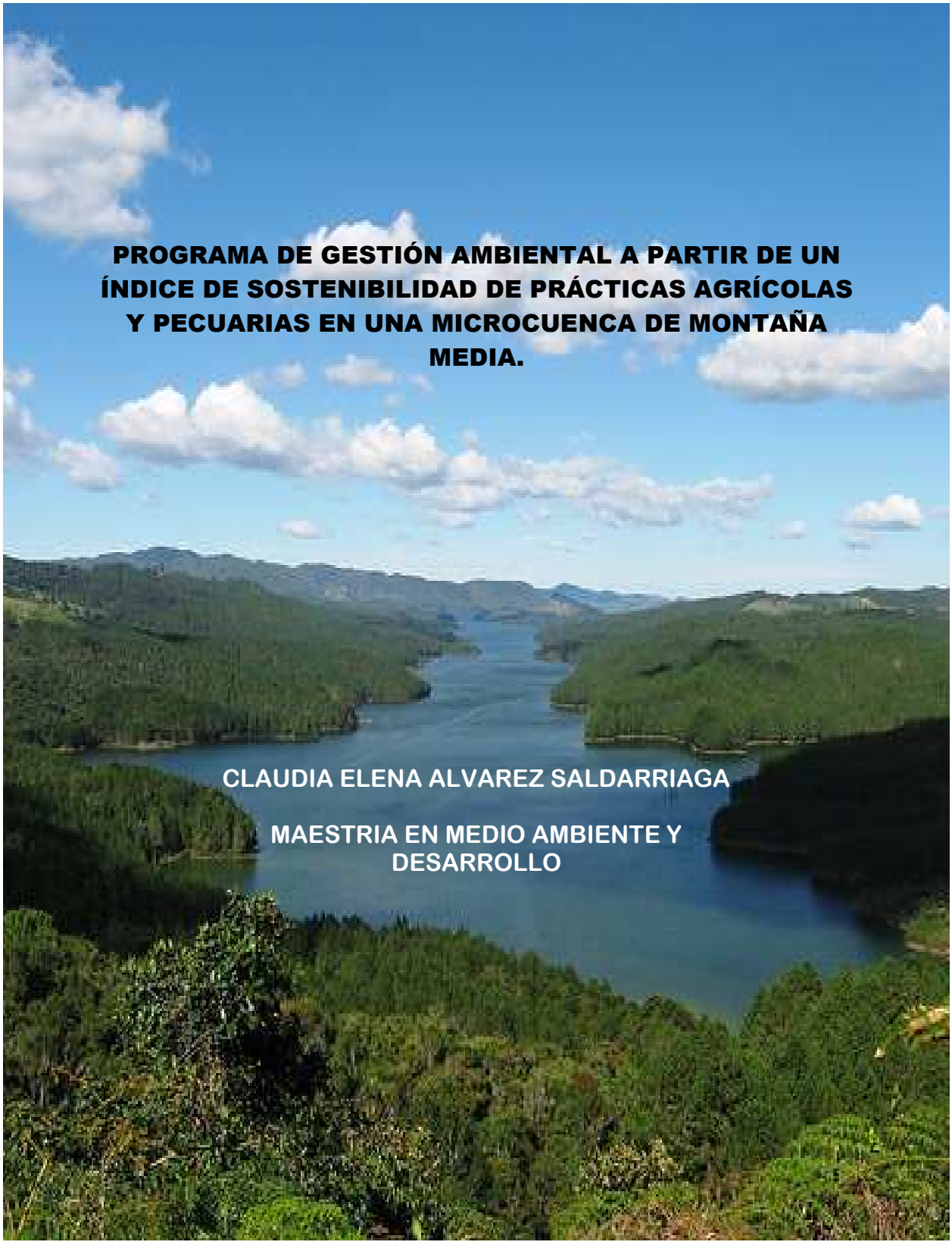


PROGRAMA DE GESTIÓN AMBIENTAL A PARTIR DE UN ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS EN UNA MICROCUENCA DE MONTAÑA MEDIA.

CLAUDIA ELENA ALVAREZ SALDARRIAGA

MAESTRIA EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

PROGRAMA DE GESTIÓN AMBIENTAL A PARTIR DE UN ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS EN UNA MICROCUENCA DE MONTAÑA MEDIA.

CLAUDIA ELENA ALVAREZ SALDARRIAGA

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente

Medellín, Colombia

2012

PROGRAMA DE GESTIÓN AMBIENTAL A PARTIR DE UN ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS EN UNA MICROCUENCA DE MONTAÑA MEDIA.

CLAUDIA ELENA ALVAREZ SALDARRIAGA

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Medio Ambiente y Desarrollo

Director
Ph.D. Clara Inés Villegas Palacio

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente
Medellín, Colombia
2012

DEDICATORIA

***A Dios**, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos.*

***A Pablo Andrés,** que ha sido el sentido de mi vida y el apoyo para seguir adelante. Para ti, que siempre estuviste conmigo, escuchaste todas mis protestas y me alentaste a seguir adelante.*

A mi Familia y amigos que creyeron, me acompañaron y apoyaron incondicionalmente.

AGRADECIMIENTOS

A mi Directora de Tesis, Dra. Clara Inés Villegas por su constancia, colaboración, apoyo y paciencia en el proceso de realización de este trabajo.

A los profesores del Departamento de Geociencias y Medio Ambiente que durante todo este tiempo me aportaron sus conocimientos y apoyo incondicional para salir adelante y culminar con éxito mis estudios, en especial a José Humberto Caballero, Carmen Elena Zapata, Verónica Botero y Jaime Ignacio Vélez.

A mis compañeros y amigos por ser pacientes conmigo, por ayudarme a seguir adelante y darme su apoyo, además de compartir las angustias y gratificaciones durante estos años de estudios.

A la Universidad Nacional de Colombia, por darme la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría.

A ISA por haberme brindado el apoyo económico durante los semestres que lo hizo para poder realizar mis estudios.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es desarrollar un índice de sostenibilidad de prácticas agrícolas y pecuarias y a partir de éste proponer un programa de gestión de prácticas productivas con el ánimo de mejorar la calidad del recurso hídrico en una microcuenca de montaña media. El caso de estudio es la microcuenca El Hato, ubicada en el municipio de San Pedro de los Milagros (Antioquia). La Unidad de Análisis (UA) para el presente estudio es la vereda. La microcuenca seleccionada está dividida administrativamente en seis Unidades de Análisis (Alto de Medina, Cerezales, El Espinal, La Pulgarina, San Francisco y Santa Bárbara).

Para cada UA se generaron dos índices de sostenibilidad de tecnologías y prácticas agrícolas y pecuarias (IS1 y IS2), a partir de información primaria obtenida con la aplicación de una encuesta como herramienta de recolección de información. El Índice de Sostenibilidad 1 (IS1) se obtuvo teniendo en cuenta la información de las áreas de los predios que tienen implementada una determinada tecnología o práctica de producción, independiente del manejo que se le esté dando. Para la obtención del Índice de sostenibilidad 2 (IS2) se realizó un análisis del uso y manejo que se está dando en los predios a dos tecnologías de producción (tanque estercolero y sistemas de tratamiento de aguas servidas), para mirar la sensibilidad que tiene este análisis en el Índice.

Una vez obtenidos los índices de sostenibilidad (IS1 y IS2) se espacializaron las UA en el mapa veredal teniendo en cuenta un formato condicional en colores que va de rojo a azul, indicando el grado de criticidad de la unidad de análisis en cuanto a presencia y manejo de tecnologías de producción. Si el valor del índice está entre 0 y 0,2, el color aplicado es rojo y nos indica un estado de la UA en colapso, si el valor del índice está entre 0,2 y 0,4 el color aplicado es naranja y el estado de la UA es crítico, si el valor del índice está entre 0,4 y 0,6 el color aplicado es amarillo y el estado de la UA es inestable, si el valor del índice está entre 0,6 y 0,8 el color aplicado es verde y el estado de la UA es estable y si el valor del índice está entre 0,8 y 1,0 el color aplicado es azul indicando que el estado de la UA es óptimo.

Para el caso en cuestión las zonas priorizadas para la intervención en inversiones deben ser las UA La Pulgarina, San Francisco y Santa Bárbara, las cuales presentaron en los índices (IS1 y IS2) un valor por debajo de 0,4 indicando un estado crítico en implementación de tecnologías y prácticas de producción.

Palabras Claves: Tecnologías, prácticas, producción agropecuaria, sostenibilidad, priorización de áreas, manejo del recurso hídrico.

ABSTRACT

The objective of this work is to develop a sustainability index of agricultural and livestock practices and from this to propose a program of environmental management to improve water resources in a medium mountain watershed. The case study is a basin called El Hato, located in the municipality of San Pedro de los Milagros (Antioquia). Analysis Unit (AU) for the present study is the municipal rural settlements. The selected watershed is divided administratively into six units of analysis (Alto de Medina, Cerezales, El Espinal, The Pulgarina, San Francisco and Santa Barbara).

UA were generated for each two indices of sustainability technologies and agricultural practices and livestock (IS1 and IS2), based on primary information gained from the implementation of a survey as a tool for information gathering sustainability index 1 (IS1) was obtained takeng into account information areas of the farms that implement a specific technology or production practice, independent of management that you are giving. To obtain the sustainability index 2 (IS2) and analysis of the use and management that is occurring on the premises to two production technologies (dung tank system and wastewater treatment), to look at the implication that has this analysis in the index.

After obtaining the sustainability indexes (IS1 and IS2) is to map the AU on the map the municipal rural settlements given a conditional format in colors ranging from red to blue, indicating the degree of criticality of the unit of analysis in terms of presence and handling production technologies. If the index value is between 0 and 0.2, the applied color is red and indicates a state of the AU in collapse, if the index value is between 0.2 and 0.4 applied color is orange and the state of the AU is critical if the index value is between 0.4 and 0.6 applied color is yellow and the state of the AU is unstable, if the index value is between 0.6 and 0.8 the applied color is green and the state of the AU is stable and if the index value is between 0.8 and 1.0 applied color is blue indicating that the state of the AU is optimal.

For the case in question the priority areas for intervention in investment should be the UA The Pulgarina, San Francisco and Santa Barbara, which showed in the indices (IS1 and IS2) a value below 0.4 indicating a critical state implementation of technologies and production practices.

Keywords: Technologies, practices, agricultural production, sustainability, prioritizing areas, water management.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 19
1.1 OBJETIVOS 20
1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACION 21
1.3 HIPÓTESIS 21
1.4 JUSTIFICACIÓN 22
2. MARCO TEORICO 24
2.1 BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS (BPA) 25
2.1.1 Manejo del suelo 26
2.1.2 Manejo del agua 26
2.1.3 Producción de cultivos 27
2.1.4 Cosecha y poscosecha 27
2.1.5 Bienestar, salud y seguridad de los seres humanos 27
2.1.6 Protección Ambiental 28
2.1.7 Trazabilidad 28
2.2 TECNOLOGÍAS Y PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN 29
2.2.2 Recolección de Aguas Lluvias 31
2.2.3 Biodigestor 31
2.2.4 Tanque estercolero y Aplicación de estiércol 32
2.3 ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD 34
2.3.1 Índice de Sostenibilidad Ambiental (Environmental Sustainability Index) 35
2.3.2 Indicadores de Presión Ambiental (Environmental Pressure Indicators) 35
2.3.3 Indicadores de Sostenibilidad Rural en América Central 36
2.3.4 Biograma: Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios (Sepulveda, 2008). 36
3. METODOS 38
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 39
3.2 DISEÑO Y APLICACIÓN DE LA ENCUESTA 41
3.2.1 Diseño de la encuesta 41
3.2.2 Selección de la muestra 42
3.3 METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD 46
4. RESULTADOS 56

4.1 ANÁLISIS DE LA ENCUESTA 56
4.1.1 Aplicación de Agroquímicos en los sistemas de producción..... 59
4.1.2 Recolección de aguas lluvias 62
4.1.3 Biodigestores 63
4.1.4 Tanque estercolero 63
4.1.5 Ordeño manual 64
4.1.6 Ordeño mecánico..... 65
4.1.7 Sistema de tratamiento de aguas servidas..... 66
4.1.8 Ahorro de agua 67
4.2 INDICE DE SOSTENIBILIDAD 68
4.3 ESPACIALIZACION Y PRIORIZACION DE ZONAS A PARTIR DEL INDICE 78
4.4 PROGRAMA PROPUESTO..... 80
5. DISCUSION Y CONCLUSIONES 84
Bibliografía..... 86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zona de estudio (microcuenca El Hato) referenciada a la cuenca río Grande. 39

Figura 2. División veredal en la microcuenca El Hato 40

Figura 3. Distribución predial de la microcuenca El Hato, por rango de área..... 41

Figura 4. Distribución de predios seleccionados para la encuesta en la microcuenca El Hato. 45

Figura 5. Proceso metodológico para la obtención del índice de sostenibilidad de tecnologías y prácticas de producción. 47

Figura 6. Desarrollo Sostenible del sistema Territorial (Sepúlveda, 2008)..... 48

Figura 7. Identificación del estado de las UA del sistema según los colores del Biograma (Adaptado de Sepúlveda, 2008) 55

Figura 8. Predios propuestos para encuestas vs predios realmente encuestados. 57

Figura 9. Distribución poblacional en la microcuenca El Hato por edades..... 58

Figura 10. Tiempo de permanencia de la población encuestada en la microcuenca. 58

Figura 11. Nivel de estudios reportados por los encuestados..... 59

Figura 12. Actividades Productivas en los predios de la cuenca por vereda en porcentaje (%)..... 60

Figura 13. Formas de disposición de empaques y envases de agroquímicos en la microcuenca El Hato. 62

Figura 14. Distribución de tanques estercoleros por vereda en la microcuenca El Hato..... 64

Figura 15. Porcentaje de predios encuestados con ordeño mecánico por vereda.66

Figura 16. Biogramas unificados para los índices IS1 y IS2 en las diferentes Unidades de Análisis..... 72

Figura 17. Biogramas obtenidos para cada UA con los indicadores del IS1 73

Figura 18. Biogramas obtenidos para cada UA con los indicadores del índice IS2 77

Figura 19. Zonas priorizadas para el índice IS1 en la microcuenca El Hato. Imagen propia elaborada con la información obtenida en el desarrollo del proyecto..... 79

Figura 20. Zonas priorizadas para el índice IS2 en la microcuenca El Hato. Imagen propia elaborada con la información obtenida en el desarrollo del proyecto..... 80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Predios y muestra seleccionada para encuesta en la microcuenca El Hato por rango de área. 43

Tabla 2. Datos para la obtención del tamaño de la muestra. 44

Tabla 3. Indicadores de sostenibilidad por Dimensión de Análisis (DA). 51

Tabla 4. Relación e índice para cada indicador de las dimensiones de análisis ... 52

Tabla 5. Clasificación de sistemas de tratamiento de aguas servidas en la microcuenca. 54

Tabla 6. Predios con aplicación de agroquímicos en la cuenca. 61

Tabla 7. Índice de Sostenibilidad IS1 para las Unidades de Análisis 69

Tabla 8. Índice de Sostenibilidad IS2 para las Unidades de Análisis. 70

Tabla 9. Valores de los Indicadores para la obtención del Índice de Sostenibilidad - IS1. 71

Tabla 10. Valores de los Indicadores para la obtención del Índice de Sostenibilidad – IS2. 71

INTRODUCCIÓN

En Colombia, como en otros países, la expansión de la frontera agrícola se ha venido dando de manera progresiva y creciente, muchas veces sin tener en cuenta las mínimas precauciones de conservación de los recursos naturales (Amezquita, 2001). La implementación de sistemas productivos extensivos realizados dentro de esta expansión no tienen en cuenta medidas ambientales necesarias para minimizar los impactos que se puedan ocasionar, lo cual ha generado preocupación y ha motivado el desarrollo de estudios desde múltiples disciplinas con el objetivo de determinar cómo ha sido la evolución y el crecimiento del sector agrícola en el país (Pérez, 2005). Este mismo autor afirma que pocos de esos estudios se han dirigido al análisis de los impactos producidos por la dinámica del sector, la implementación de tecnologías y sus cambios estructurales en términos del uso y agotamiento de los recursos naturales.

En la región norte del Departamento de Antioquia, que no es ajena a dichas problemáticas, se ha venido dando un uso intensivo al suelo con sistemas productivos destinados a generar una alta cantidad de productos agrícolas y pecuarios, con alto consumo de energía e insumos. Estos sistemas de producción en ausencia de tecnologías y prácticas de producción apropiadas causan degradación del suelo, deterioro en la calidad y cantidad del agua y pérdida de fuentes hídricas (Garcia, 2003).

Con el fin de mejorar en acciones que ayuden a un manejo más sostenible del medio ambiente es importante el desarrollo de herramientas que apoyen la toma de decisiones, estableciendo mecanismos que brinden información espacial y temporal para las unidades de gestión en diferentes ámbitos.

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un índice de sostenibilidad de prácticas agrícolas y pecuarias, a partir del cual proponer un programa de gestión ambiental para mejorar el recurso hídrico en una microcuenca de montaña media. Este trabajo forma parte integral del componente “Análisis de tecnologías de producción y prácticas agropecuarias en la cuenca del río Grande”, en el marco del proyecto “Valoración económica y socio cultural de bienes y servicios ambientales en la cuenca del río Grande: Aproximación conceptual y metodológica” realizado por la Escuela de Geociencias y Medio Ambiente de la Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia bajo un contrato con la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA). El proyecto en general consiste en formular una aproximación conceptual y metodológica para la valoración de bienes y servicios ecosistémicos en la cuenca del río Grande, la cual se encuentra localizada en la subregión Norte del departamento de Antioquia, en jurisdicción de los municipios de Santa Rosa de Osos, Entrerrios, San Pedro de los Milagros, Donmatias y Belmira.

La zona de estudio de esta tesis es la microcuenca El Hato en el municipio de San Pedro de los Milagros, afluente del río Grande. La microcuenca está dividida administrativamente en 6 veredas (Alto de Medina, Cerezales, El Espinal, La Pulgarina, San Francisco y Santa Bárbara), las cuales fueron denominadas como las Unidades de Análisis (UA).

Para la obtención de la información se aplicó una encuesta en predios de la microcuenca; los predios fueron elegidos por medio de un muestreo aleatorio estratificado. La encuesta aplicada constó de nueve ítems que contienen información socioeconómica de los encuestados y del predio, de los sistemas productivos establecidos, del uso y manejo de los recursos naturales y del uso, manejo y adopción de tecnologías y prácticas de producción.

A partir de la información recolectada se obtuvo un Índice de Sostenibilidad (IS) de tecnologías y prácticas agrícolas y pecuarias, con el cual se realizó la priorización de zonas de intervención y se contribuye a la toma de decisiones de inversión de las entidades territoriales (autoridades Municipales, Corporaciones Autónomas Regionales, ONG y comunidad en general) para mejorar la gestión ambiental en una microcuenca de montaña media como es el caso de la microcuenca El Hato.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El acentuado y creciente deterioro de los recursos suelo y agua a nivel mundial ha constituido un motivo de preocupación para las Naciones Unidas, dado que cada vez se incrementan los riesgos de contaminación de las aguas superficiales (UNESCO-WWAP, 2006). La alta intervención humana ha incrementado la contaminación de las fuentes hídricas y la degradación de los ecosistemas relacionados con las mismas (FAO, INFO, 2010). Las prácticas agrícolas y pecuarias intensivas y el uso de fertilizantes y plaguicidas en la producción han contribuido significativamente a esta degradación ambiental (FAO, INFO, 2010 y CORANTIOQUIA y UNAL, 2000). Según Vieira y Wambeke (2002), unos 300 millones de hectáreas de suelo en América Latina y el Caribe están afectados por algún tipo de degradación de origen antrópico, manifestando además que el uso inadecuado de la tierra es el problema ambiental de mayor gravedad en la región.

Este deterioro ha ocasionado que se presente una reducción significativa de la capacidad del suelo para producir la cantidad de alimentos necesaria a nivel mundial que permita garantizar la seguridad alimentaria, teniendo mayores repercusiones en los países en desarrollo, donde los nutrientes del suelo y el agua son menos abundantes (FAO, INFO, 2010) y consecuentemente con menos probabilidades de tener buenos sistemas productivos.

Colombia no es ajena a esta problemática, los impactos ambientales en el país han sido mayores que las respuestas o intervenciones institucionales que se han planteado. Las tierras que estaban en bosques se han ido convirtiendo en tierras agrícolas cada vez mas fragmentadas, con implementación de sistemas de producción que no conservan las propiedades inherentes a los recursos naturales, incrementando el desequilibrio ecosistémico de los mismos, dificultando el establecimiento de un uso adecuado desde el punto de vista técnico, económico, social y ambiental de las tierras (Vieira y Wambeke, 2002).

La misma situación se presenta en la región del norte del departamento de Antioquia incluyendo el municipio de San Pedro de los Milagros, donde se ha venido dando un uso intensivo al suelo con sistemas productivos de alto impacto como la ganadería, la porcicultura y los cultivos de tomate de árbol y papa, generando impactos nocivos para el ecosistema (CORANTIOQUIA, UNAL, 2000). Los sistemas de producción que se utilizan, en ausencia de tecnología apropiada, causan degradación del suelo, deterioro en la calidad y cantidad del agua y pérdida de fuentes hídricas (Garcia, 2003; CORANTIOQUIA y UNAL, 2000).

Las Autoridades Ambientales, la administración municipal del municipio de San Pedro de los Milagros y otros entes gubernamentales han venido implementando medidas y desarrollando procesos con el fin de mejorar acciones que ayuden a un manejo más sostenible del medio ambiente (CORANTIOQUIA y UNAL, 2000; San

Pedro de los Milagros, 2011). Sin embargo, los planes, programas y proyectos que se han implementado en diferentes veredas del municipio no han contado con herramientas para priorizar zonas que contribuyan al cumplimiento de los objetivos planteados. La implementación de tecnologías, prácticas de producción, planes de gestión y políticas que tienen en cuenta soluciones apropiadas para las necesidades del medio ambiente y la producción agrícola, son generalmente costosas y los recursos existentes limitados, ante lo cual resulta fundamental el establecimiento de zonas priorizadas para optimizar la relación entre beneficios y costes, buscando que la inversión aumente la eficacia de las actuaciones propuestas (Razola et al, 2006).

Se plantea entonces en este trabajo el desarrollo de una herramienta con la cual se pueda realizar una priorización de zonas, para coadyuvar en la toma de decisiones de las instituciones que realizan inversiones para el mejoramiento del medio ambiente, estableciendo mecanismos que brinden información espacial y temporal para las unidades de gestión que se estén analizando.

1.1 OBJETIVOS

- **GENERAL:**

Desarrollar un índice de sostenibilidad de prácticas agrícolas y pecuarias, y a partir de él proponer un programa de gestión ambiental para mejorar el recurso hídrico en una microcuenca de montaña media.

- **ESPECÍFICOS:**

1. Diseñar y aplicar una herramienta que permita la caracterización socioeconómica de la microcuenca.

2. Identificar, a partir de los datos obtenidos de la aplicación de la herramienta propuesta en el objetivo anterior, las prácticas y técnicas de producción utilizadas en la zona de estudio.

3. A partir de los manuales de buenas prácticas agrícolas y buenas prácticas pecuarias, obtener un índice de sostenibilidad de tecnologías agrícolas y pecuarias a nivel veredal que permita priorizar los planes de inversión para la gestión ambiental.

4. Proponer programas o proyectos de mejoramiento de prácticas agrícolas y pecuarias que contribuyan a la gestión y mejoramiento de la calidad y cantidad del recurso hídrico.

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACION

En una microcuenca ¿Cómo se pueden identificar zonas prioritarias de intervención para la implementación de planes de inversión en tecnologías y prácticas de producción agrícola y pecuaria, buscando mejorar la gestión ambiental del recurso hídrico?

1.3 HIPÓTESIS

Teniendo en cuenta la precaria situación en que se encuentran los recursos suelo y agua a nivel mundial, principalmente por la presión que se ejerce sobre ellos, la creciente demanda (con poca disponibilidad) y disminución en la calidad de oferta de los mismos (Fernández-Jaúregui, 2011, Guhl, 2003 y Domínguez et al., 2008), buscando satisfacer las necesidades de producción en las áreas rurales y los impactos que se generan a raíz de estos, se pueden generar herramientas que permitan la toma de decisiones de las autoridades ambientales y municipales con participación de la comunidad.

La formulación de índices de sostenibilidad usando información de diagnóstico del uso de tecnologías y prácticas de producción y su posterior espacialización que permita priorizar zonas de intervención (regiones, departamentos, municipios, veredas, sectores entre otros) puede ser una solución para enfocar los planes de inversión y lograr tener una gestión ambiental más eficiente de los recursos naturales (Sepulveda, 2008).

El caso que nos ocupa en esta investigación es una microcuenca de montaña media ubicada en el municipio de San Pedro de los Milagros. Esta microcuenca (El Hato) es de gran importancia para el municipio por ser abastecedora del acueducto del casco urbano. Presenta además una gran presión por los recursos suelo y agua, debido a las actividades económicas agropecuarias que se desarrollan en ella. No se encontró evidencia documentada de que existan

herramientas para la priorización de zonas para direccionar las inversiones que realizan las entidades municipales y la Autoridad Ambiental.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Uno de los grandes problemas que aquejan a la humanidad es la destrucción acelerada de los recursos naturales, dentro de los cuales el agua y el suelo son los que quizás han sufrido el mayor daño por la intervención humana. Dicha destrucción se explica en parte por el acelerado crecimiento de la población, que obliga a una mayor presión sobre los recursos para obtener los alimentos necesarios para el sostenimiento (FAO e INFO, 2010).

Para suplir estas necesidades de producción de alimentos el sector agropecuario asume retos fundamentales a partir de un uso racional de los recursos naturales, combinando criterios económicos, de equidad y respeto ambiental. Para ello se debe promover un modelo de desarrollo centrado en la búsqueda del mejoramiento de la calidad de vida humana, sin agotar la capacidad de carga de los ecosistemas, de manera que los beneficios de la naturaleza y la sociedad alcancen no sólo para las generaciones presentes, sino para las futuras (Serageldin, 1996, Müller, 1997 y Araya et al., 1995).

Según Cárdenas et al., (2005) en los últimos años se han venido buscando mecanismos o herramientas que permitan afrontar estos retos mejorando la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios. Sin embargo, en muy pocos casos se han hecho efectivos en la práctica, por lo cual, estos autores proponen que para su análisis y consolidación se deben enfocar los trabajos realizados en aspectos que deban ser transformados utilizando indicadores que sean claros, objetivos y generales, construidos con la información suministrada por los habitantes rurales. De igual forma, Ramírez et al. (2008), afirman que estos indicadores pueden ser cuantitativos o cualitativos y que permitan hacer visible el estado o condición del proceso o fenómeno en relación con la sostenibilidad, entendiendo con ellos cómo evolucionan las cosas a través del espacio o del tiempo.

Se propone en este proyecto desarrollar un índice de sostenibilidad de prácticas agrícolas y pecuarias como herramienta para la priorización de zonas de intervención, hacia las cuales se deben enfocar los planes de inversión de las autoridades ambientales y demás entidades que tengan injerencia en la

microcuenca, buscando tener una gestión ambiental más eficiente de los recursos suelo y agua.

2. MARCO TEORICO

El concepto de sostenibilidad o sustentabilidad como algunos autores (Sarandon, 2002; Costanza y Patten, 1995 y Quiroga, 2009) lo denominan, ha sido muy discutido y analizado a través de los enfoques que se le ha dado desde el Informe Brundtland en 1988, desde donde surge como resultado de los análisis de la situación mundial una propuesta de desarrollo sostenible con la siguiente definición *"…es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades…"* y que ha sido muy aceptada a nivel mundial. En 1995 Constanza y Patten, establecen que "un sistema sostenible es aquel que sobrevive o persiste por algún tiempo especificado (no infinito)", concepto que puede ser aplicado para el caso de los recursos naturales ya que son recursos finitos y cualquier intervención puede reducir su longevidad natural y por consiguiente reducir su sostenibilidad.

Según Altieri y Nicholls (2002) la existencia de sistemas productivos que impliquen la simplificación de la biodiversidad (monocultivos), tienen como resultado final un ecosistema artificial que requiere constante intervención humana, como la necesidad de aplicación de insumos agroquímicos, los cuales, además de mejorar los rendimientos sólo temporalmente, dan como resultado altos costos ambientales y sociales no deseados.

En los sistemas productivos agropecuarios el concepto de sostenibilidad ha dado lugar a mucha discusión y ha promovido la necesidad de realizar ajustes para que éstos sean ambiental, social y económicamente más viables y compatibles con las propuestas de sostenibilidad que se presentan a nivel mundial (Altieri, 2001). Uno de los conceptos que se ha venido desarrollando de agricultura sostenible es el propuesto por Berroterán y Zinck (2000), para quienes la agricultura sostenible implica establecer en el largo plazo el mantenimiento de los sistemas naturales, una producción agrícola óptima con baja cantidad de insumos, unos ingresos económicos adecuados por unidad de producción y la satisfacción de las necesidades humanas de alimentos e ingresos.

Para Altieri y Nicholls (2000), la conservación de los recursos naturales por parte de las comunidades es un prerequisito para el desarrollo sostenible, lo cual implica la implementación de procesos que involucren este tema en el desarrollo de los sistemas productivos, sin que esto signifique como afirman los mismos autores, que se deban dejar a un lado esfuerzos que brinden oportunidades para el

incremento de la eficiencia y competitividad con miras a acceder a los mercados locales, regionales y mundiales tratando de elevar los ingresos de los productores.

Los elementos básicos de un sistema agrícola sustentable son la conservación de los recursos renovables, la adaptación del cultivo al medio ambiente y el mantenimiento de niveles moderados pero sustentables de productividad (Altieri y Nicholls, 2000), buscando una producción agrícola sostenible en la cual se puede obtener producción sin deteriorar los recursos naturales. Los mismos autores afirman que un comportamiento óptimo de los sistemas de producción agrícola depende en gran medida del nivel de interacciones que se den entre varios de sus componentes. Estas interacciones se dan cuando los productos de un componente son utilizados en la producción de otro componente para lograr potencializar el sistema, por ejemplo: la utilización de estiércol para fertilizar el pasto, la utilización de malezas como forraje para el ganado y la utilización de residuos de alimentos para producir abono (lombricultivo). Además, las interacciones que se presenten entre los diferentes componentes (bióticos y abióticos) dentro de un predio pueden determinar su comportamiento, la intensidad y beneficios que se obtengan de las mismas.

Para lograr estos propósitos de producción sostenible se han venido implementando y desarrollando cientos de proyectos orientados a crear sistemas agrícolas y tecnologías ambientalmente más sanas, sin embargo, se siguen presentando una dependencia altamente tecnológica en la producción convencional que según Altieri (2001) enfatizan la supresión de los factores limitantes o de los síntomas que enmascaran un sistema productivo enfermo.

2.1 BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS (BPA)

Desde hace algunos años se ha venido hablando de la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el desarrollo de las actividades agrícolas y pecuarias en una unidad productiva (finca), con el propósito de asegurar el mejoramiento de las condiciones y calidad con que se cultivan y producen los alimentos, mediante la prevención de los riesgos asociados a la producción primaria y el control de los procesos que se desarrollan en ésta (ICA, 2005). Estas prácticas constituyen un conjunto de principios, normas y recomendaciones técnicas que se aplican a las diversas etapas de la producción (Díaz, 2008), dentro de las cuales se involucra la protección del medio ambiente.

Cada país ha venido generando su propia normativa respecto a las BPA y su implementación ha sido lenta por no ser de obligatorio cumplimiento para comercializar los productos a nivel local. En Colombia el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) presentó en el 2005 un boletín de Buenas Prácticas Agrícolas que recoge los principios generales involucrados en ellas, brinda información sobre el tema y aclara los principales conceptos como apoyo a la implementación de las guías y protocolos disponibles en el país.

Todos estos principios, normas y recomendaciones son aplicables en las diferentes etapas de la producción, sin embargo, para lograr cumplir con algunos de estos se deben implementar tecnologías de producción que conduzcan al cumplimiento del objetivo propuesto y que inciden en el uso y manejo de los recursos naturales. Algunos de los principios, normas y recomendaciones de las BPA que se proponen para la producción en el país son: manejo del suelo, manejo del agua, producción de cultivos, cosecha y postcosecha, bienestar, salud y seguridad de los seres humanos, protección ambiental y trazabilidad y registros (ICA, 2005).

2.1.1 Manejo del suelo

Su principal objetivo es lograr una producción sostenible, empleando prácticas que garanticen la conservación y mejoramiento de las características físicas y químicas, el contenido de materia orgánica y la actividad biológica en él (ICA, 2005 y Bentivegna et al., 2005). Las prácticas que ayudan a cumplir con este principio incluyen las empleadas en la preparación del suelo (labranza mínima), el manejo del agua (uso de agua lluvia, ahorro de agua y riego localizado), la fertilización (orgánica e inorgánica) y la rotación de cultivos.

2.1.2 Manejo del agua

Este principio tiene como principal objetivo hacer un uso eficiente del recurso hídrico teniendo en cuenta la cantidad de agua a utilizar, la disminución de pérdidas y la protección de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos). Las prácticas que ayudan al cumplimiento de este principio están relacionadas con el uso eficiente del recurso (uso de agua lluvia, ahorro del agua y riego localizado) y todas las que conlleven al mantenimiento de la calidad del agua tanto para uso en el sistema productivo como para uso humano (ICA, 2005 y Bentivegna et al., 2005).

2.1.3 Producción de cultivos

El objetivo principal de este principio es lograr la productividad, sostenibilidad y competitividad del cultivo. Este objetivo depende en gran parte de los dos principios anteriores (manejo del suelo y del agua), además de los materiales de propagación y de las labores culturales aplicadas para el mantenimiento del cultivo.

Dentro de las prácticas que se deben implementar para cumplir con este principio está la aplicación de una adecuada fertilización que según Díaz (2008), la cantidad que se aplique a los sistemas productivos debe ajustarse a las necesidades del cultivo, a las características del suelo y al sistema que se utilice para su aplicación. En las zonas donde se utiliza fertilizante orgánico (estiércol de ganado o cerdo) y teniendo en cuenta lo expresado por el mismo autor, se debe tener en cuenta durante el suministro de fertilizantes orgánicos o químicos la aplicación de nitrógeno, ya que la cantidad que se aplique de éste elemento no puede exceder la estipulada por la reglamentación nacional que presenta como límite de aplicación 170 unidades de nitrógeno al año por hectárea, en algunos tipos de suelo se hace necesario la aplicación de cantidades superiores a este límite lo cual amerita que se justifique el exceso teniendo en cuenta análisis de suelo previos a la programación de aplicación.

2.1.4 Cosecha y poscosecha

Su principal objetivo es asegurar la calidad de los productos durante su recolección, su manipulación, empaque transporte y almacenamiento para ser entregadas al consumidor final (ICA, 2005). Las prácticas relacionadas con este principio son las relacionadas con el manejo del agua y el manejo y aplicación de productos químicos.

2.1.5 Bienestar, salud y seguridad de los seres humanos

Dentro de los principios de las BPA se hace énfasis en las condiciones de salud, seguridad y bienestar de los trabajadores, debido a que son otro componente de la

sostenibilidad económica y social de la actividad productiva. Se propone que las prácticas que se implementen no entrañen riesgos a la salud, además de que los trabajadores tengan la información necesaria sobre el uso eficiente de los recursos.

2.1.6 Protección Ambiental

El principio de la Protección ambiental tiene por objetivo la sostenibilidad del sistema productivo que se desarrolla y del entorno en que se encuentra. El sistema de producción debe contemplar el manejo adecuado de los recursos naturales como suelo, agua, flora y fauna, manteniendo una agricultura de conservación, gestión integrada de los nutrientes y de las plagas y enfermedades entre otros componentes del sistema (ICA, 2005).

Se propone para cumplir con este objetivo la implementación de prácticas que garanticen un uso eficiente de los recursos, la minimización de los desechos y su reciclaje cuando sea posible, así como su eliminación de manera responsable.

2.1.7 Trazabilidad

En todo sistema productivo se debe tener en cuenta la implementación de registros de las operaciones realizadas, de los insumos utilizados y la identificación de lotes. Un sistema productivo donde se tenga implementado un buen programa de trazabilidad, da confianza a todos los agentes involucrados en la cadena productiva desde el mismo productor hasta el consumidor final, además permite detectar fallas en el sistema y corregirlas en posteriores producciones.

Todos estos principios, normas y recomendaciones son aplicables en las diferentes etapas de la producción, sin embargo, para lograr cumplir con algunos de estos se deben implementar tecnologías de producción que conduzcan al cumplimiento del objetivo propuesto y que inciden en el uso y manejo de los recursos naturales.

2.2 TECNOLOGÍAS Y PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN

Como se dijo anteriormente la ejecución de las BPA en un sistema productivo implica el cumplimiento de los principios, normas y recomendaciones técnicas que se tienen para cada tipo de actividad y para cada país que las proponga, además de la implementación de tecnologías de producción que ayuden en la prevención de los riesgos asociados a la producción primaria y el control de los procesos que se desarrollan en esta, evitando la contaminación de los productos que van a llegar a los consumidores y disminuir los impactos que puedan darse al medio ambiente.

Existen muchas tecnologías de producción agrícola y pecuaria que ayudan en la prevención de riesgos e inciden en el mejoramiento de los recursos naturales, entre las cuales están las que se describen a continuación:

2.2.1 Sistemas de tratamiento de aguas servidas

Se da el nombre de aguas servidas a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua, son llamadas también aguas residuales, aguas negras o aguas cloacales. Este tipo de aguas no pueden ser usadas directamente, hay que aplicar un tratamiento para poder utilizarlas nuevamente o simplemente deben disponerse de una forma adecuada. Según Rojas (2002), el objetivo de un tratamiento de aguas servidas es convertir el agua residual en un efluente final que sea aceptable a las condiciones del ambiente (estético, organoléptico y de salud pública) y hacer una disposición adecuada de los sólidos (lodos) obtenidos durante el proceso de purificación.

Los sistemas de tratamiento de aguas servidas se pueden clasificar de dos formas:

- Según el tipo de proceso: hay sistemas que implican procesos biológicos, otros procesos físicos - químicos y en algunas ocasiones se presentan ambos tipos en un solo sistema.

- Según el grado de tratamiento: El grado de tratamiento puede ser preliminar, primario, secundario y terciario o avanzado, sin embargo se puede tener un solo grado de tratamiento o combinar varios grados en un solo sistema.

Los pozos sépticos son uno de los sistemas de tratamiento más utilizados en las áreas rurales para el tratamiento del agua residual doméstica; son también llamados fosa séptica. No todos los pozos sépticos que se encuentran a nivel predial cumplen con el objetivo de tratar el agua residual para ser dispuesta de manera adecuada. En algunas partes suelen confundir un pozo séptico con pozos negros o de absorción, en los cuales el agua se infiltra en el suelo sin un verdadero tratamiento, también suelen llamarse de este modo a tanques de sedimentación y almacenamiento que son vaciados periódicamente y los lodos obtenidos son dispuestos en cualquier parte sin tener en cuenta ningún tipo de tratamiento.

Un pozo séptico es un tanque o fosa que recibe y trata las aguas servidas de una o varias viviendas. En un pozo séptico la parte sólida de las aguas servidas es separada por un proceso de sedimentación y a través de un proceso séptico se estabiliza la materia orgánica del agua para transformarla en un lodo. El tiempo de retención de las aguas servidas en un pozo séptico es entre uno y tres días.

Debido a la alta concentración de material orgánica y organismos patógenos que se encuentran en los pozos sépticos, se hace necesario que sean herméticos, de material duradero y con una estructura física muy estable, por lo que generalmente se construyen enterrados y cubiertos, en concreto reforzado, muros confinados o ferrocemento. El pozo séptico debe contar con una tapa en su parte superior, a través de la cual se pueden hacer los trabajos de limpieza, inspección y vaciado para que mantenga su función (Organización Panamericana de la Salud - OPS, 2005).

Durante el periodo de retención de las aguas en el pozo séptico, los sólidos presentes se sedimentan en el fondo del tanque, en donde tiene lugar una digestión anaeróbica, ayudada por una gruesa capa de espuma que se forma en la superficie del líquido, logrando así la retención de sólidos biodegradables. Según Hidalgo y Mejía, 2010, con un tanque séptico bien construido y con buen funcionamiento se logra la remoción de DBO_5 en un 30 a 50% y de sólidos suspendidos mayor al 80%, situación que mejora notablemente la calidad del agua a descargar.

2.2.2 Recolección de Aguas Lluvias

La recolección de aguas lluvias es un tecnología que fue definida por Mongil y Martínez de Azagra (2007), como un método para inducir, recoger, almacenar y conservar agua de escorrentía local y superficial para la agricultura y otros propósitos. La recolección de agua lluvia es muy antigua, ha sido utilizada tradicionalmente en algunas regiones del mundo donde hay muy poca precipitación principalmente en sistemas de riego para cultivos agrícolas. Según Ballén et al. (2006), la utilización de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia son el resultados de la necesidad, de recursos disponibles y las condiciones ambientales de cada región, generalmente se recurre a esta solución cuando no se cuenta con un sistema de abastecimiento (acueducto), cuando el suministro es deficiente o de mala calidad, o cuando el agua tiene un alto costo.

Colombia se ha caracterizado por tener una gran riqueza hídrica en todo su territorio y la mayoría de las poblaciones se abastecen de fuentes de agua superficiales que llevan el recurso hasta los hogares a través de sistemas de acueducto o tomas individuales, no obstante, en algunas regiones se utiliza la técnica de recolección de aguas lluvias principalmente donde hay problemas de abastecimiento de agua potable por distancia de las viviendas a las fuentes o por contaminación de las mismas.

El agua lluvia es recolectada en tanques o canecas para después ser utilizada en las labores domésticas, como agua potable después de realizar un tratamiento casero, para regar cultivos, lavado de vehículos, abastecimiento a las explotaciones pecuarias a pequeña escala y para lavado y mantenimiento de la infraestructura de producción (establos, porquerizas) pudiendo con esto facilitar las labores de la finca, además para hacer un uso eficiente del recurso.

2.2.3 Biodigestor

El biodigestor es un sistema que permite tratar las aguas residuales de las explotaciones pecuarias (porquerizas, establos, salas de ordeño y otras infraestructuras utilizadas para confinamiento animal) para disminuir la carga contaminante que contienen. El tratamiento se realiza por medio del manejo de las excretas de animales, mezclada con las aguas de lavado de las instalaciones pecuarias, mediante la acción de microorganismos que descomponen y transforman el estiércol en subproductos como fertilizantes y biogás que pueden

ser utilizado para distintos usos (MAG (Ministerio de Agricultura y Ganaderia), 2010) .

En una explotación pecuaria la utilización del biodigestor tiene muchos beneficios ambientales como la disminución de la contaminación orgánica del suelo y de las aguas de los ríos y quebradas, además de la eliminación de malos olores y plagas como las moscas y la producción de biogás que puede ser utilizado como fuente de energía.

El biogás es una mezcla de gases constituida por metano (CH_4) en una proporción entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono (CO_2) conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. El metano es uno de los gases de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global 21 veces mayor que el del dióxido de carbono (CO_2) (Lansing et al., 2008), y un alto potencial energético (Valle et al., 2011). El metano producido por el biodigestor puede ser utilizado como fuente de energía en diversos de equipos como estufas, motores, generadores, sistemas de iluminación, calentadores para el hogar y los animales, neveras, invernaderos, secaderos de productos agrícolas, entre otros. Según Valle et al, 2011, en términos económicos, el biogás puede proporcionar beneficios significativos de energía, cuando su producción es controlada y las inversiones pueden generar rendimientos financieros, incluidos los costos de las multas y la alineación de la legislación ambiental en algunos países.

Otras ventajas de la utilización de los biodigestores, además de la utilización del biogás, son el uso del agua y los lodos efluentes que salen del mismo (con alta carga de materia orgánica). El uso de los lodos efluentes del biodigestor (biofertilizante) contribuye a la disminución en la utilización de fertilizantes industriales ya que suministran nutrientes necesarios para mantener la producción agrícola (MAG, 2010).

2.2.4 Tanque estercolero y Aplicación de estiércol

El manejo de excretas en una explotación pecuaria es una constante preocupación, por la necesidad de mantener limpias las instalaciones donde se tienen los animales o donde se realizan las actividades de ordeño, además de que el estiércol es uno de los principales subproductos que se generan en una explotación pecuaria y el que más controversia causa en el ámbito ambiental, por

su alto volumen de producción y su difícil manejo. Se denomina subproducto porque puede ser utilizado de forma adecuada como abono orgánico, lo que generaría un ingreso para el productor; de otra forma puede convertirse en excedente y pasa a ser un residuo que se tiene que eliminar lo cual implica costos (MAVDT et al., 2002).

Las excretas (estiércol) de los animales se pueden manejar en dos estados, en forma líquida cuando proviene del lavado de establos (bovinos) y chiqueros (cerdos) y en forma sólida cuando se recoge directamente del suelo o cuando hay un sistema de separación de sólidos en las instalaciones.

En los sistemas de producción lechera es muy común la recolección del estiércol de porcinos y bovinos en forma líquida para regar los potreros. El estiércol se recoge en un tanque estercolero y luego se aplica con mangueras, por acequias, aprovechando la fuerza de la gravedad, o con sistemas de aspersión con cañones de riego utilizando motobombas que impulsan el estiércol disuelto a través de tuberías de PVC hasta las partes más alejadas de los potreros.

Según la ACP (Asociación Colombiana de Porcicultores) et al. (1996), cuando se va a realizar una aplicación de estiércol en forma líquida a los potreros se debe tener presente que para disminuir la capacidad contaminante hacia los cuerpos de agua, se debe implementar un pretratamiento y un postratamiento además de un método de disposición final de algunos de los residuos que resultan de estos.

La disposición y descarga del estiércol sin ningún tipo de tratamiento directamente en el suelo y cerca a los cuerpos de agua, contribuye al transporte de contaminantes, que incrementan la disminución del oxigeno disponible en el agua, el cual es necesario para todas las formas de vida que existen naturalmente (ACP et al., 1996), produciendo un deterioro de la calidad y disponibilidad del recurso.

La aplicación de estiércol para abonar potreros es una práctica que se ha venido utilizando desde hace varias décadas, en el denominado cordón lechero del Altiplano Norte de Antioquia, al cual pertenecen los municipios de la jurisdicción (San Pedro de los Milagros, Entrerrios, Donmatias, Belmira y Santa Rosa de Osos). El sistema cerdos-pastos-leche se ha constituido como el más tradicional y el de mayor aplicación para la explotación del suelo en la zona productora de leche (Díaz et al., 1998).

Este sistema de producción (cerdos-pastos-leche) se incremento en la década de los 90's en la zona del Altiplano Norte de Antioquia, por los buenos resultados que mostró la aplicación de porquinaza en el aporte de nutrientes al suelo, la rápida biodegradabilidad de la misma, el mejoramiento de las condiciones físicas (mayor conservación de la humedad) y el incremento de la población microbiana en el suelo (Diaz et al., 1998).

La utilización de un sistema de producción agrícola y pecuario intensivo como el que se desarrolla en esta región, que se hace de manera frecuente, implica mantener un registro riguroso de las cantidades de fertilizantes (orgánico y químico) aplicadas a cada lote o potrero, para evitar exceder los niveles de nutrientes en los suelos y toxicidades que pueden repercutir en la contaminación del agua (ACP, et al. 1996).

2.3 ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD

Un índice es un indicador agregado o ponderado que se basa en varios indicadores, variables o datos (Segnestam et al, 2000), a los cuales se les puede hacer seguimiento a nivel local, regional o nacional y su evolución en el tiempo. El desarrollo de un índice implica la fusión de la información contenida en varios indicadores para la obtención de una sola magnitud, cuyo objetivo principal es obtener mayor síntesis de la información e incrementar el valor en la toma de decisiones (Aguirre, 2002). Además, es útil para lograr una primera impresión del estado en que se encuentra un predio, una ciudad, una región o un país.

Para Conesa (2009), en una gran cantidad de casos los objetivos investigados no se satisfacen con seleccionar una o varias variables descriptivas de un fenómeno ambiental de interés social como mecanismo de síntesis de la información necesaria para tomar decisiones sino que deben fusionar la información en una sola expresión numérica (índice) para obtener resultados que lleven a la toma de decisiones.

Zinck y Farshad (1995) señalan que cuando se va a evaluar la sostenibilidad se deben seleccionar indicadores adecuados para determinar niveles y duración de la misma. Para Berroterán y Zinck, (2000), un indicador de sostenibilidad debe ser sensitivo a cambios temporales y espaciales, debe ser predecible, medible e

interactivo. En el trabajo desarrollado por Segnestam et al (2000), se presentan para América Central algunos indicadores de sostenibilidad rural medibles y visualizables en un sistema de información geográfica (SIG), el cual es utilizado como herramienta de difusión de la información obtenida. Para estos mismos autores las iniciativas para desarrollar indicadores requieren de un cierto grado de "infraestructura" si se espera que se produzcan los cambios esperados por las comunidades.

Con la intención de medir la sostenibilidad se han presentado muchas propuestas metodológicas de índices e indicadores que brindan información sobre el estado de los recursos naturales y las condiciones socioeconómicas de una región, entre los que se pueden destacar los siguientes:

2.3.1 Índice de Sostenibilidad Ambiental (Environmental Sustainability Index)

Este índice fue desarrollado por el Yale Center for Environmental Law and Policy (Yale University) y el Center for Internacional Earth Science Information Network (Columbia University) en el 2000. Para el desarrollo del índice los autores se basan en la integración de 76 series de datos (seguimiento de dotación de recursos naturales, los niveles de contaminación pasada y presente, los esfuerzos de gestión ambiental, y la capacidad de una sociedad para mejorar su desempeño ambiental) enmarcados en 21 indicadores de sostenibilidad ambiental, los cuales permiten hacer una comparación dentro de cinco categorías: sistemas ambientales, reducción de tensiones ambientales, reducción de la vulnerabilidad humana, capacidad institucional y administración global).

Con este índice pretenden que sea una herramienta para la toma de decisiones ambientales en las próximas décadas, una alternativa al PIB y al índice de desarrollo humano para medir el progreso de los países y un mecanismo para comparar el desempeño ambiental de los mismos (YCELP y CIESIN, 2005).

2.3.2 Indicadores de Presión Ambiental (Environmental Pressure Indicators)

Este índice fue desarrollado partiendo de la preocupación de los ciudadanos Europeos por la calidad del ambiente, por la necesidad de un sistema de información ambiental que les ayudase a medir el progreso hacia una sociedad sostenible. Se desarrollaron 60 indicadores para dar una visión general de la presión de las actividades humanas sobre el medio ambiente en diez ámbitos de

política. El enfoque utilizado para los indicadores fue el de pedir a la comunidad científica y ambiental identificar los temas más importantes para cada uno de los ámbitos de las políticas que se trataron (contaminación de aire, cambio climático, pérdida de biodiversidad, ambiente marino y zonas costeras, capa de ozono, agotamiento de recursos, dispersión de sustancias toxicas, problemas ambientales urbanos, residuos, contaminación del agua y recursos hídricos) (EC (European Commission) y EuroStat, 1999).

2.3.3 Indicadores de Sostenibilidad Rural en América Central

Este proyecto fue desarrollado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el Banco Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en el año 2000, con el objetivo principal del desarrollo y uso de indicadores para medir la sostenibilidad rural en América Central y realizar un seguimiento de los mismos. En el desarrollo de los indicadores se propendió por la integración de los aspectos ambientales, sociales y económicos en la toma de decisiones sobre el desarrollo a nivel regional, nacional y local para mejorar las políticas propuestas en torno a estos aspectos y su ejecución.

El proyecto presenta características innovadoras que posiblemente contribuyeron al éxito que muestran los autores, como son: a) la utilización de SIG para difundir los resultados, b) utilización de datos disponibles en las instituciones gubernamentales, c) distribución de los datos y las herramientas para ser utilizados por las instituciones nacionales, d) de un proceso participativo durante todo el proyecto buscando la apropiación por parte de la gente del mismo, e) la realización de una difusión amplia de los resultados.

2.3.4 Biograma: Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios (Sepulveda, 2008).

El Biograma es un instrumento de visualización del nivel de desarrollo sostenible propuesto por el IICA desde el año 1998, que han venido mejorando hasta ser presentada la tercera versión en el año 2008. Este instrumento permite estimar y representar el grado relativo de desarrollo sostenible de un proceso analizado. Está conformado por una imagen en telaraña (Sepúlveda, 2008) y por un índice integrado de desarrollo sostenible denominado S^3, que complementariamente permiten representar el grado de desempeño de una unidad de análisis (UA) para un periodo de tiempo determinado utilizando indicadores representativos de las diferentes dimensiones (ambiental, social y económica).

Para esta metodología la UA es el territorio en el cual se van a implementar estrategias, políticas o inversiones para superar las limitantes responsables de los desequilibrios espaciales que se visualicen (Sepúlveda, 2008). Las dimensiones de análisis (DA) que se tienen en cuenta son los diferentes componentes del sistema que se analizan, las cuales pueden variar dependiendo de la UA seleccionada y del fenómeno que se esté analizando.

El Biograma presenta un estado de la situación actual de la UA, además permite realizar un análisis comparativo del sistema en diversos momentos, es decir, permite mirar su evolución en el tiempo.

3. METODOS

3.1 ESTUDIO DE CASO - INTRODUCCIÓN

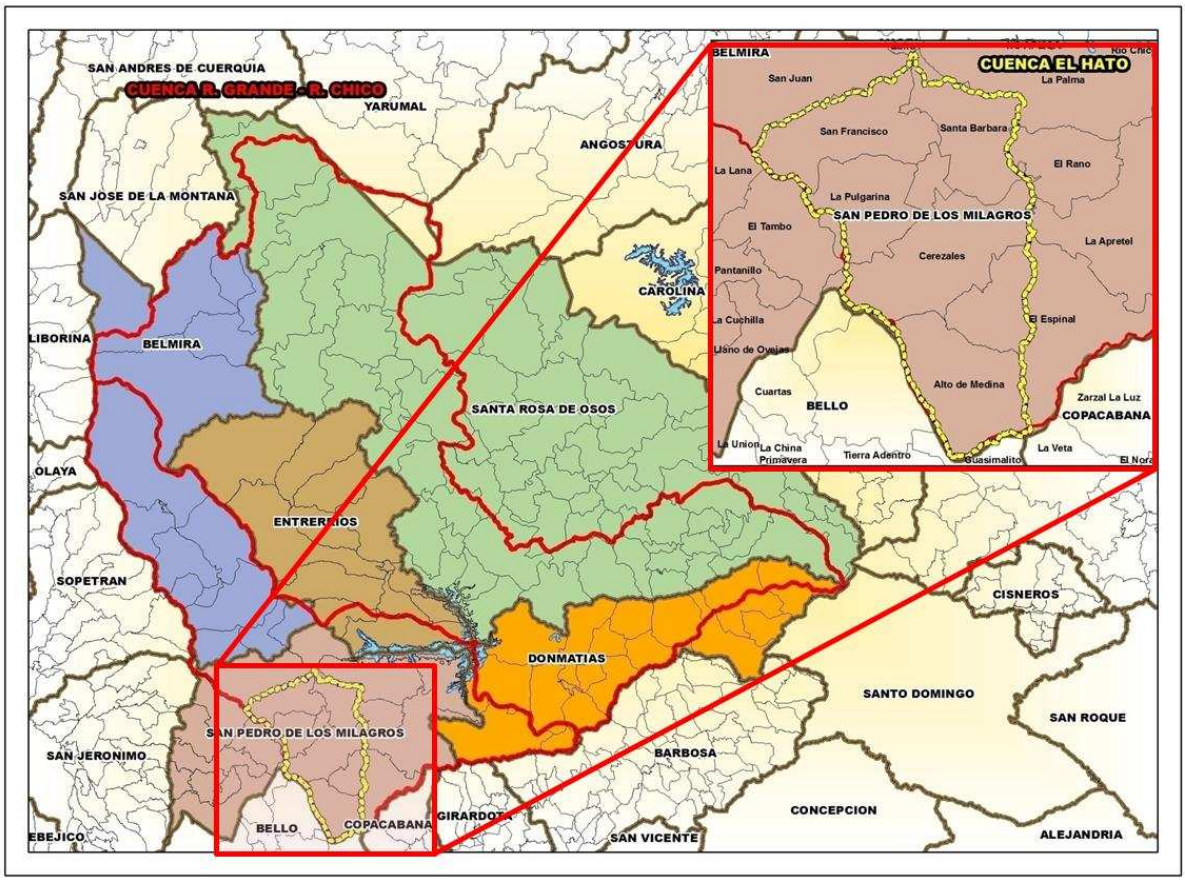
El presente trabajo se desarrolla como parte del componente “Análisis de tecnologías de producción y prácticas agropecuarias en la cuenca del Río Grande”, en el marco del proyecto “Valoración económica y socio cultural de bienes y servicios ambientales en la cuenca del río Grande: Aproximación conceptual y metodológica” realizado por la Escuela de Geociencias y Medio Ambiente de la Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia bajo un contrato con la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA) cuyo objetivo general es desarrollar un marco conceptual y metodológico para la valoración de bienes y servicios ecosistémicos en la cuenca del Río Grande. Dicha cuenca se encuentra localizada en la subregión Norte del departamento de Antioquia, en jurisdicción de los municipios de Santa Rosa de Osos, Entrerríos, San Pedro de los Milagros, Donmatias y Belmira.

Al iniciar el proceso se realizaron algunas visitas de reconocimiento a la cuenca del Río Grande, con el fin de identificar las tecnologías y prácticas de producción más utilizadas en la zona. Se observaron tecnologías de producción como estufas eficientes, lombricultura, biodigestores, recolección de aguas lluvias, tanques estercoleros, aplicación de biosólidos y pozos sépticos. Algunas de ellas han sido adoptadas por el productor por iniciativa propia, otras han sido propuestas e incentivadas por otros productores y/o empresas privadas, otras incentivadas e implementadas por la administración municipal, la gobernación de Antioquia, la autoridad ambiental y/o convenios con entidades privadas que tienen su radio de acción en la región como Empresas Públicas de Medellín (EPM).

Después de tener conocimiento de las generalidades en la cuenca, se tomó la decisión de hacer un análisis exploratorio detallado en la microcuenca El Hato sobre la utilización de tecnologías y prácticas de producción. La microcuenca El Hato esta en jurisdicción del municipio de San Pedro de los Milagros, el cual hace parte de la región norte del departamento de Antioquia. Ésta se seleccionó por la importancia que tiene para el municipio por ser abastecedora del acueducto que surte a la población urbana y para el proyecto en desarrollo porque allí se han venido haciendo mediciones y simulaciones de calidad de agua y el establecimiento de parcelas para la medición de procesos ecosistémicos de ciclo de nutrientes, regulación hídrica y control de sedimentos.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio donde se desarrolla el presente trabajo es la microcuenca El Hato en el municipio de San Pedro de los Milagros al norte del Departamento de Antioquia. Tiene un área aproximada de 6324,85 ha, con una alta división predial (892 predios) en las 6 veredas que la componen (Alto de Medina, Cerezales, El Espinal, La Pulgarina, San Francisco y Santa Bárbara) según análisis realizados en el mapa catastral rural del municipio (Figuras 1 y 2). La parte más alta de la microcuenca se encuentra en la vereda Alto de Medina a 2800 m.s.n.m, donde sobresale el cerro tutelar llamado Alto de Quitasol en los limites con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.



Grande.

La quebrada El Hato nace en el Cerro Tutelar Alto de Quitasol donde es denominada quebrada Los Molinos, que se une aguas abajo con la quebrada La Carmona. Durante su recorrido hacia el río Chico donde desemboca, se une con

otras quebradas de diferentes nombres y que abastecen algunos acueductos veredales como el acueducto de la vereda La Pulgarina y el acueducto municipal urbano de San Pedro de los Milagros (San Pedro de los Milagros, 2008). El Plan de Desarrollo 2008 – 2011, reporta que la quebrada tiene un caudal medio estimado de 336.63 l/s y un caudal mínimo de 128 l/s, además reporta que el 60% de los predios rurales se abastecen de agua de nacimientos pequeños con concesiones de agua legalizadas y que generan conflictos de uso y servidumbre en la región.

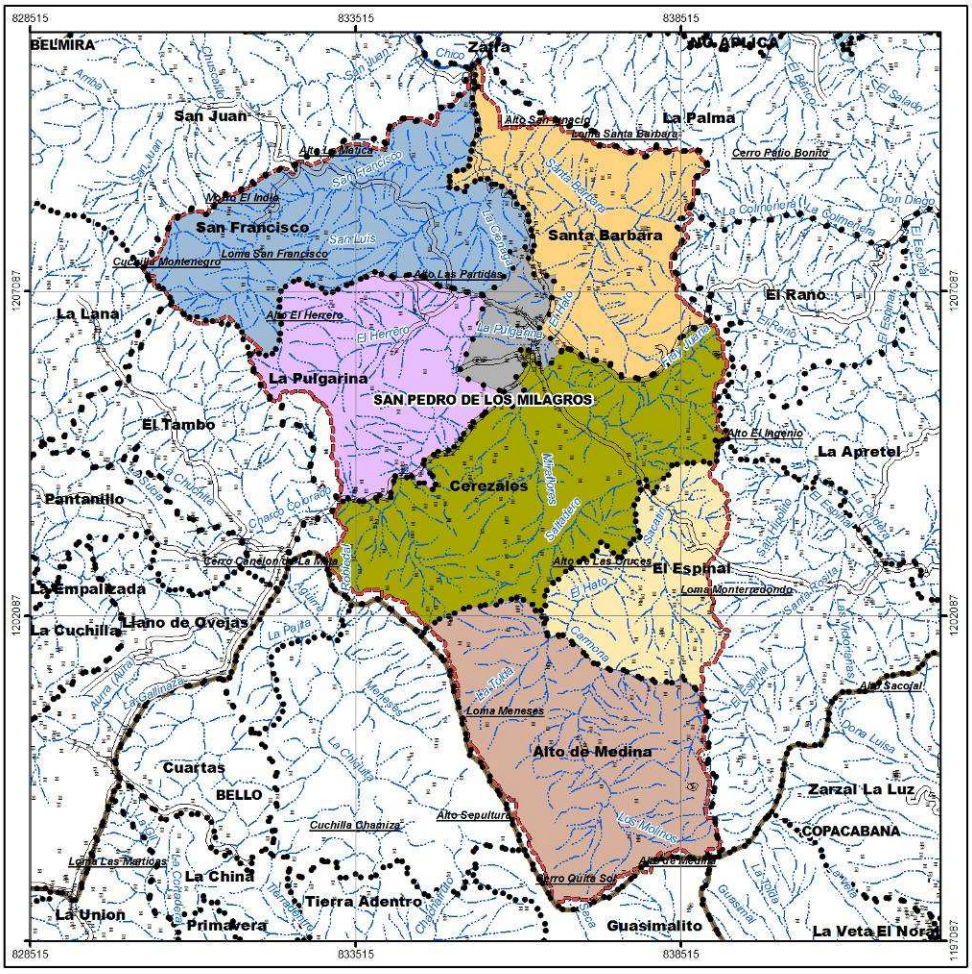


Figura 2. División veredal en la microcuenca El Hato

Según cálculos realizados sobre el mapa predial del municipio y después de delimitar la microcuenca, se encontró que la mayor parte de los predios son de menos de 3 hectáreas (51%) (Figura 3), del 49% de los predios que tienen más de 3 hectáreas, el 16% tiene entre 5 – 10 ha, el 14% tienen entre 10 – 20 ha, el 11% tienen entre 3 - 5 ha, el 5% tienen entre 20 y 40 ha y sólo el 3% tiene más de 40 ha. Es común encontrar que los propietarios o productores de los predios con mayor extensión tomen en arriendo los predios más pequeños para establecer el sistema de rotación de potreros para sus animales.

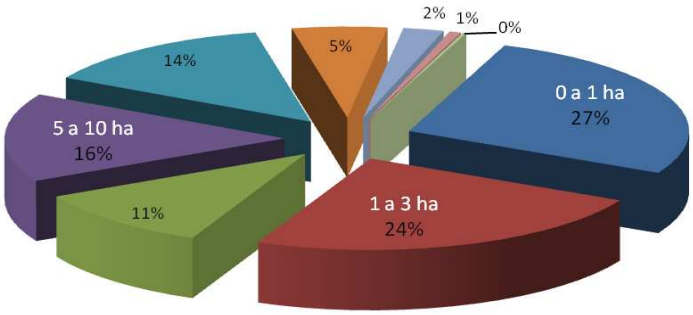


Figura 3. Distribución predial de la microcuenca El Hato, por rango de área.

3.2 DISEÑO Y APLICACIÓN DE LA ENCUESTA

Como se dijo anteriormente, para la recolección de la información que permitiera hacer un diagnostico sobre la utilización de tecnologías y prácticas de producción agrícola y pecuaria se realizo un análisis exploratorio detallado en la microcuenca El Hato.

3.2.1 Diseño de la encuesta

Con el fin de recolectar la información primaria necesaria el presente estudio aplicó una encuesta detallada a nivel de predio. La encuesta consta de 9 secciones, los cuales fueron construidos teniendo en cuenta que la información pudiera ser utilizada por cualquiera de los componentes (social, económico y ecológico) del equipo de trabajo del proyecto. Las secciones contienen la siguiente información:

El primer ítem pregunta por información general sobre la localización del predio (coordenadas del punto, vereda). **El segundo ítem** contiene la información predial y de la persona que responde la encuesta. **El tercer ítem** presenta información socioeconómica de las personas que ocupan el predio, el tiempo de residencia en la vereda y la participación en organizaciones sociales del municipio o la vereda. **El cuarto ítem** pregunta la información sobre el uso de los recursos naturales (suelo, agua y flora) y el conocimiento que tienen sobre programas de ahorro del agua y protección de nacimientos. **El quinto ítem** permite recopilar información sobre los sistemas productivos que se desarrollan en la cuenca, la aplicación de agroquímicos y si la producción es rentable. **El sexto ítem** que se desarrolló está

el relacionado con las tecnologías de producción[1]; este ítem se dividió en tres (3) sub ítems; el primero de ellos contiene las tecnologías de producción agrícola, el segundo las tecnologías de producción pecuaria y el tercero otras tecnologías que no son agrícolas ni pecuarias pero que se pueden utilizar en un predio rural. **El séptimo ítem** se dividió en tres sub ítems, en el primero de ellos se recolecta información relacionada con el abastecimiento de agua para uso domestico, en el segundo se recoge información relacionada con la disposición de agua residual y en el tercero se indaga por la disposición de los residuos de empaques y envases de agroquímicos, se incluyeron además unas preguntas sobre incendios, inundaciones, tormentas y derrumbes que pudieran haber ocurrido en el predio o cerca al mismo. **El octavo ítem** tiene información relacionada con servicios públicos (servicio de energía y de aseo). **En el noveno ítem** se hicieron algunas afirmaciones para conocer la percepción de los encuestados en relación con él.

Para realizar el ajuste de la encuesta y verificar que las preguntas fueran entendidas por los encuestados se seleccionaron cinco predios en la microcuenca, teniendo en cuenta como criterio de selección que quedaran distribuidos en las diferentes veredas y que estuvieran distribuidos en diferentes rangos de área. Después de esta prueba piloto se ajustó la encuesta en cuanto a la forma en que se realizaban las preguntas para que los encuestados respondieran fácilmente, además, para poder recopilar mayor cantidad de información. Se distribuyeron las preguntas en las secciones para que fuera coherente con los temas que se estaban indagando.

Para el presente proyecto sólo se tendrá en cuenta la información recopilada de las tecnologías y prácticas de producción que inciden en el recurso hídrico, con el fin de cumplir con el objetivo de desarrollar un índice de sostenibilidad para proponer un programa de gestión ambiental buscando mejorar las condiciones ambientales del recurso hídrico.

3.2.2 Selección de la muestra

Para aplicar la encuesta diseñada se planteó realizar la selección de una muestra ya que la cantidad de información obtenida para hacer inferencias acerca de la población depende del número de elementos muestreados y de la cantidad de variación de los datos (Navarro, 2004). Para el mismo autor el diseño de la encuesta por muestreo es un método de selección de muestra orientado a

[1] Por tecnología de producción se entiende el conjunto de equipos y la infraestructura necesaria, es decir, el capital físico para la producción. Las técnicas hacen referencia al uso de la tecnología. El conjunto de técnica, tecnología y prácticas definen el sistema de producción.

controlar la variación de los datos que pudiera afectar la inferencia a la que se puede llegar.

Para la selección de la muestra se utilizó el muestreo aleatorio estratificado. Este tipo de muestra es la obtenida mediante la separación de la población en grupos que no presenten traslapes llamados estratos y la selección posterior de una muestra absoluta aleatoria en cada estrato (Navarro, 2004). Para el mismo autor los tipos de estratificación que deben ser considerados en este tipo de muestreo son aquellos basados en ubicaciones espaciales; regiones dentro de las cuales se espera que la población sea uniforme. Teniendo en cuenta la división predial, se realizó el muestreo aleatorio estratificado. Para obtener una muestra estratificada con un nivel de confianza del 95% y un intervalo de confianza del 5%, se utilizó la formula de asignación de Neyman (Ecuación 1):

$$n_h^0 = n \times \left(N_h \times \sigma_h^0\right) \Big/ \sum \left(N_i^0 \times \sigma_i^0\right) \qquad \textbf{Ecuación 1}$$

Donde: n_h es el tamaño de la muestra para el rango h, n es el tamaño total de la muestra, N_h es el tamaño de la población para el rango h, y σ_h es la desviación estándar del rango h (Navarro, 2004).

Con la información predial de la microcuenca El Hato se realizó una clasificación de los predios por rango de área (Tabla 1), se aplicó la fórmula de Neyman (Tabla 2) y se obtuvo la muestra de predios a encuestar. Con el número de predios por rango obtenidos (230 predios) se realizó una selección de predios aleatoriamente en el mapa de la microcuenca como se muestra en la Figura 4.

Tabla 1. Predios y muestra seleccionada para encuesta en la microcuenca El Hato por rango de área.

Rango (Ha)	Número de Predios	
	Totales	A Encuestar
0 – 1	241	13
1 – 3	214	26
3 – 5	96	11
5 - 10	140	40
10 - 20	123	70

Rango (Ha)	Número de Predios	
	Totales	A Encuestar
20 - 40	49	44
40 - 80	21	18
80 - 140	6	6
> 140	2	2

Tabla 2. Datos para la obtención del tamaño de la muestra.

Rango	Número de Predios	Tamaño Promedio	Desviación Estándar	Varianza Tamaño
0 - 1	241	0,5	0,3	0,1
1 - 3	214	1,9	0,6	0,4
3 - 5	96	3,9	0,6	0,3
5 - 10	140	7,1	1,4	2,0
10 - 20	123	14,4	2,8	7,9
20 - 40	49	27,0	4,7	21,7
40 - 80	21	52,9	10,3	106,0
80 - 140	6	106,4	14,6	214,0
> 140	2	149,6	5,9	35,2

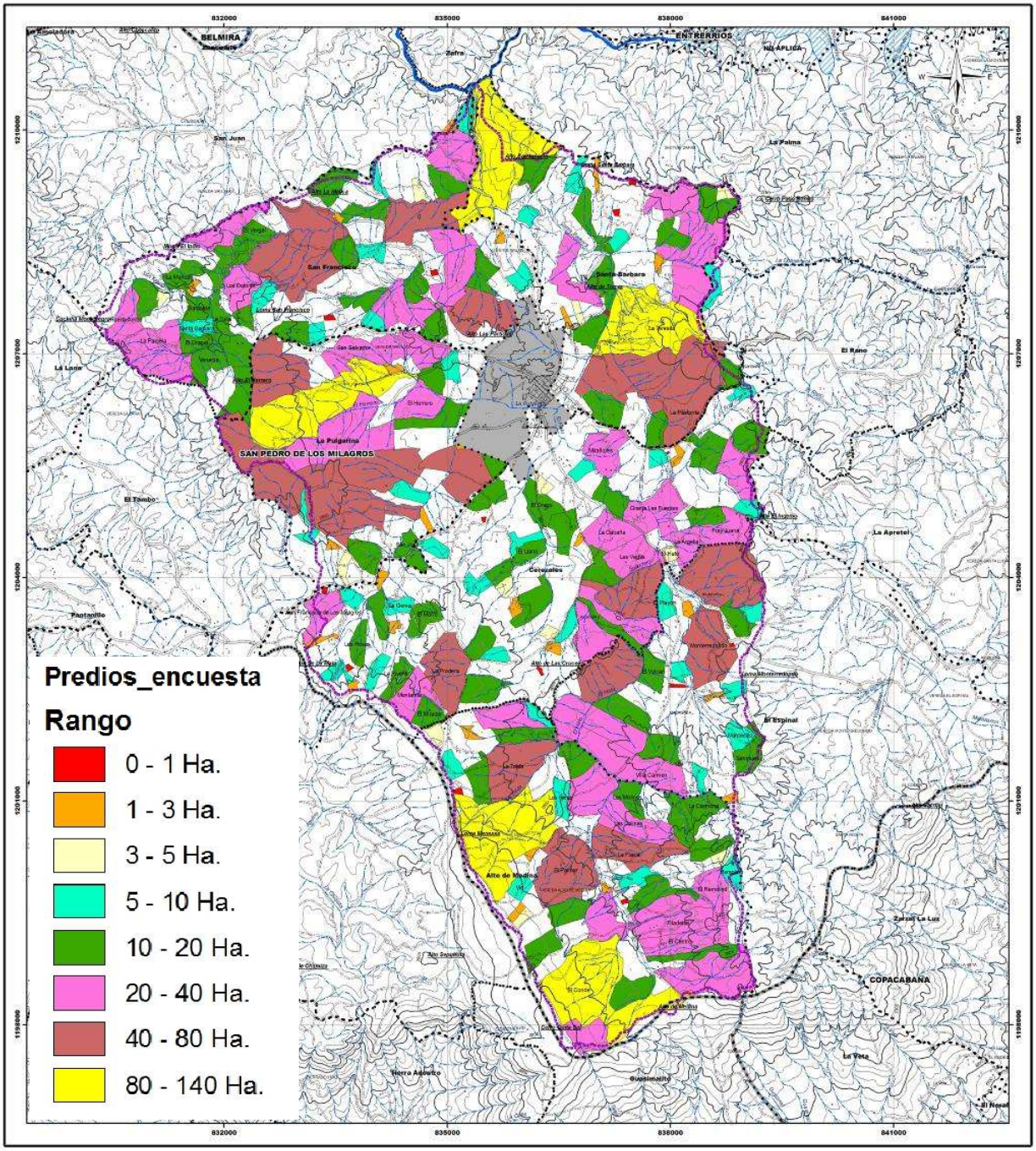


Figura 4. Distribución de predios seleccionados para la encuesta en la microcuenca El Hato.

La aplicación de la encuesta fue realizada por dos profesionales en Ingeniería Agrícola con experiencia en el tema y un Tecnólogo ambiental con experiencia en sistemas de producción convencional y producción limpia.

Las encuestas fueron sistematizadas en una base de datos en Excel (la Base de Datos forma parte de este proyecto como un anexo).

3.3 METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD

Para el cumplimiento del objetivo principal de este trabajo se hace necesario obtener un índice de sostenibilidad (IS) de tecnologías y prácticas de producción agrícola y pecuaria, para lo cual se hizo una revisión de diferentes metodologías que permitieran hacer una lectura de las condiciones y riesgos que está enfrentando la región de estudio con respecto a la gestión del recurso hídrico y que fuera flexible en el momento de introducir variables o indicadores a los componentes o dimensiones de análisis.

Para la construcción de tal índice se usará la *"Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios. BIOGRAMA 2008"* desarrollada por el IICA y que se ha venido aplicando en diferentes países latinoamericanos (Brasil, Colombia y Perú), aportando cada uno de ellos elementos para mejorar las diferentes versiones que se han sacado. Dicha metodología propone un instrumento denominado Biograma conformado por una imagen en telaraña y el Índice Integrado de Desarrollo Sostenible (S^3) que para éste caso se denominara ***ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD (IS)***. Estos instrumentos complementados con una referenciación espacial utilizando un sistema de información geográfica (SIG), permiten hacer más visibles la intervención en áreas prioritarias para el establecimiento de planes de gestión de las tecnologías y prácticas de producción para las entidades territoriales.

En la Figura 5 se propone un esquema metodológico para la obtención del Índice de Sostenibilidad (IS) y el Biograma, como se explica a continuación.

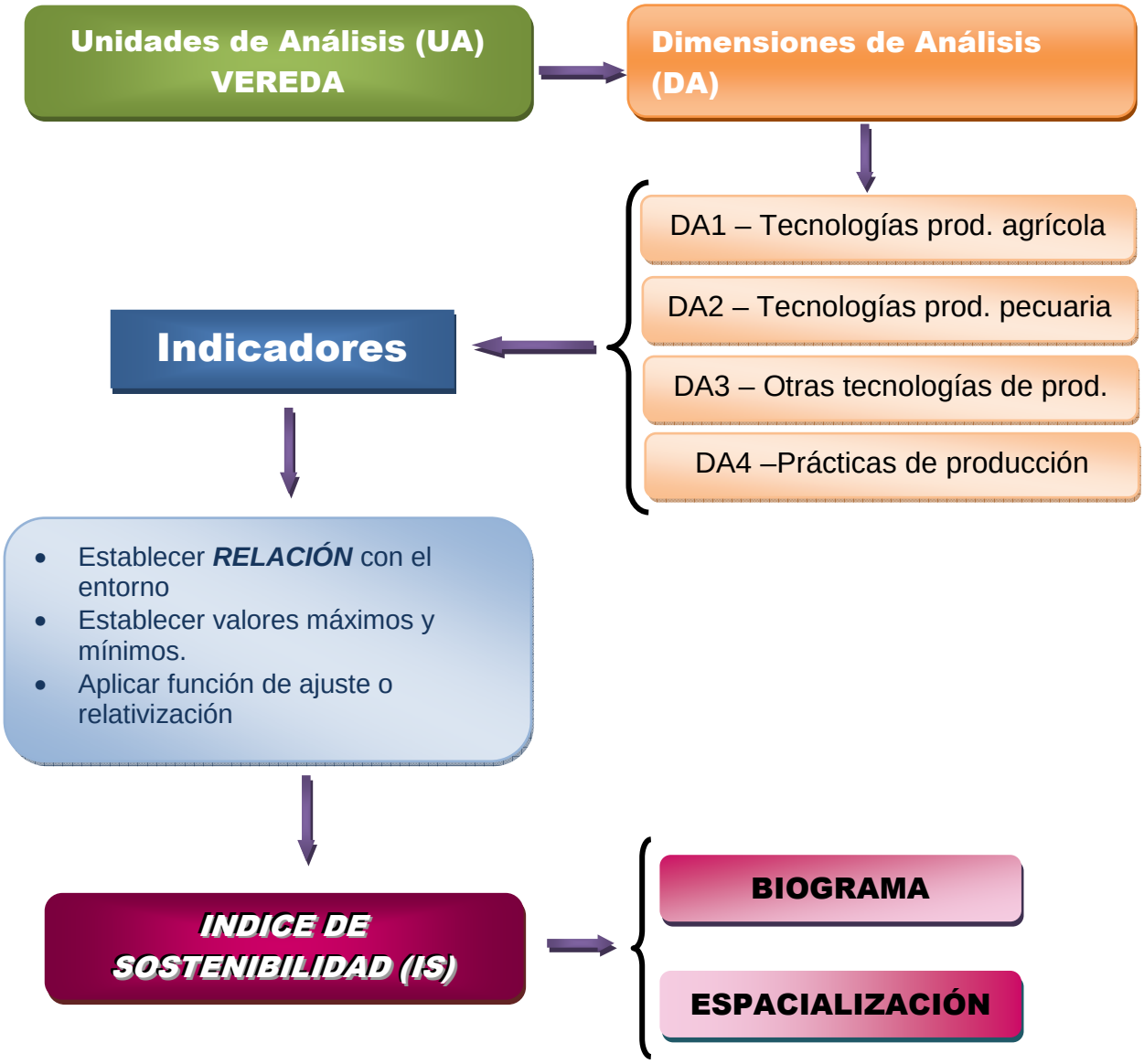


Figura 5. Proceso metodológico para la obtención del índice de sostenibilidad de tecnologías y prácticas de producción.

a. ***UNIDAD DE ANÁLISIS*** **(UA):** El primer paso para la obtención del Índice de Sostenibilidad (IS) es la determinación de *Unidad de Análisis (UA*) definida como el territorio en el cual se van a implementar las intervenciones o inversiones de los entes territoriales (Sepúlveda, 2008), buscando el mejoramiento en la gestión de los recursos naturales, en este caso el recurso hídrico. La UA que puede ser un país, una región, un municipio, una cuenca, una vereda o un sector de un municipio. En el caso de estudio se determino como UA las ***veredas*** que

conforman la microcuenca siendo entonces los territorios hacia donde las entidades territoriales deben enfocar la gestión ambiental y sus inversiones.

b. *DIMENSIONES DE ANÁLISIS*: Seguido de la determinación de la UA se definieron las *Dimensiones de análisis (DA)*. Las Dimensiones de Análisis son los diferentes componentes del sistema territorial que reflejan de manera integral su estado y que en cada caso serán analizados. Para Sepúlveda (2008), un sistema territorial está compuesto por las cuatro dimensiones del desarrollo sostenible: social, económica, ambiental y político-institucional; así como, por las interacciones al interior de cada una de ellas y entre una dimensión y otra (Figura 6).

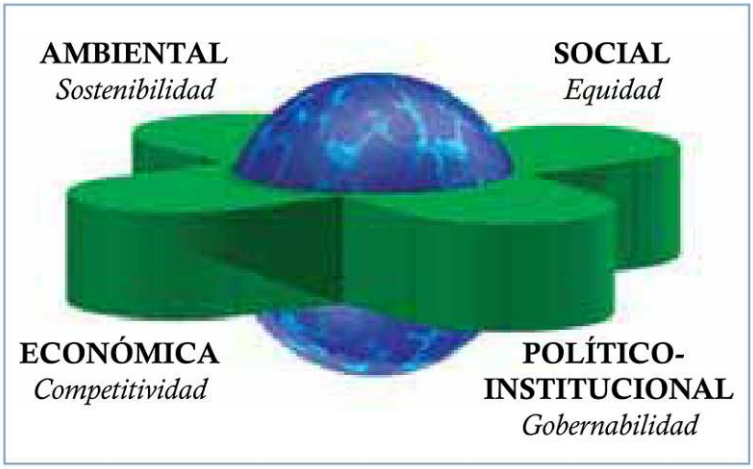


Figura 6. Desarrollo Sostenible del sistema Territorial (Sepúlveda, 2008)

En el caso que nos ocupa las Dimensiones de Análisis (DA) definidas para el desarrollo del Índice de Sostenibilidad (IS) están relacionadas con la interacción que se da entre el medio natural y el medio humano, como partes integrales del medio ambiente (Angel et al, 2007). Además están relacionadas con las tecnologías y prácticas de producción que tienen incidencia en el recurso hídrico. Las Dimensiones de Análisis (DA) determinadas son:

- **Tecnologías de producción agrícola (Tpa):** Las Tecnologías de producción agrícola (Tpa) analizadas y que inciden en recurso hídrico son: recolección de aguas lluvias y biodigestores.

- **Tecnologías de producción pecuaria (Tpp):** Las Tecnologías de producción pecuaria (Tpp) analizadas en las UA son: Tanque estercolero, ordeño manual y ordeño mecánico.

- **Prácticas de producción (Pp):** Las Prácticas de producción (Pp) analizadas son el uso de agroquímicos tanto en la producción agrícola como en la producción pecuaria.

- **Otras tecnologías de producción (Otp):** en el caso de Otras tecnologías de producción (Otp), se analizaron algunas tecnologías que tienen incidencia en el recurso hídrico tanto en calidad (sistemas de tratamiento de aguas servidas), como en cantidad (sistemas de ahorro de agua). Las Otras tecnologías de producción analizadas son los Sistemas de tratamiento de aguas servidas y el ahorro de agua.

c. ***INDICADORES*****:** Para cada una de las Dimensiones de Análisis (DA) se realizó la construcción de los indicadores que se presentan en la Tabla 3. Se tuvo como base la información sobre tecnologías y prácticas de producción contenida en la Base de Datos de la encuesta aplicada en la microcuenca El Hato como se explicó anteriormente. Para construir cada uno de los indicadores se identificaron los predios que tienen implementada la tecnología o práctica en estudio.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{m} A_m}{\sum_{i=1}^{n} A_n} \qquad \textbf{Ecuación 2}$$

Donde:

P = Porcentaje del área total encuestada que tiene implementada la práctica o tecnología bajo estudio.

A_m = Área total de los predios que tienen implementada la tecnología

A_n = Área total de los predios encuestados

Luego de identificar los predios se procedió a la construcción de los indicadores utilizando la Ecuación 2, en cada uno de los casos como se explica a continuación:

- **Prácticas de producción (Pp):**

  - ***Porcentaje del área total con cultivos y uso de agroquímicos (Pp1):*** Se realizó la sumatoria del área de los predios que reportaron tener actividad agrícola y que además aplican agroquímicos y se dividió por el área total de los predios encuestados.

  - **Porcentaje del área total con actividad pecuaria y uso de agroquímicos (Pp2).** Se realizó la sumatoria del área de los predios que reportaron tener

actividad pecuaria y que además aplican agroquímicos y se dividió por el área total de los predios encuestados.

- **Tecnologías de producción agrícola (Tpa):**

  - ***Porcentaje del área total que hace Recolección de Aguas Lluvias (Tpa1)***: Se realizó la sumatoria del área de los predios que reportaron hacer recolección de aguas lluvias y se dividió por el área total de los predios encuestados.

  - ***Porcentaje del área total que tiene Biodigestor (Tpa2***): Se realizó la sumatoria del área de los predios que reportaron tener biodigestor y se dividió por el área total de los predios encuestados.

- **Tecnologías de producción pecuaria**:

  - ***Porcentaje del área total que tiene Tanque Estercolero (Tpp1***): Se realizó la sumatoria del área de los predios que reportaron tener tanque estercolero y se dividió por el área total de los predios encuestados.

  - ***Porcentaje del área total que tiene Ordeño Manual (Tpp2):*** Se realizó la sumatoria del área de los predios que reportaron tener ordeño manual y se dividió por el área total de los predios encuestados.

  - ***Porcentaje del área total que tiene Ordeño Mecánico (Tpp3)***: Se realizó la sumatoria del área de los predios que reportaron tener ordeño mecánico y que además aplican agroquímicos y se dividió por el área total de los predios encuestados.

- **Otras Tecnologías de producción:**

  - ***Porcentaje del área total que tiene Sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas (Orp1):*** Se realizó la sumatoria del área de los predios que reportaron tener algún sistema de tratamiento de aguas servidas y se dividió por el área total de los predios encuestados.

  - ***Porcentaje del área total que tiene Ahorro de Agua (Otp2)***: Se realizó la sumatoria del área de los predios que reportaron tener algún sistema de ahorro de agua y se dividió por el área total de los predios encuestados.

Tabla 3. Indicadores de sostenibilidad por Dimensión de Análisis (DA).

Prácticas de Producción (Pp)	Tecnologías de Producción Agrícola (Tpa)	Tecnologías de Producción Pecuaria (Tpp)	Otras Tecnologías de Producción (Otp)
Pp1: Porcentaje del área total con cultivos y uso de agroquímicos.	**Tpa1:** Porcentaje del área total que hacen Recolección Aguas Lluvia.	**Tpp1**: Porcentaje del área total que tienen Tanque Estercolero.	**Otp1**: Porcentaje del área total que tienen Sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas.
Pp2 Porcentaje del área total con actividad pecuaria y uso de agroquímicos.	**Tpa2:** Porcentaje del área total que tienen Biodigestor	**Tpp2**: Porcentaje del área total que tienen Ordeño Manual.	**Otp2**: Porcentaje del área total que tienen Ahorro de Agua.
		Tpp3: Porcentaje del área total que tienen Ordeño Mecánico.	

d. ***RELACIÓN CON EL ENTORNO*****:** A la vez que se construyeron los indicadores, se realizó un análisis de ***relación con el entorno*** para cada una de las tecnologías y prácticas de producción que se eligieron en las DA, es decir se analizó cada una de las implicaciones ambientales que tienen dichas tecnologías principalmente con el recurso hídrico. A través del análisis y en combinación con la observación del indicador se determinó si éste refleja una situación de mejoría o de deterioro para el entorno en que está implementada o en el cual es utilizada la tecnología.

Se consideró una relación de mejoría con el entorno cuando una tecnología o práctica de producción implementada en un predio tiene un impacto positivo (+) para el recurso hídrico y una relación de deterioro cuando tiene un impacto negativo (-) sobre el mismo recurso. Esta calificación se asignó teniendo en cuenta lo reportado por la literatura sobre los impactos que tienen las tecnologías y prácticas de producción sobre el medio ambiente principalmente sobre el recurso hídrico. Por ejemplo, para los biodigestores la literatura reporta que éstos en su proceso de digestión aportan una serie de ***beneficios*** como son la conversión del metano en fuente de energía renovable, la emisión de gases de efecto invernadero, la contaminación de aguas residuales y los olores nocivos se reducen considerablemente, entre otros (Lansing et al., 2008). Para la práctica de aplicación de agroquímicos encontramos evidencias en la literatura que indican que la excesiva dependencia de los monocultivos y los insumos agroindustriales (pesticidas y fertilizantes químicos) impactan ***negativamente*** el medio ambiente y la sociedad (Soto, 2009; Torres y Capote, 2004 y Altieri et al., 2004)

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente se tomó para el caso en que se presenta una situación de mejoría del sistema una relación positiva (+) y se le asignó un valor de 1, en caso contrario cuando se consideró que se presenta una situación de deterioro se tiene una relación negativa (-) y se le asignó un valor de 0 (Tabla 4).

Tabla 4. Relación e índice para cada indicador de las dimensiones de análisis

Dimensión de Análisis	Relación	Índice para cada indicador
Pp1: Área cultivada con uso de agroquímicos	Negativa	0
Pp2: Área actividad pecuaria con uso de agroquímicos	Negativa	0
Tpa1: Recolección aguas lluvias	Positiva	1
Tpa2: Biodigestor	Positiva	1
Tpp1: Tanque estercolero	Positiva	1
Tpp2: Ordeño manual	Positiva	1
Tpp3: Ordeño mecánico	Positiva	1
Otp1: Sistemas de tratamiento de aguas servidas	Positiva	1
Otp2: Ahorro de agua	Positiva	1

Para adaptar los indicadores a una escala común la metodología Biograma 2008, propone utilizar una función de relativización, la cual se basa en la metodología planteada por el PNUD para el cálculo del Índice de Desarrollo Humano (Sepúlveda, 2008). Para el caso en que los indicadores presentaron una relación positiva se adoptó la Ecuación 3 y para los que presentaron una relación negativa se adoptó la Ecuación 4.

$$f(x) = \frac{(x - m)}{(M - m)} \qquad \textbf{Ecuación 3}$$

$$f(x) = \frac{(x - M)}{(m - M)} \qquad \textbf{Ecuación 4}$$

Donde:

x = valor del indicador para una UA determinada.

m = valor mínimo del indicador.

M = valor máximo del indicador.

Con los valores máximo y mínimo de cada indicador analizado en las diferentes UA, se aplicó la función de relativización (Ecuación 3 y 4) que correspondiera en cada caso. La función de relativización es dependiente de la relación entre el indicador y los procesos de desarrollo, por lo cual se estandarizó al multiplicar el indicador con relación negativa por -1, logrando utilizar solamente la función de relaciones positivas.

e. Cálculo del Índice de Sostenibilidad (IS): El Índice de sostenibilidad se calcula utilizando el promedio simple de los indicadores de cada una de las dimensiones de análisis, previamente relativizados como se explicó anteriormente.

En este caso se calcularon dos Índices de Sostenibilidad (IS1 y IS2), tratando de observar como es el comportamiento del indicador y del índice cuando se incluye información que sea relevante (mantenimiento y manejo de la tecnología) que pueda influir en la incidencia que tiene la tecnología en el recurso estudiado (agua).

En el primer caso (Índice de Sostenibilidad 1 (IS1)), se utilizó la información sobre la presencia o no de la tecnología o práctica de producción en el predio. Para el segundo caso (Índice de Sostenibilidad 2 (IS2)), se utilizó además información sobre el manejo y mantenimiento que se le da a dos tecnologías (tanque estercolero y sistemas de tratamiento de aguas servidas) dentro del predio, como se explica a continuación:

- **Tanque Estercolero**: se analizó si el predio tiene actividad pecuaria, si tiene tanque estercolero y el tiempo de retención del estiércol en el tanque para luego ser aplicado al suelo. A los predios que tienen actividad pecuaria, tanque estercolero y tiempo de retención mayor a 5 días se les asignó un valor de 1 para indicar que son los que tienen mejor relación con el medio, igualmente a los predios que no tienen actividad pecuaria Para los predios que tienen actividad pecuaria, tienen tanque estercolero y tienen menos de 5 días de retención se les asigno un valor cero (0) mostrando con esto que son los que presentan peor relación con el medio.

- **Sistemas de tratamiento de aguas servidas:** Este indicador se analizó teniendo en cuenta la clasificación que se presentó en la Tabla 5, y se les asignó valores según el impacto que tengan con el medio ambiente, así:

  - *Bajo Impacto:* Para los sistemas que tienen bajo impacto como la Letrina seca, Pozo séptico confinado o en polietileno con filtros sin descarga y con o sin mantenimiento y pozo séptico en polietileno sin filtro con descarga a campo abierto y con mantenimiento se le asigno el valor de 1.

  - *Alto Impacto:* Para los sistemas que tienen mayor impacto como el pozo séptico en polietileno sin filtro con descarga a campo abierto y sin mantenimiento, pozo séptico tradicional con fondo de gravilla o en tierra con descarga por percolación con o sin mantenimiento, sumideros con descarga por percolación sin mantenimiento y los predios sin sistema de tratamiento, se les asignó el valor de cero (0).

Tabla 5. Clasificación de sistemas de tratamiento de aguas servidas en la microcuenca.

Sistema	Tipo	Descarga	Mantenimiento
Letrina	Seca	No	NO
Pozo séptico	Confinado o en polietileno con filtros	Adecuada	SI
Pozo séptico	Confinado o en polietileno con filtros	Adecuada	NO
Pozo séptico	Polietileno sin filtros	Campo abierto	SI
Pozo séptico	Polietileno sin filtros	Campo abierto	NO
Pozo séptico	Tradicional con fondo gravilla o en tierra	Percolación	SI
Pozo séptico	Tradicional con fondo gravilla o en tierra	Percolación	NO
Sumidero	Fosa sin revestimiento	Percolación	NO
Sin sistema	N.A.	Campo abierto	NO

f. Formato condicional: Luego de calcular el índice se aplicó un formato condicional por rango de valores diferenciados por colores diferentes para cada una de las celdas de los índices, como se presenta en la Figura 7.

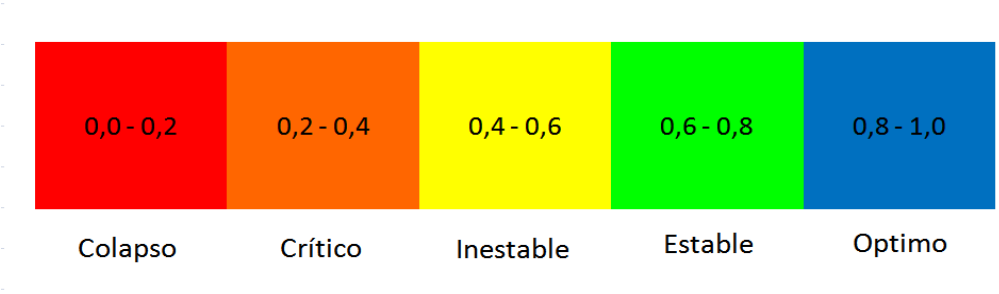


Figura 7. Identificación del estado de las UA del sistema según los colores del Biograma (Adaptado de Sepúlveda, 2008)

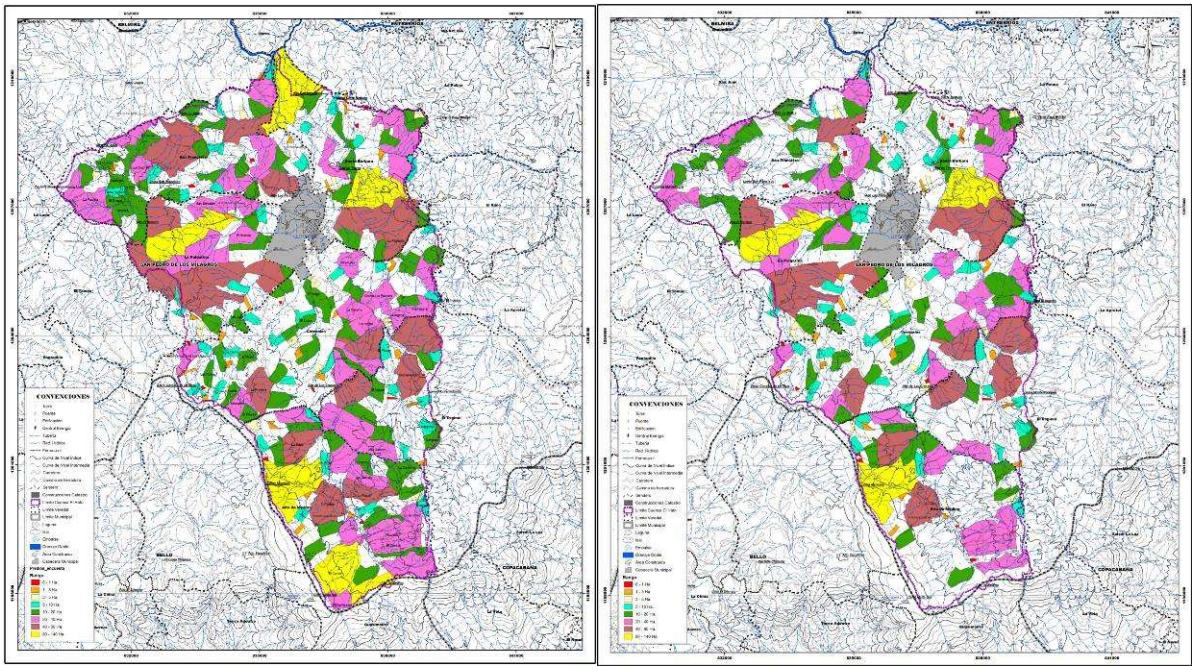
g. Biograma: Por último se graficó el Índice de Sostenibilidad (IS), estos gráficos pueden hacerse para todas las UA en conjunto y para cada una de las UA por separado. Para graficar el IS para cada una de las UA se seleccionaron los valores de datos (indicadores) de cada una de las dimensiones de análisis (DA) y se le aplicó un color de referencia como se presenta en la Figura 7.

4. RESULTADOS

El presente trabajo fue desarrollado siguiendo cada una de las etapas descritas en la metodología para la obtención del índice de sostenibilidad (Figura 5), teniendo en cuenta que se realizó una etapa previa de diseño y aplicación de encuesta en la microcuenca El Hato. Los resultados y análisis obtenidos son como se describe a continuación.

4.1 ANÁLISIS DE LA ENCUESTA

Inicialmente el diseño experimental realizado dio como resultado la aplicación de 230 encuestas en la microcuenca, para lo cual se programaron los recorridos de campo y el personal necesario para la ejecución del mismo, sin embargo, el total de encuestas sistematizadas al concluir esta etapa de campo fue de 186. La reducción del número de encuestas se presentó porque se encontró que algunos propietarios han comprado predios y los han unido a otros que ya tenían, además, algunas encuestas no se pudieron realizar por no encontrar disposición para contestarlas y otras se desecharon por no encontrar coherencia en las respuestas obtenidas (3 encuestas). En definitiva la encuesta aplicada tuvo un nivel de confianza del 95% y un intervalo de confianza del 6,4%.



a) Predios propuestos b) Predios encuestados

Figura 8. Predios propuestos para encuestas vs predios realmente encuestados.

Las tecnologías y prácticas de producción analizadas para este trabajo aportaron los siguientes resultados:

En los predios encuestados se reporta una alta población económicamente activa (Figura 9), el 15% tienen entre 15 y 25 años, el 56% de los encuestados tienen entre 25 y 60 años, los cuales soportan a la población económicamente dependiente que está compuesta por el 8% de la población que tiene menos de 5 años, el 18 % tiene entre 5 y 15 años y el 3% de la población que tiene más de 60 años.

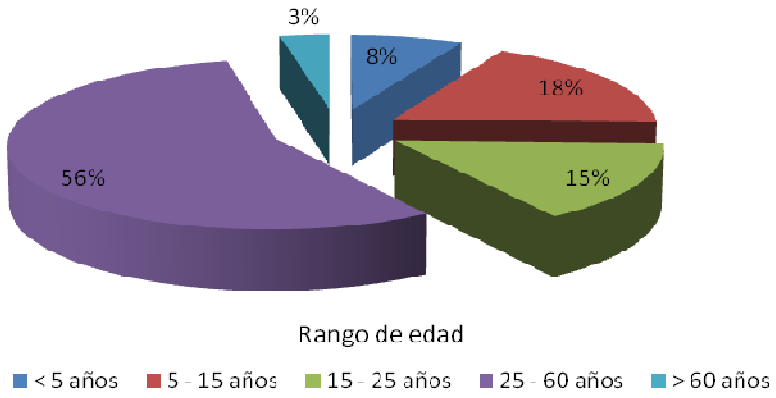


Figura 9. Distribución poblacional en la microcuenca El Hato por edades.

Se puede inferir que la dinámica poblacional en la cuenca es alta ya que el 46% de los encuestados llevan menos de 10 años en ella (Figura 10), lo que nos lleva a preguntarnos sobre los vínculos que existen con el territorio y como esto afecta la visión y la percepción que se tiene del manejo de los recursos naturales, además de las decisiones que se toman para la adopción de tecnologías que incidan en los servicios ecosistémicos.

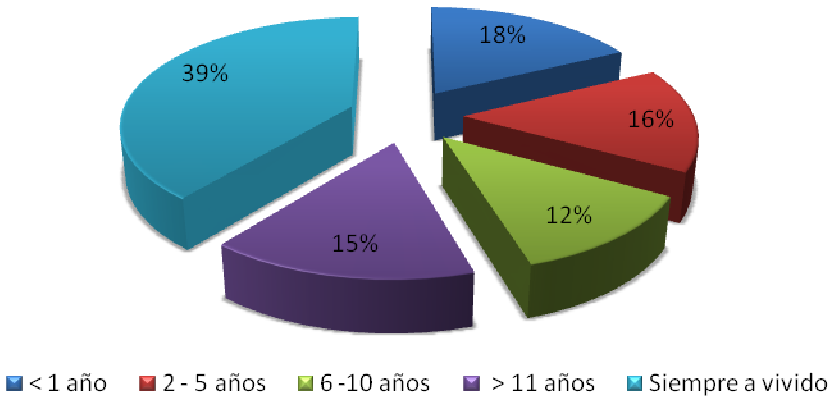


Figura 10. Tiempo de permanencia de la población encuestada en la microcuenca.

En la población encuestada el 55% ha terminado la primaria, mientras que el 35% tiene estudios de bachillerato completo el 35% y con estudios universitarios sólo el 3% (Figura 11).

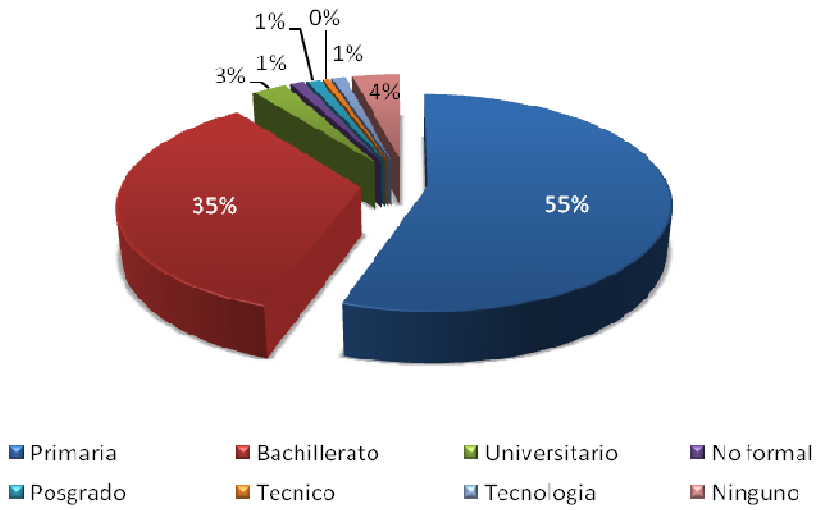


Figura 11. Nivel de estudios reportados por los encuestados.

4.1.1 Aplicación de Agroquímicos en los sistemas de producción

Los sistemas productivos más representativos en la microcuenca son producción pecuaria (ganadería de leche) y la producción agrícola (papa y zanahoria como cultivos más representativos). En todas las veredas de la microcuenca más del 80% de los predios encuestados se dedican a la producción pecuaria (Figura 12), distribuidos en forma más o menos homogénea. La producción agrícola en la microcuenca está por debajo del 20% en cada una de las veredas y se encuentran en las veredas Alto de Medina, Cerezales, El Espinal y San Francisco; en las veredas La Pulgarina y Santa Bárbara no reportaron este tipo de producción. Existen algunos predios (6,45%) que reportan tener los dos tipos de producción, localizados en las mismas veredas donde se encuentran los predios con producción agrícola.

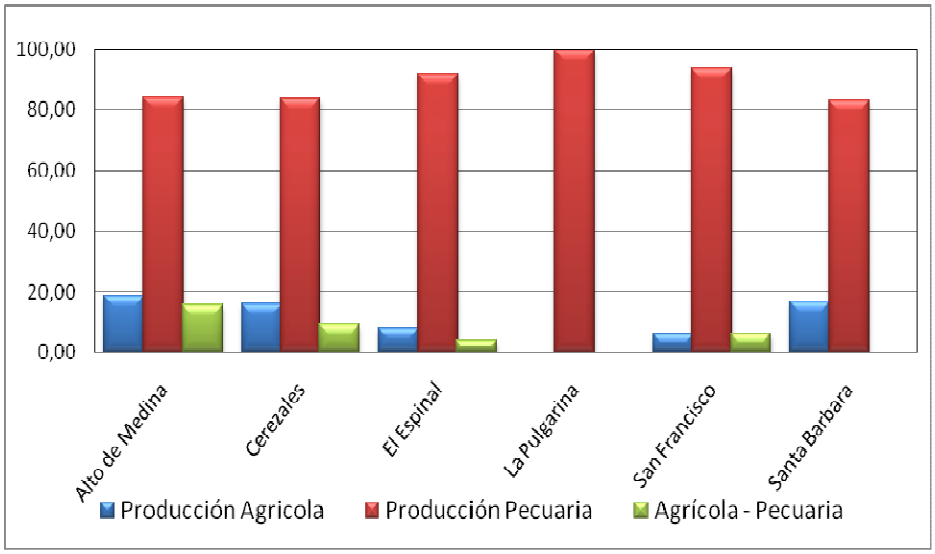


Figura 12. Actividades Productivas en los predios de la cuenca por vereda en porcentaje (%)

Para el manejo y mantenimiento de estas dos actividades productivas (agrícola y pecuaria) en la microcuenca se utiliza gran cantidad de agroquímicos[2], como pudo constatarse con las respuestas obtenidas en la aplicación de la encuesta. El 96,83% de los encuestados dijo aplicar agroquímicos tanto a los pastos para la actividad pecuaria como a los cultivos en la actividad agrícola (Tabla 5). Los agroquímicos más utilizados en la zona son: Insecticidas (Latigo, Lorsban, Engeo, Draco, Regent, Rafaga, Catron, Proteux, Tamaron) con ingredientes activos como el clorpirifos, el fipronil y el metamidophos y Herbicidas (Panzer, Tordon, Roundup) con ingredientes activos como el glifosato y el picloran. La aplicación de estos productos, genera gran preocupación para las autoridades ambientales por la alta toxicidad que presentan y la capacidad de producir alteraciones sobre los organismos vivos, además de la bioacumulación (presencia en los tejidos vivos y a su persistencia en el ambiente) y al incremento en la posibilidad de que estos compuestos se movilicen e interactúen con los organismos vivos antes de degradarse (Ramos et al., 2008).

[2] Agroquímicos, es el nombre genérico que recibe cualquier sustancia o mezcla de ellas, usadas para controlar plagas de insectos u otros organismos que atacan a los cultivos o que son vectores de enfermedades (Ramos et al., 2008).

Tabla 6. Predios con aplicación de agroquímicos en la cuenca**.**

Veredas	Predios		
	Encuestados	Con aplicación agroquímicos	
	No.	No	%
Alto de Medina	32	30	93,75
Cerezales	52	23	44,23
Espinal	15	15	100
La Pulgarina	25	25	100
San Francisco	37	34	91,89
Santa Bárbara	25	25	100
Sin Aplicación	0	7	3,76
Total		186	

Cabe destacar que en la aplicación de la encuesta se realizaron algunas preguntas relacionadas con los empaques y envases de agroquímicos: ***¿Cómo es la disposición de los empaques y/o envases de los agroquímicos?, Qué disposición hacen de empaques de agroquímicos?, ¿Conoce sí hay una ley que regula la disposición de empaques de agroquímicos?*** y ***¿Conoce programas de recolección de empaques y envases de agroquímicos?,*** se obtuvo como respuestas que el 45% de los encuestados están recolectando y disponiendo de forma adecuada estos subproductos (Figura 13) y luego entregan a una empresa de recolección que los dispone en un relleno sanitario o los entrega a las casa distribuidoras de los mismos. La adecuada disposición de empaques y envases de agroquímicos fortalece las propuestas que se han venido trabajando desde la Corporación Autónoma Regional (Campañas de recolección, acuerdos con las empresas productoras y proyectos en convenio con los municipios) y lo dispuesto por la regulación ambiental vigente (Decreto 1843 de 1991, Resolución 00150 del 21 de enero de 2003 del ICA, Decreto 502 de 2003 y la Resolución 770 de 2003).

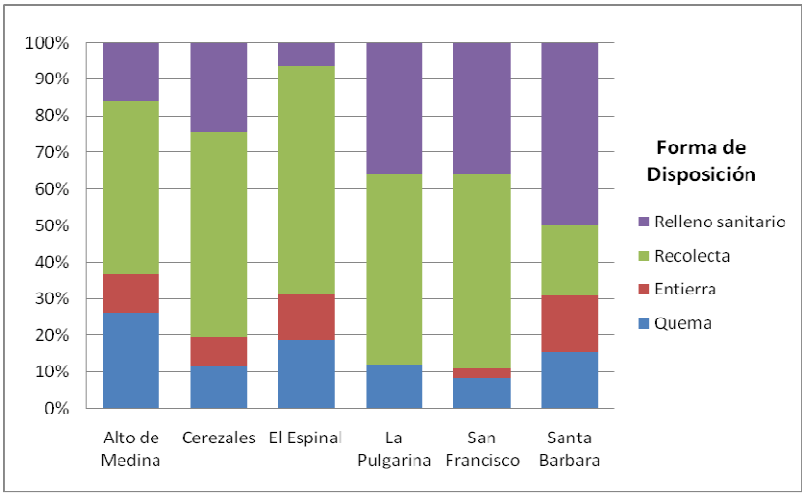


Figura 13. Formas de disposición de empaques y envases de agroquímicos en la microcuenca El Hato.

4.1.2 Recolección de aguas lluvias

En la encuesta se formuló la pregunta ***¿Tiene usted recolección de agua lluvia en su predio?,*** para la cual se obtuvo como resultado que el 19,9% del total de encuestados han adoptado esta tecnología en sus predios. La mayor cantidad de predios con adopción de esta tecnología están en la vereda Cerezales (35,1 %), seguidos por la vereda San Francisco (24,3%) y la vereda Alto de Medina con el 21,6%, en menor proporción es utilizada en las veredas La Pulgarina (8,1%), Santa Bárbara y El Espinal (5,4%).

Ante el cuestionamiento sobre las razones para haber adoptado ésta tecnología, el 46% que respondieron tenerla, lo atribuyen a las ventajas que les proporciona disponer de una opción de suministro de agua diferente a los convencionales (acueducto, nacimiento, quebrada, etc.) y solo 6% mostraron tener interés por la protección del medio ambiente y por el recurso hídrico. De los encuestados que no tienen implementada la tecnología, sólo el 21,5% están dispuestos a adoptarla como medida de conservación del agua a pesar de los costos que implique. En general se evidenció poco interés en el uso de esta tecnología, a pesar de ser una técnica económica y que permite ahorrar gran volumen de agua en los sistemas productivos, principalmente en las actividades pecuarias. Este resultado muy posiblemente se debe a que en la zona se presenta abundancia de agua, por ser una región rica en fuentes hídricas, además, de las exigencias de calidad del recurso hídrico que deben cumplir las fincas para ser certificadas, proceso en el que se encuentran muchas de ellas.

4.1.3 Biodigestores

Teniendo en cuenta que la implementación de tecnologías como los biodigestores presentan grandes beneficios ambientales, como la disminución de la contaminación orgánica del suelo, de las aguas de ríos y quebradas, además, que contribuyen a la disminución de los malos olores y plagas (moscas) y suministran subproductos como el biogás (gas metano) que puede ser utilizado como fuente de energía (Lansing et al., 2008) se podría pensar que en una microcuenca con tanta producción de estiércol hay mas predios en donde este implementada esta tecnología, sin embargo, sólo se encontraron 3 predios (1,61%) de los encuestados con implementación de ésta tecnología, distribuidos en las veredas Cerezales (2 predios) y Santa Bárbara (1 predio). las personas que utilizan la tecnología aducen que la motivación para adoptarla fue la recomendación de otra persona que ya la había usado, esto apoya la teoría enunciada por Ortiz (2001), de que los productores tienen que entender primero las bases o principios de la tecnologia y como utilizarla para despues decidir su adopción.

4.1.4 Tanque estercolero

El manejo de excretas en una explotación pecuaria es una constante preocupación, por la necesidad de mantener limpias las instalaciones donde se tienen los animales o donde se realizan las actividades de ordeño, además, el estiércol es uno de los principales subproductos que se generan en una explotación pecuaria por el alto contenido de nutrientes que favorecen la fertilidad del suelo y el que más controversia causa en el ámbito ambiental, por su alto volumen de producción y su difícil manejo.

En la microcuenca el 53,2% de los encuestados tienen tanque estercolero, distribuidos en mayor proporción en las veredas Cerezales y San Francisco y en menor proporción en la vereda El Espinal (Figura 14). De los predios que tienen esta tecnología el 53% atribuyen su adopción a recomendaciones de otras personas que lo han implementado en sus predios.

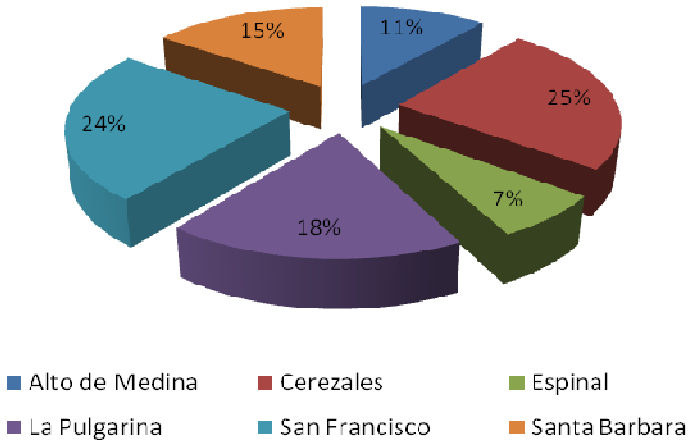


Figura 14. Distribución de tanques estercoleros por vereda en la microcuenca El Hato.

Para hacer un análisis del manejo que se le está dando al estiércol antes de ser aplicado a los poteros se indagó sobre el tiempo de permanencia del estiércol en los tanques estercoleros. De esta pregunta se pudo inferir que el tiempo de retención es de aproximadamente de 2,8 días y no se le realiza ningún tratamiento diferente para aplicarlo a los potreros. El manejo del estiércol se realiza de una forma indiscriminada, ya que no se realizan cálculos para saber la necesidad de aplicación del mismo a los pastos, además, se aplica cerca a los cuerpos de agua sin algún tratamiento previo, lo cual contribuye al transporte de contaminantes, que incrementan la disminución del oxígeno disponible en el agua, el cual es necesario para todas las formas de vida que existen naturalmente (ACP. et al, 1996), produciendo un deterioro de la calidad y disponibilidad del recurso hídrico.

4.1.5 Ordeño manual

Esta es una técnica que se ha desarrollado desde tiempos atrás, consiste en la extracción de la leche de la ubre de la vaca en forma manual, tomando dos glándulas de la ubre de la vaca en cada mano, apretando y empujando con suavidad la leche hacia afuera, alternando la presión que se hace en cada mano. (Avila, 2003).

A la pregunta realizada sobre la utilización de ordeño manual, el 32,26% utilizan esta técnica, de estos el 93,33% realizan el ordeño en el campo, el 1,67 lo realiza en patio de ordeño y el 5% no respondió esta pregunta. La motivación más representativa para la utilización del ordeño manual para los productores es la

economía (30% de los encuestados) que tienen al utilizarla, representada en menores costos en energía y agua; el segundo factor presentado más relevante fue la “recomendación” con el 13% y el tercero la “tradición” con el 12% de los encuestados, el 7% restante atribuyen su utilización al interés por proteger el medio ambiente.

La mayor cantidad de predios con esta tecnología se encuentran localizados en las veredas Cerezales y Alto de Medina, con un 33% y 25% respectivamente y en menor proporción en la vereda El Espinal con un 8%.

4.1.6 Ordeño mecánico

El ordeño mecánico consiste en la extracción de leche de la ubre de la vaca por medio de máquinas que funcionan simulando la acción del ternero, mediante la aplicación del vacío cuando es alimentado con biberones y mamila de hule (Avila, 2003). El mismo autor afirma, que esta técnica ha sido de gran acogida en los últimos años debido a la exigencia por parte de los consumidores de productos para que sean más higiénicos, evitando el contacto del producto con el medio ambiente, lo que reduce sustancialmente la posibilidad de contaminación.

Los resultados obtenidos en la encuesta para la adopción de esta tecnología presentan que el 54,3% de la población encuestada tiene ordeño mecánico en sus predios, ya sea que la realicen en sala de ordeño (72,3%), en patio (6,9%) o en el campo (18,8%), el 2% no respondieron a esta pregunta. En las veredas San Francisco y Cerezales se encuentran la mayor cantidad de predios encuestados que tienen esta tecnología (Figura 15). La principal motivación para utilizar esta tecnología son las exigencias de calidad que hace la empresa comercializadora. Los encuestados que realizan el ordeño mecánico en el campo aseguran que lo realizan debido a la falta de recursos para construir las instalaciones de sala de ordeño con especificaciones adecuadas.

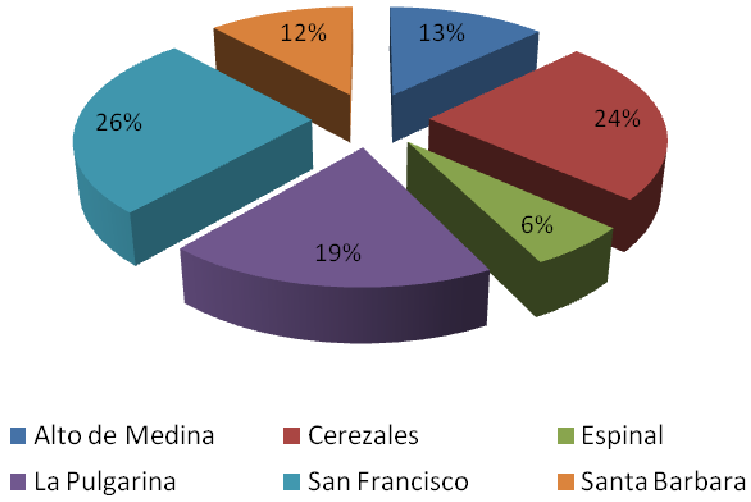


Figura 15. Porcentaje de predios encuestados con ordeño mecánico por vereda.

4.1.7 Sistema de tratamiento de aguas servidas

Un sistema de tratamiento de aguas servidas se implementa teniendo como objetivo convertir el agua residual de las viviendas en un efluente final que sea aceptable a las condiciones del ambiente (estético, organoléptico y de salud pública) y hacer una disposición adecuada de los sólidos (lodos) obtenidos durante el proceso de purificación (Rojas, 2002), por este motivo se analizo la información recopilada de los sistemas de tratamiento de agua que hay en la microcuenca. Si bien no es una tecnología de producción, dentro de las recomendaciones que proponen las BPA se hace mucho énfasis en la calidad del agua.

En la microcuenca se encontraron diferentes tipos de “sistemas de tratamiento de aguas servidas”, sin embargo, no todos los sistemas encontrados tienen las condiciones mínimas para afirmar que son sistemas eficientes y que cumplen con el objetivo de tratar las aguas que a ellos llegan. Como se puede observar en la Tabla 5, los sistemas de disposición de aguas que se encontraron se clasificaron en ocho categorías, teniendo en cuenta el material de construcción del sistema reportado, el uso dado al sistema teniendo en cuenta la descarga del efluente y el mantenimiento que se realiza. Con esta clasificación se determinó cuales sistemas está haciendo un verdadero tratamiento de las aguas residuales, cuales tienen mayor o menor impacto en la calidad del agua para luego hacer el análisis de sensibilidad del índice de sostenibilidad.

Los sistemas que hacen un verdadero tratamiento de agua residual son los pozos sépticos confinados o en polietileno con trampa de grasas y filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), hacen una descarga adecuada (pozos de absorción o campo de infiltración), en este caso se encontraron algunos a los que se les hace mantenimiento periódico (3,22%) y otros a los que no (1,61%). Se encontraron pozos sépticos en polietileno sin filtros que hacen la descarga del efluente a campo abierto y con mantenimiento (3,22%) o sin él (2,15%).

En algunos predios se tiene letrina seca (12,9%) en la cual no se utiliza agua, no hay descarga al afluente y no se hace mantenimiento. Se encontró que hay algunos pozos sépticos construidos de forma tradicional, lo cual consiste en abrir un hueco en el suelo cerca a la vivienda, que en algunos casos se recubre con ladrillo o bloque de cemento y en el fondo se le echa una capa de gravilla o se deja en tierra para que se absorba el agua que se deposita en él; en algunos casos se hace mantenimiento (9,14%) y en otros no (37,63%), siendo estos los que más se encuentran en la microcuenca.

Algunos sistemas encontrados son denominados sumideros, los cuales consisten en una fosa en la tierra a la cual no se le pone ningún tipo de revestimiento ni en las paredes ni en el fondo y nunca se le hace mantenimiento (11,83%). Algunos predios no tienen ningún tipo de sistema (18,3%), simplemente disponen las aguas por canales hasta la quebrada más cercana.

4.1.8 Ahorro de agua

Otra técnica que utilizan sin que sea una práctica o tecnología de producción son los sistemas de ahorro de agua, que inciden en la cantidad del recurso hídrico. En la microcuenca el 79,03% (147) de los encuestados reportan tener algún sistema de ahorro de agua, utilizando diferentes técnicas para hacerlo como son flotador en los bebederos, almacenamiento de agua en canecas y en tanques de almacenamiento (94,56%) y el uso de canillas (1,36%) en los diferentes sistemas de suministro de agua para el ganado buscando no desperdiciar agua.

De los que respondieron tener algún sistema de ahorro de agua el 28,3% la tienen por ahorro, el 6,12% lo tienen por iniciativa propia o tradición, el 38,09% por

recomendación y el 14,96% la protección del agua, los otros encuestados aducen que la empresa o la UMATA los incentiva hacia esta práctica.

4.2 INDICE DE SOSTENIBILIDAD

Como se explicó en la metodología para cada Dimensión de Análisis (DA) se definió una estructura de indicadores en cada una de las Unidades de Análisis (veredas), con los cuales se obtuvo como resultado dos índices de sostenibilidad (IS1 y IS2) en la microcuenca El Hato.

La estructura de los indicadores propuestos permitió analizar para cada una de las dimensiones el estado actual en que se encuentran las UA con respecto a la implementación de las tecnologías y prácticas de producción agrícola que inciden (positiva o negativa) en el recurso hídrico, y con ello se propone la priorización de zonas para la implementación de planes de gestión ambiental que pueden ser implementados desde el sector público y la comunidad.

Para el índice IS1, El indicador con resultados más altos fue la utilización de ***sistemas de tratamiento de aguas servidas (Otp1)***, cuyos valores oscilan entre 0,77 y 0,93. Según este indicador las UA muestran un comportamiento muy similar con respecto a la implementación de dichos sistemas, siendo la unidad de análisis con menor valor Santa Bárbara y Cerezales la de mayor valor. El indicador de ***sistemas de ahorro de agua (Otp2)***, también presenta valores altos y similares entre todas las UA. Este indicador tiene una relación positiva con el medio y los valores obtenidos están entre 0,71 y 0,93, muy cercanos a 1,0 que sería el estado ideal en la implementación y manejo de la tecnología para la UA.

El indicador ***Área actividad pecuaria con uso de agroquímicos (Pp2)*** dio valores muy altos (por encima de 0,9), sin embargo, se debe tener en cuenta la relación negativa que esta práctica tiene con el medio, cuya calificación se da teniendo en cuenta afirmaciones como las que hacen Torres y Capote, 2004, que se ha establecido con diferentes estudios que sólo un 0,1% de la cantidad de plaguicidas que se aplican en los sistemas productivos llegan a las plagas, mientras que el porcentaje restante circula por el medio ambiente, contaminando el suelo, el agua y la biota.

Los valores más bajos obtenidos fueron los del indicador ***Biodigestor (Tpa2)*** por debajo de 0,1, esto se presenta debido a la poca implementación de esta tecnología en la microcuenca, a pesar de que este indicador tiene una relación positiva con el medio, teniendo en cuenta que los biodigestores pueden ser una solución práctica y ambientalmente sostenible para disminuir la contaminación con aguas residuales, el agotamiento de combustibles fósiles y el calentamiento global (Lansing et al, 2008).

Al realizar el análisis comparativo de los indicadores IS1 y IS2(***Sistema de tratamiento de aguas servidas (Otp1)*** y ***Tanque estercolero (Tpp1)***), como se explicó anteriormente, los valores cambiaron ampliamente como puede observarse al comparar las Tablas 9 y 10. La variable ***Sistema de tratamiento de aguas servidas (Otp1)*** bajó considerablemente para todas las UA, para la UA San Francisco disminuyó de 0,86 a 0,03, debido a que en esta UA el 89,2% de los predios encuestados tienen sistema de tratamiento tradicional y no hacen mantenimiento, por lo que los efluentes son descargados a las fuentes hídricas causando un gran impacto para el medio ambiente. Para la variable ***Tanque estercolero (Tpp1)***, también disminuyó en todas las UA, especialmente en La Pulgarina, bajo de 0,7 a 0,0, debido a que en esta UA todos los encuestados reportan que tienen un tiempo de retención del estiércol en el tanque menor de 5 días.

4.2.1 Índice de Sostenibilidad 1 (IS1)

El ***IS1*** para las diferentes UA varía entre 0,30 y 0,61 (Tabla 7), mostrando que las UA's La Pulgarina, San Francisco y Santa Bárbara se encuentran en un estado ***crítico*** con respecto a la implementación de tecnologías y prácticas de producción amigables con el medio ambiente. La UA El Espinal es la que presenta un estado ***estable*** considerando que es la que mejor comportamiento presenta en cuanto al uso de tecnologías y prácticas de producción y las UA's Alto de Medina y Cerezales presentan un estado ***inestable.***

Tabla 7. Índice de Sostenibilidad IS1 para las Unidades de Análisis

Unidad de Análisis	IS1	Estado
Alto de Medina	0,42	Inestable
Cerezales	0,55	Inestable
El Espinal	0,61	Estable
La Pulgarina	0,37	Crítico
San Francisco	0,30	Crítico
Santa Bárbara	0,40	Crítico

Tabla 8. Índice de Sostenibilidad IS2 para las Unidades de Análisis.

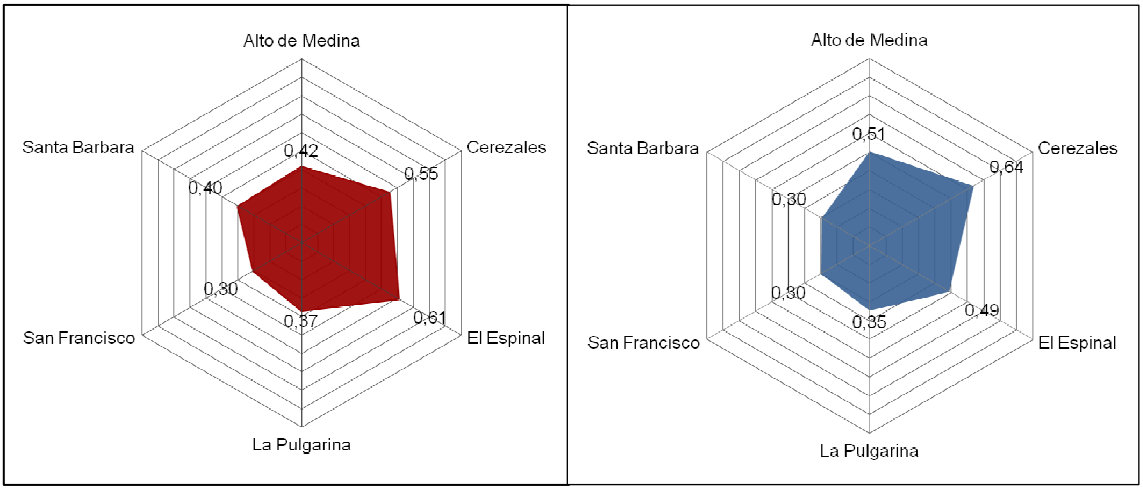
Unidad de Análisis	IS2	Estado
Alto de Medina	0,51	Inestable
Cerezales	0,64	Estable
El Espinal	0,49	Inestable
La Pulgarina	0,35	Crítico
San Francisco	0,30	Crítico
Santa Bárbara	0,30	Crítico

Tabla 9. Valores de los Indicadores para la obtención del Índice de Sostenibilidad - IS1.

INDICADOR	Actividad Agrícola	Actividad Pecuaria	Recolección aguas lluvias	Biodigestor	Tanque estercolero	Ordeño manual	Ordeño Mecánico	Sistemas de tratamiento de aguas servidas	Ahorro de Agua
VEREDA	Pp1	Pp2	Tpa1	Tpa2	Tpp1	Tpp2	Tpp3	Otp1	Otp2
	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Alto de Medina	0,18	0,92	0,25	0,00	0,58	0,31	0,59	0,88	0,71
Cerezales	0,22	0,90	0,21	0,08	0,55	0,35	0,55	0,93	0,77
El Espinal	0,07	0,97	0,08	0,00	0,73	0,38	0,91	0,85	0,98
La Pulgarina	0,23	0,94	0,04	0,00	0,70	0,16	0,62	0,90	0,95
San Francisco	0,17	1,00	0,14	0,00	0,67	0,10	0,74	0,86	0,82
Santa Bárbara	0,02	1,00	0,05	0,01	0,79	0,13	0,74	0,77	0,93

Tabla 10. Valores de los Indicadores para la obtención del Índice de Sostenibilidad – IS2.

INDICADOR	Actividad Agrícola	Actividad Pecuaria	Recolección aguas lluvias	Biodigestor	Tanque estercolero	Ordeño manual	Ordeño Mecánico	Sistemas de tratamiento de aguas servidas	Ahorro de Agua
VEREDA	Pp1	Pp2	Tpa1	Tpa2	Tpp1	Tpp2	Tpp3	Otp1	Otp2
	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Alto de Medina	0,18	0,92	0,25	0,00	0,20	0,31	0,59	0,32	0,71
Cerezales	0,22	0,90	0,21	0,08	0,19	0,35	0,55	0,41	0,77
El Espinal	0,07	0,97	0,08	0,00	0,00	0,38	0,91	0,12	0,98
La Pulgarina	0,23	0,94	0,04	0,00	0,05	0,16	0,62	0,44	0,95
San Francisco	0,17	1,00	0,14	0,00	0,21	0,10	0,74	0,03	0,82
Santa Bárbara	0,02	1,00	0,05	0,01	0,01	0,13	0,74	0,01	0,93



a) Índice de Sostenibilidad 1 (IS1) b) Índice de Sostenibilidad 2 (IS2)

Figura 16. Biogramas unificados para los índices IS1 y IS2 en las diferentes Unidades de Análisis

Según los Biogramas obtenidos con los Índices de Sostenibilidad para cada una de las Unidades de Análisis (Figura 16), muestra que cuando un indicador es cercano a cero se debe prestar mayor atención e implementar planes de gestión para la implementación de las tecnologías y prácticas agrícolas buscando mejorar las incidencias positivas y de beneficio al medio ambiente. Las UA que se encuentran en estado crítico, son las que requieren que haya mayor intervención y hacia donde deben estar orientados los proyectos e inversiones de implementación de tecnologías y prácticas de producción.

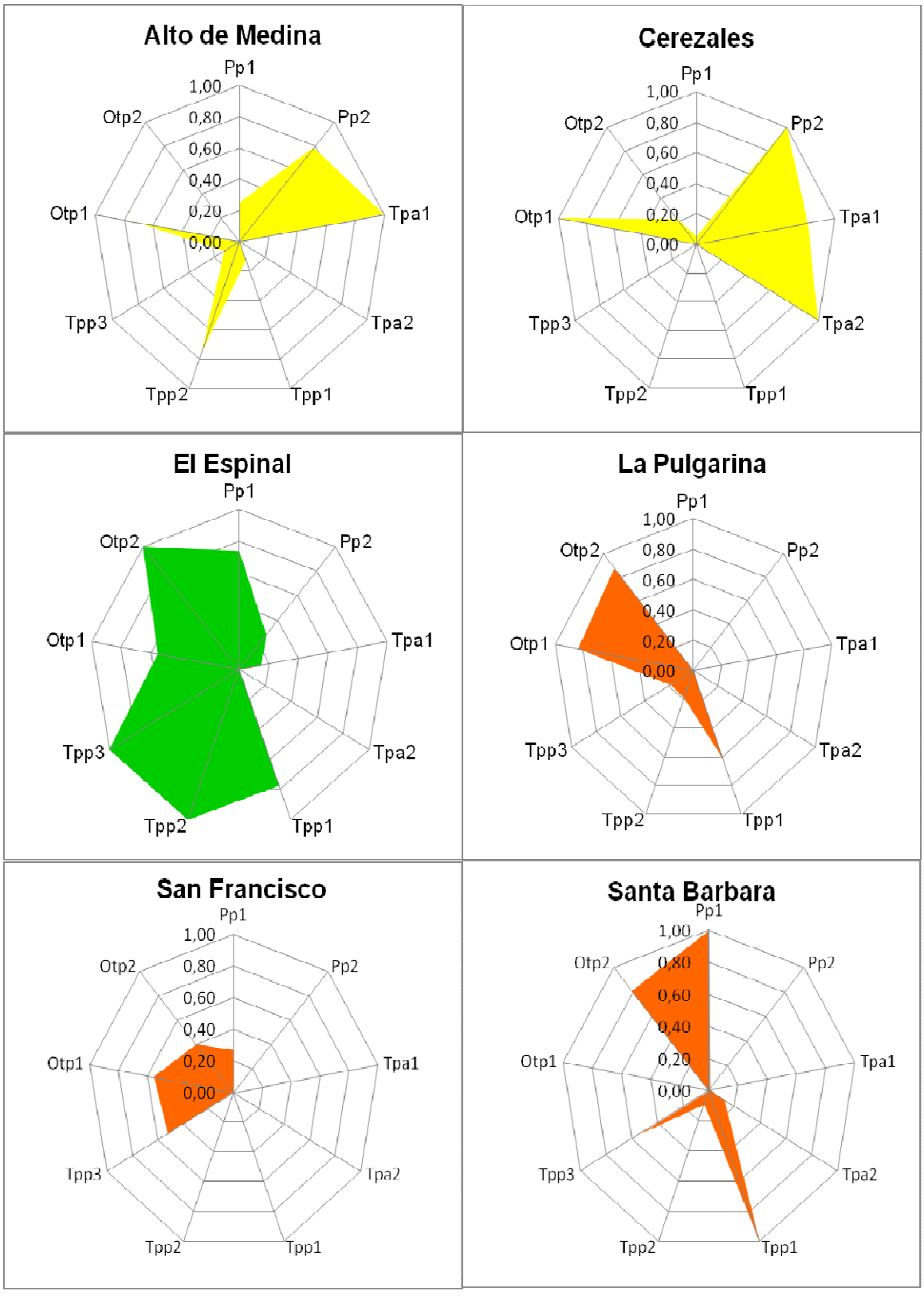


Figura 17. Biogramas obtenidos para cada UA con los indicadores del IS1

Los Biogramas por Unidad de Análisis (Figura 17), nos muestran con mayor claridad cuál es el indicador que debe ser prioritaria en cada caso, ya que en todas las UA la implementación de las tecnologías es diferente.

La UA San Francisco es la que mayor prioridad de intervención requiere. En el Biograma de la Figura 16, para ésta UA se puede observar que las intervenciones de gestión deben orientarse a todas las Dimensiones de Análisis, haciendo énfasis principalmente hacia la implementación de tecnologías y prácticas de los indicadores Área con actividad pecuaria (Pp2), Recolección de aguas lluvias (Tpa1), Biodigestor (Tpa2), Tanque estercolero (Tpp1) y Ordeño manual (Tpp2); sin embargo, no se debe dejar a un lado en esta UA las otras variables que muestran muy poca implementación (por debajo de 0,6) y que también debe apoyarse la implementación en ellas.

Para la UA La Pulgarina, el Biograma revela que las variables Actividad agrícola (Pp1), Actividad pecuaria (Pp2), Recolección de aguas lluvias (Tpa1) y Biodigestor (Tpa2) son los indicadores que mayor atención en la gestión deben tener, seguidos por las variables Ordeño manual (Tpp2) y Ordeño mecánico (Tpp3) cuyos valores están entre 0,0 y 0,2. Esta información lleva a orientar la gestión hacia la implementación de estas tecnologías y prácticas de producción; los otros indicadores están en mejores condiciones pueden ser dejados para intervenciones futuras.

Para la UA Santa Bárbara, la gestión debe ir orientada a la implementación y mejoramiento de las tecnologías y prácticas del área con actividad pecuaria (Pp2), Recolección de aguas lluvias (Tpa1) y los sistemas de disposición de aguas servidas (Otp1), porque el indicador muestra que están muy cercanas a cero, seguidas en prioridad por la Biodigestor (Tpa2) y Ordeño mecánico (Tpp2) cuyos indicadores se encuentran entre 0 y 0,2; las otras tecnologías pueden ser dejadas a para intervenciones a más largo plazo.

En el Biograma para la UA Alto de Medina se puede observar que los indicadores Biodigestor (Tpa2) y Ahorro de agua (Otp2) son a los que se les debe prestar mayor atención en las propuestas de gestión, seguidas por los Tanque estercolero (Tpp1) y Ordeño mecánico (Tpp3) cuyos valores están entre 0,0 y 0,2, para luego seguir con el Área con actividad agrícola (Pp1), los indicadores Área con actividad pecuaria (Pp2), Recolección de aguas lluvias (Tpa1), Ordeño manual (Tpp2) y Sistemas de disposición de aguas servidas (Otp1) están en mejores condiciones, lo que lleva a orientar la gestión hacia las otras tecnologías y prácticas de producción.

La UA Cerezales presenta un mejor comportamiento, aunque el estado presentado según el índice es inestable, siendo las variables Tanque estercolero (Tpp1), Ordeño manual (Tpp2) y Ordeño mecánico (Tpp3) las que necesitan una mayor prioridad en la implementación, seguidas de las variables Área con actividad agrícola (Pp1) y Ahorro de agua (Otp2).

La de mejor comportamiento es la UA El Espinal ya que presenta un IS1 por encima de 0,6; la variable a la cual se le debe prestar mayor atención en esta UA es Recolección de aguas lluvias (Tpa1), seguido por las tecnologías Biodigestor (Tpa2) y la práctica Área con actividad pecuaria (Pp2).

4.2.2 Índice de Sostenibilidad 2 (IS2)

El ***IS2*** para las diferentes UA varía entre 0,30 y 0,64 (Tabla 8), mostrando que las UA's La Pulgarina, San Francisco y Santa Bárbara se mantuvieron en un estado ***crítico*** con respecto a la implementación de tecnologías y prácticas de producción amigables con el medio ambiente. La UA El Espinal paso de estar en un estado estable a un estado inestable y la UA Cerezales cambio su estado de inestable a estable considerando que es la que mejor comportamiento presenta en cuanto al manejo y mantenimiento de tecnologías y prácticas de producción y la UA Alto de Medina continua en estado ***inestable.***

Los Biogramas obtenidos para el IS2 (Figura 18), cambian considerablemente como se explicó anteriormente, por el análisis de uso, manejo y mantenimiento realizado a las dos variables (Tanque estercolero (Tpp1) y Sistemas de disposición de aguas servidas (Otp1)), mostrando comportamientos diferentes a los presentados en los párrafos anteriores para las UA; este comportamiento se explica a continuación:

Para la UA La Pulgarina el Biograma revela que las variables Área con actividad agrícola (Pp1), Área con actividad pecuaria (Pp2), Recolección de aguas lluvias (Tpa1) y Biodigestor (Tpa2), siguen siendo los indicadores que mayor atención en la implementación deben tener, seguidos por las variables Tanque estercolero (Tpp1), Ordeño manual (Tpp2) y Ordeño mecánico (Tpp3) cuyos valores están entre 0,0 y 0,4. Esta información lleva a orientar la gestión hacia la

implementación, orientación y seguimiento del uso, manejo y mantenimiento de estas tecnologías y prácticas de producción.

En el Biograma de la UA San Francisco se puede observar que las intervenciones de gestión deben orientarse a todas las dimensiones de análisis, haciendo énfasis principalmente hacia la implementación de tecnologías y prácticas de los indicadores Área con actividad pecuaria (Pp2), Recolección de aguas lluvias (Tpa1), Biodigestor (Tpa2), Tanque estercolero (Tpp1), Ordeño manual (Tpp2) y Sistemas de disposición de aguas servidas (Otp1) con una orientación y seguimiento del uso, manejo y mantenimiento de ellas; sin dejar a un lado en esta UA las otras variables que muestran muy poca implementación (por debajo de 0,6).

Para la UA Santa Bárbara, la gestión debe ir orientada a la implementación, orientación y seguimiento del uso, manejo y mantenimiento de las tecnologías y practicas Área con actividad pecuaria (Pp2), Recolección de aguas lluvias (Tpa1) y Sistemas de disposición de aguas lluvias (Otp1), seguidas en prioridad por las variables Biodigestor (Tpa2) y Ordeño manual (Tpp2) cuyos indicadores se encuentran entre 0 y 0,2; las otras tecnologías pueden ser dejadas a un lado para otras intervenciones a más largo tiempo.

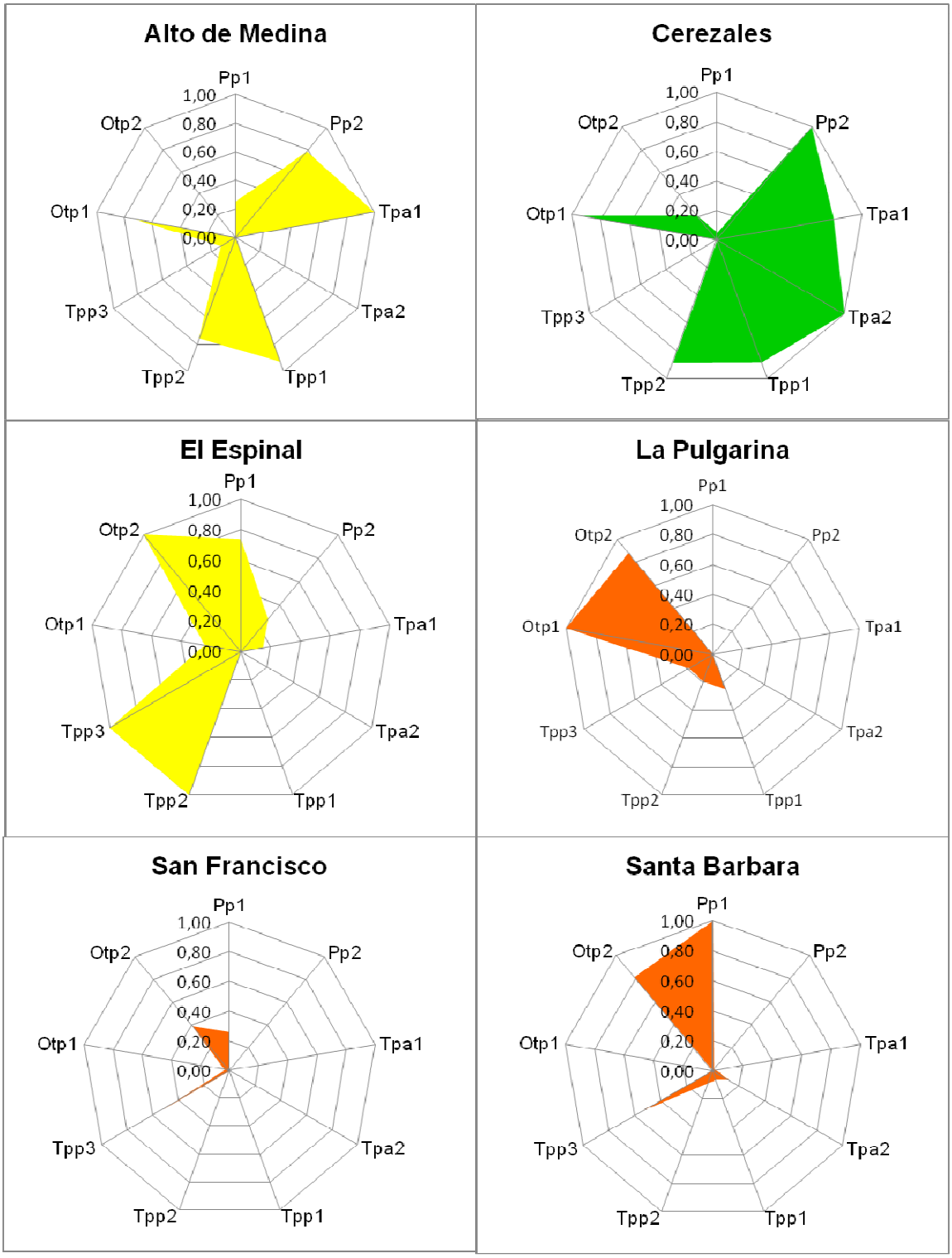


Figura 18. Biogramas obtenidos para cada UA con los indicadores del índice IS2

En el Biograma para la UA Alto de Medina se puede observar que los indicadores Biodigestor (Tpa2) y Ahorro de agua (Otp2) son los que ameritan mayor atención en la implementación, orientación y seguimiento del uso, manejo y mantenimiento, seguidas por los Ordeño mecánico (Tpp3) y Área con actividad agrícola (Pp1), los indicadores Área con actividad pecuaria (Pp2), Recolección de aguas lluvias (Tpa1), Tanque estercolero (Tpp1), Ordeño manual (Tpp2) y Sistemas de disposición de aguas servidas (Otp1) están en mejores condiciones, lo que lleva a orientar la gestión en estas a largo plazo.

La UA Cerezales en el Índice de Sostenibilidad 2 (IS2) pasó a tener un mejor comportamiento debido al uso, manejo y mantenimiento que se les da a las tecnologías y prácticas de producción en los predios de la vereda, sin embargo, para esta UA hay que hacer una intervención en la gestión de Área con actividad agrícola (Pp1) y Ordeño mecánico (Tpp3) en cuanto a orientación y seguimiento del uso, manejo y mantenimiento de las mismas.

La UA El Espinal presenta necesidad de intervención fuerte en las variables Biodigestor (Tpa2) y Tanque estercolero (Tpp1) con respecto a la implementación, orientación y seguimiento del uso, manejo y mantenimiento; las otras variables presentan un buen comportamiento por lo que se puede dejar la intervención para el largo plazo.

4.3 ESPACIALIZACION Y PRIORIZACION DE ZONAS A PARTIR DEL INDICE

Teniendo en cuenta el comportamiento de los Índices IS1 y IS2, se realizó la espacialización en Arcgis y se obtuvieron las Figuras 19 y 20. Cuando se espacializan los índices de sostenibilidad (IS1 y IS2) para cada una de las UA, se encuentra que la parte baja de la microcuenca se encuentra en estado crítico y es allí hacia donde deben ir orientados los programas de gestión para la implementación, orientación y seguimiento en el uso, manejo y mantenimiento de tecnologías de producción buscando mejorar las condiciones del recurso hídrico.

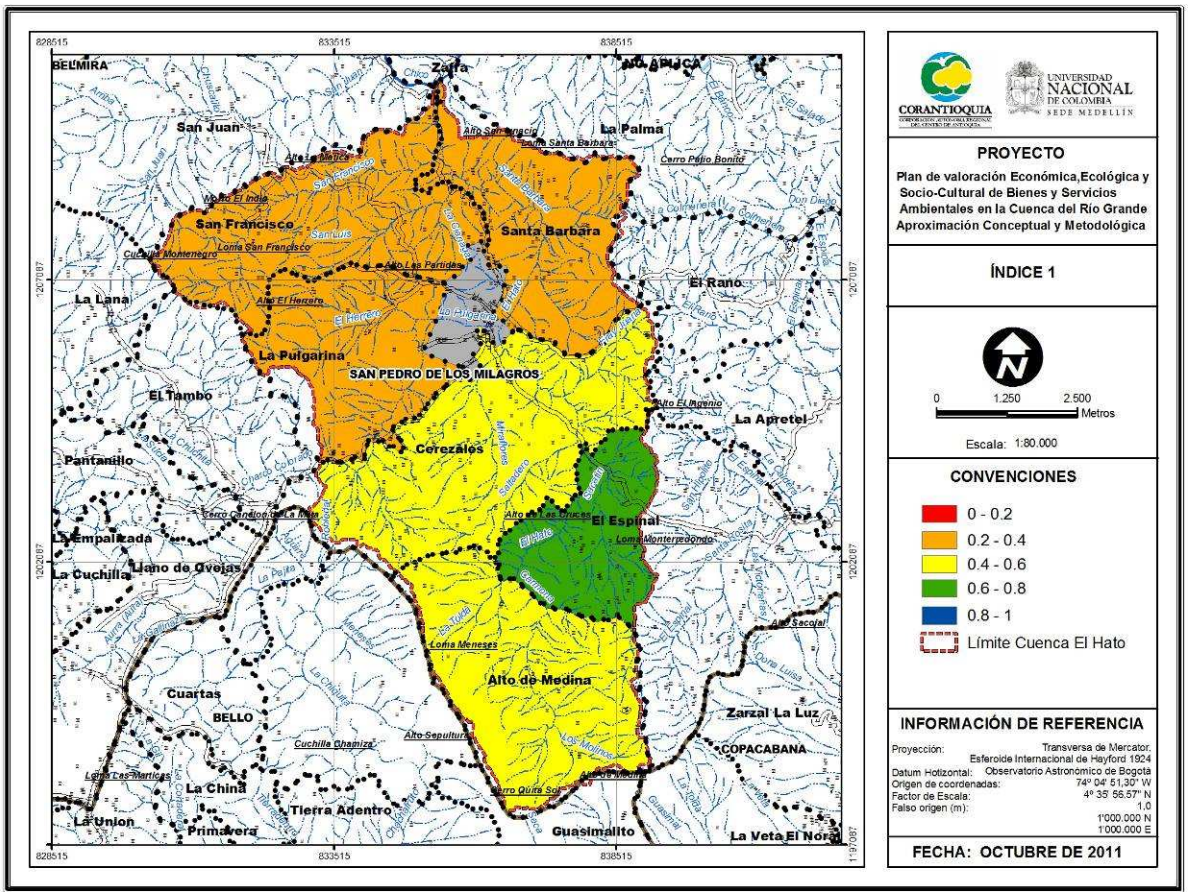


Figura 19. Zonas priorizadas para el índice IS1 en la microcuenca El Hato. Imagen propia elaborada con la información obtenida en el desarrollo del proyecto.

Haciendo una comparación de los dos mapas de las Figuras 19 y 20, las entidades territoriales pueden tomar la decisión de priorizar y fortalecer los procesos de gestión e inversión en la parte baja de la microcuenca donde los dos índices presentan estado crítico para las UA de esta zona. En ambos casos se debe gestionar para ser desarrollado a corto plazo programas y proyectos de implementación, uso, manejo y mantenimiento de las tecnologías y prácticas de producción estudiadas, luego en el mediano plazo la gestión deberá orientarse a la parte alta de la microcuenca y por último en el largo plazo hacer una gestión de intervención en la parte media de la microcuenca.

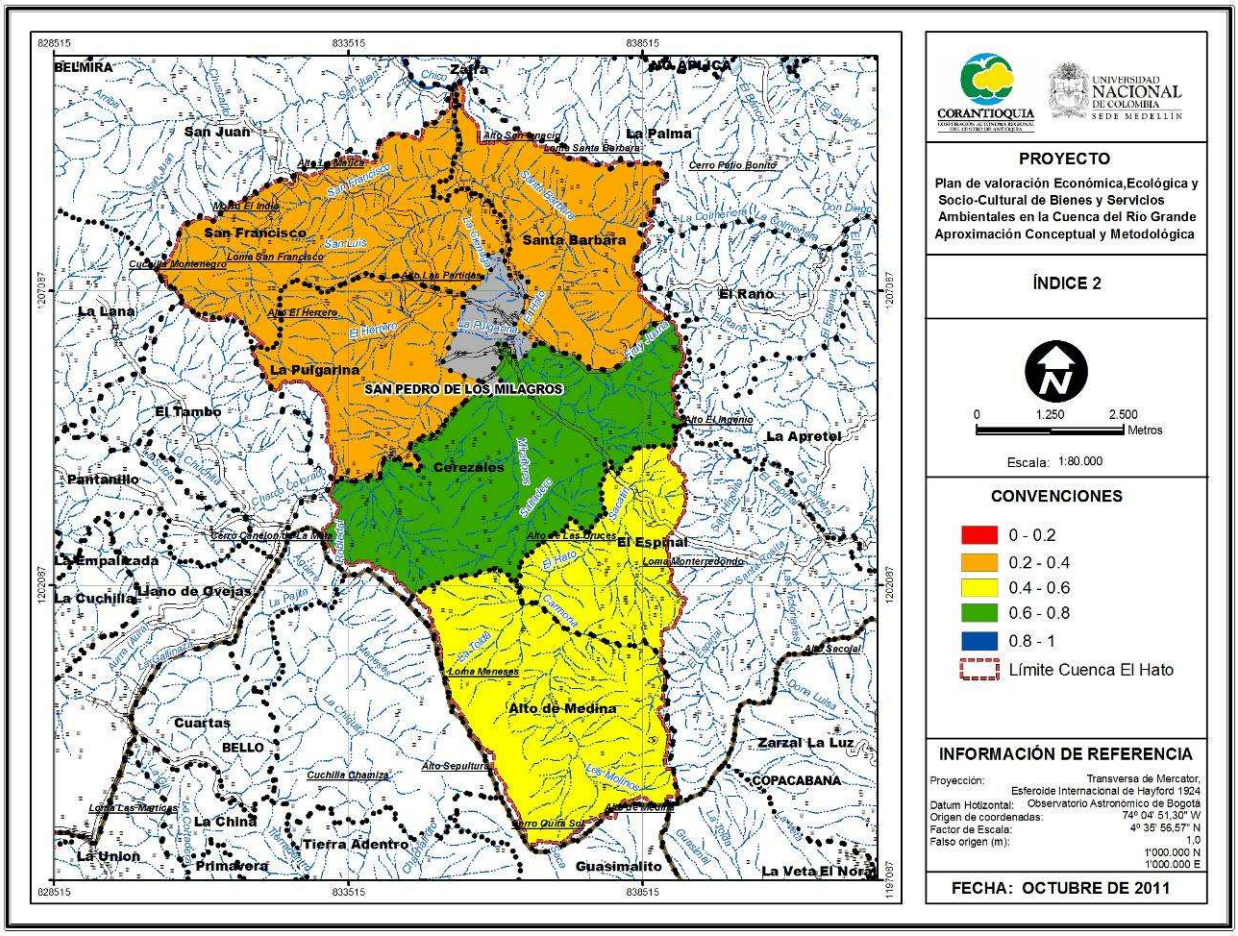


Figura 20. Zonas priorizadas para el índice IS2 en la microcuenca El Hato. Imagen propia elaborada con la información obtenida en el desarrollo del proyecto

4.4 PROGRAMA PROPUESTO

A partir de los Índices de Sostenibilidad de tecnologías y prácticas de producción agrícola y pecuaria y su espacialización tanto en el Biograma como en el mapa de las unidades de análisis (UA), se propone un Programa de Investigación Aplicada, el cual incluyen cuatro líneas temáticas y estratégicas que pueden ser desarrolladas por medio de uno o varios proyectos dentro de cada una de ellas.

FICHA RESUMEN PROGRAMA

PROGRAMA DE INVESTIGACION APLICADA PARA LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO, MONITOREO Y EVALUACION DE LA SOSTENIBILIDAD DE TECNOLOGIAS DE PRODUCCION AGRÍCOLAS Y PECUARIAS EN UNA MICROCUENCA DE MONTAÑA MEDIA.

Líneas temáticas y estratégicas del Programa Propuesto:

- Línea de base sobre tecnologías producción agropecuarias en microcuencas a partir del Índice de sostenibilidad de prácticas agropecuarias.

- Identificación de motivaciones y estrategias adaptativas de la población para la aplicación de las tecnologías y prácticas de producción en las veredas que conforman la microcuenca

- Diseño de Sistema de monitoreo, seguimiento y evaluación de tecnologías de producción agropecuarias en microcuencas a partir del Índice de sostenibilidad.

- Diseño e Implementación de estrategias para el incremento de los índices de sostenibilidad en la microcuenca.

- Diseño de un sistema de implementación de prácticas de producción limpia y disminución en el uso de agroquímicos.

Objetivo del Programa:

- Proveer instrumentos para la implementación de un sistema de seguimiento, monitoreo y evaluación de la sostenibilidad de tecnologías de producción agrícola y pecuaria en una microcuenca de montaña media.

Antecedentes:

A nivel mundial se ha venido presentando un incremento en los impactos ambientales que generan cambios en los recursos naturales y los ecosistemas, estos cambios alteran la utilización de las tierras y la demanda por los servicios ecosistémicos (Villalba, 2008). Según el mismo autor esa degradacion de la tierra se produce por alteraciones que el sistema no puede recuperar por sí mismo y supone la pérdida a largo plazo de las funciones ligadas al sostenimiento de los ecosistemas, afectando una gran proporción de la superficie de tierra y a la población mundial.

Los servicios ecosistémicos son esenciales para el bienestar humano. Se ha venido

evidenciando que las comunidades más pobres padecen desproporcionadamente los efectos de este deterioro, pues dependen primordialmente de los bienes y servicios ambientales para sobrevivir, lo que les hace especialmente vulnerables a los cambios en el medio ambiente (Villalba, 2008). Sin embargo, el incremento de la población aumenta las necesidades de alimentos llevando al mismo tiempo a un incremento de las intervenciones y la contaminación de fuentes hídricas y la degradación de los suelos (FAO, INFO, 2010). Las prácticas agrícolas y pecuarias intensivas y el uso de fertilizantes y plaguicidas en la producción han incrementado esta degradación ambiental (FAO, INFO, 2010 y CORANTIOQUIA y UNAL, 2000). En America Latina y el Caribe unos 300 millones de hectáreas de suelo están afectados por algún tipo de degradación de origen antrópico, manifestando además que el uso inadecuado de la tierra es el problema ambiental de mayor gravedad en la región (Vieira y Wambeke 2002).

Colombia no es ajena a esta problemática, los impactos ambientales en el país han sido mayores que las respuestas o intervenciones institucionales que se han planteado. Las tierras que estaban en bosques se han ido convirtiendo en tierras agrícolas cada vez mas fragmentadas, con implementación de sistemas de producción que no conservan las propiedades inherentes a los recursos naturales, incrementando el desequilibrio ecosistémico de los mismos, dificultando el establecimiento de un uso adecuado desde el punto de vista técnico, económico, social y ambiental de las tierras (Vieira y Wambeke, 2002).

En la región del norte de Antioquia, se ha venido dando un uso intensivo al suelo con sistemas productivos destinados a generar una alta cantidad de recursos económicos, con alto uso de energía e insumos. Estos sistemas de producción en ausencia de tecnologías y prácticas apropiadas causan degradación del suelo, deterioro en la calidad y cantidad del agua y pérdida de fuentes hídricas (García, 2003).

Con el fin de mejorar en acciones que ayuden a un manejo más sostenible del medio ambiente es importante el desarrollo de herramientas que apoyen la toma de decisiones, estableciendo mecanismos que brinden información espacial y temporal para las unidades de gestión en diferentes ámbitos.

Breve resumen del programa:

Se propone la ejecución de un Programa de Investigación aplicada para la implementación de un sistema de seguimiento, monitoreo y evaluación de la sostenibilidad de tecnologías de producción agrícolas y pecuaria. Este programa propone el desarrollo de cinco líneas temáticas y estratégicas las cuales permiten desde la creación de una línea base abordar la gestión ambiental orientando, promoviendo y priorizando la implementación de tecnologías y prácticas de producción en las diferentes unidades de análisis priorizadas a partir del Indice de Sostenibilidad (IS) y la espacialización del mismo tanto en el Biograma como en el mapa de Unidades de Análisis.

Líneas temáticas y estratégicas propuestas:

- Línea de base sobre tecnologías producción agropecuarias en microcuencas a partir del Índice de sostenibilidad de prácticas agropecuarias.

- Identificación de motivaciones y estrategias adaptativas de la población para la aplicación de las tecnologías y prácticas de producción en las veredas que conforman la microcuenca

- Diseño de Sistema de monitoreo, seguimiento y evaluación de tecnologías de producción agropecuarias en microcuencas a partir del Índice de sostenibilidad.

- Diseño e Implementación de estrategias para el incremento de los índices de sostenibilidad en la microcuenca.

- Diseño de un sistema de implementación de prácticas de producción limpia y disminución en el uso de agroquímicos.

Con esta propuesta se pretende contribuir al desarrollo tecnológico en la región, determinando las necesidades y puntos críticos, para así poder entrar a realizar las recomendaciones pertinentes y garantizar la continuidad del uso de las tecnologías y prácticas de producción en el tiempo para que haya una verdadera incidencia sobre los servicios ecosistémicos.

Duración:

4 años

Actores Corresponsables:

Investigadores principales y estudiantes de posgrado, comunidad de la microcuenca, Entidades municipales y Corporaciones Autónomas Regionales.

Presupuesto:

$768.214.250.oo

Impactos Esperados

Un estudiante de doctorado con tesis avanzada
Tres estudiantes de maestría con tesis terminada
Un artículo nacional (maestría)
Una ponencia nacional (maestría)
Un artículo internacional (doctorado)
Una ponencia internacional

5. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Se pudo constatar en la aplicación de la encuesta que la adopción de tecnología por parte de los productores es muy variable, como afirma Vicini, 2004, esta depende en muchas ocasiones del grado de educación, de la experiencia previa, del sistema de producción en que esté involucrado, del costo que tiene la innovación, su complejidad de aplicación, e inclusive puede estar condicionada por cuestiones culturales, políticas y religiosas.

La utilización de la información sobre uso y manejo que se le da a cada una de las tecnologías y prácticas de producción por parte de los productores, cambia considerablemente el índice de sostenibilidad para la UA, por lo cual es necesario tener en cuenta cuando se va a diseñar la herramienta de recolección de información, hacer énfasis en este aspecto para tener suficientes datos para hacer el análisis respectivo a cada variable.

Para la obtención del índice de sostenibilidad de tecnologías y prácticas de producción se puede tener mayor número de UA y de dimensiones de análisis según la región dentro de la cual se esté realizando el estudio. Es importante tener claro el ámbito de aplicación de la metodología para la obtención del Índice de sostenibilidad (IS).

El índice de sostenibilidad de prácticas de producción (IS) se propone como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en la gestión ambiental tanto para entidades de carácter jurídico como para la comunidad.

La aplicación de este programa debe llevar a mejorar la situación de deterioro en que se encuentran los recursos naturales en la microcuenca, expandir las posibilidades de disminuir los impactos que se presentan por la producción agrícola y pecuaria, contribuyendo de este modo al progreso de los productores y de su entorno.

En la implementación del programa propuesto debe asegurarse de hacer un análisis detallado de las percepciones que tienen los usuarios sobre la implementación, uso y manejo de las tecnologías para tomar las decisiones posteriores.

Todo proceso de planificación debe ser construido a partir de las necesidades y prioridades de los usuarios del suelo y de la población que se afecte con la implementación de los mismos planes, programas o proyectos.

Se deben adoptar de manera generalizada enfoques participativos y plurales en materia de ordenación del territorio y de los recursos suelo y agua, que contemplen una creciente descentralización y responsabilidad local.

Dentro de los retos que se tienen para mejorar la seguridad alimentaria y los medios de vida de las poblaciones pobres están el de mantener la oferta de los servicios ecosistémicos, concertar el uso del suelo y de los recursos hídricos con otros usos.

BIBLIOGRAFÍA

Altieri, M. A., Gurr, G. M., & Wratten, S. D. (2004). Genetic engineering and ecological engineering: a clash of paradigms or scope form synergy. En G. M. Gurr, S. D. Wratten, & M. A. Altieri, *Ecological Engineering for pest management: Advances in habitat manipulation form artropods* (pág. 244). Collingwood Victoria: CSIRO Publishing.

Altieri, M. (2001). Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. En M. Altieri, *Agroecología: El Camino hacia una Agricultura Sustentable.* Ediciones Científicas Americanas.

Altieri, M., & Nicholls, C. (2000). *Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable* (Primera ed.). México D.F.

Altieri, M., & Nicholls, C. (2002). Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* (64), 17-24.

Amezquita, E. (2001). *Hacia la sostenibilidad de los suelos en los Llanos Orientales de Colombia.* Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Santiago de Cali.

Angel, E., Carmona, S., & Villegas, L. (2007). *Gestion ambienal en proyectos de desarrollo.* Medellín.

Araya, P., Díaz, R., & Fernández, L. (1995). *El desarrollo sostenible: un desafío a la política económica agroalimentaria.* San José de Costa Rica.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PORCICULTORES (ACP), CORNARE, CORANTIOQUIA y MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA). (1996). *Manejo de elementos de la producción porcina que pueden causar efecto ambiental.* Medellín.

Avila, S. (2003). Producción de leche con ganado Bovino. Mexico.

Ballén, J., Galarza, M., & Ortiz, R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. *VI SEREA - Seminário Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de água.*, (pág. 12). João Pessoa (Brasil).

Bentivegna, M., Feldman, P., & Kaplan, R. (2005). *http://www.alimentosargentinos.gov.ar/programa_calidad/boletincalidad/Boletin_BPA_frutihorticola.pedf; consulta: 16/10/2011.* Recuperado el 16 de 10 de 2011

Berroterán, J., & Zinck, J. (2000). Indicadores de la sostenibilidad agrícola nacional cerealera. Caso de estudio: Venezuela. *Revista Facultad Agronomia (LUZ)* (17), 139-155.

Cárdenas, G. I., Giraldo, H., Idárraga, A., & Vásquez, L. N. (2005). *Desarrollo y validación de metodología para evaluar con indicadores la sustentabilidad de sistemas productivos campesinos de la asociación de caficultores orgánicos de Colombia - ACOC.* Santa Rosa de Cabal.

Conesa, V. (2009). *guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (Cuarta ed.). España.

CORANTIOQUIA, UNAL. (2000). *Identificación y valoración de los sistemas productivos en el área de manejo especial del sistema de páramos y bosques altoandinos del noroccidente medio antioqueño con el fin de establecer mecanismos de compensación.* Medellín.

Díaz, A. (2008). *Buenas Prácticas Agrícolas: Guía para pequeños y medianos agroempresarios.* Tegucigalpa.

Díaz, R., Suárez, L., Rivera, B., & Estrada, R. (1998). Sistema cerdos-pastos-leche: un modelo de análisis económico y ambiental. 1-15.

Domínguez, E. A., Rivera, H. G., Vanegas, R., & Moreno, P. (2008). Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano. *Revista academica colombiana , 123* (32), 195-212.

EUROPEAN COMMISSION y EUROSTAT. (1999). Towards Environmental Pressure Indicators for the EU. Recuperado el 24 de 10 de 2011

FAO, INFO. (2010). *Experiencias en prácticas de manejo de aguas servidas para la producción agrícola a pequeña escala. Recomendaciones de políticas públicas en el ámbito local.* Santiago de Chile.

Fernández-Jaúregui, C. (2011). *Documento de debate: agua y energía.* Madrid.

Garcia, L. A. (2003). Indicadores técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del río Tascalapa Yoro, Honduras. Turrialba, Costa Rica.

Garcia, L. (2003). *Indicadores técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del río Tascalapa Yoro, Honduras.* Turrialba.

Guhl, E. (2003). *El futuro del agua. Equidad, desarrollo y sostenibilidad.* Bogotá.

Hidalgo, M., & Mejía, E. (2010). Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la quebrada La Macana, San Antonio de Prado. Municipio de Medellín. Medellín.

Lansing, S., Víquez, J., Martínez, H., Botero, R., & Martin, J. (2008). Quantifying electricity generation and waste transformations in a low-cost, plug-flow anaeronic digestion system. *Ecological Engineering* (34), 332-348.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2010). *Guía técnica para la difusión de tecnologías de producción agropecuaria sostenible.* (Primera ed.). San José, Costa Rica.

MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENTA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDT), SOCIEDAD DE AGRICULTORES DE COLOMBIA (SAC) y ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PORCICULTORES (ACP). (2002). *Guia Ambiental para el subsector porcicola.* Bogotá D.C.

Mongil, J., & Martinez de Azagra, A. (2007). Técnicas de recoleccion de agua y de oasificación para el desarrollo de la agricultura y la restauración forestal en regiones desfavorecidas. *Cuadernos Geográficos* (40), 67-80.

Müller, S. (1997). Evaluating the sustainability of agriculture. The case of the Reventado river watershed in Costa Rica. (E. U. V., Ed.) *Economics and Management* (2194), 1-223.

Navarro, J. (2004). Introducción al diseño y análisis del muestreo de poblaciones finitas. En *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales.*

Ortiz, O. (2001). La información y el conocimiento como insumos principales para la adopción del manejo integrado de plagas. *Manejo Integrado de Plagas* (61), 12-22.

Perez, M. (2005). De lo global a lo local. Liberalización comercial y uso del agua en la agricultura Colombiana: Balance para el período 1961 - 2004. *Conferencia Internacional: De la Acción Local a las Metas Globales*, (pág. 14). Cali.

Quiroga, R. (2009). *Guia metodologica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en paises de America Latina y el Caribe.* Santiago de Chile: Cepal. Naciones Unidas.

Ramírez, L., Alvarado, A., Pujol, R., McHugh, A., & Brenes, L. G. (2008). Indicadores para estimar la sostenibilidad agrícola de la cuenca media del río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense , 2* (32), 93 - 118.

Ramos, M. G., Pérez, J., & Garcia, A. (2008). Uso de Plaguicidas. En *Actividades Productivas: Sistemas de produccion agropecuaria.* Mexico.

Razola, I., Rey Benayas, J. M., de la Montaña, E., & Cayuela, L. (2006). Selección de áreas relevantes para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas , 15* (2), 34-41.

Rojas, R. (2002). Sistemas de tratamiento de aguas residuales. En CEPIS/OPS-OMS (Ed.), *Gestion Integral de Tratamiento de Aguas Residuales*, (págs. 25-27).

San Pedro de los Milagros. (2011). *Plan de educación ambiental municipal San Pedro de los Milagros.* San Pedro de los Milagros.

Segnestam, L., Winograd, M., & Farrow, A. (2000). *Desarrollo de indicadores. Lecciones apreendidas de America Central.* Estados Unidos.

Sepúlveda, S. (2008). *Biograma: Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios.* (IICA, Ed.) San José, Costa Rica.

Serageldin, I. (1996). El desarrollo sostenibl: De la idea a la acción. *Finanzas y Desarrollo , 4* (33), 3.

Soto, M. (2009). *Agricultura e impato ambiental en México.* México.

Torres, D., & Capote, T. (2004). Agroquímicos un problema ambiental global: uso del análisis químico como herramienta para el monitoreo ambiental. *Ecosistemas , 3* (13), 2-6.

UNESCO-WWAP. (2006). *El Agua, una responsabilidad compartida. 2o. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el Mundo.* Paris.

Valle, S., Bevilacqua, A., Magrini, G., & Borges de Oliveira, M. (2011). Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property. *Science Direct* , 2608-2618.

Vicini, L. (2004). Adopción de tecnología agrícola. *Horizonte Agroalimentario* , 10-13.

Vieira, J. V., & Wambeke, J. V. (2002). Planificación del uso de la tierra enfocada al suelo y el agua:La experiencia de la FAO en América Latina y el Caribe. *XIV Reunión Brasileña de manejo y conservacion de suelos y agua. Sociedad Brasileña de Ciencias del Suelo.*, (pág. 19). Mato Grosso, Cuibá.

Villalba, A. (2008). Panorámica de la problemática medioambiental en el mundo y en España. *Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa* (61), 7-30.

YALE CENTER FOR ENVIRONMENTAL LAW AND POLICY (YCELP), CENTER FOR INTERNATIONAL EARTH SCIENCE INFORMATION NETWORK (CIESIN). (s.f.). Recuperado el 2005

Zinck, J., & Farshad, A. (1995). Issues o sustainability and sustainable land management. *Soil Science* (75), 407_412.

Microcuenca El Hato, San Pedro de los Milagros