logística, ideal para variables dependientes binarias. En este caso, la variable dependiente fue la disposición a pagar codificada como 1 (sí) y 0 (no). Las variables independientes consideradas en el modelo son las siguientes; dicho modelo fue ajustado en varias etapas, y tras aplicar pruebas de significancia y eliminar variables no relevantes, se identificaron los siguientes factores como los más influyentes sobre la DAP:

- **Género:** Las mujeres mostraron una mayor disposición a pagar que los hombres, con un coeficiente de 0.3728, lo que equivale a un incremento del 45 % en la probabilidad de estar dispuestas a pagar.
- **Nivel educativo:** A medida que aumenta el nivel de escolaridad, también lo hace la disposición a pagar. El coeficiente de 0.3812 indica que por cada nivel educativo adicional (por ejemplo, de secundaria a técnica o de técnica a profesional), la probabilidad de DAP se incrementa en un 46 %.
- **Ocupación:** Aquellas personas con empleo formal o que eran empresarios presentaron mayor disposición a pagar que los desempleados o estudiantes. El coeficiente de 0.1069 refleja un incremento del 11 % en la probabilidad de DAP para quienes tienen una ocupación económica estable.
- **Valoración de los servicios ecosistémicos:** Las personas que consideraban muy importantes los servicios ambientales del páramo registraron un coeficiente de 0.4558, lo que representa un aumento del 58 % en la probabilidad de estar dispuestas a pagar.
- **Conocimiento del beneficio hídrico:** Aquellos encuestados que reconocían el aporte del páramo al sistema de acueducto local tuvieron un coeficiente de 0.9844, el cual representa un aumento del 168 % en la probabilidad de manifestar disposición a pagar.

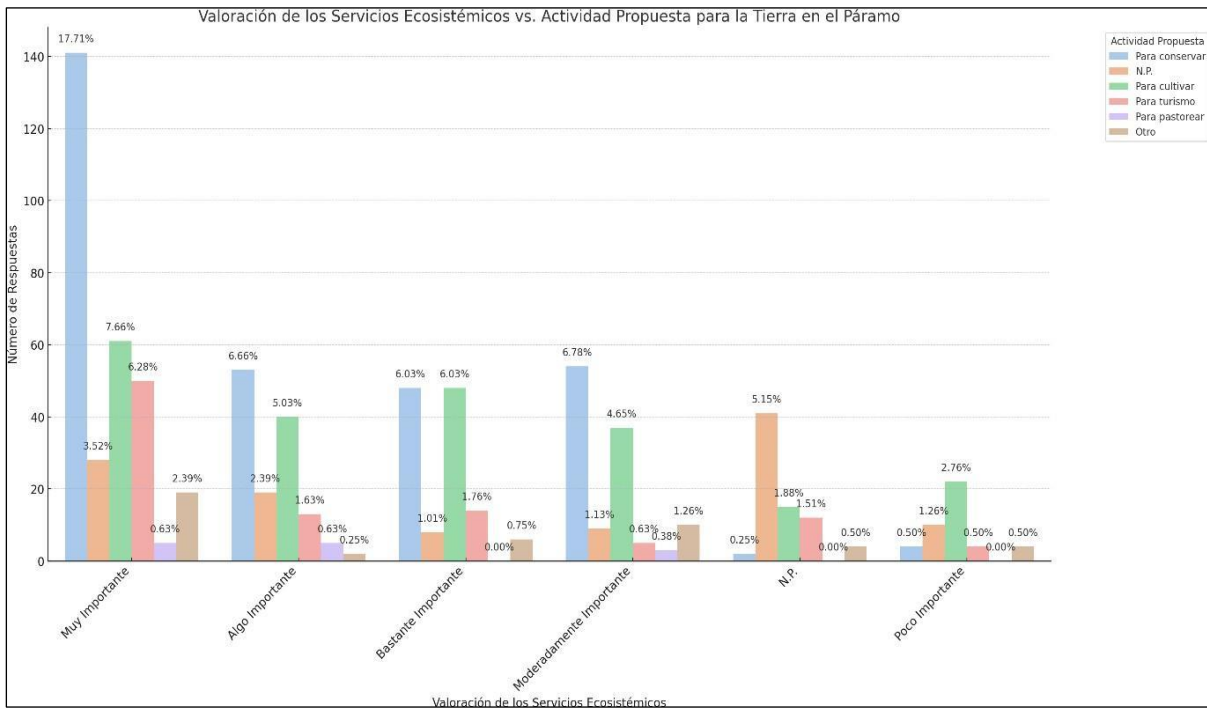


Figura 12. Relación de la Valoración de los Servicios Ecosistémicos y la Actividad Económica Propuesta en el Páramo

El modelo tuvo un pseudo R^2 de 0.1754, un valor aceptable dentro del contexto de modelos de regresión logística aplicados a estudios de valoración económica. Además, logró una tasa de clasificación correcta del 75 %, es decir, predijo adecuadamente la decisión de DAP en tres de cada cuatro casos. Los resultados detallados del modelo fueron procesados con el software STATA y se resumen visualmente en la figura correspondiente que acompaña esta sección.

. **logit** DisposicionAporteVoluntario Genero NivelEducativo Ocupacion ValorServiciosSabanaRubia BeneficioParamoAcueducto

Iteration 0: Log likelihood = **-509.72225**
 Iteration 1: Log likelihood = **-421.74937**
 Iteration 2: Log likelihood = **-420.30988**
 Iteration 3: Log likelihood = **-420.30718**
 Iteration 4: Log likelihood = **-420.30718**

Logistic regression

Number of obs = **799**
 LR chi2(5) = **178.83**
 Prob > chi2 = **0.0000**
 Pseudo R2 = **0.1754**

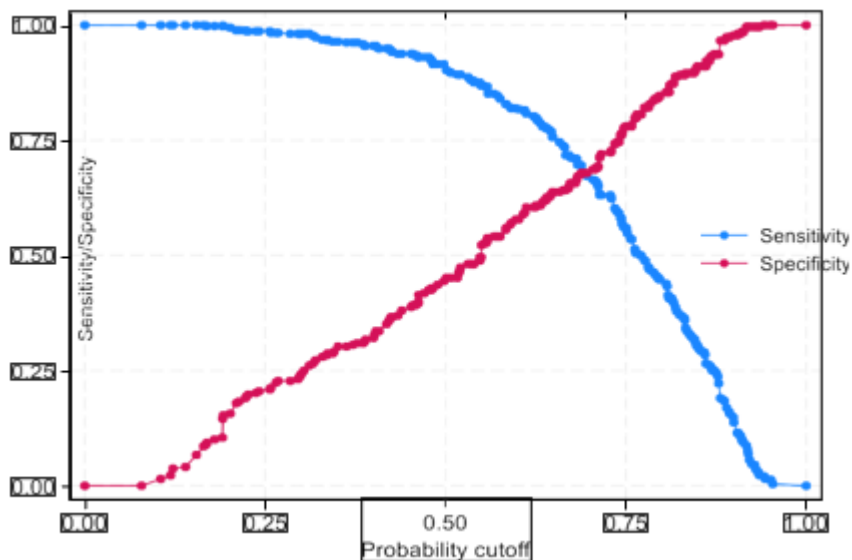
Log likelihood = **-420.30718**

DisposicionAporteVoluntario	Coefficient	Std. err.	z	P> z	[95% conf. interval]
Genero	.3728286	.1957061	1.91	0.057	-.0107484 .7564055
NivelEducativo	.3811608	.0759635	5.02	0.000	.2322751 .5300465
Ocupacion	.1069943	.0532677	2.01	0.045	.0025916 .211397
ValorServiciosSabanaRubia	.4558434	.0598158	7.62	0.000	.3386066 .5730801
BeneficioParamoAcueducto	.9844307	.1715062	5.74	0.000	.6482847 1.320577
_cons	-2.460022	.3133675	-7.85	0.000	-3.074211 -1.845833

Figura 13. Resultado Regresión Logística de las variables significativas

El modelo construido a través de esta regresión es la siguiente:

$$Li = \ln \ln \left(\frac{pi}{1 - pi} \right) = -\beta_0 + \beta_1 * Genero + \beta_2 * NivelEducativo + \beta_3 * Ocupacion + \beta_4 * ValorServiciosEcosistemicos + \beta_5 * BeneficioPáramo$$



(4)



F 1. Gráfica de Punto de Corte del Modelo Logístico

Cálculo de la Disposición para Pagar (DAP): El cálculo de la Disposición a Pagar (DAP) se realizó a partir de los datos recolectados en la encuesta y las probabilidades estimadas mediante el modelo econométrico aplicado. De los 790 encuestados validados, 511 personas manifestaron estar dispuestas a realizar un aporte voluntario, lo que corresponde al 60,8 % del total, como se muestra en la Figura 15.

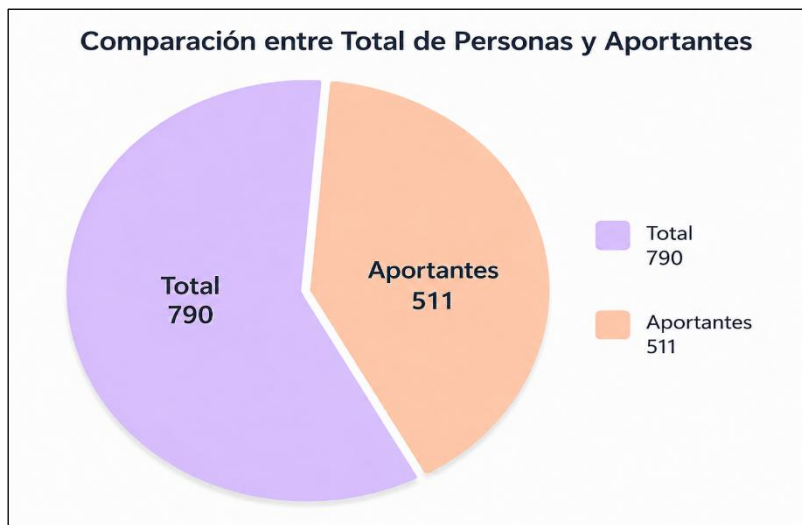


Figura 15. Número de aportantes respecto al total de la muestra evaluada

Con base en estos datos, se estimó que el aporte promedio mensual por persona sería de COP \$550, y la mediana del valor declarado fue de COP \$500. En un escenario ideal en el que todos los encuestados dispuestos a pagar lo hicieran cada mes, el recaudo mensual alcanzaría los COP \$51.316.000, lo que representaría un ingreso anual de COP \$615.792.000. No obstante, al considerar que la cobertura del servicio

de acueducto en los municipios beneficiarios alcanza en promedio un 75 %, se ajustó el cálculo, resultando en un recaudo potencial anual de aproximadamente COP \$462.000.000.

Proyectado a 12 años, este esquema permitiría recaudar COP \$3.377.592.000, lo que representa solo el 13,65 % del costo total estimado del esquema de PSA, que asciende a COP \$25.255.619.649,44. Este resultado revela que, aunque los aportes voluntarios son un mecanismo importante, no serían suficientes por sí solos para financiar a largo plazo el modelo de conservación, haciendo evidente la necesidad de combinar esta estrategia con otras fuentes complementarias de financiación.

El análisis de sensibilidad realizado contempló distintos escenarios. Por ejemplo, si se buscara cubrir una quinta parte del costo total del PSA únicamente con aportes voluntarios, sería necesario incrementar la DAP a COP \$1.400 por persona y mantenerla durante más de 50 años, lo que plantea desafíos evidentes en términos de viabilidad y sostenibilidad financiera del proyecto.

Fuentes complementarias de financiación: Dada la importancia estratégica del Páramo Sabana Rubia, tanto desde el punto de vista ecológico como socioeconómico, es indispensable consolidar un esquema de financiación diversificada. Aunque los aportes voluntarios de la población son una pieza relevante del modelo, no pueden ser la única fuente. Se identificaron varias alternativas legales y viables de financiación pública y ambiental, que pueden complementar eficazmente la estructura financiera del PSA.

Entre las principales fuentes se encuentran:

- Sistema General de Regalías, establecido por la [24], que permite destinar el 1 % de los ingresos por regalías a la conservación de ecosistemas estratégicos como los páramos.
- Impuesto Nacional al Carbono, regulado por la [25], el cual asigna el 25 % de sus ingresos a programas orientados a la reducción de la deforestación y la conservación de fuentes hídricas.
- Tasa por Utilización de Aguas, contemplada en la [20] y reforzada por la [26], que financia actividades para la protección, preservación y recuperación del recurso hídrico, incluyendo ecosistemas de alta montaña.
- Tasas Compensatorias por Caza de Fauna Silvestre y por Aprovechamiento Forestal Maderable, administradas por las autoridades ambientales, destinadas a la conservación y manejo sostenible de los recursos naturales.
- Transferencias del Sector Eléctrico, también reguladas por la [20], que permiten invertir en restauración ambiental en zonas afectadas por infraestructura energética.
- Porcentaje ambiental de los gravámenes a la propiedad inmueble, y el uso del 1 % de los ingresos corrientes de los municipios y departamentos, según el artículo 111 de la [20], con destino a la adquisición y mantenimiento de áreas abastecedoras de agua.
- Inversión forzosa del 1 %, prevista en el marco del licenciamiento ambiental, conforme al párrafo 1 de los artículos 43 y 11 de la [20], para proyectos de conservación y restauración hídrica.
- Compensaciones del componente biótico, reguladas por la [27], que permiten canalizar recursos hacia la protección de ecosistemas frágiles como los páramos.

Retos en la implementación de estas fuentes: Si bien estas fuentes están legalmente habilitadas y representan oportunidades reales de financiación, su aplicación en contextos como el del páramo Sabana Rubia, caracterizado por condiciones remotas, de difícil acceso y con problemas históricos de seguridad, plantea retos importantes. Las dificultades logísticas afectan los procesos de monitoreo, fiscalización y verificación, limitando la eficiencia en la gestión de los recursos.



Además, la cercanía con la frontera con Venezuela introduce dinámicas complejas como la migración, la necesidad de cooperación transfronteriza y un entorno socioeconómico que requiere enfoques sensibles y adaptativos.

Instrumentos como el Impuesto al Carbono o las Transferencias del Sector Eléctrico, que operan bajo el principio de “quien contamina, paga”, son fundamentales para generar ingresos, pero su impacto dependerá en gran medida de la capacidad institucional de canalizar estos recursos de manera efectiva y transparente hacia las áreas prioritarias.

Asimismo, las tasas por uso del agua y las compensaciones ambientales podrían enfrentar problemas de cobro y ejecución en estos territorios, por lo que su implementación debe contemplar mecanismos adaptados al contexto local.

En definitiva, la sostenibilidad financiera del esquema de PSA para el Páramo Sabana Rubia exige una combinación inteligente de fuentes: aportes voluntarios comunitarios, instrumentos fiscales y ambientales ya existentes, y una gestión institucional fortalecida y sensible a las realidades locales. Esta convergencia de esfuerzos puede potenciar significativamente el éxito del proyecto y garantizar la conservación a largo plazo de uno de los ecosistemas más estratégicos del país.

4. DISCUSIÓN

La caracterización de los servicios ecosistémicos del páramo Sabana Rubia reveló un escenario sumamente alentador para el impulso de estrategias de conservación basadas en esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA). Al igual que lo documentaron [11] en su detallada investigación sobre la biodiversidad de la Serranía de Perijá, este estudio corroboró que la riqueza biológica y la oferta de servicios ambientales de Sabana Rubia poseen un valor estratégico incalculable, tanto en términos ecológicos como sociales. Los hallazgos destacan no solo la importancia de sus fuentes hídricas y su función como reservorio de biodiversidad, sino también su potencial para la regulación climática y el fomento de actividades sostenibles como el ecoturismo.

La disposición a pagar (DAP) observada en los habitantes locales, con un promedio de 550 pesos colombianos mensuales, resulta especialmente significativa. Esta cifra, aunque inferior a la reportada en otros estudios como el de [16] en el Páramo El Verjón, donde la DAP alcanzó entre \$1.939,87 y \$2.251,58 COP; demuestra una voluntad real y tangible de la comunidad hacia la protección de su ecosistema, aún en un contexto de limitaciones socioeconómicas considerables. Este dato subraya la existencia de una base social que podría ser fortalecida con programas de educación ambiental, estrategias de comunicación y esquemas participativos de manejo del páramo.

En términos de comparación metodológica, los resultados del presente proyecto se alinean con los hallazgos de [17] en la vereda Romeral, donde se establecieron áreas potenciales para PSA sobre la base de la caracterización del recurso hídrico y el análisis de uso del suelo. La metodología empleada, que incluyó zonificación con herramientas de georreferenciación y la valoración de costos y beneficios asociados a las actividades productivas, permitió determinar un incentivo promedio por hectárea de 24.960,28 pesos colombianos al año. Aunque este valor es inferior al incentivo estimado por [18] en la microcuenca La Hidráulica, de aproximadamente \$828.116 COP mensuales por hectárea; responde a las condiciones locales de producción y al costo de oportunidad particular de Sabana Rubia, manteniéndose dentro de rangos técnicamente viables para esquemas de PSA en ecosistemas de montaña.

El ROI de 1,29 encontrado respalda la viabilidad financiera del mecanismo propuesto, un dato que se refuerza si se considera el respaldo legal y político que ofrece el marco normativo colombiano, especialmente la [20] y el [21] Dichos instrumentos legales otorgan solidez jurídica a la implementación de PSA y brindan garantías de acceso a fuentes de financiación complementarias como el Sistema General de Regalías, las tasas por utilización de aguas y las compensaciones por aprovechamiento forestal. Además, el [22] establece los lineamientos estratégicos para consolidar los PSA como política pública nacional, generando un entorno altamente propicio para el éxito de proyectos como el de Sabana Rubia.

Resulta pertinente reconocer que la variabilidad en los valores de renta del suelo, evidenciada en la dispersión de datos recogidos durante la zonificación, plantea desafíos importantes. Sin embargo, lejos de representar un obstáculo insalvable, dicha heterogeneidad sugiere la oportunidad de diseñar esquemas de incentivos

diferenciados, ajustados a las realidades específicas de cada predio, tal como lo recomienda el [19]. Esta adaptación fina no solo aumentaría la equidad en la distribución de los beneficios del PSA, sino que también fortalecería la legitimidad social del esquema ante los ojos de los propietarios y usuarios locales.

En un análisis más profundo, los resultados económicos y ecológicos de este estudio reflejan las dinámicas descritas por [23] en su aproximación socioecológica a los PSA. La interacción de factores sociales, económicos y ambientales, desde la percepción del valor de los servicios ecosistémicos hasta la disposición a adoptar prácticas de conservación; demuestra que el diseño de un esquema de PSA efectivo requiere una comprensión integral de los sistemas complejos en los que se inserta.

Si bien se identificaron limitaciones, como el bajo porcentaje de encuestas realizadas en comparación con la muestra proyectada (36,56%) y las dificultades de acceso derivadas del contexto geográfico y social de la región, estas dificultades no empañan la pertinencia del proyecto. Antes bien, subrayan la necesidad de fortalecer las estrategias de inclusión social, sensibilización ambiental y participación comunitaria activa, elementos que ya han demostrado ser cruciales en experiencias exitosas de PSA en otros páramos colombianos.

Asimismo, el análisis de riesgos operacionales, de mercado, legales y administrativos efectuados bajo la metodología de la NTC 5254 de 2004, permitió anticipar posibles escenarios adversos y proponer medidas preventivas. La identificación temprana de estos riesgos otorga al proyecto una mayor capacidad de resiliencia, garantizando su adaptabilidad ante cambios o imprevistos durante su implementación.

Desde una perspectiva estratégica, el hecho de que el páramo Sabana Rubia sea fuente de agua para varios municipios y que esté ubicado en un área de importancia ecológica binacional refuerza su potencial como candidato prioritario para recibir inversiones en conservación. La coincidencia de instrumentos legales, voluntad comunitaria, viabilidad técnica y necesidad ecosistémica posiciona este proyecto en un escenario sumamente favorable para su éxito.

Considerando estos elementos, la propuesta de implementación de un esquema de PSA en Sabana Rubia no solo resulta viable, sino altamente recomendable. Es imperativo aprovechar el momento actual para consolidar alianzas entre el sector público, el privado, las organizaciones comunitarias y la cooperación internacional, siguiendo las recomendaciones planteadas por el Programa Nacional de PSA (CONPES 3886 de 2017). De este modo, se podrá garantizar no solo la conservación del páramo y sus servicios ecosistémicos, sino también el bienestar futuro de las comunidades que dependen de ellos, promoviendo así un modelo de desarrollo verdaderamente sostenible, equitativo y resiliente.

5. CONCLUSIONES

El estudio sobre la Caracterización de los Servicios Ecosistémicos del Páramo Sabana Rubia y la implementación de un esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA) proporciona un marco integral y detallado que resalta tanto la relevancia ecológica como la necesidad de gestionar de manera sostenible este ecosistema. El páramo, ubicado en una región estratégica de Colombia, contribuye de manera significativa a la regulación hídrica, la biodiversidad, y la mitigación del cambio climático, servicios esenciales para las comunidades locales y la región. A través de este estudio, se identificaron tres servicios ecosistémicos clave: la conservación hídrica, la regulación climática y el potencial de biodiversidad, siendo estos valorados en gran medida por los habitantes de la zona, quienes manifestaron un alto nivel de conciencia sobre la importancia del páramo para su bienestar socioeconómico.

Los resultados obtenidos mediante encuestas aplicadas a 796 personas de los municipios circundantes a Sabana Rubia muestran que el 64,2% de los encuestados están dispuestos a realizar aportes voluntarios para la conservación del páramo, con un promedio de disposición a pagar (DAP) de COP \$550 mensuales. Sin embargo, pese a este alto nivel de aceptación, la suma total recaudada en un escenario de máximo recaudo cubriría apenas el 13,65% del costo total estimado de las actividades de conservación y restauración, que asciende a COP \$25.255.619.649,44 en un horizonte de 12 años. Este resultado sugiere que, aunque el mecanismo de PSA es viable desde el punto de vista social, es financieramente insuficiente para garantizar la protección a largo plazo del ecosistema, lo que hace indispensable la búsqueda de fuentes de financiación complementarias.



La zonificación y análisis espacial realizados con el uso de tecnologías como ArcGIS, permitieron clasificar el 74,54% del área del páramo como prioritaria para la conservación y el 25,46% restante como sujeta a restauración, según los criterios de impactos ambientales y uso del suelo. Este análisis muestra que las áreas más afectadas por la intervención humana, principalmente por la ganadería extensiva y la deforestación, requieren una inversión significativa en restauración ecológica para revertir los efectos negativos sobre la biodiversidad y los recursos hídricos. Los estudios realizados en campo, utilizando drones y estaciones de monitoreo, también indicaron una disminución preocupante en la diversidad de flora y fauna, lo que refuerza la necesidad urgente de implementar medidas de mitigación.

El análisis econométrico, basado en la técnica de regresión logística, mostró que factores como el nivel educativo y el conocimiento sobre los beneficios hídricos del páramo incrementan significativamente la probabilidad de que los habitantes estén dispuestos a pagar por su conservación. Por cada nivel adicional de educación, la disposición a pagar aumentó en un 46%, mientras que aquellos que comprendían la relación entre el páramo y el abastecimiento de agua mostraron un aumento del 168% en su DAP.

Estos resultados demuestran la importancia de la educación ambiental como una herramienta clave para fomentar la participación comunitaria en proyectos de conservación y fortalecer la aceptación del esquema de PSA.

En cuanto a las fuentes de financiación adicionales, el Sistema General de Regalías, que asigna el 1% de sus recursos a la conservación de áreas estratégicas como los páramos, se presenta como una opción viable, pero enfrenta desafíos logísticos y administrativos, especialmente en zonas de difícil acceso como Sabana Rubia. Además, el Impuesto Nacional al Carbono, que destina el 25% de sus ingresos a la reducción de la deforestación y la conservación de fuentes hídricas, ofrece una fuente significativa de recursos, aunque su aplicación efectiva dependerá de la capacidad de las entidades gestoras para asegurar la transparencia y el monitoreo adecuado de los fondos. Se estima que, combinando estos dos mecanismos con los aportes voluntarios de la comunidad, se podría cubrir hasta un 35% del costo total del esquema de PSA, lo que aún deja una brecha financiera considerable.

El análisis de riesgos realizado como parte de este estudio identificó cuatro tipos principales de riesgos: de mercado, operacionales, legales y administrativos. Los riesgos operacionales, como el acceso limitado a zonas remotas del páramo y las condiciones climáticas adversas, se destacan como los más críticos, ya que pueden afectar la eficacia de las actividades de conservación y restauración. En el ámbito legal, la falta de claridad sobre la propiedad de la tierra y las restricciones en áreas protegidas presentan obstáculos significativos que deben ser abordados para garantizar la implementación exitosa del PSA.

En términos de viabilidad económica, el valor del incentivo necesario para asegurar la participación de los propietarios de tierras en el esquema de PSA se estimó en un promedio de COP \$1.475.076,52 por hectárea al año, con una amplia variabilidad dependiendo de las características del suelo y la rentabilidad de las actividades económicas en la región. Esta disparidad en la renta del suelo subraya la necesidad de diseñar un esquema de PSA flexible que se adapte a las condiciones específicas de cada predio, asegurando así su equidad y efectividad.

Para finalizar, los resultados de este estudio proporcionan una base sólida para la implementación de un esquema de Pago por Servicios Ambientales en el Páramo Sabana Rubia, pero también destacan los importantes desafíos financieros, logísticos y administrativos que deben ser superados. La combinación de aportes voluntarios de la comunidad con fuentes de financiación públicas como el Sistema General de Regalías y el Impuesto Nacional al Carbono es crucial para garantizar la sostenibilidad del proyecto. Además, es fundamental promover la educación ambiental y la participación comunitaria como elementos clave para aumentar la disposición a pagar y asegurar el éxito del esquema de PSA a largo plazo. La ausencia de medidas de conservación efectivas podría tener consecuencias devastadoras para la biodiversidad, los recursos hídricos y el clima regional, afectando no solo a las comunidades locales, sino también a la estabilidad ecológica de la región en su conjunto.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos infinitamente en primera instancia a Dios por permitirnos terminar este proyecto con éxito.

A una mujer que es ejemplo de superación, bondad y amor, nuestra directora PhD. Karina Torres, quien durante todo este tiempo nos apoyó en la realización de esta investigación depositando su confianza y estando incondicionalmente siempre que tocábamos su puerta y a los demás docentes que también hicieron esto posible y demás profesionales

A nuestros padres por infundirnos amor y responsabilidad por el estudio, ayudarnos cada día a superarnos más, y a todos los que hicieron esto posible. Nuestra gratitud y respeto.

A nuestros amigos por su apoyo y colaboración en este proyecto durante toda la etapa de la realización del proyecto.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, Metodología de la investigación, 6ª ed., México D.F.: McGraw-Hill, 2018.

[2] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, Metodología de la investigación, 5ª ed., México D.F.: McGraw-Hill, 2014.

[3] República de Colombia, Decreto 1640 de 2012, por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 99 de 1993 en materia de licenciamiento ambiental, Diario Oficial No. 48.579, Bogotá D.C., 2012.

[4] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 1084 de 2018, por la cual se establecen los criterios para la delimitación de los páramos, Bogotá D.C., 2018.

[5] República de Colombia, Decreto 953 de 2013, por el cual se adoptan medidas para la conservación de páramos, Bogotá D.C., 2013.

[6] C. Bencardino, Estadística y muestreo, 13ª ed., Bogotá D.C.: ECOE Ediciones, 2012.

[7] Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, Censo Nacional de Población y Vivienda 2018, Bogotá D.C.: DANE, 2018.

[8] M. Hallin, "Gauss–Markov Theorem in Statistics", Encyclopedia of Environmetrics, pp. 1–3, 2014. doi:10.1002/9781118445112.stat07536.

[9] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation, United States, 1993.

[10] Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Guía Técnica para el Diseño e Implementación del Proyecto Tipo de PSA para modalidad hídrica, Bogotá D.C., 2021.

[11] J. O. Rangel-Ch. y H. Arellano-P., La vegetación de la Serranía de Perijá, Colombia: páramo, selvas y bosques, Bogotá D.C.: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, 2019.

[12] J. H. Pinto-Zárate y J. O. Rangel-Ch., "Flora asociada a las formaciones paramunas de la cordillera occidental y el norte de Colombia", Artículo Científico, pp. 411–443, 2010.

[13] H. W. Pulido-B. y M. G. Andrade-C., "Una nueva especie de Forsterinaria Gray, 1973 (Lepidoptera: Nymphalidae: Satyrinae) de la Serranía del Perijá, Cesar, Colombia", Caldasia, vol. 30, no. 1, 2008.

[14] H. Arellano-P. y A. M. García-M., Clima y topoclima, 2007. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313673247_Clima_y_topoclima.

[15] Icontec, Norma Técnica Colombiana NTC 5254: Gestión del riesgo, Bogotá D.C.: ICONTEC, 2004.



- [16] E. Pedroza C. y Y. Pérez C., Estructuración de una Propuesta de Pago por Servicios Ambientales en el Páramo El Verjón, Bogotá D.C.: Universidad Cooperativa de Colombia, 2020.
- [17] J. Alvarado R., D. Bonilla, A. Currea V. y J. Oidor, Un esquema de Pago por Servicios Ambientales como alternativa de Gestión del Recurso Hídrico en el Área de Páramo de la Vereda Romeral (Soacha), Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2020.
- [18] M. Lombana L., Diseño de un esquema de Pago por Servicios Ambientales en la microcuenca La Hidráulica del municipio de Sibundoy, Putumayo, Manizales: Universidad de Manizales, 2019.
- [19] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MINAMBIENTE, Guía de Aplicación de la Valoración Económica Ambiental, Bogotá D.C., 2018.
- [20] República de Colombia, Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones, Diario Oficial No. 41.146, Bogotá D.C., 1993.
- [21] República de Colombia, Decreto 870 de 2017, por el cual se reglamenta el mecanismo de Pago por Servicios Ambientales y otros incentivos a la conservación, Bogotá D.C., 2017.
- [22] Departamento Nacional de Planeación (DNP), CONPES 3886 de 2017: Estrategia para la implementación de esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA) en Colombia, Bogotá D.C., 2017.
- [23] J. Sandoval, Pagos por Servicios Ambientales: una aproximación desde el enfoque de los sistemas socio-ecológicos, Santiago de Cali: Universidad del Valle, 2018.
- [24] República de Colombia, Ley 1530 de 2012, por la cual se regula la organización y el funcionamiento del Sistema General de Regalías, Bogotá D.C., 2012.
- [25] República de Colombia, Ley 1819 de 2016, por la cual se adopta una Reforma Tributaria Estructural, Bogotá D.C., 2016.
- [26] República de Colombia, Ley 1930 de 2018, por la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia, Bogotá D.C., 2018.
- [27] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 1526 de 2012, por la cual se reglamentan las compensaciones ambientales en el componente biótico, Bogotá D.C., 2012.