

Inventario de fuentes de contaminación en el acuífero superior de la Mesa de los Santos
(Santander).

Iván Yesid Romero Pimiento y Camilo Andrés Urrea Merchán

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Civil

Director

Isabel Cristina Domínguez Rivera

PhD. en Agricultura, Alimentos y Desarrollo Rural

Codirector

Luisa Casadiegos Agudelo

Geóloga

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico – mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a:

A mis padres Henry Romero y Myriam Pimiento, por orientarme correctamente a lo largo de mi vida, por darme la oportunidad de formarme profesionalmente y sobre todo por su apoyo incondicional que junto a mi hermano Camilo Romero me brindaron para lograr esta meta.

A cada uno de mis familiares que durante este camino aportaron de diferentes maneras valor a mi crecimiento personal y profesional.

A mis compañeros y amigos universitarios que me ofrecieron su mano sin condición y me empujaron a esforzarme cada vez más, en especial a mi compañero de proyecto y a Anny, que seguramente desde el cielo al igual que los demás, siempre lo hizo.

A la Tuna UIS por abrirme sus puertas para expresar mi talento y permitirme vivir de la universidad una experiencia diferente, llena de valor y cultura, que sin duda alguna harán de mi un mejor profesional y más aún, una mejor persona.

Iván Yesid Romero Pimiento

Este trabajo está dedicado a:

A mis padres Luis Fernando Urrea Merchán y Edilma Merchán Mejía, por darme la oportunidad de formarme profesionalmente y por su apoyo incondicional para lograr esta meta.

A cada uno de mis familiares en especial a mi tía Nubia Merchán que durante este camino aportaron de diferentes maneras a mi crecimiento personal.

A mis amigos que ofrecieron su apoyo incondicional y apoyaron a esforzarme cada vez más, en especial a mi compañero de proyecto.

Camilo Andrés Urrea Merchán

Agradecimientos

Al grupo de investigación en recursos hídricos y saneamiento ambiental GPH por la colaboración prestada durante el proyecto. A la profesora Isabel Domínguez y a la geóloga Luisa Casadiegos por su buena disposición y su guía en el desarrollo del proyecto. A los profesores y a todas las personas que de alguna u otra forma contribuyeron a la realización de este proyecto.

Contenido

	Pág.
Introducción	15
1. Objetivos	17
1.1 Objetivo General	17
1.2 Objetivos Específicos.....	17
2. Marco Referencial.....	17
2.1 Acuíferos.....	17
2.2 Fuentes de contaminación de los acuíferos.....	19
2.3 Vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación.....	20
2.4 Inventario de fuentes de contaminación	21
2.5 Cobertura de tierras.....	24
2.6 Método Pollutant Origin Surcharge Hydraulically (POSH).....	25
3. Metodología	26
3.1 Zona de estudio	26
3.2 Fase I: Recopilación de información primaria y secundaria.....	31
3.3 Fase II. Cobertura de tierras.....	32
3.4 Fase III. Corroboración en campo	33
3.4.1 Metodología planteada para la visita de campo.....	34
3.4.1.1 Protocolo salida de campo para ajustes del mapa de coberturas y generación de información para creación del mapa de uso de suelos.....	34

3.4.1.2 Análisis y procesamiento de datos.....	42
3.5 Fase VI. Clasificación de las fuentes contaminantes puntuales y difusas	44
3.6 Fase V: Generación de Mapas y Análisis	48
4. Resultados.....	49
4.1 Identificación de fuentes de contaminación.....	49
4.1.1 Corroboración en campo de actividades potenciales generadoras de contaminación	52
4.1.2 Actividad agrícola.....	52
4.1.2.1 Sistema de producción de tabaco.....	52
4.1.2.2 Sistema de producción de tomate.	53
4.1.2.3 Sistema de producción de pimentón, habichuela, pepino y otros.	53
4.1.2.4 Sistema de producción de yuca.....	54
4.1.2.5 Sistema de producción de maíz y frijol.....	54
4.1.2.6 Sistema de producción de piña y patilla.	55
4.1.2.7 Otros sistemas de producción agrícolas.....	55
4.1.3 Actividad Pecuaria.....	55
4.1.3.1 Sistema de producción bovino.....	55
4.1.3.2 Sistema de producción avícola.....	56
4.1.4 Industria y Minería.....	57
4.1.4.1 Sector Minero.....	57
4.1.4.2 Sector Hidrocarburos.	58
4.1.5 Desarrollo Urbano.....	59
4.1.5.1 Parcelaciones.....	59
4.1.5.2 Residuos sólidos.....	59

4.1.5.3 Aguas residuales.	59
4.2 Peligros Relacionados con las Fuentes Identificadas.....	60
4.2.1 Actividad Agrícola.....	60
4.2.1.1 Sistema de producción de tabaco.....	60
4.2.1.2 Sistema de producción de tomate.	61
4.2.1.3 Sistema de producción de café.....	61
4.2.1.4 Sistema de producción de piña y patilla.	61
4.2.1.5 Sistema de producción de yuca.....	62
4.2.1.6 Sistema de producción de maíz y frijol.....	62
4.2.1.7 Sistema de producción de pimentón, habichuela, pepino y otros.	62
4.2.2 Actividad Pecuaria.....	63
4.2.1.8 Sistema de producción bovino.....	63
4.2.1.8 Sistema de producción avícola.....	63
4.2.3 Industria y Minería.....	66
4.2.3.1 Sector minero.....	66
4.2.3.2 Sector hidrocarburos.	66
4.2.4 Desarrollo Urbano.....	68
4.2.4.1 Parcelaciones.....	68
4.2.4.2 Residuos sólidos urbanos.....	69
4.2.4.3 Aguas Residuales.....	69
4.3 Cobertura de tierras: Método CORINE Land Cover, Colombia.....	70
4.4 Clasificación de las fuentes de contaminación, método Pollutant Origin Surcharge Hydraulically (POSH).....	73

4.5 Mapa general inventario de fuentes de contaminación.....	76
4.6 Recomendaciones para el control a la contaminación	78
4.6.1 Recomendaciones y Acciones para el Control del Sector Agrícola	78
4.6.2 Recomendaciones y Acciones para el Control del Sector Desarrollo urbano	78
4.6.3 Recomendaciones y Acciones para el Control del Sector Pecuario	79
4.6.4 Recomendaciones y Acciones para el Control del Sector Industria y minería	79
5. Conclusiones	81
Referencias Bibliográficas	83

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Clasificaciones y características de los acuíferos.	18
Figura 2. Usos del suelo que normalmente generan amenazas de contaminación del agua.	19
Figura 3. Parámetros del agua que pueden ser alterados por un contaminante.	20
Figura 4. Localización y división municipal de la zona de estudio.	30
Figura 5. Elaboración del mapa social en la Vereda Los Cacaos.	34
Figura 6. Ejemplo de mapa de recursos naturales y uso de la tierra.	36
Figura 7. Plantilla Sistema de Producción Agrícola.	38
Figura 8. Plantilla Sector Pecuario, Avícola.	39
Figura 9. Plantilla Sector Pecuario, Vacuno.	39
Figura 10. Plantilla Desarrollo Urbano, Viviendas y Colegios.	40
Figura 11. Ejemplo de la tabla en Excel para base de datos.	42
Figura 12. Distribución de datos de la libreta Digital en Power Point.	43
Figura 13. Clasificación de las Actividades Potencialmente Contaminantes.	45
Figura 14. Actividades Potencialmente Contaminantes.	46
Figura 15. Clasificación de las Actividades Potencialmente Contaminantes.	47
Figura 16. Sistemas de Producción Agrícolas.	50
Figura 17. Principales Usos del Suelo.	51
Figura 18. Minas Bajo Jurisdicción del Municipio de Los Santos.	58
Figura 19. Actividad Avícola en Zona de Estudio.	65

Figura 20. Afecciones al medio en las estaciones de servicio.	67
Figura 21. Cobertura de la Zona de Estudio, Clasificación no supervisada.	70
Figura 22. Mapa de Cobertura - Metodología Corine Land Cover.....	72
Figura 23. Clasificación por generación de carga contaminante, ocurrencia temporal y espacial según método POSH.	74
Figura 24. Mapa de fuentes de contaminación según método POSH.....	75
Figura 25. Mapa general Inventario de fuentes de contaminación.	77

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Información Secundaria recopilada para la Zona de Estudio.	31
Tabla 2. Contacto Lideres Sociales.....	35

Lista de Apéndices

Ver apéndices adjuntos, pueden ser consultados en la base de datos de la Biblioteca UIS

Apéndice A. Nube de Puntos y Archivo Fotográfico

Apéndice B. Mapas Sociales

Apéndice C. Resultados Metodología POSH

Apéndice D. Mapa Metodología POSH

Apéndice E. Mapa General Inventario Fuentes de Contaminación

Resumen

Título: Inventario de fuentes de contaminación en el acuífero superior de la Mesa de los Santos (Santander)*

Autores: Iván Yesid Romero Pimiento, Camilo Andrés Urrea Merchán**

Palabras clave: inventario de fuentes de contaminación, aguas subterráneas, POSH, Mesa de los Santos.

Descripción:

En la Mesa de Los Santos (Santander), la escasez de agua superficial hace que los habitantes dependan significativamente de las aguas subterráneas. Así mismo, el aumento de diferentes actividades humanas en la región en las últimas décadas representa potenciales problemas de contaminación, lo que hace necesario proteger los acuíferos de la zona. Este trabajo tuvo como objetivo general realizar el inventario de fuentes de contaminación del acuífero superior de la Mesa de Los Santos. Los objetivos específicos incluyeron caracterizar las fuentes de contaminación y recomendar acciones para su control. Para esto se reunió información primaria y secundaria para identificar, clasificar y generar mapas de las actividades que afecten el acuífero. Luego, las fuentes de contaminación se caracterizaron usando la metodología POSH (Pollutant Origin and Surcharge Hydraulically), que analiza el origen del contaminante y su carga, generando tres niveles cualitativos de potencial a la contaminación del subsuelo. Según este método, en la zona, el 45.5% de las fuentes tenían un potencial de contaminación elevado, el 40.9% moderado y el 13.6% reducido. Las fuentes de potencial elevado fueron los sistemas de producción agrícola, avícola y bovino, los residuos sólidos e industrias como las de procesamiento de metal y los talleres mecánicos, localizados en las veredas El Carrizal, La Fuente, La Esperanza, Los Cacaos, entre otras. Para minimizar la polución de estas fuentes se recomienda mejorar las prácticas relacionadas con el uso de agroquímicos, mayor control de las aguas residuales y mejor disposición de los residuos sólidos. Los resultados obtenidos pueden aportar en futuras investigaciones que requieran profundizar en la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas y la implementación de estrategias para su control.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera. PhD. en Agricultura, Alimentos y Desarrollo Rural. Codirector: Luisa Casadiegos Agudelo, Geóloga

Abstract

Title: Inventory of contamination sources in the upper aquifer of Mesa de los Santos (Santander)*

Authors: Iván Yesid Romero Pimiento, Camilo Andrés Urrea Merchán**

Keywords: pollution sources inventory, groundwater, POSH, Mesa de los Santos.

Description:

In Mesa de Los Santos (Santander), the scarcity of surface water makes the inhabitants significantly dependent on groundwater. Likewise, the increase in different human activities in the region in recent decades represents possible pollution problems, demanding initiatives to protect the aquifers in the area. The general objective of this work was to carry out an inventory of pollution sources in the upper aquifer of Mesa de Los Santos. The specific objectives included characterizing pollution sources and recommending actions for their control. For this, primary and secondary information was gathered to identify, classify, and generate maps of the activities that affect the aquifer. Then, pollution sources were characterized using the POSH methodology (Pollutant Origin and Hydraulic Surcharge), which analyzes the origin of the pollutant and its load, generating three qualitative levels of potential pollution of the subsoil. According to this method, in the area, 45.5% of the sources had a high pollution potential, 40.9% moderate and 13.6% reduced. The sources of high potential were agricultural, poultry and cattle production systems, solid waste, and industries such as metal processing and mechanical workshops located in the villages of El Carrizal, La Fuente, La Esperanza, Los Cacaos, among others. To minimize pollution from these sources, it is recommended to improve practices related to the use of agrochemicals, greater control of wastewater and better solid waste disposal. The results may contribute to future research that requires an in-depth study of groundwater pollution vulnerability and the implementation of strategies for its control.

* Work of Degree

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera. PhD. en Agricultura, Alimentos y Desarrollo Rural. Codirector: Luisa Casadiegos Agudelo, Geóloga

Introducción

Los acuíferos subterráneos contienen más del 95% del agua dulce disponible del planeta y la mayoría de ellos son transfronterizos. En las regiones áridas y semiáridas son a menudo la única fuente de agua (Organización de las Naciones Unidas, 2021), por tal razón es de vital importancia garantizar la estabilidad ambiental de tales formaciones geológicas.

Las fuentes de contaminación se clasifican en naturales o artificiales. Las naturales generalmente son dispersas y de bajas concentraciones, mientras las artificiales se concentran en zonas de actividades antropogénicas (Encinas, 2011).

El diseño de un inventario de fuentes potencialmente contaminantes de acuíferos comprende la identificación, localización espacial y caracterización sistemática de todas las fuentes, junto con la obtención de información sobre su evolución histórica donde sea apropiado y posible (González Herrera et al., 2018). El principal objetivo de un inventario de peligros es cubrir toda la variedad de amenazas que se consideran relevantes para el agua subterránea y permitir, a través de una clasificación razonable, el mapeo y la evaluación de los peligros de una manera fácil y práctica (González Herrera et al., 2018).

Según Minambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), el inventario debe incluir aquellas fuentes que generan o pueden llegar a generar lixiviación o flujos preferenciales con solutos que alteren la calidad natural de las aguas subterráneas. Así mismo, recomienda la realización de visitas en campo, en caso de que se requiera, y aplicar encuestas diseñadas para capturar información detallada sobre la carga contaminante para categorizar las fuentes potenciales de contaminación, por tipo de actividad y valorar los contaminantes que se

pueden convertir en una amenaza para el recurso hídrico subterráneo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

El acuífero superior de la Mesa de Los Santos juega un papel fundamental para el sostenimiento de quienes habitan y concurren dicha zona, esto es debido a que los pozos perforados son una de las principales fuentes de abastecimiento de agua para satisfacer las distintas necesidades de la población. En los últimos años, la Mesa de Los Santos ha tenido un desarrollo significativo en varios sectores, entre ellos: agrícola, avícola, urbano y turístico; siendo por esto que el acuífero como fuente fundamental de abastecimiento de agua se ve amenazado por las actividades que se desarrollan sobre el suelo.

Por lo tanto, el objetivo general de esta investigación es realizar el inventario de las fuentes de contaminación del acuífero superior de la Mesa de los Santos, Santander-Colombia. Los objetivos específicos son: caracterizar las fuentes de contaminación en el área de estudio y recomendar acciones para el control de la contaminación. Para esto, la presente investigación, usa información primaria y secundaria para clasificar las fuentes contaminantes mediante el método Pollutant Origin Surcharge Hydraulically (POSH), y desarrollar mapas de las fuentes a través del software ArcGIS.

Finalmente, se recomiendan acciones para el control de la contaminación existente en la zona. Este trabajo ofrece un panorama general de las diferentes actividades influyentes en el área de interés que de alguna u otra manera pueden afectar al ecosistema léntico, generando información para un futuro estudio de vulnerabilidad del acuífero, que permita establecer medidas que garanticen la estabilidad de los depósitos de agua subterránea.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Realizar el inventario de las fuentes de contaminación del acuífero superior de la Mesa de los Santos, Santander-Colombia.

1.2 Objetivos Específicos

Caracterizar las fuentes de contaminación en el área de estudio;

Recomendar acciones para el control de la contaminación.

2. Marco Referencial

2.1 Acuíferos

Un acuífero es la formación geológica que contiene y permite transportar agua por ella, como lo son las gravas, arenas, granito y otras rocas compactas con grietas apreciables (Román, s. f.). Los acuíferos son clasificados según su comportamiento para transportar y almacenar agua, a través de su comportamiento hidráulico y la estructura del terreno (Ruiz & Martinez, 2015).

Según su transmisividad, los acuíferos se encuentran divididos en acuífero, acuitardo, acuícluido y acuífugo; según su comportamiento hidráulico se dividen en confinado, semiconfinado, libres y colgados; según su porosidad puede ser primaria o secundaria (Ruiz & Martínez, 2015). En la Figura 1 se relaciona la clasificación de los diferentes tipos de acuíferos con sus principales características.

Figura 1.

Clasificaciones y características de los acuíferos.

TRANSMISIVIDAD		COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO		POROSIDAD	
Acuífero	Formación geológica que contiene y permite transportar agua por ella.	Libre	Son aquellos en los que el nivel freático o nivel de saturación se encuentra a presión atmosférica.	Primaria	Es la que resulta al originarse la formación geológica, también de sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular.
Acuitardo	Formación geológica que contiene agua, pero el agua circula con a través de ella con dificultad.	Semiconfinado	Son aquellos donde su capa superior se encuentra a presión, la capa es semipermeable o también denominados acuitardos.		
Acuícluido	Formación geológica que contiene agua y que no permite que el agua circule a través de ella.		Confinado	Son aquellos que tiene un espesor fijo y su lámina de agua superior se encuentra a una presión mayor que la atmosférica.	Secundaria
Acuífugo	Formación geológica que no contiene agua porque no permite que circule a través de ella.				

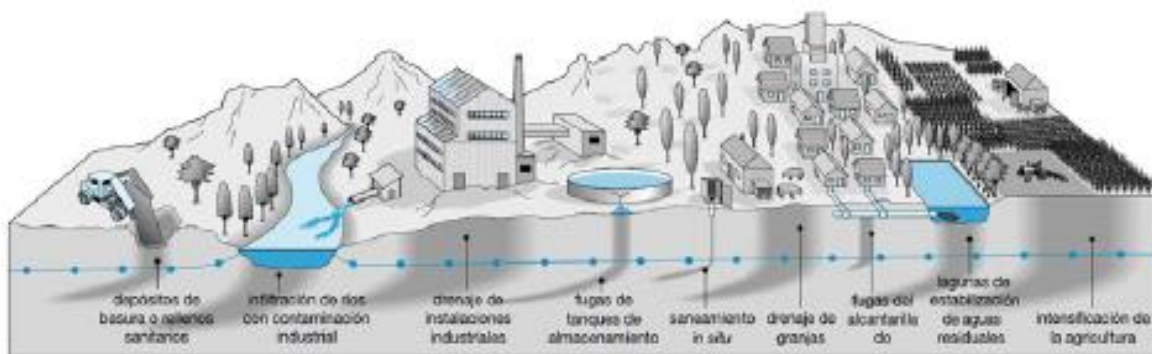
Nota: Tomado y modificado de Román (sin fecha a) y Ruiz y Martínez (2015).

2.2 Fuentes de contaminación de los acuíferos

El agua se contamina cuando contiene compuestos que impiden su uso, por ello, las fuentes de contaminación se clasifican en naturales o artificiales (antropogénicas). Las fuentes naturales generalmente son dispersas y de bajas concentraciones, mientras las antropogénicas se concentran en zonas industriales, ciudades entre otras. Los principales focos de contaminación antropogénica son: la industria, los vertidos urbanos, la navegación (contaminación por hidrocarburos) y la agricultura y ganadería (Ver Figura 2) (Encinas, 2011).

Figura 2.

Usos del suelo que normalmente generan amenazas de contaminación del agua.



Nota: Tomado de (INGEOEXPLORACIONES S.A.S., 2016).

Los acuíferos se ven afectados por contaminación puntual y difusa. La contaminación puntual afecta zonas específicas, debido a vertederos, pozos sépticos y se relacionan a actividades urbanas (Encinas, 2011). La contaminación difusa afecta zonas amplias y el foco es difícil de identificar, por lo general están relacionadas a la actividad agropecuaria (Encinas, 2011). Los acuíferos son más difíciles de contaminar debido a que el terreno que las confina actúa como un

filtro, sin embargo, una vez contaminado el acuífero será más difícil de depurar (Encinas, 2011). Estos procesos de depuración son demasiado costosos y no son siempre eficaces. Lo mejor es protegerlos y prevenir su contaminación (Encinas, 2011). La Figura 3 muestra algunos parámetros del agua afectados por un contaminante.

Figura 3.

Parámetros del agua que pueden ser alterados por un contaminante.

FÍSICAS:	QUÍMICAS	BIOLÓGICAS
Color Olor y sabor Conductividad Temperatura Materiales en suspensión Radiactividad Espumas	pH O ₂ disuelto (OD) DBO ₅ , DQO, COT Nitrógeno total Fósforo total Aniones: Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , S ²⁻ , CN ⁻ , F ⁻ Cationes: Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , NH ₄ ⁺ Metales pesados Compuestos orgánicos	Bacterias coliformes Virus Microorganismos Animales Plantas

Nota: Tomado de Encinas (2011).

2.3 Vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

Para Ruiz & Martínez, (2015), la vulnerabilidad de los acuíferos es impactada por factores de contaminación y están relacionadas al tipo de protección de la cubierta que posean los acuíferos. Hay dos tipos de vulnerabilidad, la intrínseca y la específica, donde la vulnerabilidad intrínseca no tiene en cuenta comportamientos ni factores de contaminantes particulares y se refiere a la vulnerabilidad natural del agua subterránea, que depende de su sensibilidad a los impactos naturales, sensibilidad que está en función de las características hidrogeológicas que lo rodean

(Fernández, 2013). Por otra lado, la vulnerabilidad específica solo toma un grupo de contaminantes con características similares (Ruiz & Martinez, 2015).

La realización de inventarios de fuentes de contaminación es una actividad relevante que es un insumo fundamental para el estudio de la vulnerabilidad de los acuíferos.

2.4 Inventario de fuentes de contaminación

El diseño de un inventario de fuentes potencialmente contaminantes de acuíferos comprende la identificación, localización espacial y caracterización sistemática de todas las fuentes, junto con la obtención de información sobre su evolución histórica donde sea apropiado y posible. El principal objetivo de un inventario de peligros es cubrir toda la variedad de amenazas que se considera relevantes para el agua subterránea y permitir, a través de una clasificación razonable, el mapeo y la evaluación de los peligros de una manera fácil y práctica (González Herrera et al., 2018).

A partir de la revisión de literatura se encontraron estudios adelantados en acuíferos con extensiones aproximadas entre 1,100 – 40,000 Km². Para realizar el inventario de las fuentes en las investigaciones se han usado los métodos: COST Action 620, donde identifican el uso del suelo a escala regional, evalúan el grado de peligrosidad de los contaminantes y categorizan mediante una ponderación los distintos agentes contaminantes encontrados (González Herrera et al., 2018); POSH, que establece tres categorías de la carga contaminante del subsuelo: reducido, moderado y elevado (González Estévez & Sánchez Munguía, 2015), o también la recopilación de información secundaria a partir de diversos organismos estatales, complementado con reconocimiento de campo desarrollando un mapeo mediante ArcGIS 9.2 (Damiano et al., 2015).

Según (González Herrera et al., 2018), entre las formas de desarrollar los inventarios está la clasificación del uso del suelo por medio de 3 niveles:

- Nivel I: Infraestructura, actividades industriales y actividades agrícolas.
- Nivel II: Peligros relacionados a las fuentes principales (nivel I), como tipos de actividades industriales o agrícolas, con sus correspondientes espectros de posibles contaminantes.
- Nivel III: Representa una subdivisión de las contenidas en el nivel II.

En el estudio de González Herrera *et al.*, (2018), la información para trabajar en estos niveles de clasificación del uso del suelo se obtiene de bases de datos y archivos tipo shape, provenientes de dependencias de gobiernos municipales, estudios publicados y mapas de atlas de riesgos. En cada nivel, se evaluó el grado de peligrosidad, que fue ponderado entre 10-100, afectándose por un coeficiente de reducción R_f , todo esto para hallar el índice de peligrosidad. Estas actividades se realizan para generar un mapa de peligros mediante un SIG, donde se evalúan los datos y se produce el mapa de peligrosidad con base a los resultados del índice de peligrosidad (González Herrera et al., 2018).

Por otra parte, la Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos, propone que el inventario debe incluir aquellas fuentes que generan o pueden llegar a generar lixiviaciones o flujos preferenciales con solutos que alteren la calidad natural de las aguas subterráneas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). Para el diseño y desarrollo del inventario se puede acudir a las etapas propuestas por el Banco Mundial, 2007, las cuales son:

- Diseño: En esta primera etapa se identifican los objetivos del inventario, las fuentes de datos. Recursos financieros y personal disponibles, y por último el alcance de este junto con el método a desarrollarse.

- Implementación: En esta sección se procede a recopilar y organizar toda la información necesaria para dar realización al inventario, así como la verificación de datos mediante visitas de campo.
- Evaluación de resultados: Para dar finalización, en esta última se evalúan y clasifican los datos para posterior a ello producir mapas del inventario final y dar recomendaciones para el control de la contaminación.

Esta guía también recomienda la realización de visitas en campo, en caso de que se requiera, y aplicar encuestas diseñadas para capturar información a detalle sobre la carga contaminante para categorizar las fuentes potenciales de contaminación, por tipo de actividad y valorar los contaminantes que se pueden convertir en una amenaza para el recurso hídrico subterráneo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Como sugerencia de la guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos, se puede hacer uso de alguna de las metodologías existentes para valorar las fuentes potenciales de contaminación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

La clasificación y estimación de la carga contaminante al subsuelo para la realización del inventario de fuentes de contaminación requiere de una identificación espacial - temporal de las actividades potencialmente contaminantes y usar el método para caracterizar la carga contaminante. Estas actividades de acuerdo con su distribución espacial pueden ser fuentes de contaminación difusa o fuentes de contaminación puntual, la fuente de contaminación puntual normalmente produce plumas definidas y concentradas, mientras que las fuentes de contaminación difusa normalmente impactan un área (Foster, Hirata, Gomes, Delia, & Paris, 2002)(Foster et al., 2002) . Otra forma en que las actividades se pueden clasificar es por su distribución temporal,

pueden ser fuentes pasadas de contaminación, fuentes existentes de contaminación o fuentes potenciales futuras de contaminación (Foster et al., 2002).

2.5 Cobertura de tierras

La base de datos CORINE Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélites, para la construcción de mapas de cobertura a escala 1:100.000 (IGAC et al., 2008).

El proyecto “CORINE Land Cover Colombia” propuso estandarizar un sistema de clasificación, con categorías jerárquicas definidas de acuerdo con la información que pueden proporcionar las imágenes de satélites, conforme con las condiciones locales del territorio nacional (IGAC et al., 2008).

Según IGAC et al., (2008), las principales ventajas de la metodología CORINE Land Cover son las siguientes:

- Permite obtener una capa de cobertura de la tierra de una manera relativamente rápida y sencilla, teniendo una de las mejores relaciones calidad-costos existente.
- Su aplicación permite la comparación de datos y porcentajes de uso y ocupación del territorio entre los países europeos y aquellos de América del Sur que lo adopten.
- Permite hacer análisis multitemporales de ocupación del territorio de una manera relativamente sencilla y rápida (en Europa este análisis se realiza cada 5 años).

2.6 Método Pollutant Origin Surcharge Hydraulically (POSH)

El método Pollutant Origin Surcharge Hydraulically (POSH), establece que la clasificación debe realizarse con criterios mensurables y reproducibles (Foster et al, 2002). La carga contaminante al subsuelo generada por las actividades presenta cuatro características fundamentales. Según Foster et al., (2002), estas son la clase de contaminante involucrado, la intensidad de la contaminación, el modo en el que el contaminante es descargado al subsuelo y la duración de aplicación de la carga contaminante. Estas características están definidas por la persistencia y el coeficiente de retardo relacionado al flujo del agua subterránea, la concentración probable del contaminante, la carga hidráulica asociada con la descarga del contaminante y la probabilidad de descarga al subsuelo (Foster et al., 2002).

Según Foster et al., (2002), deben tomarse consideraciones para realizar el inventario y la clasificación, entre ellas se encuentra, si es posible encontrar las concentraciones reales y volúmenes de las actividades potencialmente contaminantes, debido a la complejidad este ideal no se logra alcanzar en la práctica. Según Foster et al., (2002), debido a la dificultad en el detalle de la cobertura de tierras, los usos del suelo y las actividades contaminantes relacionadas, los criterios deben ser definidos claramente y presentar atención a los siguientes factores:

- Ajustar la escala de representación, para la realización de inventarios se requiere inspecciones en escala aproximada de 1:100.000 y para mapas de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos requieren una escala más detallada, de 1:10.000 a 1:50.000.
- Asegurar el nivel de detalle teniendo en cuenta los diferentes orígenes de la carga contaminante.

3. Metodología

3.1 Zona de estudio

El acuífero superior de la Mesa de los Santos se encuentra en la formación los Santos, en el centro del departamento de Santander. La zona de estudio se encuentra bajo la jurisdicción de los municipios: Los Santos, Piedecuesta y Girón, abarcando un área total aproximada de 16,224 Ha, de la cual el 69.4% pertenece al municipio de Los Santos, el 30.18% a Piedecuesta y el 0.42% a Girón (Ver Figura 4).

En el municipio de Los Santos los principales ríos que conforman la red hidrográfica de la zona son: Chicamocha y Sogamoso, los cuales pertenecen a la Gran Cuenca del Magdalena (Alcaldía de Los Santos, 2021). Los Santos se encuentra ubicado en la provincia de soto con una extensión aproximada de 284,74 Km² (Alcaldía de Los Santos, 2021) y cuenta con una población total de 12433 habitantes (DANE, 2018a), limita al Norte: Girón y Piedecuesta al Sur: Jordán y Villanueva al Oriente: Aratoca y Occidente: Zapatoca. Los principales ríos que conforman la red hidrográfica de la zona son: Chicamocha y Sogamoso, los cuales pertenecen a la Gran Cuenca del Magdalena (Alcaldía de Los Santos, 2021).

El municipio de Los Santos hace parte de la Cuenca del Bajo Chicamocha, siendo actor en un 7,21% de esta. El área de Los Santos en la cuenca es de 11142,886 Hectáreas que corresponden al 38,41% del municipio dentro de la cuenca (Corporación Autónoma Regional de Santander, 2019). Este municipio también se hace participe con 28 veredas y su casco urbano en la cuenca

del río Sogamoso con 17869.87976 hectáreas (Corporación Autónoma Regional de Santander, 2017).

Piedecuesta cuenta con una extensión de 344 Km² (Alcaldía de Piedecuesta, 2021) con una población total de 157425 habitantes (DANE, 2018b), este municipio limita al Norte con Tona, Floridablanca y Bucaramanga al Sur con Guaca, Cepitá, Aratoca y Los Santos al Oriente con Santa Bárbara al Occidente con Girón. Es un municipio productor de agua, en el páramo de Juan Rodríguez (Berlín) nacen los ríos de Oro, Hato, Manco y Umpalá, así como doce quebradas. (Alcaldía de Piedecuesta, 2021).

En la zona correspondiente al municipio de Piedecuesta se encuentran los causes principales y de segundo orden, determinados por su caudal y su longitud. Según «Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Piedecuesta», (2016), entre los ríos primarios se encuentran Río de Oro aguas abajo de la entrega del río Lato y todos los ríos con caudal de creciente básica superior a 100 metros cúbicos por segundo.

Según «Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Piedecuesta», (2016), se habla de un sistema de protección ambiental, subsistema fisiográfico. Su objetivo, es clasificar las formas del relieve, teniendo en cuenta la forma del terreno, aspectos del piso térmico, geología, hidrología entre otros, que pueda influir en la formación del suelo. Esta clasificación fisiográfica del terreno es importante para el análisis de las amenazas naturales, la zonificación ecológica y el reglamento de uso del suelo municipal.

Piedecuesta al igual que Los Santos, es un municipio actor en la cuenca del Bajo Chicamocha con un 18,16% de participación en esta, tiene un área de 21000,648 hectáreas del municipio dentro de la cuenca correspondientes a un 43,32% del municipio (Corporación Autónoma Regional de Santander, 2019). Este municipio también hace parte de la cuenca Río Alto

Lebrija con un área de 22741,6594 hectáreas conformadas por 36 veredas más su zona urbana (CDMB, 2014) y de la cuenca del Río Sogamoso participando en esta con 6 veredas que acumulan un área de 4791.989992 hectáreas (Corporación Autonoma Regional de Santander, 2017).

El territorio del municipio de Girón cuenta con un total de 42.688,31 hectáreas de extensión (Alcaldía de Girón, 2021) con una población estimada de 150610 habitantes (DANE, 2018c), este municipio limita por el Oriente: Floridablanca, Piedecuesta y Bucaramanga por el Occidente: Betulia por el Norte: Sabana de Torres y Lebrija por el Sur: Los Santos y Zapatoca (Alcaldía de Girón, 2021).

Girón hace parte con 22090,3475 hectáreas de la cuenca Río Alto Lebrija con 16 veredas y su zona urbana (CDMB, 2014). De igual manera que Los Santos y Piedecuesta se hace participe en la cuenca del Río Sogamoso con 9 veredas que conforman un área de 27126.46853 hectáreas (Corporación Autonoma Regional de Santander, 2017).

En la zona de estudio el municipio de los Santos cobija 21 veredas siendo estas: La peña, Regadero Bajo, Espinal Bajo, Majadal Bajo, Majadal Alto, El Verde, Piedras del Rayo, Llanadas, La Purnia, Purnia Nueva, Carrizal, San Rafael, Las Delicias, La Mojarra, Laguna Baja, El Guamito, Rosa Blanca, Espinal Alto, La Fuente, El Potrero y El Tabacal, que abarcan un área de 11259 Hectáreas aproximadamente (Esri Colombia, 2021; IGAC, 2021).

Piedecuesta es el segundo municipio de mayor influencia en la zona con 13 veredas, las cuales se nombran: Holanda, El Jazmín, El Volador, La Navarra, El Guamo, El Salado, San Pío, San Miguel, Los Cacaos, Mesitas de San Javier, Cabrera, La Esperanza-El Duende y Pescadero, con un área total aproximada de 4897 Hectáreas (Esri Colombia, 2021; IGAC, 2021).

El municipio de Girón hace parte de la zona de estudio con una pequeña extensión de área comparada con sus municipios vecinos, cuenta con 2 veredas: Palogordo y Chocóa, cubriendo un

área de 68 Hectáreas aproximadamente (Esri Colombia, 2021; IGAC, 2021). Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, (2021).

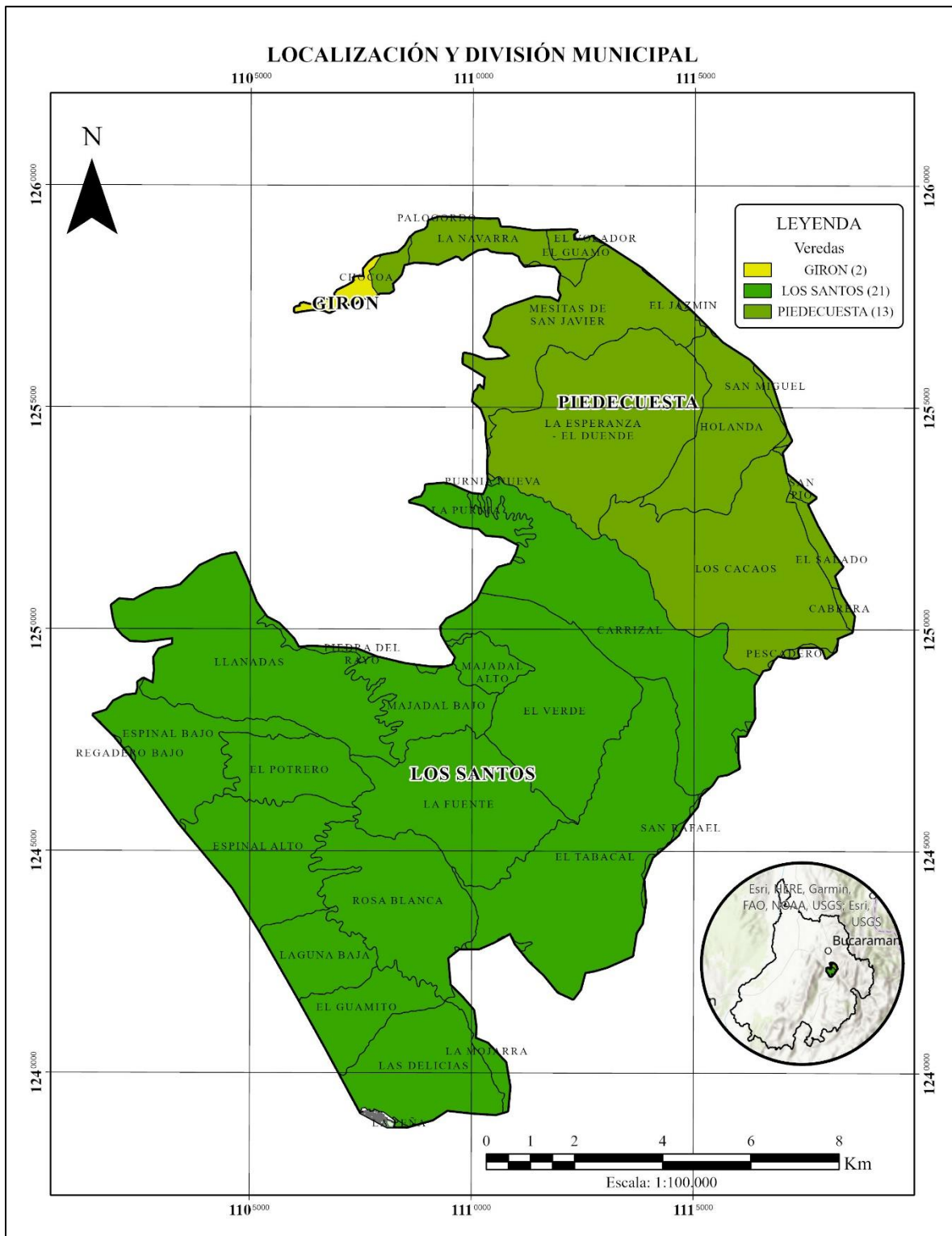
Las principales prácticas que se le dan a los suelos suscritos a la zona son:

- Cultivos de maíz, yuca, plátano, cebolla, piña, frijol y tomate; algunos sectores se explotan en ganadería con pastos no manejados (gramas naturales).
- Sin uso agrícola; para el escaso pastoreo de especies caprinas con vegetación nativa espinosa baja, otros sectores en rastrojo.
- Ganadería extensiva en pastos naturales (gramas).
- Zona urbana.
- Ganadería y arbustos de páramo, rastrojos, bosques intervenidos, pastos con rastrojo, escasos cultivos de subsistencia (maíz, yuca), en aquellos climas adecuados.

Hacia el norte los cultivos y algunos sectores ganaderos predominan, hacia el centro de la zona la ganadería extensiva con pastos naturales, al sur, arbustos de paramo, rastrojos, bosques intervenidos y escasos cultivos, por último, al suroccidente el uso agrícola es nulo, dándose el pastoreo de especies caprinas con vegetación nativa. Según el POMCA del bajo Chicamocha, se presenta una problemática, la cual es el difícil acceso a la información secundaria para el área total de la cuenca ya que no se cuenta con la suficiente cartografía a escala 1:25.000 en la cual se identifiquen los usos actuales y potenciales de las aguas subterráneas, su oferta hídrica, calidad y vulnerabilidad a la contaminación (Corporación Autónoma Regional de Santander, 2019)

Figura 4.

Localización y división municipal de la zona de estudio.



3.2 Fase I: Recopilación de información primaria y secundaria

En esta etapa del proyecto se identificó la zona de interés, apoyados de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), para recopilar la información secundaria relacionada con las distintas fuentes de contaminación existentes en el área de estudio. Para esto se procedió a instaurar peticiones y a consultar las bases de datos abiertas en diferentes entidades relacionadas al uso del suelo y cuidado ambiental. A continuación, se listan las instituciones de las cuales se obtuvo información (Ver Tabla 1).

Tabla 1.

Información Secundaria recopilada para la Zona de Estudio.

Institución	Información
Instituto Geográfico Agustín Codazzi	Base de datos abiertos de cartografía de catastro y usos del suelo.
ESRI Colombia	Archivos Shapefile con la división de veredas y departamentos de Colombia, y censos agropecuarios.
Cámara de Industria y Comercio	Matrículas mercantiles, y ubicación de las distintas actividades comerciales e industriales localizadas en la zona de estudio.
Corporación Autónoma Regional de Santander	Plan de Manejo de Aguas Subterráneas en el Sector de La Mesa, Municipio de Los Santos, Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) Cuencas Río Sogamoso y Bajo Chicamocha.
Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga	POMCA Río Alto Lebrija, POMCA Río Sogamoso.
Gobernación de Santander	Planes de Desarrollo Municipal de Piedecuesta y Los Santos.

Institución	Información
Alcaldía de Los Santos, Piedecuesta y Girón	Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) de Los Santos, Plan de Ordenamiento Territorial (POT) Piedecuesta.

La información secundaria obtenida se cruzó en software como ArcGIS y Excel para filtrar los aspectos correspondientes a la zona de interés. Posteriormente se ordenó y se sectorizó para relacionarse con los peligros asociados que puedan afectar al acuífero superior.

Para obtener información primaria se estableció una metodología que da pie a tres visitas de campo que permitieron conocer y adquirir información de primera mano con la comunidad que habita y se beneficia de la zona.

3.3 Fase II. Cobertura de tierras

Se aplicó la metodología CORINE Land Cover Colombia (CLC), para esto, se descargaron imágenes satelitales («Sentinel-hub EO-Browser3», s. f.) de Sentinel-2 de la zona de estudio, buscando la menor cantidad de nubes para hacer una clasificación supervisada y no supervisada. Se descargaron las 12 bandas que proporciona Sentinel-2 y realizando combinaciones de estas se obtuvo una capa base, con ayuda de un complemento del software QGIS llamado Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), con la herramienta Band Processing. Con la opción Classification, se realizó la clasificación no supervisada totalmente autónoma desarrollada mediante algoritmos. Para la clasificación supervisada se trabajó con la misma capa base, pero se crearon polígonos de entrenamiento con la metodología CORINE Land Cover. La clasificación supervisada fue la que mejor resultados brindó, y además fue corregida mediante el software ArcGIS Pro, estableciéndose así bajo esta metodología la leyenda correspondiente a los usos de suelo obtenidos.

3.4 Fase III. Corroboración en campo

Para corroborar la información secundaria obtenida, se realizaron encuentros con líderes sociales de veredas y habitantes de la zona de estudio. Se realizaron 8 encuentros presenciales y se obtuvo registro fotográfico de un total de 14 veredas durante los días 3, 13 y 16 de septiembre del año 2021, recopilando información cada día en jornada mañana y tarde. En estos encuentros se buscó corroborar: actividades económicas potenciales generadoras de contaminación; localización y escala de las actividades y usos del suelo; ratificación de usos del suelo obtenidos con la clasificación supervisada. Para esto, se realizaron: i) entrevistas semiestructuradas ii) mapas sociales (Ver Figura 5) y iii) recorridos que permiten observar diferentes coberturas y captar puntos. La información colectada en campo se sintetizó inicialmente en una base de datos de Excel que incluyó la ubicación geográfica de los 191 puntos obtenidos, relacionándolos con un tipo de uso y cobertura para asignar códigos relacionados con la metodología CLC. Así mismo, se creó una libreta de campo digital en Power Point que incluyó las fotos capturadas para cada uno de los puntos enlistados con su descripción para orientar acerca de coberturas y usos. Esta información georreferenciada y codificada fue cargada al Software ArcGIS con el fin de mejorar la cartografía de las diferentes coberturas y usos de la zona de estudio.

Figura 5.

Elaboración del mapa social en la Vereda Los Cacaos.



A continuación, se da mayor detalle de esta metodología, así como los instrumentos empleados para la recolección de información.

3.4.1 Metodología planteada para la visita de campo

3.4.1.1 Protocolo salida de campo para ajustes del mapa de coberturas y generación de información para creación del mapa de uso de suelos. Para obtener información que permita mejorar el actual mapa de coberturas obtenido por medio de clasificación supervisada de imágenes satelitales e información que alimente el mapa de uso de suelos.

Se hace necesaria la participación de la comunidad a través del desarrollo de mapas de recursos naturales y uso de la tierra con su respectivo diagrama de corte por veredas, acompañado de un recorrido o caminata que permita verificar la información brindada. Para esto se propone,

primero realizar de manera previa a la salida llamadas a los líderes sociales de cada vereda de la zona de estudio con el fin de explicar el ejercicio a realizar y fijar un encuentro con este y otro habitante del sector. En la tabla 2 se enlistan las veredas que hacen parte de la zona de estudio junto con sus respectivos líderes sociales enumerados para proteger su identidad:

Tabla 2.

Contacto Lideres Sociales.

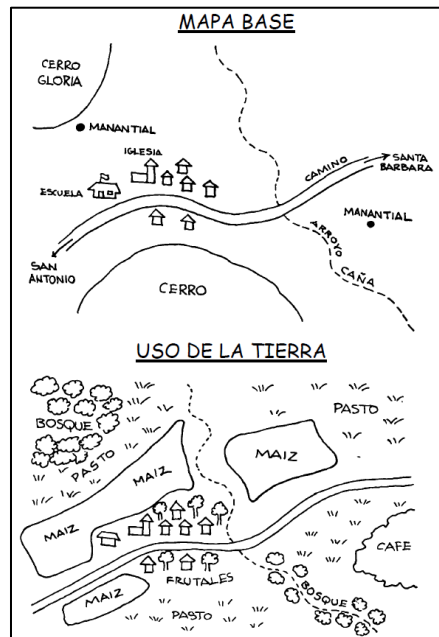
Vereda	Líder social
La Navarra	Líder 1
Mesitas de San Javier	Líder 2
La Esperanza – El Duende	Líder 3
Holanda	Líder 4
Los Cacaos	Líder 5
Carrizal	Líder 6
La Purnia	Líder 7
El Verde	Líder 8
El Tabacal	Líder 9
Majadal Alto	Líder 10
Majadal Bajo	Líder 11
La Fuente	Líder 12
Llanadas	Líder 13
El Potrero	Líder 14
Rosablanca	Líder 15
El Guamito	Líder 16
Espinal Bajo	Líder 17
Espinal alto	Líder 18
Las Delicias	Líder 19

Una vez se realice el encuentro con los habitantes representantes por vereda, la primera etapa consiste en desarrollar mapas de recursos naturales y usos de tierra (Ver Figura 6) mediante los siguientes pasos:

- Reunir a las personas participantes y explicarles el objetivo de la actividad hasta que haya claridad.
- Discutir con los participantes, cómo se va a hacer el mapa y que recursos temas van a aparecer (ríos, caminos, casas, bosques, campos cultivados, etc....)
- Ayudar para el “arranque” (por ejemplo, a ubicar los primeros puntos de referencia) y después dejar el grupo trabajar solo, en la pizarra, el papel o en el suelo. Empezar con un “mapa base” con los principales elementos de referencia como ríos y caminos.
- Socializar el mapa obtenido y someterlo a discusión.

Figura 6.

Ejemplo de mapa de recursos naturales y uso de la tierra.



Teniendo en cuenta el mapa de recursos - suelos, se realizará el recorrido por cada vereda teniendo especial interés por verificar puntos estratégicos correspondientes a:

- Límites establecidos entre coberturas: Esto con el fin de definir si los límites están bien marcados en la fotointerpretación o es necesario correcciones y de que tipo.
- Localizaciones de actividades estratégicas como: gasolineras, galpones, criaderos, zonas recreativas, escuelas, con el fin de poderlos localizar de forma puntual en el mapa.
- Localizaciones de coberturas específicas como lagunas, pastizales, cultivos, con el fin de poderlos localizar de forma puntual en el mapa y verificar la información colectada en el mapa de recursos y suelos.
- Sectores con panorámicas que permitan tener un rango visual de las coberturas y posibles usos.

Entrevistas con el fin de alimentar el inventario de puntos contaminantes. Con la finalidad de complementar el inventario de fuentes contaminantes en el acuífero superior de la Mesa de los Santos:

- Se plantea una propuesta la cual busca obtener información de primera mano en los diferentes sectores identificados que se desarrollan en la zona de interés.
- Se realizarán tomas de audio y fotografía bajo autorización del entrevistado, esto con el fin de obtener evidencias verídicas del trabajo realizado en campo, esto se hará por medio de dispositivos móviles (Celulares), por lo que no se requiere el uso de otros equipos.
- Se propone a continuación una serie de preguntas base dirigidas a las diferentes actividades ejecutadas sobre el acuífero superior de la Mesa de los Santos. Debido a que la zona es muy extensa, se pretende realizar entrevistas a personas representativas de cada sector, en dónde puedan brindar un punto de vista general de las actividades en la zona.

Sector Agrícola: Debido a la existencia de diferentes cultivos en la zona, se implementará este formato para cada uno de los cultivos que el entrevistado crea necesario mencionar (Ver Figura 7).

Figura 7.

Plantilla Sistema de Producción Agrícola.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA				
El objetivo de las siguientes preguntas será complementar una investigación educativa con el fin de realizar un inventario de fuentes de contaminación en la zona para estudiar su vulnerabilidad y recomendar acciones para la preservación del ecosistema. ¿Está de acuerdo con el tratamiento que se le dará a la información proporcionada por usted? _____				
Ubicación	Vereda La Esperanza			
Contacto	Líder 3			
1. Cultivos predominantes	Cultivos Mínimos: Pimenton, avichuela			
2. Periodo de cosecha	Todo el año, por temporadas			
3. Uso de agroquímicos	Si	No	4. ¿Cuáles?	No sabe
5. Frecuencia de uso de agroquímicos	No sabe			
6. Lugar de extracción de agua para riego	Lagos Artificiales			

Sector Pecuario: Las preguntas establecidas en este apartado se dirigen a los dos sectores que predominan en la zona, siendo el sector avícola y vacuno. Para la formulación y contestación de las preguntas, se entiende que la ganadería es una actividad que consiste en el manejo y explotación de animales domesticables con fines de producción, para su aprovechamiento englobando en este caso al sector avícola y vacuno (Ver Figura 8 y Figura 9).

Figura 8.

Plantilla Sector Pecuario, Avícola.

SECTOR PECUARIO; AVÍCOLA					
El objetivo de las siguientes preguntas será complementar una investigación educativa con el fin de realizar un inventario de fuentes de contaminación en la zona para estudiar su vulnerabilidad y recomendar acciones para la preservación del ecosistema. ¿Está de acuerdo con el tratamiento que se le dará a la información proporcionada por usted? _____					
Ubicación	Vereda La Esperanza				
Contacto	Líder 3				
1. Ganadería predominante	Ganadería extensiva		Ganadería intensiva		
2. ¿Hacia dónde se dirigen los desechos como los son las excretas?	Compostaje para gallinaza		3. ¿Cuentan con sistemas de gestión para los residuos?	Si	No
4. ¿Utilizan fibras naturales como aserrín, tamo de arroz u otro?	Si	No	5. ¿Cada cuanto se cambia?	Cada vez que sale la cochada (Pollo 45 días y gallina 1 o 2 años)	
6. ¿Cuál es el destino final de los residuos?	Abono de cultivos, compostaje y venta				
7. ¿A dónde se dirigen las aguas utilizadas para el abastecimiento y mantenimiento de los establos o corrales?	A potreros por la sabana				
8. ¿Poseen sistemas de tratamiento para las aguas residuales?	Si	No	9. ¿Cree usted que la ganadería intensiva puede alterar la calidad del agua subterránea?	Si	No
10. Lugar de extracción de agua para las necesidades que requiere el sector	Lagos Artificiales				

Figura 9.

Plantilla Sector Pecuario, Vacuno.

SECTOR PECUARIO; VACUNO					
El objetivo de las siguientes preguntas será complementar una investigación educativa con el fin de realizar un inventario de fuentes de contaminación en la zona para estudiar su vulnerabilidad y recomendar acciones para la preservación del ecosistema. ¿Está de acuerdo con el tratamiento que se le dará a la información proporcionada por usted? _____					
Ubicación	Vereda La Esperanza				
Contacto	Líder 3				
1. Ganadería predominante	Ganadería extensiva		Ganadería intensiva		
2. ¿Hacia dónde se dirigen los desechos como los son las excretas?	Pastos		3. ¿Cuentan con sistemas de gestión para los residuos?	Si	No
4. ¿Utilizan fibras naturales como aserrín, tamo de arroz u otro?	Si	No	5. ¿Cada cuanto se cambia?		
6. ¿Cuál es el destino final de los residuos?	Potreros				
7. ¿A dónde se dirigen las aguas utilizadas para el abastecimiento y mantenimiento de los establos o corrales?	Potreros				
8. ¿Poseen sistemas de tratamiento para las aguas residuales?	Si	No	9. ¿Cree usted que la ganadería intensiva puede alterar la calidad del agua subterránea?	Si	No
10. Lugar de extracción de agua para las necesidades que requiere el sector	Lagos Artificiales				

Desarrollo Urbano: Dirigido a viviendas, turismo y colegios. En el desarrollo urbano se propone dirigir las preguntas a tres sectores existentes en la zona, con la finalidad de obtener un contraste entre ellos. Debido al crecimiento suburbano en los últimos años, es un sector importante para considerar. Las bacterias, los virus y otros contaminantes de las aguas residuales de un sistema séptico que falla pueden contaminar pozos de agua potable, acuíferos subterráneos, lagos, ríos y arroyos (Ver Figura 10).

Figura 10.

Plantilla Desarrollo Urbano, Viviendas y Colegios.

DESARROLLO URBANO, VIVIENDAS Y COLEGIO					
El objetivo de las siguientes preguntas será complementar una investigación educativa con el fin de realizar un inventario de fuentes de contaminación en la zona para estudiar su vulnerabilidad y recomendar acciones para la preservación del ecosistema. ¿Está de acuerdo con el tratamiento que se le dará a la información proporcionada por usted? _____					
Ubicación	Vereda La Esperanza				
Contacto	Lider 3				
1. ¿Existe sistema de alcantarillado?	Si	No	2. ¿Es accesible?	Si	No
3. ¿Qué sistemas de drenaje se usan para deshacerse de las aguas negras?	Pozos Septicos				
4. ¿Qué tipo de pozos sépticos predominan?	Concreto	Polietileno	Fibra de vidrio	Otro	¿Cuál?
5. ¿Realizan mantenimiento a las fosas sépticas?	Si	No	¿Cada cuánto?		
6. ¿Cuál es el manejo de los residuos sólidos y hacia donde se dirigen?	Servicio de recolección		¿Cada cuanto se realiza?	Semanal	
7. ¿De dónde se extrae el agua para su abastecimiento?	Cisterna o aguas lluvias		8. ¿Cuentan con sistemas de gestión para los residuos?	Si	No
9. ¿Hacia dónde se dirigen los residuos sólidos?	Carrasco		¿Cuál es su destino final?	No se sabe	

Es importante, antes de la salida de campo, revisar la metodología Corine Land Cover con el fin de realizar una pequeña tabla descriptiva de las diferentes coberturas, sobre todo las identificadas con la clasificación supervisada para poder tener una guía de consulta rápida en campo.

Tomar fotografías georreferenciadas en las paradas marcadas como “**estratégicas**” las cuales deben incluir un dibujo en libreta (croquis sencillo) con una breve descripción de las coberturas y usos identificados. En estas fotografías se deben:

- Marcar claramente algunos límites entre coberturas.
- Identificar las diferentes coberturas (por lo menos una foto por cobertura).
- Identificar los diferentes usos (incluyendo zonas recreativas, criaderos, etc).

Tomar coordenadas con GPS de puntos clave como:

- Localización de sitios turísticos
- Localización de conjuntos residenciales
- Localización de Gasolineras
- Puntos de cultivos (Inicio y final por alguna carretera principal) que permitan de forma posteriormente a través de visualización de Google Earth encerrar los polígonos con dichas coberturas.

Teniendo en cuenta la duración de las actividades propuestas con participación de la comunidad (aproximadamente 4 horas y media para cada creación de mapa social, perfil, inventarios de cultivos entre otros), se plantea asociar veredas vecinas por grupos con el fin de optimizar el tiempo y recursos, siendo así posible verificar las coberturas y usos de 4 a 6 veredas por día de la siguiente manera:

- Grupo A: Vereda Los Cacaos, Holanda, Carrizal y La Fuente.
- Grupo B: Vereda Guamito, Las Delicias, Tabacal, Majadal Bajo, y La Esperanza.
- Grupo C: Vereda El Duende, Mesitas de San Javier, El Guamo, Llanadas y La Navarra.

La idea será atender a cada grupo designado en una jornada de la mañana o de la tarde de acuerdo con la disponibilidad, siendo necesario un total de 3 días de campo:

- Día 1: Grupo A.
- Día 2: Grupo B.
- Día 3: Grupo C.

Nota: Los materiales para esta salida de campo corresponden a GPS, dispositivos móviles (celulares) y agenda de campo.

3.4.1.2 Análisis y procesamiento de datos. La información colectada en campo se sintetizará de manera inicial en una base de datos de Excel que proporcionará la ubicación geográfica del punto verificado y relacionará un tipo de uso y cobertura lo cual permitirá asignar códigos relacionados con la metodología Corine Land Cover y puntos de contaminación definidos en el proyecto (Ver Figura 11). Relacionado a esa base de datos de Excel se creará una libreta de campo digital en Power Point que incluirá las fotos capturadas para cada uno de los puntos allí enlistados con su debida descripción que oriente de manera clara acerca de las coberturas y usos (Ver Figura 12).

Esta información anteriormente descrita nos permitirá cargar la información ya georreferenciada y codificada al Software ArcGis con el fin de mejorar la cartografía de las diferentes coberturas y usos de la zona de estudio.

Figura 11.

Ejemplo de la tabla en Excel para base de datos.

Codigo Estación	Nombre de Referencia	Localización	Coordenadas GPS			Tipo de Cobertura	Uso	Observaciones	Codigo Corine Land Cover	Evidencia fotográfica
			X	Y	Z					
LIC-01-01	Lago 1 Vereda la Navarra	Km 3 vía la Navarra, margen izquierdo				Superficie de agua	Recreacional (Pesca deportiva)	Alimentada por agua lluvia y agua extraída por pozo de perforación	5.1.4 Cuerpos de agua artificial	DCMI-20210823-1 DCMI-20210823-2

Figura 12.

Distribución de datos de la libreta Digital en Power Point.



TABLA DESCRIPTIVA

Código Estación:
Nombre de Referencia:
Localización:
Coordenadas GPS: X=
Y=
Z=
Tipo de cobertura:
Uso:
Código de fotografía:
Adicionales:

Tierras Desnudas

Bosque Secundario

Islas

DESCRIPCIÓN: Laguna artificial de la vereda la Navarra rodeada por bosque secundario hacia la zona norte y tierras desnudas hacia el SW, presenta una superficie de agua de aproximadamente XX m², contiene islas de secas con tamaños de aproximadamente XX m², usado con fines turístico, perteneciente al predio XXXX.

Luego de obtener la información recopilada por medio de las entrevistas, se procederá a extraer los aspectos más importantes en las tomas de audios obtenidas para complementar lo almacenado en los formatos. Debido a que no se hará una encuesta con cierto número de personas para cada pregunta, no se realizará un análisis estadístico; teniendo en cuenta que el principal objetivo de esta visita será obtener información que permita complementar la ya obtenida, se hará un análisis cualitativo para cada uno de los sectores entrevistados, es por esto que se propuso realizar tablas descriptivas que engloben los principales aspectos de las respuestas con la finalidad de dar apoyo primario y verídico a los resultados de la investigación.

3.5 Fase VI. Clasificación de las fuentes contaminantes puntuales y difusas

El método Pollutant Origin Surcharge Hydraulically (POSH) fue escogido para la caracterización de la carga contaminante debido a que este se recomienda por el Banco Mundial en su guía de Protección de la Calidad del Agua Subterránea. El método Pollutant Origin Surcharge Hydraulically (POSH) es el acogido para la caracterización de la carga contaminante, el cual consta de dos características, la posibilidad de presencia de contaminante y la existencia de una carga hidráulica asociada al transporte de contaminantes hacia los acuíferos (Foster et al., 2002). Esta información no es fácilmente disponible y generalmente es necesario realizar hipótesis (Ver Figura 14), tales como los efectos contaminantes que se generen por la presencia de una estación de servicio o el acceso a las redes de alcantarillado en poblaciones ubicadas en zonas de difícil acceso, para esto el método en mención establece tablas que suministran información con parámetros definidos para realizar el análisis de la carga contaminante. El método Pollutant Origin Surcharge Hydraulically (POSH) genera tres niveles cualitativos asociados a la potencial generación de una carga contaminante al subsuelo, estos son, reducido, moderado y elevado (Ver Figura 13 y Figura 15) junto con su respectiva leyenda adaptada y modificada (Foster et al., 2002).

Las actividades potenciales de contaminación identificadas en la zona de estudio se organizaron y clasificaron de acuerdo con la metodología POSH, teniendo en cuenta características como: Ocurrencia espacial y temporal, Categoría de distribución, Principales tipos de contaminantes, Sobrecarga hidráulica, Potencial por generación de carga contaminante al subsuelo, entre otras. De este modo, las fuentes de contaminación se enlistaron y tabularon junto con la adjudicación de una posible carga contaminante.

Figura 13.

Clasificación de las Actividades Potencialmente Contaminantes.

Tabla 3.3 Clasificación y categorización de fuentes de contaminación difusa de acuerdo al método POSH

POTENCIAL DE CARGA CONTAMINANTE AL SUBSUELO	FUENTE DE CONTAMINACIÓN	
	saneamiento in situ	prácticas agrícolas
Elevado	cobertura del servicio de cloacas menor que 25% y densidad-poblacional superior a 100 personas/ha	cultivos comerciales intensivos y la mayoría de los monocultivos en suelos bien drenados en climas húmedos o con baja eficiencia de riego, pastoreo -intensivo sobre praderas altamente fertilizadas
Moderado	intermedio entre elevado y reducido	
Reducido	cobertura del servicio de cloacas mayor que 75% y densidad poblacional inferior a 50 personas/ha	rotación de cultivos tradicionales, pastoreo extensivo, sistemas de granjas ecológicas, cultivos bajo riego de alta eficiencia en áreas áridas

Nota: Tomado de Foster et al., (2002).

Figura 14.

Actividades Potencialmente Contaminantes.

Tabla 3.1 Resumen de las actividades potencialmente generadoras de una carga contaminante al subsuelo					
TIPO DE ACTIVIDAD	categoría de distribución	CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA CONTAMINANTE			
		principales tipos de contaminante	sobrecarga hidráulica	aplicada debajo de la capa de suelo	
(+ indica que aumenta la importancia)					
Desarrollo Urbano					
saneamiento sin red cloacal	u/r P-D	n f o t	+	+	
cloacas con fugas (a)	u P-L	o f n t	+		
lagunas de oxidación de aguas residuales (a)	u/r P	o f n t	++	+	
descarga de aguas residuales en el suelo (a)	u/r P-D	n s o f t	+		
aguas residuales en ríos influentes (a)	u/r P-L	n o f t	++	++	
lixiviación de rellenos/volcaderos de basura	u/r P	o s h t		+	
tanques de almacenamiento de combustible	u/r P-D	t			
sumideros de drenaje de las carreteras	u/r P-D	s t	+	++	
Producción Industrial					
tanques/tuberías con fugas (b)	u P-D	t h			
derrames accidentales	u P-D	t h	+		
aguas de proceso/lagunas de efluentes	u P	t o h s	++	+	
descarga de efluentes en el suelo	u P-D	t o h s	+		
descargas hacia ríos influentes	u P-L	t o h s	++	++	
volcaderos de residuos con lixiviación	u/r P	o h s t			
sumideros de drenaje	u/r P	t h	++	++	
precipitación aérea de sustancias	u/r D	s t			
Producción Agrícola (c)					
a) cultivo					
- con agroquímicos	r D	n t			
- y con irrigación	r D	n t s	+		
- con lodo/lodo proveniente de agua residual	r D	n t s o			
- bajo riego con aguas residuales	r D	n t o s f	+		
b) cría de ganado/procesos de cosecha					
- lagunas de efluentes	r P	f o n t	++	+	
- descarga de efluentes en el suelo	r P-D	n s o f t			
- descarga hacia ríos influentes	r P-L	o n f t	++	++	
Extracción Minera					
alteración del régimen hidráulico	r/u P-D	s h			
descarga de aguas de drenaje	r/u P-D	h s	++	++	
aguas de proceso/lagunas de lodos	r/u P	h s	+	+	
volcaderos de residuos con lixiviación	r/u P	s h			
(a) puede incluir componentes industriales		n	compuestos de nutrientes	t	micro-organismos tóxicos
(b) puede ocurrir también en áreas no industriales		f	patógenos fecales	+	incrementa la importancia
(c) la intensificación representa el principal riesgo de contaminación		o	carga orgánica general		
u/r urbana/rural		s	salinidad		
P/L/D puntual/lineal/difusa		h	metales pesados		

Nota: Tomado de Foster et al., (2002).

Figura 15.

Clasificación de las Actividades Potencialmente Contaminantes.

Tabla 3.4 Clasificación y categorización de fuentes puntuales de contaminación de acuerdo al método POSH

POTENCIAL POR GENERACIÓN DE CARGA CONTAMINANTE AL SUBSUELO	FUENTE DE CONTAMINACIÓN				
	disposición de residuos sólidos	sitios industriales*	lagunas de efluentes	urbanas varias	exploración minera y petrolera
Elevado	residuos de industrias tipo 3, residuos de origen desconocido	industrias tipo 3, cualquier actividad que maneje >100 kg/d de de sustancias químicas	todas las industrias tipo 3, cualquier efluente (excepto aguas residuales residenciales) si el área >5 ha		operación de campos de petróleo, minas metalíferas
Moderado	precipitación >500 mm/a con residuos residenciales/ industriales tipo 1/ agroindustriales, todos los otros casos	industrias tipo 2	agua residual residencial si el área >5 ha, otros casos que no figuran arriba o abajo	gasolineras, rutas con tráfico regular de sustancias químicas peligrosas	algunas minas/ canteras de materiales inertes
Reducido	precipitación <500 mm/a con residuos residenciales/ industriales tipo 1/ agroindustriales	industrias tipo 1	efluente residencial, urbano mezclado, agroindustrial y minero no metalífero si el área <1 ha	cementerios	

* los terrenos contaminados por industrias abandonadas deberían tener la misma categoría que las propias industrias
 Industrias tipo 1: carpinterías, fábricas de alimentos y bebidas, destilerías de alcohol y azúcar, procesamiento de materiales no metálicos
 Industrias tipo 2: fábricas de caucho, pulpa y papel, textiles, artículos eléctricos, fertilizantes, detergentes y jabones
 Industrias tipo 3: talleres mecánicos, refinerías de gas y petróleo, manufacturas de pesticidas, plásticos, productos farmacéuticos y químicos, curtiderías, fábricas de artículos electrónicos, procesamiento de metal

Nota: Tomado de Foster et al., (2002).

Una vez enlistadas las fuentes de contaminación identificadas en la fase I se procedió a estimar la posible carga contaminante que pueden aportar al subsuelo cada una de ellas, esto con ayuda de la Figura 14. Identificadas las cargas contaminantes al subsuelo, se clasificaron en las tres categorías establecidas según la metodología POSH: Elevada, Moderada o Reducida con ayuda de la Figura 13 y Figura 15.

Posteriormente se realizó una tabla con todos los factores que clasifican a la carga junto con su potencial de contaminación al subsuelo.

3.6 Fase V: Generación de Mapas y Análisis

A apoyados de los SIG, se delimitó un polígono en Google Earth Pro que abarca la zona de interés con ayuda de la georreferenciación por coordenadas de una imagen. Luego de lo anterior se importó a ArcGIS Pro, ya que mediante este software es dónde se cruzó la información obtenida para generar los mapas correspondientes a este trabajo.

En este contexto, se desarrolló un curso de manejo de datos espaciales utilizando software libre en el cual se descargaron imágenes satelitales («Sentinel-hub EO-Browser3», s. f.) de Sentinel-2 de la zona de estudio buscando la menor cantidad de nubes para hacer nuestra clasificación supervisada y no supervisada. Se descargaron las 12 bandas que nos proporciona Sentinel-2 y realizando combinaciones de estas obtenemos una capa base, con ayuda de un complemento del software QGIS llamado Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) con la herramienta Band Processing y en la opción Classification, se realizó la clasificación no supervisada totalmente autónoma realizada mediante algoritmos. Para la clasificación supervisada se trabajó con la misma capa base, pero se crearon polígonos de entrenamiento con la metodología CORINE Land Cover.

La clasificación supervisada fue la que mejor resultados brindó, la cual se desarrolló y corrigió mediante el software ArcGIS Pro. Finalmente, toda la información primaria y secundaria recopilada se integró y digitalizó creando archivos tipo Shape y Kmz para ser cruzados por medio del software ArcGIS Pro, generando el mapa general de fuentes contaminantes del área de estudio a escala 1:25.000. Del mismo modo, se generó el mapa de las actividades contaminantes identificadas durante la visita de campo representadas bajo la leyenda establecida por POSH.

4. Resultados

4.1 Identificación de fuentes de contaminación

Los principales usos del suelo en la zona son (IGAC, 2021): i) Cultivos: maíz, yuca, plátano, piña, frijol y tomate; ii) Ganadería con pastos no manejados (gramas naturales); iii) Ganadería extensiva en pastos naturales (gramas); iv) Sin uso agrícola; para el escaso pastoreo de caprinos con vegetación nativa espinosa baja, otros sectores en rastrojo; y v) Zona urbana.

Al norte predominan los cultivos y algunos sectores ganaderos; hacia el centro la ganadería extensiva con pastos naturales; al sur arbustos de páramo, rastrojos, bosques intervenidos y escasos cultivos; por último, al suroccidente el uso agrícola es nulo, dándose el pastoreo de especies caprinas con vegetación nativa (Ver Figura 17). Además de lo anterior, existen otras actividades que pueden generar contaminación del agua subterránea tales como: estaciones de servicio, granjas avícolas, entre otras.

En la zona de estudio, predomina la producción agrícola y avícola, siendo las actividades con mayor influencia sobre la zona de nuestro interés. Los cultivos que más predominan son de tabaco, tomate, maíz, yuca y pastos. Debido a que en la zona existe déficit de agua anual, se practica el uso de correctivos de acidez y abonos orgánicos («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

En la Figura 16, se presenta la extensión en hectáreas de los cultivos presentes en la zona.

Figura 16.

Sistemas de Producción Agrícolas.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN	ÁREA (HAS)	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	R/DTO KG./HA	PROD. (TON)	PROD. D/PTO. (TON)	PART M/PIO (%)	DESTINO PRODUCCIÓN
Tabaco	600	En la mayor parte de las veredas del municipio se cultiva el tabaco, especialmente Tabacal, San Rafael, Salazar, Mojarra, La Peña, Pozo, La Fuente, Rosa Blanca, Guamito, Delicias, Los Teres, Garbanzal, Laguna, Paso Chico, Espinal, Regadero, Potreros, Llanadas y La Purnia.	1700	1020	3506	30.80	Local y Regional.
Tomate	70	veredas de La Purnia, El Verde, La Mesa, Tabacal, Carrizal, La Fuente, Rosablanca, Guamito, Delicias, El Pozo, Los Teres	81000	4050	28.771.3	14.07	Local y Regional.
Pimentón	70	veredas La Purnia, La Mesa, El Pozo, Los Teres.	40500	2025	2493	81.22	Local y Regional.
Yuca	125	La Purnia, San Rafael, Salazar, Mojarra, Garbanzal, Teres, Lagunas y Potreros	8000	1000	162601	0.61	Autoconsumo y local.
Maíz	70	En todas las veredas del municipio	1700	110.5	12508.7	0.88	Local y Regional.
Fríjol	30	Delicias, Guamito, La Fuente, Rosa Blanca y Tabacal principalmente	900	270	3733.90	2.23	Local y Regional.
Piña	50	El Guamito, Delicias, El Pozo, La Fuente y Rosablanca principalmente.	40000	200	223875	0.08	Local y Regional.
Patilla	40	Veredas Guamito, Delicias, El Pozo, Los Teres, Laguna y Espinal	40000	1600	--	--	Local y Regional.

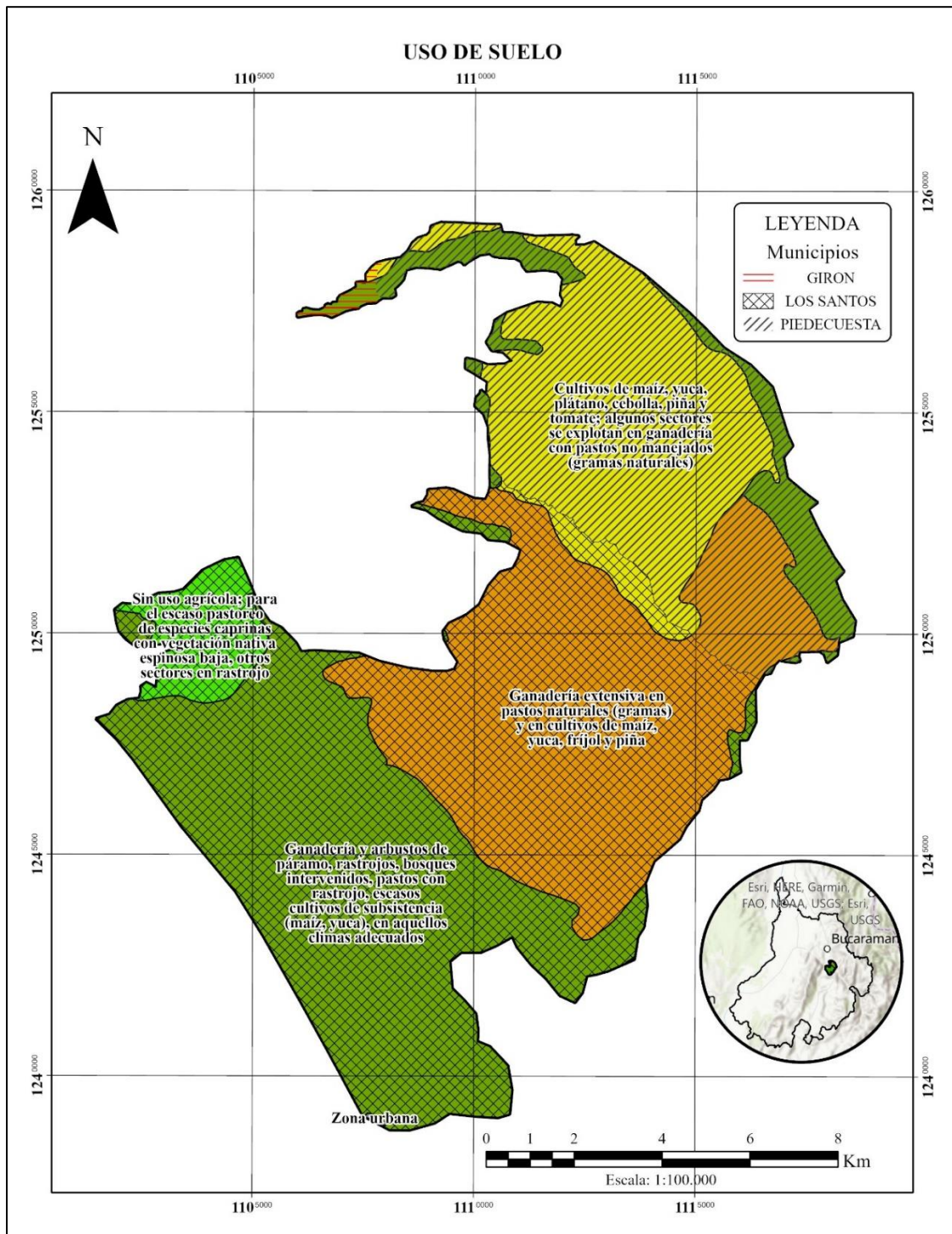
Fuente: URPA-UMATA.

Nota: Tomado de («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

Según (Corporación Autónoma regional de Santander, 2021), en la actualidad no existen registros de personas naturales o jurídicas que se encuentren bajo seguimiento por la generación de residuos peligrosos. Así mismo, el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos (RESPEL) del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), no incluye empresas generadoras de residuos peligrosos en la zona.

Figura 17.

Principales Usos del Suelo.



Nota: Tomado y modificado de IGAC, (2021).

4.1.1 Corroboración en campo de actividades potenciales generadoras de contaminación

La información recopilada en campo se tabuló obteniendo información ordenada y detallada de cada actividad con características como coordenadas, código fotográfico y nombre. Según lo establecido por los habitantes de la zona, se determina que la actividad avícola es la que genera un mayor impacto en la zona a diferencia de las demás actividades externas al uso residencial. El Apéndice A incluye detalles de los usos y coordenadas de estas actividades acompañado de su respectiva libreta de campo digital, almacenando el contenido fotográfico que permite apoyar visualmente la existencia de las diferentes actividades identificadas.

En cuanto a lo manifestado por los entrevistados, en la zona no existe acceso a redes de alcantarillado por lo que acuden al uso de pozos sépticos en concreto; el manejo de los residuos sólidos es deficiente para toda el área, por tanto, acuden a realizar quemas. En el sector agrícola establecen que la piña y el café son los cultivos más estables, ya que lo demás se tornan transitorios a lo largo del año. Destacan el sector avícola como la actividad con mayor impacto, señalando que los residuos sólidos son procesados y compostados para la generación de abonos, declarando también que en varios casos las aguas residuales procedentes del mantenimiento de los establos son arrojadas hacia laderas.

4.1.2 Actividad agrícola

4.1.2.1 Sistema de producción de tabaco. Según «Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», (2021), el área de cultivo en la zona de la mesa se distribuye en las veredas Tabacal, San Rafael, Salazar, Mojarra, La Peña, Pozo, La fuente, Rosa Blanca,

Guamito Delicias, Los Teres, Garbanzal, Laguna, Paso Chico, Espinal, Regadero, Potreros, Llanadas y La Purnia, veredas que se encuentran cobijadas por la zona de interés a excepción de las veredas Salazar, Pozo, Paso Chico, Los Teres y Garbanzal.

En la zona de estudio la condición de humedad relativa es baja, y por este motivo la presencia de plagas y enfermedades es poco frecuente, por lo que las aplicaciones de agroquímicos son esporádicas especialmente en las primeras etapas del periodo vegetativo del cultivo. El sistema de producción abarca unas 600 Hectárea aproximadamente con una producción de 1020 Toneladas por ciclo. En Girón la mayoría de las fincas cultivan aproximadamente cinco hectáreas (CDMB, 2014).

4.1.2.2 Sistema de producción de tomate. Este sistema de producción es el segundo con más incidencia en el municipio de Los Santos. El sistema ocupa unas 70 Hectáreas aproximadamente distribuidas en las veredas La Purnia, La Mesa, Tabacal, Carrizal, La Fuente, Rosa Blanca, Guamito, Delicias, El Pozo, Los Teres, con un rendimiento de 81 Toneladas por hectárea, por lo que la producción por ciclo es de unas 4050 toneladas.

Las veredas mencionadas hacen parte de la zona de estudio con excepción de El Pozo y Los Teres («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

4.1.2.3 Sistema de producción de pimentón, habichuela, pepino y otros. El sistema de producción de pimentón abarca un área de 70 Hectáreas aproximadamente, ubicadas en su mayoría en las veredas La Purnia, La Mesa, El Pozo y Los Teres, de las cuales solo hace parte de la zona de estudio la vereda La Purnia. Su rendimiento es del orden de 40.5 Toneladas/Hectárea y su producción total en el municipio de Los Santos es de 2,025 Toneladas aproximadamente.

Los Cultivos de habichuela, pepino y otros, se destacan en las veredas: Delicias, Guamito, Tabacal, Rosa blanca, La Fuente, La Purnia, todas pertenecientes a la zona de interés con un área total aproximada de 25 Hectáreas («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

4.1.2.4 Sistema de producción de yuca. El sistema de producción yuca tiene un área aproximada de 125 hectáreas, especialmente en las veredas La Purnia, San Rafael, Salazar, Mojarra, Garbanzal, Teres, Lagunas y Potreros, con un rendimiento promedio de 8,000 kilogramos por hectárea; su producción se utiliza en un 70% para el autoconsumo y el restante 30% para la comercialización en el mercado del casco urbano.

La preparación del suelo se realiza con azadón y muchas veces el agricultor acostumbra a quemar para realizar la siembra, se utilizan densidades de 10.000 planta por hectárea cuando se siembra en monocultivo («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

4.1.2.5 Sistema de producción de maíz y frijol. El sistema de producción maíz se cultiva en todas las veredas del municipio, generalmente se utiliza como rotación en los lotes después de varios ciclos de tabaco, por medio de los cuales el agricultor busca romper el ciclo de plagas y enfermedades.

En cambio, el sistema de producción frijol en monocultivo se desarrolla en pequeñas áreas, lotes de $\frac{1}{4}$ - 1 hectárea, este cultivo se utiliza para rotación del cultivo del tabaco y se cultiva principalmente en las veredas Delicias, Guamito, La Fuente, Rosa Blanca y Tabacal («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

4.1.2.6 Sistema de producción de piña y patilla. En estos sistemas de producción las áreas son menores de una hectárea y predomina el trabajo familiar sin perjuicio del uso de la mano asalariada en forma ocasional.

Las veredas productoras son El Guamito, Delicias, El Pozo, La Fuente, Los Teres, Laguna, Espinal y Rosa blanca principalmente, el área de siembra de piña es de 80 hectáreas y 40 hectáreas de patilla aproximadamente («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

4.1.2.7 Otros sistemas de producción agrícolas. Existen en la zona otros sistemas de producción alternativos, que representan una minoría y generan poco impacto ambiental.

Dentro de ellos se encuentra el cultivo de café orgánico, cultivo de La vid (uva), y helecho de cuero, cultivo poco conocido pero que cuenta con un alto potencial de exportación («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

4.1.3 Actividad Pecuaria

4.1.3.1 Sistema de producción bovino. Al igual que los sistemas agrícolas, en los sistemas pecuarios se presentan dos clases de explotaciones con diferente nivel de tecnología, en el sector de La Mesa se desarrollan ganaderías semi especializadas de tipo semi extensivo, con praderas de pastos mejorados con Braquiaria y Estrella.

La ganadería es de tipo ceba y leche, las razas predominantes son Cebú, Pardo Suizo y Holstein respectivamente. Estas explotaciones principalmente son complementarias a las Granjas Avícolas en donde se utiliza la gallinaza y la pollinaza en el mejoramiento de las praderas y como

complemento nutricional en las dietas bovinas principalmente («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

Según la URPA – UMATA en el municipio de Los Santos existen alrededor de 200 hectáreas en grama y demás pastos naturales; en pastos mejorados 200 hectáreas entre braquiaria y estrella; y alrededor de 15 hectáreas en pastos de corte especialmente king grass, elefante, Taiwán e imperial; para un total de 415 hectáreas de forrajes. El manejo de praderas se limita al control manual de malezas. Las praderas mejoradas han aumentado de manera significativa en el municipio debido a la disponibilidad de fuentes de materia orgánica para este caso de gallinaza y pollinaza que mejoran las condiciones del suelo y facilitan el establecimiento de praderas mejoradas («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021). La capacidad de carga de los potreros está estimada en un promedio de 0.5 a 2 cabezas por hectárea, donde la capacidad varía según el tipo de suelo, clima y la cobertura que posean para alimento (CDMB, 2014).

4.1.3.2 Sistema de producción avícola. La avicultura en Santander es la actividad más dinámica dentro del sector agropecuario, con un lugar privilegiado en el contexto nacional, toda vez, que tiene una participación del 12.4% dentro del PIB del sector agropecuario, 7% dentro del PIB departamental y un 3.3% dentro del PIB nacional, ubicándose por encima del café cuya participación llega al 1.5% del PIB nacional. 5 Dicha actividad genera en el Departamento cerca de 40.800 empleos directos y unos 75.000 indirectos.

Las zonas de producción avícola en el Departamento se ubican en los municipios de Lebrija, Girón, Piedecuesta, Floridablanca (Ruitoque), Los Santos (Mesa de los Santos), Aratoca, Curití y Barbosa. La población avícola es del orden de 8.054.920 de Ponedoras; Pollo Engorde

10.160.031 aves y 1.499.559 Reproductoras. Las granjas avícolas se ubican especialmente en las veredas La Mesa en los sectores El Duende, El Verde, Carrizal, Tabacal, Majadal, La Fuente, Rosa blanca, Delicias y El Guamito y en la vereda Espinal Bajo («Esquema de ordenamiento territorial municipio de los santos – santander», 2021).

4.1.4 Industria y Minería

4.1.4.1 Sector Minero. La minería se realiza a cielo abierto especialmente en las veredas El Pozo, Espinal, Los Teres, La Mesa y La Loma en una extensión de 790 Hectáreas y una producción de 4200 m³ (1999).

Los principales productos que se extraen son el yeso, yeso granulado, mármol amarillo, rosado y gris, y el calicho (Ver Figura 18) («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021). Según «Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», (2021), las principales minas son:

Figura 18.

Minas Bajo Jurisdicción del Municipio de Los Santos.

LOCALIZACIÓN	MINERAL	FORMA DE EXPLOTACIÓN	TECNOLOGÍA
El Carrancho	Yeso	Túnel	Tecnificada
El Toro	Yeso	Túnel	Tecnificada
Anacuma	Yeso	Túnel	Tecnificada
Anacuma	Yeso Granulado	Cielo abierto	Tecnificada
Paso Chico	Yeso granulado	Túnel	Tecnificada
Espinal Bajo	Caliza o Calicho	Cielo abierto	Tecnificada
Los Teres	Mármol y caliza	Túnel y cielo abierto	Tecnificada
Delicias	Caliza, Mármol, amarillo, rosado y gris, caliza	Cielo abierto	Tecnificada
El Pozo	Mármol gris y Caliza.	Túnel y cielo abierto	Tecnificada

Nota: Tomado de («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

En el área de interés se identifican dos minas localizadas en las veredas Las Delicias y Espinal Bajo, donde se explota a cielo abierto caliza y mármol («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

4.1.4.2 Sector Hidrocarburos. Con información obtenida de la cámara de comercio seccional Bucaramanga y apoyados de Google Earth junto con la corroboración en campo se identificaron cuatro estaciones de servicio de combustible dentro de la zona de estudio, denominadas:

- EDS Los Linderos
- EDS Mi Isla Biomax
- EDS Guayabal
- EDS En Construcción

4.1.5 Desarrollo Urbano

4.1.5.1 Parcelaciones. Sobre la vía principal que comunica a Los Santos se encuentran un importante número de condominios o parcelaciones de tipo campestres y centros de recreación que han venido caracterizando la región por el desarrollo turístico del departamento y especialmente del área metropolitana de Bucaramanga, el cual ofrece alternativas de descanso y uso del tiempo libre; proceso que se ha venido desarrollando desde hace dos décadas.

Las condiciones generales de las edificaciones son de tipo campestre y el carácter definido mediante el tratamiento paisajístico de las parcelaciones, permite determinar su desarrollo dentro del grupo de turismo segunda vivienda ya que es utilizada por sus propietarios para vacaciones o fines de semana o actividades recreativas.

4.1.5.2 Residuos sólidos. Los lixiviados procedentes de los propios residuos depositados en superficie al alcanzar la superficie freática, arrastran todo tipo de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Ingeoexploraciones S.A.S., 2016).

4.1.5.3 Aguas residuales. En el sector La Mesa del municipio de Los Santos carece de un alcantarillado Veredal o comunitarios para la recolección y tratamiento de estas aguas.

Se han presentado desbordamientos de los pozos sépticos en algunos sectores concurridos turísticamente contaminando los cuerpos de aguas tanto superficiales como subterráneos (Ingeoexploraciones S.A.S., 2016).

4.2 Peligros Relacionados con las Fuentes Identificadas

En la zona de estudio se identificaron diferentes actividades que pueden contaminar las aguas subterráneas. La información descrita en el presente apartado se obtuvo de fuentes como esquemas de ordenamiento territorial, planes básicos de ordenamiento territorial, planes de manejo ambiental, entre otros; complementándose también con la información obtenida en visitas de campo dónde en el Apéndice B se pueden observar los mapas sociales elaborados por la comunidad. A continuación, se describen brevemente los peligros asociados a estas actividades.

4.2.1 Actividad Agrícola

La contaminación de aguas subterráneas por este tipo de actividades es muy difícil de controlar ya que producen contaminación difusa que afecta a grandes extensiones. Así, los fertilizantes aportan compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio. En ocasiones se ha detectado que hasta el 50% de los nitratos pueden llegar al acuífero por infiltración. Por su parte, los plaguicidas aportan fungicidas, insecticidas, bactericidas, etc., estimándose una persistencia de estos productos de entre una semana y varios años. Asimismo, es posible que los metabolitos procedentes de la degradación de estos productos sean más tóxicos y persistentes que los productos originales (Ingeoexploraciones S.A.S., 2016).

4.2.1.1 Sistema de producción de tabaco. Las plagas más comunes son los áfidos, pulguitas y mosca blanca, para controlarlas se usan productos químicos, lo que puede ocasionar un alto número de aplicaciones en distintas dosis y mezclas. Algunos productos usados para el

control de plagas y enfermedades en este cultivo son Furadan, Benlate, Antracol y Curzate («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021). Por parte de habitantes del sector se manifiesta realizar irrigaciones de productos químicos a los cultivos hasta dos veces por semana.

4.2.1.2 Sistema de producción de tomate. Los agroquímicos más comunes en aplicaciones para el control de insectos y enfermedades fungosas son Furadan, Tamaron, Orthene, Curacron, Lorsban, Antracol, Curzate, Benlate.

En este sistema de producción se presenta alta degradación del suelo debido especialmente al sobre laboreo y manejo inadecuado del riego, así como la alta contaminación ambiental por el elevado uso de agroquímicos («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

4.2.1.3 Sistema de producción de café. En Los Santos se produce un café reconocido a nivel mundial por su exquisito aroma y su producción totalmente orgánica («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021). Este sistema de producción incluye el uso de gallinaza o en algunos casos ningún tipo de abono.

4.2.1.4 Sistema de producción de piña y patilla. El control de malezas lo realiza el productor mediante el uso de herbicidas o mediante prácticas manuales («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

4.2.1.5 Sistema de producción de yuca. El uso de insumos agrícolas es nulo, solo se limita a la realización de controles de malezas con azadón; los problemas fitosanitarios no son limitantes para la producción, aunque muchas veces se presentan ataques severos de áfidos y palometas («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

4.2.1.6 Sistema de producción de maíz y frijol. Para la cosecha de maíz y frijol, se realiza la aplicación de gallinaza y eventualmente se complementa la fertilización con aplicación de fertilizantes mayores como el Triple 15, Triple 14.

Los problemas fitosanitarios son el limitante principal entre los que se destacan las pulgillas *Epitrix* sp, cucarroncitos de las hojas *Diabrotica* sp, gusanos cogolleros y trozadores *Spodoptera frugiperda*, *Agrotis ipsilon* y a babosa *Milax gagates*, que requieren alta aplicaciones de funguicidas para su control. Las enfermedades más limitantes son la antracnosis y la roya, para cuyo control se usan productos químicos («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

4.2.1.7 Sistema de producción de pimentón, habichuela, pepino y otros. En estos sistemas de producción se presenta alta degradación del suelo debido especialmente al sobre laboreo y manejo inadecuado del riego, así como la alta contaminación ambiental por el elevado uso de agroquímicos («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

4.2.2 Actividad Pecuaria

De los residuos de los animales proceden diversos compuestos nitrogenados, fosfatos, bacterias, cloruros, y, en algunos casos, metales pesados. Este tipo de contaminación no suele ser muy importante a no ser que se trate de grandes explotaciones (Ingeoexploraciones S.A.S., 2016).

4.2.1.8 Sistema de producción bovino. El nivel tecnológico es muy bajo y la utilización de los insumos es casi nula, no se realizan prácticas como vermifugaciones, vacunación, topizado entre otras.

La incidencia de parásitos externos como la garrapata es alta y se presenta parasitismo intestinal, ocasionando diarreas en los semovientes. No se utiliza sal mineralizada en la dieta y la suplementación es nula («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – santander», 2021).

4.2.1.8 Sistema de producción avícola. En la zona de estudio se presentan focos de contaminación asociados al sector avícola.

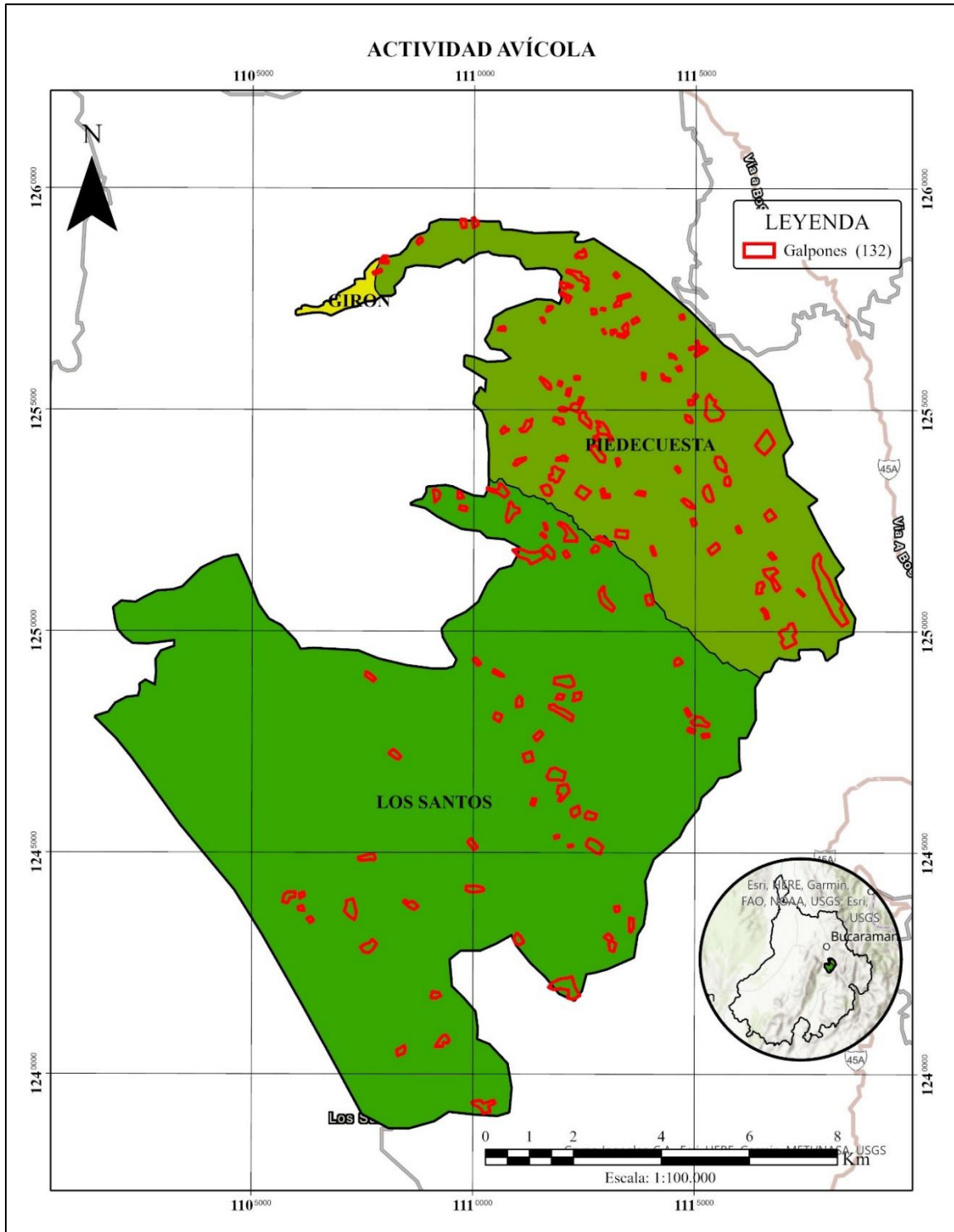
La contaminación de aguas subterráneas por este tipo de actividades produce alta contaminación en el agua superficial, subterránea debida a la infiltración, el suelo y el aire, los cuales son recursos naturales esenciales que dan vida y deben ser protegidos. Desafortunadamente hay áreas en diversas partes de la mesa donde existen focos de contaminación en los sectores avícolas que no fue posible de identificarlos por la dificultad técnica para el acceso (Ingeoexploraciones S.A.S., 2016).

El 8.8 % de las granjas avícolas poseen licencia o concesión de aguas, el 14.7% la están tramitando y el 76.5% restante no poseen licencia o concesión. El 100% de las granjas avícolas poseen como sistema de eliminación de aguas residuales pozo séptico, aunque en algunos casos habitantes manifiestan el vertimiento de aguas residuales hacia laderas («Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander», 2021).

Las granjas avícolas generan diferentes clases de residuos sólidos orgánicos como gallinaza, pollinaza y mortalidad, inertes como empaques de alimentos y demás insumos; para la eliminación de los residuos sólidos las Granjas Avícolas poseen diferentes sistemas de eliminación y manejo, la gallinaza y pollinaza en un 73% es compostada antes de ser utilizada; los residuos de empaque de alimento y otros en un porcentaje del 91% son reusados en otros procesos; el 26% de las granjas poseen un sistema de incineración para los residuos; y el 35% entierran los residuos en fosas en las granjas. El 73% de las granjas poseen caseta de compostaje para el tratamiento de la gallinaza, pollinaza y mortalidad. Se realizó una exploración de imágenes satelitales descargadas de EO-Browser («Sentinel-hub EO-Browser3», s. f.) y mediante Google Earth Pro se identificaron los posibles galpones y/o establos (Ver Figura 19).

Figura 19.

Actividad Avícola en Zona de Estudio.



4.2.3 Industria y Minería

4.2.3.1 Sector minero. En este caso las vías de contaminación y las sustancias contaminantes son muy variadas. Las labores de tratamiento de los minerales o la infiltración del agua de lluvia en las escombreras, en el caso de las minas, o los vertidos procedentes de la industria son causantes de la contaminación de las aguas subterráneas. (Ingeoexploraciones S.A.S., 2016), en el área de interés se identifican dos minas localizadas en las veredas Las Delicias y Espinal Bajo, donde se explota a cielo abierto caliza y mármol.

El sector minero, en su mayoría ilegal, está generando un fuerte empujón local a la economía, si bien, los resultados para el ambiente, es la pérdida de capa vegetal y la deforestación intensiva (CDMB, 2014). Para extraer los minerales comúnmente se realizan excavaciones, por lo que podrían llegar a tener influencia sobre las aguas subterráneas de la región. Los principales productos que se extraen son la caliza y el mármol amarillo.

4.2.3.2 Sector hidrocarburos. Los riesgos de contaminación en una estación de servicio dependen principalmente del mal estado de las instalaciones y descuidos de operarios o usuarios.

Las principales fuentes de contaminación son: tanques, red de tuberías, red de drenaje, foso de cambio de aceite, lavado de automóviles y carga de los tanques; los contaminantes que se derivan de los mencionados anteriormente son hidrocarburos, vapores, aceites o aguas con detergentes que pueden afectar el suelo, la atmósfera, las aguas superficiales y las aguas subterráneas (Ver Figura 20) (ALS Laboratory Group S.L., 2021).

Figura 20.

Afecciones al medio en las estaciones de servicio.

AFECCIONES AL MEDIO SEGÚN LAS FUENTES DE EMISIÓN EN LAS ESTACIONES DE SERVICIO			
Fuente	Fuente de contaminación	Contaminante	Medios afectados
Tanques	Derrame de producto debido al mal estado de conservación, por corrosión.	Hidrocarburos	Suelo, agua subterránea agua superficial
	Filtración de producto derramado por ausencia de cubeto.		
	Acumulación de vapores de gasolina debido a filtraciones a través del suelo y las instalaciones	Vapores de gasolina	Ambiente interior, riesgo de explosión
Red de tuberías	Perdidas de producto debido al mal estado de conservación, por corrosión, antigüedad, obstrucción	Hidrocarburos	Suelo, agua subterránea agua superficial
Red de drenaje	Pérdidas de producto debido al mal estado de conservación, por corrosión, fisuras, antigüedad.	Agua con hidrocarburos	Suelo, agua subterránea agua superficial
Foso de cambio de aceite	Filtraciones del aceite residual por falta de instalaciones y gestión inadecuada.	Aceites lubricantes	Suelo, agua subterránea agua superficial
	Vertido directo del aceite residual por falta de instalaciones y gestión inadecuada.		
Lavado de coches	Filtraciones de efluente por ausencia de red de saneamiento o de conexión a lamisma o ausencia de depuradora.	Agua con hidrocarburos y detergentes	Suelo, agua subterránea agua superficial
	Vertido directo del efluente procedente del túnel de lavado.		
Carga de los tanques	Derrame de producto debido a malas prácticas o descuidos.	Hidrocarburos	Suelo, agua subterránea agua superficial
	Filtración de producto derramado por ausencia de pavimento adecuado.		
	Acumulación de vapores en el suelo y las instalaciones.	Vapores de gasolina (COVs)	Ambiente interior, riesgo de explosión
	Pérdidas por volatilidad.	Vapores de gasolina (COVs)	Atmósfera
Repostaje de vehículos	Derrame de producto debido a malas prácticas o descuidos.	Hidrocarburos	Suelo, agua subterránea agua superficial
	Filtración de producto derramado por ausencia de pavimento adecuado.		
	Acumulación de vapores en el suelo y las instalaciones.	Vapores de gasolina (COVs)	Ambiente interior, riesgo de explosión
	Pérdidas por volatilidad.	Vapores de gasolina (COVs)	Atmósfera

Nota: Tomado de ALS Laboratory Group S.L., (2021).

4.2.4 Desarrollo Urbano

Las actividades contaminantes relacionadas con el desarrollo urbano, resaltando entre ellas las que fueron identificadas en la zona de estudio. Puede constatarse que en la Mesa de los Santos según Plan de Manejo de aguas subterráneas en el sector La Mesa en el municipio de los Santos, desarrollado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Corporación Autónoma Regional de Santander “CAS”) – Ingeoexploraciones S.A.S se encontraron problemas de saneamiento que tienen que ver, en áreas urbanas y rurales, con inadecuado manejo de aguas residuales y de residuos sólidos. A continuación, se sintetizan estos problemas.

4.2.4.1 Parcelaciones. Desde la última década las construcciones de casas y parcelaciones han crecido de manera exponencial, considerándose un aspecto preocupante en cuanto a la capacidad de sostenibilidad ambiental por causa del mismo crecimiento. La mayor parte del crecimiento suburbano se basa en pozos sépticos y redes de infiltración.

La densidad y la baja calidad técnica de dichas instalaciones, así como la falta del retiro correspondiente a los humedales y quebradas ya generan problemas notables de degradación de los ecosistemas e insalubridad (Ingeoexploraciones S.A.S., 2016).

Según habitantes de la zona, la mayoría de los pozos sépticos se encuentran contruidos en concreto y realizan manteamiento cada vez que estos se llenan o cada dos años aproximadamente, ya que manifiestan desconocer la frecuencia ideal de mantenimiento, esto se hace por medio de una empresa especializada, sin embargo las fosas sépticas en concreto pueden transformar aguas negras en aguas grises, por lo que a pesar de contar con este sistema se pueden presentar filtraciones al subsuelo afectando el ecosistema (rotoplas, 2021).

4.2.4.2 Residuos sólidos urbanos. En el sector La Mesa del municipio de Los Santos, falta más compromiso de la alcaldía municipal en su alcance de la recolección de los residuos sólidos veredales, ya que no existen zonas de almacenamiento de los residuales y los camiones recolectores no cubren la necesidad de todo el sector de la Mesa (Ingeoexploraciones S.A.S., 2016).

La información pertinente a este acápite es muy poca, falta información de las áreas rurales y centros poblados, cabeceras urbanas de los municipios que componen la Cuenca alta del río Lebrija (CDMB, 2014). Los habitantes declaran que hace algunos años la totalidad de los desechos sólidos se quemaban. En la actualidad, una empresa recolectora de residuos se encarga de estos desechos, resaltando que no se cubre toda la totalidad del área y en algunas veredas como Mesitas de San Javier aún se quema alrededor de un 70% de los residuos.

4.2.4.3 Aguas Residuales. Las aguas residuales de los núcleos urbanos se vierten a cauces superficiales o en fosas sépticas. En ocasiones, tras una ligera depuración de las aguas residuales urbanas, se distribuyen en superficie aprovechando el poder filtrante del suelo.

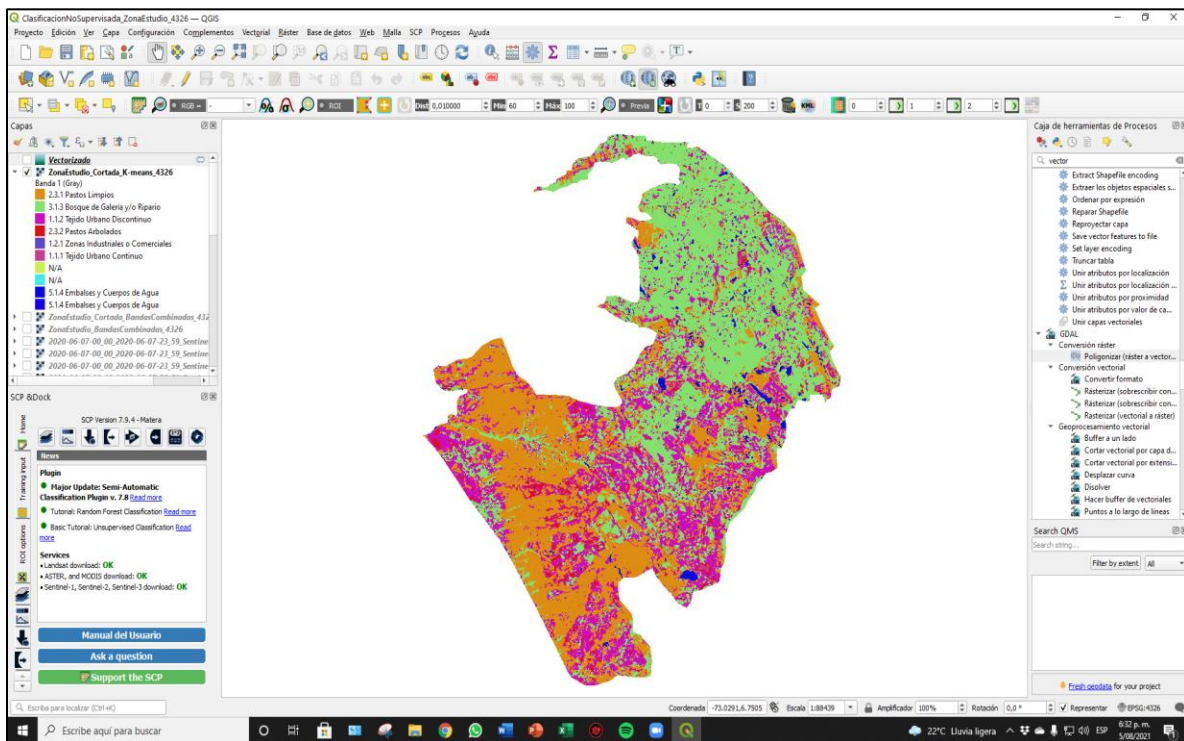
Los lodos resultantes de la depuración pueden representar, después de una segunda fase, el mismo problema. Estas aguas residuales pueden aportar distintos tipos de contaminantes como detergentes, nitratos, bacterias, virus, etc. Unido a esto se generan malos olores (Ingeoexploraciones S.A.S., 2016).

4.3 Cobertura de tierras: Método CORINE Land Cover, Colombia

Debido a la resolución de las imágenes satelitales obtenidas de Sentinel-2 (10 m), los mapas de cobertura realizados se lograron llevar a un nivel de detalle III en la leyenda establecida por Corine Land Cover – Colombia a una escala 1:100.000. La Figura 21 muestra una clasificación no supervisada generada por un algoritmo mediante el software QGIS.

Figura 21.

Cobertura de la Zona de Estudio, Clasificación no supervisada.

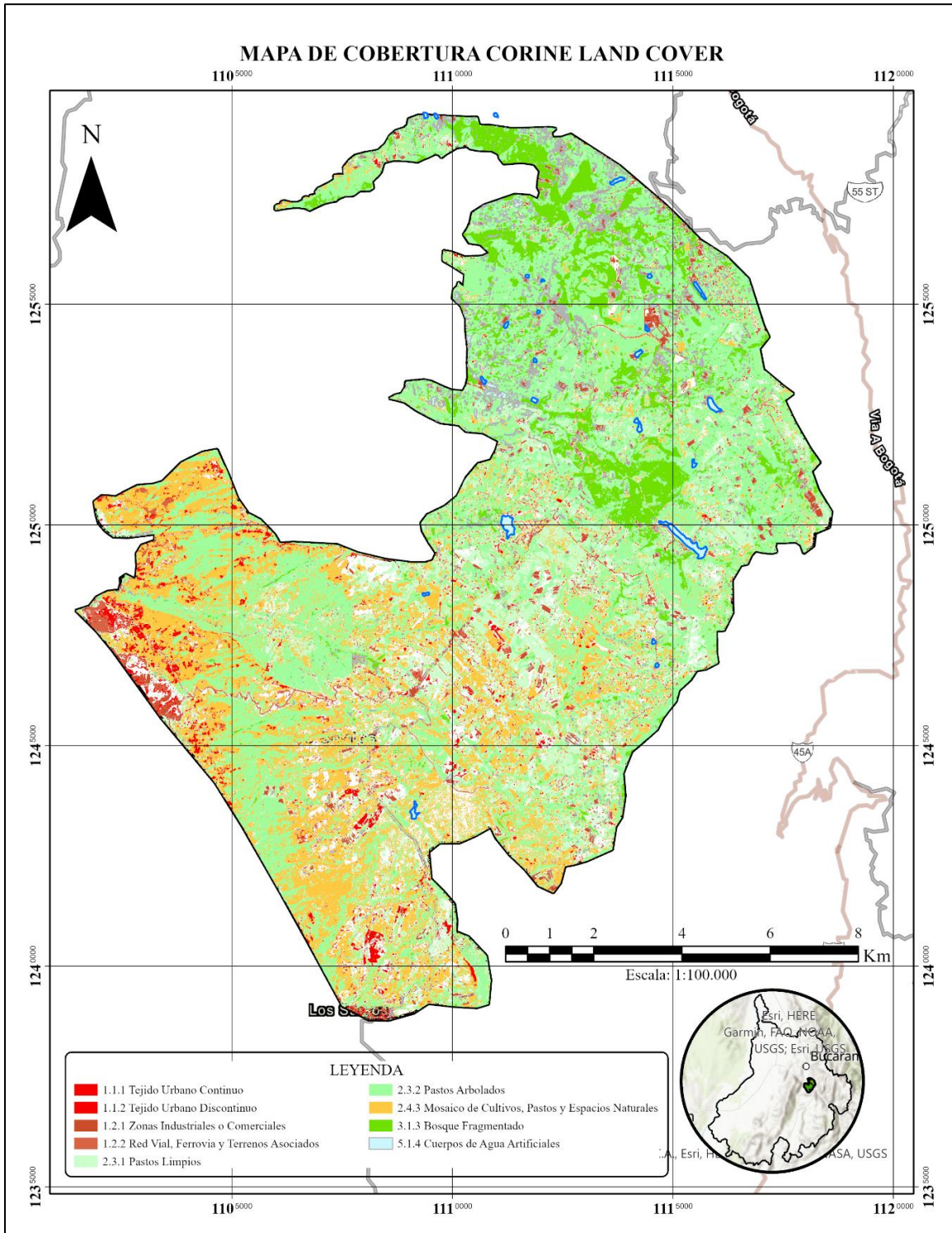


Dado que la clasificación no supervisada tenía muchas incongruencias con las imágenes satelitales descargadas («Sentinel-hub EO-Browser3», s. f.) , y que a su vez con las imágenes del software Google Earth Pro también presentaba variaciones, se decidió hacer una clasificación

supervisada con polígonos de entrenamiento, clasificación que por medio de ArcGIS se corrigió obteniéndose las siguientes coberturas: tejido urbano continuo y discontinuo, zonas industriales o comerciales, red vial y terrenos asociados, pastos limpios y arbolados, mosaicos de cultivos pastos y espacios naturales, bosques fragmentados y cuerpos de agua artificiales (Ver Figura 22).

Figura 22.

Mapa de Cobertura - Metodología Corine Land Cover.



4.4 Clasificación de las fuentes de contaminación, método Pollutant Origin Surcharge Hydraulically (POSH)

Las actividades contaminantes que generan contaminación al subsuelo en la zona de estudio fueron clasificadas a través de la metodología POSH con características como: Categoría de distribución, Principales tipos de contaminantes, Sobrecarga hidráulica, Potencial por generación de carga contaminante al subsuelo, entre otras, obteniéndose los resultados que se sintetizan en la Figura 23, donde se puede visualizar la actividad identificada, su potencial a la contaminación, la cantidad de puntos corroborados en campo y su respectiva ubicación.

Como se mencionó en la metodología, esta clasificación se tabuló junto con los criterios tenidos en cuenta para determinar su potencial por generación de carga contaminante al subsuelo (Ver Apéndice C). Además, se generó el mapa correspondiente a la metodología POSH acogiendo la leyenda establecida por POSH, clasificando las fuentes de contaminación identificadas en la corroboración de campo según su potencialidad a la contaminación: reducida, moderada o elevada, y, según su distribución: puntual o difusa (Ver Figura 24).

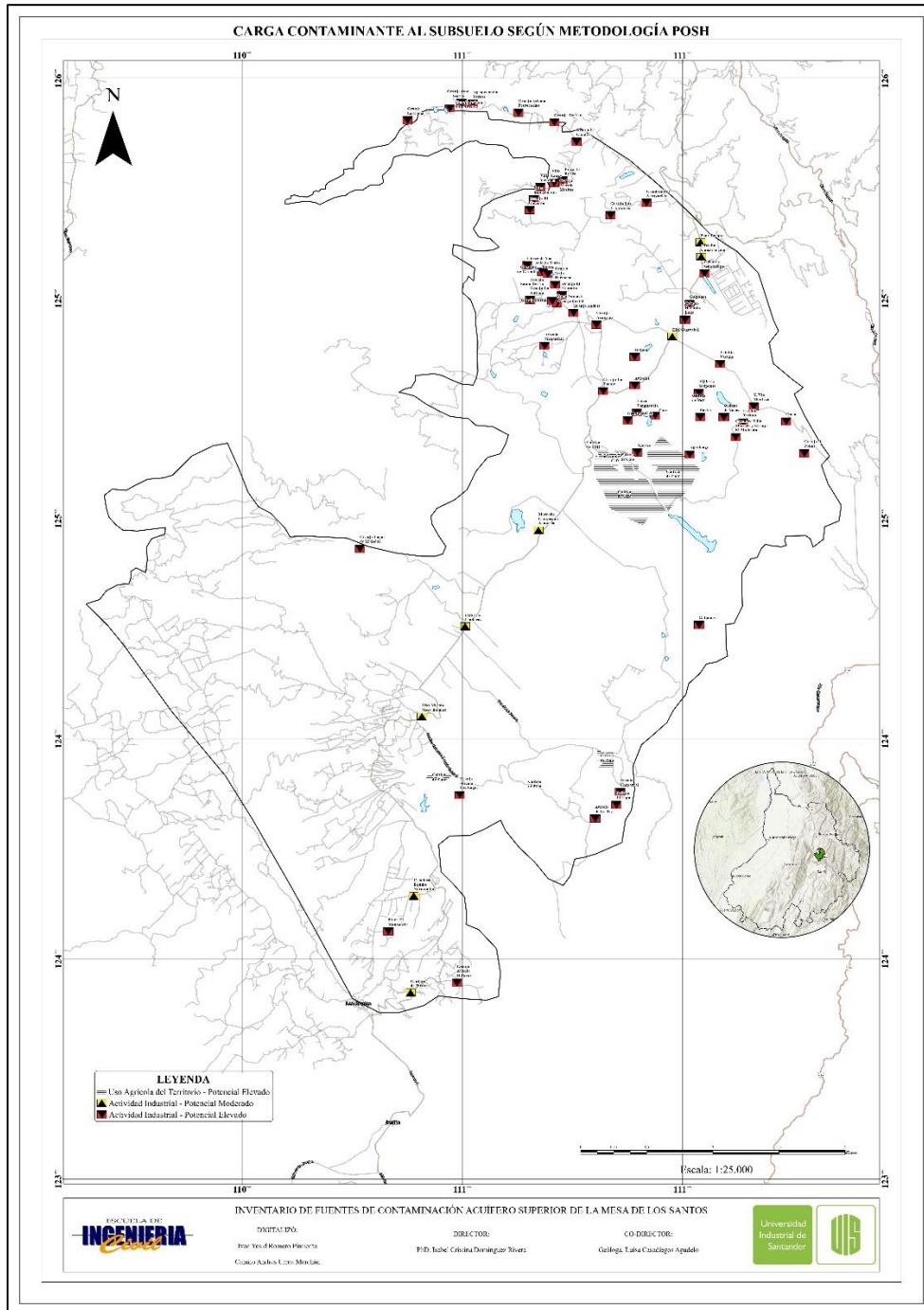
Figura 23.

Clasificación por generación de carga contaminante, ocurrencia temporal y espacial según método POSH.

TIPO DE ACTIVIDAD	Potencial Por Generación de Carga Contaminante Al Subsuelo	Ocurrencia Temporal	Cantidad	Vereda
AGRICOLA				
<i>Sistema de Producción de Tabaco</i>	ELEVADO	FE	1	Llanadas
<i>Sistema de Producción de Tomate</i>	ELEVADO	FE	4	Tabacal, La Fuente, Llanadas, La Navarra
<i>Sistema de Producción de Pimentón, Habichuela, Pepino y Otros</i>	ELEVADO	FE	7	Las Delicias, El Tabacal, Majadal Bajo y Llanadas
<i>Sistema de Producción de Yuca</i>	REDUCIDO	FE	2	Carrizal, Las Delicias
<i>Sistema de Producción de Maíz y Frijol</i>	REDUCIDO	FE	3	Las Delicias, Mesitas de San Javier
<i>Sistema de Producción de Piña Y Patilla</i>	ELEVADO	FE	4	Carrizal, Tabacal, La Fuente, Majadal Bajo
<i>Otros Sistemas de Producción Agrícolas (helecho de cuero, uva, café)</i>	ELEVADO	FE	13	Holanda y Carrizal
PECUARIO				
<i>Sistema de Producción Bovino</i>	ELEVADO	FE	2	El Guamito y La Esperanza
<i>Sistema de Producción Avícola</i>	ELEVADO	FE	45	Los Cacaos, Holanda, Carrizal, Las Delicias, Tabacal, La Esperanza, El Duende, El Guamo, La Navarra, Mesitas de San Javier, Majadal Bajo, Los Cacaos y Holanda
EXTRACCIÓN DE MINERALES				
<i>Sector Minero</i>				
<i>Mina a cielo abierto de Caliza</i>	MODERADO	FE	1	Espinal Bajo
<i>Mina a cielo abierto de Mármol</i>	MODERADO	FE	1	Las Delicias
URBANIZACIÓN				
<i>Parcelaciones</i>	MODERADO	FE	10	Los Cacaos, Las Delicias, Esperanza, El Duende
<i>Residuos Sólidos</i>	ELEVADO	FF - FE		
<i>Aguas Residuales</i>	MODERADO	FF - FE		
INDUSTRIAL				
<i>Sector Hidrocarburos</i>				
<i>EDS Los Linderos</i>	MODERADO	FE	1	Vía Principal- La Fuente
<i>EDS Guayabal</i>	MODERADO	FE	1	Vía Principal - Holanda
<i>EDS En Construcción</i>	MODERADO	FF	1	Holanda
<i>EDS Mi Isla Biomax</i>	MODERADO	FE	1	Vía Principal - La Fuente
INDUSTRIA TIPO 1				
<i>Carpinterías</i>	REDUCIDO	FE		
INDUSTRIA TIPO 2				
<i>Fertilizantes</i>	MODERADO	FE		
INDUSTRIA TIPO 3				
<i>Procesamiento de metal</i>	ELEVADO	FE		
<i>Productos farmacéuticos y químicos</i>	ELEVADO	FE		
FE - Fuentes existentes de contaminación				
FF - Fuentes Potenciales Futuras de contaminación				
FP - Fuentes Pasadas (o heredadas) de contaminación				

Figura 24.

Mapa de fuentes de contaminación según método POSH.



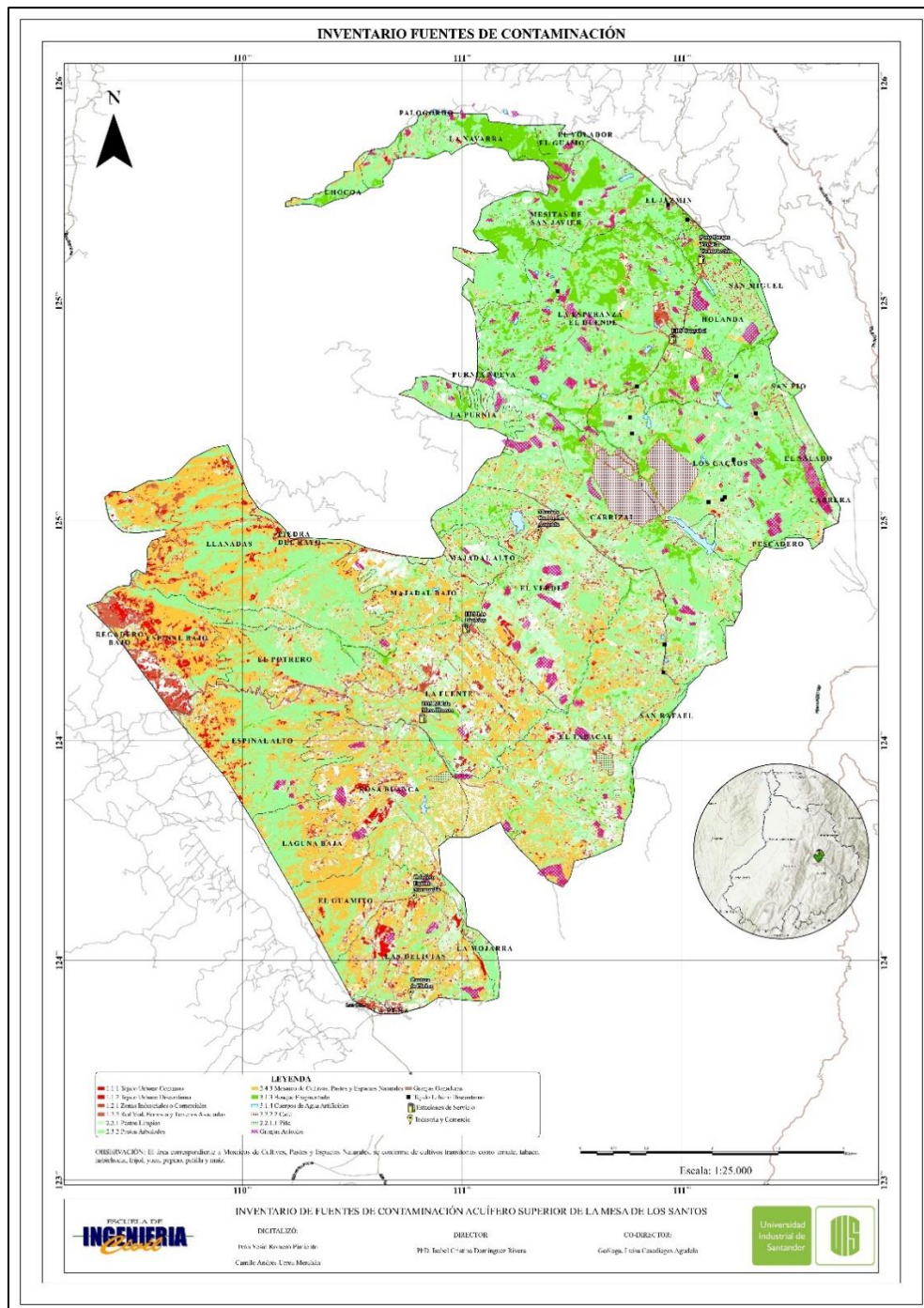
Nota: Debido a que el mapa anterior se encuentra a escala 1:25000, para visualizarse con un mejor detalle, este se encuentra también en el Apéndice D.

4.5 Mapa general inventario de fuentes de contaminación

El mapa general del inventario de fuentes de contaminación en el acuífero superior de la Mesa de Los Santos se realizó a escala 1:25.000 por medio del software ArcGIS pro. Se resalta que debido a la resolución de las imágenes satelitales y teniendo en cuenta que estas fueron capturadas el 18 de febrero de 2020, se hizo difícil la localización de algunas actividades detectadas durante las visitas de campo. Este mapa relaciona información obtenida automáticamente de los Sistemas de Información Geográficos (SIG) como lo fue la clasificación supervisada con información obtenida manualmente mediante las visitas a campo, por ende, se muestran las coberturas de usos de suelo junto con las diferentes actividades antrópicas identificadas en la zona de estudio (Ver Figura 25).

Figura 25.

Mapa general Inventario de fuentes de contaminación.



Nota: Debido a que el mapa anterior se encuentra a escala 1:25000, para visualizarse con un mejor detalle, este se encuentra también en el Apéndice E.

4.6 Recomendaciones para el control a la contaminación

El peligro y la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación se determina por la carga contaminante aplicada al subsuelo, es por esto por lo que la preocupación más grande surgirá de las actividades contaminantes que aportan cargas elevadas al subsuelo. Por ende, es importante hablar de recomendaciones sectorizadas para el control de tales actividades contaminantes.

4.6.1 Recomendaciones y Acciones para el Control del Sector Agrícola

El uso de pesticidas y fertilizantes es común en el sector agrícola usado para la protección de plagas en los cultivos. El manejo de nutrientes y pesticidas para satisfacer las necesidades de los cultivos generan una carga contaminante ELEVADA al subsuelo, que, dependiendo de los cultivos dicha carga puede ser REDUCIDA. El uso adecuado, el control de la tasa de concentración, tiempo de aplicación y la prohibición de algunos pesticidas, son las mejores restricciones y recomendaciones para el control de la carga contaminante al subsuelo (Foster et al., 2002).

4.6.2 Recomendaciones y Acciones para el Control del Sector Desarrollo urbano

La disposición de los residuos sólidos domésticos e industriales hacen que se clasifiquen como actividades contaminantes de carga ELEVADA, lo cual implica una disposición de estos residuos sólidos en un colector de lixiviados impermeabilizado en la base y superficie junto con un análisis del impacto del tratamiento y reciclaje de estos (Foster et al., 2002).

Se recomienda la inspección sistemática de los pozos sépticos por las posibles infiltraciones al subsuelo con cargas contaminantes MODERADAS, por esto se debe hacer una adecuada elección de pozos garantizando el mantenimiento recomendado por el fabricante o diseñador. Además, en lo posible realizar la construcción de una red de alcantarillado, ya que, aunque se haya generado grandes cargas en el subsuelo en el pasado, la construcción de este alivianara la carga contaminante (Foster et al., 2002).

4.6.3 Recomendaciones y Acciones para el Control del Sector Pecuario

Se recomienda establecer un control más efectivo principalmente a los vertimientos de aguas por parte de las granjas avícolas, ya que en varias oportunidades los habitantes mencionaron que estas eran desechadas hacia la capa vegetal, por lo que se podrían implementar lagunas de efluentes impermeabilizadas, con disposición a distancia además de un pretratamiento de aguas (Foster et al., 2002).

4.6.4 Recomendaciones y Acciones para el Control del Sector Industria y minería

Una de las mayores preocupaciones en una estación de servicio de gasolina es la presencia a fugas, esto debido al deterioro o mal estado de los almacenamientos en tanques subterráneos que pueden presentar fugas al subsuelo siendo cargas contaminantes MODERADAS, por ello se propone hacer recubrimientos dobles en los tanques o una instalación por encima del subsuelo para la detección temprana de fugas (Foster et al., 2002).

La descarga de aguas de drenaje y los vertederos de lixiviados para el desarrollo de la minería es una de las actividades con carga contaminante MODERADA, es esencial tomar un fuerte control en las operaciones de descarga de estos lixiviados y así mismo el tratamiento y buena disposición de los desechos provocados por la minería para el control a la contaminación (Foster et al., 2002).

El sector industrial identificado en la zona se compone de las tres clasificaciones por el método POSH: REDUCIDO, MODERADO y ELEVADO, lo cual se hará las recomendaciones para la carga contaminante ELEVADA por las restricciones y su dificultad al tratarse. Por esto las industrias tipo 3 deben recibir un adecuado manejo de los residuos y sustancias generadas, lo cual se debe regular por las entidades gubernamentales competentes encargadas de la protección del agua (Foster et al., 2002).

Según (Foster et al., 2002) se recomienda hacer un ciclo para la evaluación del impacto ambiental con selección y sondeos ambientales y estudios de la calidad del agua que contengan evaluación de puntos y elementos claves. Una vez evaluada la prefactibilidad, proceder a hacer una evaluación detallada de los impactos significativos en la zona de estudio identificando medidas de mitigación, dando estrategias para las medidas de control para posteriormente monitorear y evaluar las medidas tomadas.

Para ver un mejoramiento en el cuidado de las fuentes de agua subterránea es de importancia tener redes de monitoreo de calidad, ya que son utilizadas para proveer datos sobre el estado de la calidad del recurso hídrico subterráneo con fines de planeación, manejo y toma de decisiones sobre la protección y conservación de las aguas subterráneas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). Al igual se debe tomar medidas de manejo ambiental en las zonas de alta carga contaminante tomándose restricciones y acondicionamientos a las zonas más

susceptibles a la contaminación. Para finalizar se debe realizar el seguimiento y control para aquellas fuentes de contaminación que tengan vertimientos a las corrientes o al subsuelo, regulado por el reglamentado Decreto 3930 de 2010 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

5. Conclusiones

Se identificaron fuentes de contaminación pertenecientes al sector, agrícola como cultivos de café, tomate, tabaco, maíz, yuca, piña, entre otros. En el sector pecuario se destacan las granjas avícolas, ganaderas y equinas. En las industrias resaltan las estaciones de servicio de combustible y en el sector urbano, se encuentran nuevas parcelaciones.

Se caracterizaron las fuentes de contaminación identificadas teniendo en cuenta su potencial contaminante, de acuerdo con la metodología POSH, encontrándose que, el 45.5% tienen un potencial elevado de contaminación, el 40.9% se clasifican con un potencial moderado y el 13.6% se enlistan como fuentes de contaminación con potencial reducido.

Las fuentes de contaminación de potencial elevado fueron los sistemas de producción de tabaco, tomate, pimentón, habichuela, piña, café, avícola y bovino; a su vez los desechos de residuos sólidos, industrias metalúrgicas y farmacéuticas. Estas actividades se localizan en zonas correspondientes a las veredas Llanadas, Tabacal, La Fuente, La Navarra, Las Delicias, Majadal Bajo, Carrizal, Holanda, El Guamito, La Esperanza, El Duende, Mesitas de San Javier y Los Cacaos.

El sector avícola es la industria de mayor impacto identificada en la zona. Se establece que en algunas granjas no tienen control de vertimiento de aguas siendo desechadas a la capa vegetal. Esta industria se clasifica con un potencial elevado a la contaminación. El sector agrícola es el siguiente con mayor presencia en la zona, clasificándose también con un potencial elevado a la contaminación por causa del uso de diferentes agroquímicos sin llevar un control de manejo adecuado de estos.

Se corroboró en campo un total de 45 fuentes de contaminación por sistemas de producción avícola, 5 por sistemas de producción bovino, 34 por sistemas de producción agrícola, 2 por parte del sector minero, 10 en cuanto al desarrollo urbano, 4 estaciones de servicio y 8 industrias identificadas en la zona de estudio, obteniéndose un total de 63 fuentes de contaminación identificadas en campo. Además, según la metodología CLC en la zona de estudio predominan los mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales.

Se asignaron las recomendaciones para cada uno de los sectores identificados con la finalidad de reducir el impacto presente y futuro de las actividades correspondientes durante su desarrollo sobre la zona a la que pertenece el acuífero superior de la Mesa de Los Santos.

La metodología aplicada en esta investigación se caracteriza por su gran utilidad y fácil aplicación para la obtención de resultados. Durante su aplicación se presentaron algunas limitaciones como imposibilidad de acceso a la información por parte de algunas entidades y el difícil reconocimiento del uso de suelo por medio de imágenes satelitales gratuitas. Para lo anterior se recomienda facilitar el acceso y actualizar las bases de datos abiertas principalmente por parte de las entidades gubernamentales; en cuanto a la otra limitación se recomienda realizar prácticas de teledetección por medio de drones o acceder de manera remunerada a imágenes satelitales de mejor calidad que abarquen el área de estudio.

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de Girón. (2021). Información del municipio. Recuperado 5 de mayo de 2021, a partir de <https://www.giron-santander.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Alcaldía de Los Santos. (2021). Información del municipio. Recuperado 5 de mayo de 2021, a partir de <https://www.lossantos-santander.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Alcaldía de Piedecuesta. (2021). Información del municipio. Recuperado 5 de mayo de 2021, a partir de <https://www.alcaldiadepiedecuesta.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- ALS Laboratory Group S.L. (2021). Contaminación en estaciones de servicio. Recuperado a partir de https://www.alsglobal.es/noticias/CONTAMINACION-EN-ESTACIONES-DE-SERVICIO_291
- CDMB. (2014). Pomca Río Lebrija.
- Corporación Autónoma regional de Santander. (2021). Respuesta a «Solicitud de documentos para proyecto de investigación», Radicado CAS No. 80.30.06407 .2021 del 20 de abril de 2021. CAS, 12.
- Corporación Autónoma Regional de Santander. (2017). Fase de diagnóstico documento general vol . I . Caracterización básicas y del sistema físicobiótico, 1, 1322.
- Corporación Autónoma Regional de Santander. (2019). Plan De Ordenación Y Manejo De La Subzona Hidrográfica-Río Bajo Chicamocha.

- Damiano, F., Barilari, A., Massone, H., Corleto, B., Albornoz, D., Lima, L., ... Fresta, P. (2015). Inventario de fuentes puntuales de contaminación potencial del agua subterránea. Caso de estudio Mar de Plata. *Conitec*, 1-11.
- DANE. (2018a). *Censo nacional de población y vivienda*. Recuperado a partir de https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/perfiles/68418_infografia.pdf
- DANE. (2018b). *Censo nacional de población y vivienda*. Recuperado a partir de https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/perfiles/68547_infografia.pdf
- DANE. (2018c). *Censo nacional de población y vivienda*. Recuperado a partir de https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/perfiles/68307_infografia.pdf
- Encinas, M. (2011). *Medio Ambiente Y Contamianción. Principios Básicos. Addi.Ehu.Es*. Recuperado a partir de <https://bit.ly/2QDqF6R>
- Esquema de ordenamiento territorial municipio de Los Santos – Santander. (2021).
- Esri Colombia. (2021). Datos abiertos Esri Colombia. Recuperado 5 de mayo de 2021, a partir de <https://datosabiertos.esri.co/>
- Fernández, C. de M. (2013). *Hidrogeología aplicada con aspectos ambientales*. La Habana: Editorial Universitaria.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., Delia, M., & Paris, M. (2002). *Proteccion de la Calidad del Agua Subterranea*. Recuperado a partir de www.worldbank.org
- González Estévez, M., & Sánchez Munguía, V. (2015). Riesgo de contaminación del acuífero arroyo Alamar en Tijuana, Baja California. *Región Y Sociedad*, 25(56). Recuperado a partir de <https://doi.org/10.22198/rys.2013.56.a101>
- González Herrera, R. A., Albornoz Euán, B. sua I., Sánchez Y Pinto, I. A., & Osorio Rodríguez, J. H. (2018). The yucatán aquifer. Analysis of the risk of contamination with support of a

- geographic information system. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 34(4), 667-683. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.04.09>
- IGAC. (2021). Datos Abiertos IGAC. Recuperado a partir de <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-igac>
- IGAC, IDEAM, & Corpmagdalena. (2008). *Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000*.
- Ingeoexploraciones S.A.S. (2016). *Elaboración y formulación del plan de manejo de aguas subterráneas en el sector de la mesa del municipio de los santos, santander. Segunda fase*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos. MADS, Colombia*. Recuperado a partir de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Manejo_de_acuiferos/GUÍA_FORMULACIÓN_PLANES_ACUÍFEROS.pdf
- Organización de las Naciones Unidas. (2021). La importancia de los acuíferos subterráneos. Recuperado a partir de <https://news.un.org/es/audio/2010/12/1391261>
- Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Piedecuesta. (2016).
- Román, F. J. S. S. (s. f.). Conceptos Fundamentales de Hidrogeología. Recuperado a partir de https://hidrologia.usal.es/temas/Conceptos_Hidrogeol.pdf
- Rotoplas. (2021). 5 Desventajas de una cámara séptica de cemento. Recuperado a partir de <https://rotoplas.com.ar/5-desventajas-de-una-camara-septica-de-cemento/>
- Ruiz, D. A., & Martínez, G. S. (2015). *Estimar la vulnerabilidad intrínseca de los sistemas acuíferos presentes en el área del municipio de Ambalema, departamento del Tolima, Colombia*. Universidad Católica de Colombia.

Sentinel-hub EO-Browser3. (s. f.). Recuperado a partir de <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>