

**IDENTIFICACION Y CARACTERIZACION DE LAS AMENAZAS DE
CONTAMINACION DE LOS ACUIFEROS DEL SECTOR SUR DEL
MUNICIPIO DE PAIPA PARA LA EVALUACION PRELIMINAR DEL
RIESGO**

**ADIELA BARAHONA PICO
MARINELLA CONDIA CETINA**

**Asesor
ING. HELADIO GUIO AYALA**



**ESTUDIO DE IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS AMENAZAS DE
CONTAMINACIÓN DE LOS ACUÍFEROS DEL SECTOR SUR DEL MUNICIPIO
DE PAIPA PARA LA EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO**

**ADIELA BARAHONA PICO
MARINELLA CONDIA CETINA**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE BOYACÁ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
TUNJA
2003**

**ESTUDIO DE IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS AMENAZAS DE
CONTAMINACIÓN DE LOS ACUÍFEROS DEL SECTOR SUR DEL MUNICIPIO
DE PAIPA PARA LA EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO**

**ADIELA BARAHONA PICO
MARINELLA CONDIA CETINA**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Sanitario y Ambiental**

**Asesor
HELADIO GUIO AYALA
Ingeniero Geólogo Esp. Ing. Ambiental**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE BOYACÁ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
TUNJA
2003**

AGRADECIMIENTOS

Las autoras expresan sus agradecimientos a:

Alfonso Rincón Barrera, Ingeniero Sanitario, Asesor Cartografía y SIG, por su valiosa colaboración y apoyo.

Alirio Rodríguez Rodríguez, Ingeniero Agrónomo, Director General Corpoboyacá, por su apreciado apoyo para la realización de este proyecto.

Claudia Patricia Quevedo, Ingeniera Sanitaria, Decana de la Facultad, Jurado del proyecto, por su valiosa colaboración.

Héctor Angarita Niño, Economista, Subdirector Financiero y Administrativo Corpoboyacá, por sus sabios consejos.

Heladio Guío Ayala, Ingeniero Geólogo, Asesor del proyecto Corpoboyacá, por su valiosa colaboración y por los conocimientos aportados.

Jorge Armando Monroy, Ingeniero Agrónomo, Coordinador-seguimiento proyectos ambientales Corporación Hábitat XXI, por su incondicional amistad y aportes al proyecto.

Jimmy Orlando Avendaño, Abogado, Secretario General Corpoboyacá, por su amistad y colaboración.

Mario López Salamanca, Tecnólogo en Sistemas de Información Geográfico, Asesor SIAT Corpoboyacá, por su valiosa ayuda.

Miguel Arturo Rodríguez, Ingeniero Agrónomo, Profesional especializado Corpoboyacá, por su gran amistad y respaldo.

Stella Hernández Caro, Ingeniera Civil, Interventora del proyecto Corpoboyacá, por su colaboración.

Vicente Gorraíz, Ingeniero Sanitario y Ambiental, Jurado del proyecto, por su valiosa colaboración.

Y a todos los que aportaron en el desarrollo del proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
2 JUSTIFICACIÓN	20
3 OBJETIVOS	21
3.1 OBJETIVO GENERAL	21
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4 ANTECEDENTES	22
5 MARCO REFERENCIAL	23
5.1 MARCO GEOGRAFICO	23
5.1.1 Sistema administrativo	23
5.1.2 Sistema biofísico	23
5.1.3 Sistema social	26
5.2 MARCO CONCEPTUAL	27
5.2.1 Importancia del agua subterránea hasta de contaminación e intrusión de agua de mar en otros	27
5.2.2 Tipos de acuíferos	28
5.2.3 El problema de las aguas subterráneas y la faceta ambiental	28
5.2.4 Contaminación de las aguas subterráneas	31
5.2.5 Contaminación de acuíferos y las actividades que la producen	35
6 DISEÑO METODOLÓGICO	41

7 VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACION DEL ACUIFERO DEL SECTOR SUR DEL MUNICIPIO DE PAIPA	45
8 ACTIVIDADES QUE GENERAN PELIGRO POTENCIAL DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS	47
8.1 ACTIVIDADES AGRICOLAS Y GANADERAS	47
8.1.1 Productos químicos comúnmente utilizados	47
8.2 ACTIVIDADES ANTROPOGENICAS	50
8.2.1 Aguas residuales domésticas	50
8.2.2 Tanques sépticos	53
8.3 ACTIVIDADES INDUSTRIALES	54
8.3.1 Residuos provenientes de las termoeléctricas y siderurgias	54
8.3.2 Residuos provenientes de las estaciones de servicio	54
8.4 ACTIVIDADES MINERAS	55
8.4.1 Carbón	55
9 DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS DIVERSAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN EL SECTOR SUR DEL MUNICIPIO DE PAIPA DE ACUERDO A SU ORIGEN	58
9.1 ACTIVIDAD AGRICOLA Y GANADERA	58
9.1.1 Principales cultivos agrícolas	58
9.1.2 Principal ganadería del sector sur del municipio	67
9.2 ACTIVIDAD DOMESTICA, TURISTICA Y HOTELERA	73
9.2.1 Alcantarillado	73
9.2.2 Residuos sólidos	85
9.2.3 Residuos de la plaza de mercado	90
9.2.4 Residuos sólidos peligrosos	90

9.2.5 Matadero municipal	91
9.2.6 Sector de vivienda rural	91
9.2.7 Sector hotelero y recreacional	91
9.2.8 Recursos hídricos	94
9.3 ACTIVIDAD INDUSTRIAL	99
9.3.1 Aceros Boyacá	99
9.3.2 Empresa de Energía de Boyacá (unidad I, II, III)	100
9.3.3 Electrosochagota (unidad IV)	102
9.3.4 Estaciones de servicio	103
9.4 ACTIVIDAD MINERA	107
9.4.1 Minas de carbón	108
9.4.2 Recebo	120
9.4.3 Arena	122
9.4.4 Puzolana	123
9.4.5 Hierro	124
9.4.6 Arcilla	125
10 ÍNDICE DE AMENAZA POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN	127
11 CONCLUSIONES	151
12 RECOMENDACIONES	153
BIBLIOGRAFÍA	155
ANEXOS	157

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Persistencia relativa de los plaguicidas	50
Cuadro 2. Distribución del número de cultivos por veredas en el sector sur del municipio de Paipa	59
Cuadro 3. Distribución de áreas de cultivos por veredas	61
Cuadro 4. Distribución de cultivo de frijol por veredas	63
Cuadro 5. Distribución de cultivo de arveja por veredas	63
Cuadro 6. Distribución de cultivo de cebada por veredas	63
Cuadro 7. Distribución de cultivo de haba por veredas	68
Cuadro 8. Distribución de cultivo de papa por veredas	68
Cuadro 9. Distribución de cultivo de maíz por veredas	68
Cuadro 10. Distribución de cultivo de trigo por veredas	68
Cuadro 11. Distribución de la ganadería de acuerdo a su ocupación por veredas	74
Cuadro 12. Caracterización del agua residual proveniente del municipio colector 1	82
Cuadro 13. Caracterización del agua residual proveniente del municipio colector 2	83
Cuadro 14. Caracterización del agua residual proveniente del municipio colector 3	84
Cuadro 15. Caracterizaciones de la estación de servicio “La Esperanza”	105
Cuadro 16. Minerales explotados y estado de actividad	108
Cuadro 17. Distribución de las minas de carbón por veredas en el sector sur del municipio de Paipa	108

Cuadro 18. Características del carbón extraído del sector Salitre 1	111
Cuadro 19. Características del carbón extraído del sector Salitre 2	114
Cuadro 20. Efluente de la mina	115
Cuadro 21. Salida sedimentador	117
Cuadro 22. Entrada humedal	117
Cuadro 23. Características químicas del carbón extraído del sector El Volcán	118
Cuadro 24. Actividades y obras ambientales desarrolladas en el sector El Volcán	120
Cuadro 25. Distribución de las minas de recebo por veredas	121
Cuadro 26. Distribución de las explotaciones de arena por veredas	122
Cuadro 27. Distribución de las explotaciones de puzolana por veredas	123
Cuadro 28. Índice de amenaza potencial de contaminación	127
Cuadro 29. Actividad agrícola y ganadera	129
Cuadro 30. Actividad doméstica, turística y hotelera	134
Cuadro 31. Actividad industrial	142
Cuadro 32. Actividad minera	147

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Distribución total de cultivos por veredas	60
Figura 2. Distribución de áreas de cultivos en las diferentes veredas	62
Figura 3. Distribución del cultivo de frijol por veredas	64
Figura 4. Distribución del cultivo de arveja por veredas	65
Figura 5. Distribución del cultivo de cebada por veredas	66
Figura 6. Distribución del cultivo de haba por veredas	69
Figura 7. Distribución del cultivo de papa por veredas	70
Figura 8. Distribución del cultivo de maíz por veredas	71
Figura 9. Distribución del cultivo de trigo por veredas	72
Figura 10. Distribución de la ganadería de acuerdo a su ocupación por veredas	75
Figura 11. Pozos de inspección contruidos en ladrillo sin impermeabilización	76
Figura 12. Descarga del alcantarillado urbano del sector sur del municipio de Paipa al río Chicamocha	77
Figura 13. Mezcla de las aguas residuales del alcantarillado urbano con las aguas del río Chicamocha	77
Figura 14. Captación de aguas servidas para el riego de cultivos	78
Figura 15. Descarga del efluente proveniente del alcantarillado perimetral del sector hotelero al río Chicamocha	79
Figura 16. Descarga proveniente del matadero municipal del municipio de Paipa	79
Figura 17. Canal en tierra por donde circula agua residual termal combinada con agua residual doméstica proveniente del sector hotelero	86

Figura 18. Vertimiento al río Chicamocha de las aguas residuales termales y domésticas provenientes del zanjón en tierra hasta el depósito	86
Figura 19. Antiguo botadero a cielo abierto sin control, localizado en un terreno erosionado	87
Figura 20. Sitio de descarga de los residuos urbanos para efectos de reclasificación	88
Figura 21. Lixiviados producidos por la descomposición de la materia orgánica almacenada que escurren por el suelo hasta infiltrarse	89
Figura 22. Compostación como tratamiento de los residuos higiénicos	90
Figura 23. Matadero municipal	92
Figura 24. Planta de tratamiento del agua residual doméstica mediante lodos activados	95
Figura 25. Tanques de almacenamiento de crudo	100
Figura 26. Laguna de enfriamiento de los efluentes líquidos industriales provenientes de la Empresa de Energía de Boyacá	101
Figura 27. Prácticas de disposición de estériles alrededor de la bocamina provenientes de la minería del carbón en el sector Salitre 1	112
Figura 28. Recuperación de la zona de disposición de estériles mediante la siembra de cespedón	112
Figura 29. Disposición de las aguas ácidas provenientes de la mina y de escorrentía sector Salitre 1	113
Figura 30. Tratamiento con humedales para las aguas ácidas provenientes de las minas sector Salitre 2	116
Figura 31. Disposición de los estériles alrededor de la bocamina en el sector Salitre 2	116
Figura 32. Recuperación de la zona de disposición de estériles provenientes de la minería de carbón mediante la siembra de cespedón sector El Volcán	119
Figura 33. Explotación de hierro en la vereda Quebrada Honda	124

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos del sector sur del municipio de Paipa	152
Anexo B. Mapa de amenazas de los acuíferos a la contaminación	154

GLOSARIO

ACCIÓN RETARDADA: acción de un herbicida que se exterioriza lentamente y se manifiesta pronunciadamente días después de la aplicación del mismo.

ACUMULACIÓN: absorción de materiales (Ej: iones), por las células, mediante energía metabólica.

ADITIVOS: materiales que incluyen en las formulaciones de los plaguicidas, con el propósito de aumentar o modificar sus propiedades.

AGENTES TENSOACTIVOS: están formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua, y que son responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento y en la superficie de los cuerpos de agua receptores de los vertidos de agua residual.

APLICACIÓN TOTAL: aplicación de agroquímicos a la totalidad de un área de cultivo.

ÁREA DE APLICACIÓN: superficie sobre el cual se aplica el plaguicida.

COMBINACIÓN DE AGROQUÍMICOS: mezcla de uno o más agroquímicos.

CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS: uso de organismos benéficos para el control de plagas.

CONTROL DE MALEZAS: medida adoptada para crear un ambiente desfavorable para el crecimiento y la reproducción de las malezas: cultural, químicas, biológica, física y legislativa.

CONTROL QUÍMICO DE PLAGAS: uso de sustancias químicas o plaguicidas para el control de plagas.

CULTIVO: plantas cultivadas por el hombre para su provecho o su beneficio.

DOSIS: Tasa o cantidad de plaguicida aplicado por una unidad de superficie.

DESARROLLO SOSTENIBLE: es aquel que conduce el crecimiento económico a la elevación de la calidad de vida y el bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta

FANEGADA: medida de superficie, 6.400 m² (sinónimos: manzana, plaza, cuadra).

FLOTACIÓN: es la unidad de tratamiento utilizado en lugar de la sedimentación por gravedad o previo a la decantación primaria, para mejorar la eliminación de sólidos suspendidos y flotantes.

HERBICIDA: matamaleza; sustancia química, empleada para inhibir el crecimiento o causar la muerte de las plantas.

HECTÁREA: unidad de superficie: 10.000m^2 .

MALEZA: planta que crece en terrenos e impide el óptimo desarrollo de los cultivos.

MATERIA ORGÁNICA: son sólidos que provienen de los reinos vegetal y animal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.

PARTES POR MILLÓN (ppm): indica la cantidad que una sustancia presente en un millón de partes de mezcla o solución en un vehículo tal como agua; mg/kg .; mg/lt .

PATÓGENOS: Agentes transmisores de enfermedades contagiosas por medio de organismos patógenos presentes en el agua.

PLAGUICIDAS: cualquier sustancia o mezcla de sustancias que sirven para controlar insectos, roedores, hongos, malezas y otras formas vegetales o animales que se consideren plagas.

VISCOSIDAD: resistencia de un líquido a fluir.

VOLATILIDAD: tendencia de un compuesto líquido a evaporarse.

RESUMEN

Barahona Pico, Adiel.

Estudio de identificación y caracterización de las amenazas de contaminación de los acuíferos del sector sur del municipio de Paipa para la evaluación preliminar del riesgo / Adiel Barahona Pico y Marinella Condía Cetina. - - Tunja : Fundación Universitaria de Boyacá, Facultad de Ciencias e Ingeniería , 2003.

162 h. : il. + 1 CD. - - (Trabajos de Grado, Ingeniería Sanitaria y Ambiental; no.)

Trabajos de Grado (Ingeniero Sanitario y Ambiental). - - Fundación Universitaria de Boyacá, 2003.

El trabajo permite conocer el estado de amenaza de contaminación, a que están sometidos los acuíferos presentes en el sector sur del municipio de Paipa, causada por la inadecuada disposición final de los residuos tanto líquidos como sólidos, generados en las diversas actividades antropogénicas como son: doméstica, industrial, minera, agrícola y ganadera, las cuales se desarrollan en el área de estudio.

El objetivo del estudio es la evaluación preliminar del riesgo, a partir de la identificación y caracterización de las amenazas potenciales de contaminación de los acuíferos del sector sur del municipio de Paipa, según el tipo de disposición final de los residuos líquidos y sólidos, en cada una de las actividades antropogénicas desarrolladas en el sector.

La evaluación fue realizada mediante la cuantificación de dicha amenaza, teniendo en cuenta la identificación, inventario y clasificación de las diferentes fuentes potenciales de contaminación existentes en el área sur del municipio de Paipa, que conllevaron a la caracterización, la cual se basó en la observación de la forma de disposición final de las diferentes clases de residuos de acuerdo a su origen o fuente generadora y a su vez del peligro potencial que representan el material residual o de desecho, debido a su composición química. Mediante la valoración o cuantificación de la amenaza, se genera la elaboración de un mapa de amenaza de los acuíferos a la contaminación, indicando su respectivo índice, según corresponda a extrema, alta, moderada, baja y muy baja.

Finalmente el trabajo, presenta las zonas amenazadas a la contaminación de los acuíferos en mayor y menor grado, planteando a su vez alternativas de mitigación.

INTRODUCCIÓN

El municipio de Paipa se encuentra localizado en la zona central del departamento de Boyacá denominada provincia de Tundama. En el sector sur del municipio, el agua subterránea constituye una de las principales fuentes de abastecimiento para consumo y existe un riesgo potencial de contaminación del recurso debido principalmente a la presencia de actividades agropecuarias y asentamientos humanos en sus zonas de recarga. En la región se encuentra uno de los sistemas acuíferos de aguas termales más importantes del país y alrededor del cual se ha desarrollado una intensa actividad turística que genera riesgos potenciales de contaminación a los acuíferos de agua dulce de la zona.

En el sector sur del área del municipio de Paipa existe un riesgo potencial de contaminación de aguas subterráneas, representado, entre otros, por la disposición inadecuada de residuos líquidos domésticos. Las aguas termales usadas son almacenadas en dársenas, construidas sobre rocas o depósitos cuaternarios permeables. De igual manera se han identificado botaderos a cielo abierto de residuos sólidos sobre rocas de composición de gravas y arenas, consideradas como rocas permeables.

El análisis de las amenazas de contaminación a través de la identificación y caracterización de los fenómenos de contaminación, permitirán determinar el riesgo a la contaminación de los acuíferos de esta área y de esta manera contar con una de las herramientas básicas para en el futuro formular y diseñar el plan de manejo y protección de los recursos de aguas subterráneas de la región. El proyecto se desarrollará en marco del programa regional de protección y manejo de aguas subterráneas que desarrolla CORPOBOYACA en su jurisdicción.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el sector sur del municipio de Paipa, el agua subterránea constituye una de las principales fuentes de abastecimiento para consumo humano pero existe un riesgo potencial de contaminación del recurso debido principalmente a la presencia de actividades agropecuarias y asentamientos humanos en las zonas de recarga. En la región se encuentra uno de los sistemas acuíferos de aguas termales más importantes del país y alrededor del cual se ha desarrollado una intensa actividad turística que también genera riesgos potenciales de contaminación a los acuíferos de agua dulce de la zona.

En éste sector, existe un riesgo potencial de contaminación de aguas subterráneas, representado entre otros por: disposición inadecuada de residuos líquidos domésticos; las aguas termales usadas son almacenadas en dársenas construidas sobre rocas o depósitos cuaternarios permeables; se han identificado botaderos a cielo abierto de residuos sólidos sobre rocas de composición de gravas y arenas, consideradas como rocas permeables y adicionalmente en la vereda el salitre se desarrolla una intensa actividad minera de explotación de carbón, la cual conlleva a la generación de residuos sólidos y el drenaje de aguas ácidas provenientes de la mina.

2 JUSTIFICACIÓN

La Corporación Autónoma Regional de Boyacá – CORPOBOYACA – como entidad encargada de velar por la conservación, protección y uso sostenible del recurso hídrico, viene adelantando el programa de protección de aguas subterráneas en diferentes municipios de la jurisdicción donde se han localizado acuíferos de relevada importancia como fuente de abastecimiento, para el desarrollo y mejoras en la calidad de vida de las comunidades.

Este es el caso del municipio de Paipa el cual no cuenta con ningún estudio de identificación y cuantificación de las fuentes de contaminación relacionadas con las diferentes actividades antropogénicas desarrolladas como son: doméstica, industrial, minera, agrícola y ganadera, las cuales están generando riesgo ante la vulnerabilidad del acuífero.

El estudio del análisis de las amenazas de contaminación, conllevará a la predicción del nivel del riesgo en que se encuentra el acuífero y a la vez se podrán determinar las estrategias a adoptar, para mitigar dicha problemática.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar y caracterizar, de acuerdo al tipo de disposición final de residuos líquidos y sólidos, las amenazas potenciales de contaminación de los acuíferos del sector sur del Municipio de Paipa, como herramienta fundamental para la evaluación preliminar del riesgo de contaminación.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar, inventariar y clasificar las diferentes fuentes potenciales de contaminación existentes en el área sur del municipio de Paipa.
- Elaborar la cartografía a la escala apropiada para esquematizar las siguientes características: distribución de fuentes puntuales, cargas, rango de amenaza potencial, distribución de prácticas de disposición de aguas residuales y residuos sólidos, distribución de la industria y actividades mineras.
- Determinar áreas que caracterizarán los siguientes aspectos: tipos de prácticas de cultivos, tipos de fertilizantes, herbicidas, fungicidas y pesticidas utilizados.
- Sobreponer el mapa de amenazas de contaminación potencial de los acuíferos del sector sur del municipio de Paipa obtenido de las actividades mencionadas anteriormente y el mapa de vulnerabilidad del acuífero del mismo sector existente en Corpoboyacá, para desarrollar finalmente la evaluación preliminar del riesgo a la contaminación del acuífero.

4 ANTECEDENTES

En el sector sur del municipio de Paipa existe un riesgo potencial de contaminación de aguas subterráneas, representado entre otros por la disposición inadecuada de residuos sólidos, líquidos domésticos, aguas termominerales usadas, explotaciones mineras, centros de acopio de carbón, etc.

La identificación y caracterización de las amenazas de contaminación de los acuíferos es una de las actividades a realizar en cualquier proyecto de protección de las aguas subterráneas. La evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, se fundamenta en la interacción de la vulnerabilidad natural del acuífero y la carga contaminante potencial y evidente que afecta el suelo o subsuelo, como consecuencia de las diferentes actividades que se desarrollan en la región.

Las funciones y obligaciones que ha cumplido la Corporación Autónoma Regional de Boyacá está entre otras, la de velar por el manejo adecuado y el buen uso de los recursos hídricos subterráneos, además ha otorgado concesiones o permisos para hacer uso de estos recursos ya sean por personas naturales o jurídicas y públicas o privadas (Decreto 2811 de 1974), lo que propicia el control y manejo sostenible de los recursos naturales.

5 MARCO REFERENCIAL

5.1 MARCO GEOGRAFICO

5.1.1 Sistema administrativo

- **Localización y marco general de la zona en estudio.** El municipio de Paipa esta localizado en el valle de Sogamoso, uno de los valles internos más importantes de la región andina, en la parte centro oriental del País y noroccidental del departamento de Boyacá a 2525 msnm. Dista aproximadamente 184 Km. de Santafé de Bogotá y 40 Km. de Tunja. Su cabecera municipal, se encuentra a los 5°47' de latitud norte y 73° 06' de longitud oeste. Presenta una temperatura promedio de 13°C, con una precipitación media anual de 944 mm. Abarca una extensión aproximada de 30.592,41 hectáreas.

La red hidrográfica está conformada por el río Chicamocha y las quebradas Valencí, el Rosal y el lago de Sochagota, alimentado este último por la Quebrada El Salitre o Quebrada Honda. Las tierras del área se encuentran dedicadas a ganadería extensiva y cultivos de papa, cebada, maíz, trigo, arveja, frijol y haba. La ganadería esta principalmente orientada a la cría, levante y engorde de ganado vacuno, también se da en menor escala la explotación de ganado lechero.¹

5.1.2 Sistema biofisico

- **Geología.** La región de Paipa está caracterizada por dos provincias morfoestructurales contrastantes. Hacia el norte de la falla de Boyacá se destaca un bloque tectónico levantado, en el cual se identifica el sinclinal de Los Medios, y el anticlinal de Arcabuco. Hacia el sur de la falla de Boyacá, se observa un bloque tectónico deprimido, de paisaje ondulado con pliegues cortos, correspondiente al llamado bajo estructural ó depresión del río Chicamocha. Mientras en el bloque norte se presentan estructuras plegadas amplias y básicamente constituidas por rocas del jurásico y triásico, en el bloque sur, es decir la depresión del

¹ PAIPA. ALDALDÍA MUNICIPAL. Plan de ordenamiento territorial. Paipa : Alcaldía, 2000. p. 25-27.

Chicamocha, son notorios los plegamientos cortos y estrechos, y estructuras plegadas volcadas por acción de gravedad.²

- **Recursos minerales.** En el Municipio de Paipa se identifican como minerales principales de explotación: carbón, puzolana, arenas y arcillas. También se explotan materiales mixtos para construcción. En general la minería es de pequeña escala.³

- **Hidrogeología**

Aguas Subterráneas. La caracterización hidrogeológica del Municipio de Paipa se analizó con base en la información geológica, climatológica y de pozos disponibles. Se ha establecido una zonificación de las potencialidades de aguas subterráneas, diferenciando aguas termales y no termales.

A partir del análisis de las propiedades físicas, características de las litologías en cada una de las unidades geológicas conocidas y de la disposición de las estructuras geológicas, se ha calificado cada una de ellas según la potencialidad alta, media ó baja en términos de contenido de aguas subterráneas. El diagnóstico posee mayor precisión en el área Sur de Paipa donde se dispone de registros de pozos y mediciones geofísicas.

Las unidades geológicas desde el punto de vista hidrogeológico se pueden clasificar así:

- Acuífero: es la unidad geológica capaz de almacenar y transmitir agua subterránea.
- Acuicludo: es una unidad geológica que contiene agua pero no la transmite
- Acuitardo: es una unidad geológica que contiene agua pero que la transmite lentamente.
- Acuífugo: es una unidad geológica que no contiene agua, ni la puede transmitir.

Reservas de aguas termales. Los datos geofísicos y de registros de pozos sólo están disponibles para la parte Sur del Municipio donde reviste particular importancia la presencia de aguas termales.

² Ibid, p. 35-36.

³ Ibid, p. 37-39.

Existe una disponibilidad de agua termal de 450000 m³ anuales, mientras la demanda de la misma es del orden de 350000 m³ para el mismo período.

Esta primera aproximación hacia la potencialidad de aguas termales, permite observar que para el tiempo actual no existe déficit, pero hacia el futuro con el incremento de la infraestructura hotelera y de recreación, podría observarse escasez del recurso. Con un rango promedio de 950 a 1200 mm. de precipitación anual fácilmente se detecta un bajo rendimiento de la cuenca. A un ritmo de aumento moderado anual del 5% en la demanda de agua, la capacidad actual de la cuenca apenas podría ser sostenible cerca de 8 años más.⁴

- **Cobertura vegetal y uso de la tierra.** En el proceso de planificación del uso de la tierra y ordenación del territorio, una de las variables importantes a tener en cuenta es la cobertura vegetal y uso de la tierra, principalmente en lo que se refiere a su distribución espacial.

- El uso de la tierra que ocupa una mayor extensión en el municipio es la ganadería, se estima que un 40% del área del municipio está dedicada a esta actividad.
- El área agrícola cartografiada comprende una extensión de 196.9 Has. Sin embargo, dado que existe agricultura asociada con pastizales, el área total dedicada a la agricultura es ostensiblemente mayor.
- Los bosques naturales se encuentran localizados principalmente en la zona norte del municipio, ocupan una extensión de 3210.1 has, sin incluir algunas áreas de bosque natural que se encuentran asociados con arbustales. Entre las especies encontradas, se resaltan algunos reductos de roble, para los cuales se deben establecer políticas de conservación.
- Existen en la actualidad 949.5 has de bosques plantados. Esta extensión en un futuro cercano se incrementará, ya que muchas áreas afectadas por erosión hídrica se han reforestado con especies de eucalipto y pinos.⁵

- **Ecosistemas estratégicos.** Los ecosistemas estratégicos en la jurisdicción del municipio de Paipa, están constituidos por: los subpáramos; áreas periféricas a nacimientos, cauces de agua, lagos y humedales; áreas de bosque protector y áreas de amortiguación de áreas protegidas. El área de subpáramos está ubicada entre los 3000 y 3500 msnm, haciendo parte de las veredas Rincón de Españoles, medios y El Retiro.

⁴ Ibid, p. 44-47.

⁵ Ibid, p. 57-59.

Existen zonas con categoría protectora, productora, que hacen parte de la reserva forestal creada según acuerdo No. 009 de 1996. Cabe declarar que esta categoría sólo existía hacia el sur pero, por indicaciones de CORPOBOYACÁ, se consideró conveniente crear la misma categoría hacia el norte, hasta la Cota 2800 msnm.

En conjunto los ecosistemas estratégicos, sin considerar los bosques, cubren una superficie de 6.397.36 hectáreas que representan el 20.91% del área total municipal.⁶

5.1.3 Sistema social

- **Acueducto.** El agua del acueducto para el área urbana es captada de la quebrada Toibita, con una tasa de captación de 40-42 litros/segundo. La oferta de agua de la quebrada Toibita es buena. La administración municipal posee alrededor de 700 hectáreas de tierra cerca al nacimiento de la quebrada Toibita, en la reserva de Ranchería para garantizar con esto que la cuenca y la micro cuenca tengan un manejo sostenible en el tiempo.

La planta de tratamiento de agua no posee suficiente capacidad y los filtros se encuentran trabajando a una tasa muy alta que exige para su trabajo filtros rápidos. Paipa presenta una cobertura urbana del 90% en la prestación de este servicio. Se presentan algunos problemas en el acueducto, generados por la aparición de nuevos sectores habitacionales que demandan agua potable y también por el mal estado y material de la conducción de la red urbana antigua, en tubería galvanizada.

En el municipio de Paipa existen registrados en total 32 acueductos en la zona rural. El 56% de los acueductos existentes se encuentran en funcionamiento, un 35% se encuentra hasta ahora en procesos de organización comunitaria y/o en la búsqueda de recursos y el 9% restante en proceso de construcción.

En cuanto a la cobertura y calidad del servicio de acueducto en el área rural, se observa que el servicio se presta adecuadamente. El número de suscriptores es menor al de conexiones, lo que indica que hay suscriptores que pagan una o más conexiones; además el número de viviendas es todavía mucho menor al de conexiones, lo que muestra claramente que el servicio de acueducto no solo es

⁶ Ibid, p. 67-68.

usado para abastecimiento y consumo humano, sino para otros usos, como abrevaderos, riego, etc.⁷

- **Alcantarillado.** El alcantarillado del área urbana presenta una cobertura del 90% y su ampliación se encuentra unida a la expansión urbana. En promedio las aguas residuales urbanas aportan el 80% del caudal total y las del área turística el porcentaje restante. Parte de las aguas residuales provenientes de la zona turística se originan en las fuentes de aguas termales, ya sea por la captación de estas para las piscinas de los hoteles o establecimientos turísticos o por que penetren en los colectores del alcantarillado a través de uniones o tubos rotos.

El alcantarillado presenta problema en la parte central del área urbana, por ser un alcantarillado combinado donde no se separaron las aguas lluvias de las sanitarias aumentando su caudal. Las aguas negras combinadas con las aguas lluvias son vertidas directamente al río Chicamocha mediante tres puntos de vertimiento en el área urbana, presentando con esto problemas de contaminación del acuífero. El colector del Bosque genera el 49.7% del caudal total del agua residual, el colector de San Miguel y Villa Vianey aporta el 42.5% del caudal total del agua residual del municipio y finalmente el colector de Corinto tiene una descarga del 7.8% del caudal total.

El municipio de Paipa no presenta problemas en el proceso de recolección de basuras, pero si en su manejo y disposición final. Se adelanta un censo para determinar el número de usuarios de estos servicios básicos; se estima que sus resultados sean de un número de tres mil en cada uno de ellos.⁸

5.2 MARCO CONCEPTUAL

5.2.1 Importancia del agua subterránea. El agua subterránea es una fuente muy importante de abastecimiento en el mundo, para la industria, el regadío, el abastecimiento a poblaciones y otros usos. La facilidad con que es posible captarla, mediante obras relativamente de poco costo, y la posibilidad de utilizarla en muchos casos, sin necesidad de someterla a tratamiento, hacen del agua subterránea una fuente de abastecimiento de rápida utilización y relativamente a bajo costo. Esto hace que, en ocasiones, se haya explotado este recurso de forma indiscriminada en algunas partes del mundo, provocando situaciones de agotamiento en el mejor de los casos y hasta de contaminación e intrusión de

⁷ Ibid, p. 95-96.

⁸ Ibid, p. 98-99.

agua de mar en otros. Por lo que es importante que, para salvar los intereses de la sociedad, se imponga el estudio de forma adecuada, de la disponibilidad, explotación, y protección de los recursos de agua subterránea, y la armonización de todos los elementos que intervienen en el problema.⁹

5.2.2 Tipos de acuíferos. Los acuíferos son formaciones geológicas que además de ser porosas son permeables y permiten el movimiento del agua bajo la acción de la gravedad en condiciones tales que hace adecuada su explotación.

Existen tres clases de acuíferos:

- Acuífero o tabla de agua o inconfinado. Es aquel que posee una superficie libre abierta a la atmósfera denominada superficie freática o tabla de agua. Estos acuíferos se forman al caer el agua lluvia sobre un terreno sedimentario más o menos suelto, y que descansa sobre una capa impermeable; al no poder el agua caer más hacia abajo, por la acción de la gravedad, se acumula y circula entonces en una dirección dada por la pendiente de la capa impermeable formando la superficie freática.

- Acuífero artesiano o confinado. En estos acuíferos el agua se encuentra bajo presión y circula por una capa permeable la cual está confinada entre capas impermeables.

- Acuífero semiconfinado. Algunos lo llaman acuíferos de goteo. Se presenta cuando algunas de las capas impermeables que confinan el acuífero artesiano tienen un cierto grado de permeabilidad. El goteo puede ser en dos direcciones dependiendo de la posición de la altura piezométrica de los acuíferos.¹⁰

5.2.3 El problema de las aguas subterráneas y la faceta ambiental. Es evidente que el agua subterránea es importante para el bienestar humano. Si se excluye el agua dulce aprisionada en los casquetes polares y los glaciares, cerca del 98% del agua dulce se encuentran en acuíferos subterráneos. Para el suministro doméstico, el agua subterránea suele ser más importante que las aguas superficiales. Cuando las aguas superficiales son escasas o no aptas para

⁹ PÉREZ FRANCO, Diosdado. La explotación del agua subterránea : un nuevo enfoque. La Habana : Científico - Técnica, 1995. p. 14.

¹⁰ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Hidráulica de pozos. Bogotá : El autor, 1972. p. 8-10.

el consumo, las únicas fuentes de agua son las subterráneas, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas. Se calcula que cerca del 80% de la población rural del mundo usa fuentes de agua subterránea. Además, unos 1.500 millones de personas beben agua de fuentes subterráneas.¹¹

Las fuentes de aguas subterráneas tienen su origen en el agua lluvia que se filtra a través del suelo. Cuando el agua lluvia llega a la capa freática inicia un largo y lento camino bajo tierra a una velocidad que oscila entre unos milímetros y unos metros por día. Al filtrarse a través de la tierra el agua se depura, a veces durante miles de años; las rocas por las que discurre, la siguen filtrando y depurando aún más y llega a la superficie de la tierra libre de agentes patógenos y de contaminantes. Debido a este proceso, el agua subterránea presenta una calidad microbiológica excelente y una calidad química adecuada como agua potable y de riego.

El PNUMA tiene un interés especial en los aspectos ambientales de la cantidad y la calidad del agua subterránea, que está sometida a las presiones del crecimiento de la población, la urbanización y la industrialización así como a una demanda cada vez mayor para la seguridad alimentaria, todo lo cual requiere considerables cantidades de agua limpia y no contaminada. El aumento de la demanda de agua, tiene dos consecuencias principales: la extracción de agua a niveles que superan la capacidad de recarga de la naturaleza, de modo que puede llegar a ser imposible, tanto económica como técnicamente, utilizar agua subterránea como fuente estable de suministro, y la degradación de la calidad del agua debido a los contaminantes generados por un sinnúmero de fuentes puntuales y no puntuales.

Lamentablemente, es muy difícil depurar el agua subterránea contaminada. Ello se debe a su relativa inaccesibilidad, a su enorme volumen y a la lentitud de su flujo. Una vez los contaminantes llegan a un acuífero, los daños ambientales pueden ser graves y de larga duración debido en parte a la lentitud con que los contaminantes son arrastrados por el agua. Esa lentitud impide también detectar el inicio de la contaminación de un acuífero.

La contaminación del agua subterránea, es particularmente insidiosa porque suele tardar muchos años en manifestarse en el agua que se extrae de los pozos y los manantiales. Entonces puede ser ya demasiado tarde para impedir la contaminación grave. La depuración resulta cara debido al costo de obtener el agua de otras fuentes y a la dificultad o imposibilidad, de eliminar la contaminación

¹¹ GUÍO, Heladio. Memorias del Seminario Internacional de Ecología y Medio Ambiente. Tunja : Corpoboyacá, 2000. p. 2.

de las aguas subterráneas.¹²

Los principales factores que contribuyen a mermar la calidad del agua subterránea son:

- Los efectos de la urbanización, tales como el saneamiento de las zonas residenciales (saneamiento sin alcantarillado) y la eliminación de residuos sólidos.
- Desarrollo industrial y minero.
- Efectos en la agricultura, incluido el lixiviado de nutrientes y la utilización de plaguicidas.
- Salinidad.
- Uso de aguas residuales para riego.

Una de las principales fuentes de contaminantes urbanos es el agua de alcantarillado, que plantea problemas especialmente graves en los países en desarrollo con sistemas de saneamiento inadecuados. En las zonas urbanas también se producen y eliminan grandes cantidades de desechos sólidos, que son posibles fuentes de contaminación grave de las aguas subterráneas, especialmente donde abundan los vertederos incontrolados (en contraste con los vertimientos sanitarios) y donde los desechos peligrosos industriales se eliminan en sitios inadecuados, escogidos por su proximidad a la fuente de los desechos. La lluvia puede arrastrar productos químicos procedentes de esas fuentes. La industria produce materiales de desecho que a veces se entierran o se liberan en cursos de agua superficiales. Las actividades mineras pueden generar contaminantes procedentes de aguas subterráneas que lixivian productos químicos y materiales afines.

Cabe indicar que los peores contaminantes son a menudo las pequeñas industrias papeleras y textiles, las de procesamiento de metales y otros materiales y las de reparación de vehículos. Las pequeñas industrias de servicios (por ejemplo, los talleres metalúrgicos, las empresas de limpieza en seco o procesamiento de fotografías y las imprentas) producen también cantidades sustanciales de contaminantes tóxicos y emplean sistemas de eliminación con deficiente control.

La agricultura es una fuente de grave contaminación de las aguas subterráneas en muchas partes del mundo, particularmente por el uso intensivo de plaguicidas y de fertilizantes ricos en nitrógeno. La contaminación de las aguas subterráneas

¹² Ibid, p. 3-4.

derivada de la agricultura, es por lo general peor allí donde el suelo es muy permeable y los productos químicos agrícolas pueden filtrarse rápidamente hasta los acuíferos subyacentes.

Entre otros problemas relacionados con las prácticas agrícolas cabe citar la salinización del suelo y su anegamiento, que no son efectos directos de la contaminación sino del aprovechamiento deficiente de la tierra y del drenaje inadecuado de las zonas de regadío. Los niveles del agua no siempre disminuyen en los acuíferos subterráneos, también pueden aumentar, produciendo anegamientos. Este proceso puede darse en tierras agrícolas demasiado regadas o con drenaje insuficiente del agua utilizada. Ello dificulta o imposibilita la labranza de la tierra, inutilizándola para la producción agrícola. El anegamiento está también a menudo relacionado con la salinización del suelo, causada por la elevación del nivel de las aguas subterráneas, que pone aguas salobres en contacto con las raíces de los cultivos, y por el depósito de las sales del agua de regadío evaporada por efecto de la radiación solar.

Es evidente que para proteger los recursos de aguas subterráneas es preciso: mejorar la vigilancia y protección de las aguas subterráneas, establecer prioridades para la adopción de medidas basadas en la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos y la carga de contaminantes y adoptar estrategias de vigilancia y alerta. Hay dos medios básicos de proteger las aguas subterráneas, dependiendo de que el problema sea la retirada excesiva (sobreexplotación) o la degradación de la calidad del agua:

- Control de la retirada de aguas subterráneas, especialmente en zonas sujetas a efectos secundarios irreversibles como la intrusión salina y el hundimiento del suelo.
- Control de la contaminación de las aguas subterráneas, son una combinación de técnicas que incluyen la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos a los contaminantes, la estimación de posibles cargas de contaminantes y la aplicación de planes de uso de la tierra diseñados específicamente para proteger los recursos de aguas subterráneas.¹³

5.2.4 Contaminación de las aguas subterráneas. Los fenómenos de contaminación de las aguas subterráneas en nuestro medio no se apartan de los establecidos a nivel mundial más aún si tenemos en cuenta que el funcionamiento hidráulico de los acuíferos se rige por leyes físicas universales.

¹³ FOSTER and HIRATA. Contaminación de las aguas subterráneas. Lima : Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS, 1987. p. 8-12.

Los procesos que intervienen en la contaminación de un acuífero son los siguientes:

El primer aspecto a tener en cuenta es el relacionado con las características propias del acuífero, representadas por los procesos de transporte y atenuación de contaminantes. Posteriormente se tratan los procesos relacionados con los mecanismos de introducción y propagación de la contaminación, el origen de la contaminación, los tipos de contaminación e indicadores de contaminación y finalmente se indica la forma de abordar un fenómeno de contaminación o lucha de la contaminación.

Aproximadamente el 98% del agua dulce utilizable del planeta, esta almacenada en las rocas del subsuelo, lo cual se constituye en la gran reserva de agua de la tierra y por supuesto de nuestro departamento de Boyacá. Sin embargo la falta de conocimiento de los recursos hídricos subterráneos, la disposición inadecuada de todo tipo de residuos y la falta de programas de protección hace que los acuíferos estén cada vez más amenazados.

Quizás el mayor engaño que ha saltado por los aires debido a la expansión de la crisis del agua, es que el terreno sobre el que nos asentamos, y todo lo que yace bajo él, es sólido, inmutable e inerte. Sin embargo, un informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) nos ha hecho recordar que la mayor reserva de agua dulce del planeta, se encuentra bajo nuestros pies y que se está contaminando y agotando a pasos agigantados.

Esta situación no es ajena a nuestra región. En el departamento de Boyacá las principales amenazas o fenómenos potenciales de contaminación, están representados por la disposición inadecuada de residuos líquidos y sólidos municipales, uso indiscriminado de agroquímicos y disposición inadecuada de estériles y residuos sólidos industriales.

El 90% de la cuenca alta del río Chicamocha, no tiene control en la disposición de sus residuos sólidos y muchos de éstos los disponen sobre zonas permeables. La mayor parte de las aguas residuales domésticas e industriales, drenan a través de canales y ríos que fluyen sobre depósitos cuaternarios, que en un gran sector de la cuenca están conformando acuíferos libres a semiconfinados, lo que los hace más vulnerables a la contaminación. De la misma manera, gran parte de las empresas que conforman el corredor industrial del Chicamocha se encuentran sobre estos depósitos cuaternarios. Todas las actividades y circunstancias mencionadas anteriormente generan un alto riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

- **Caracterización de la contaminación.** Las aguas subterráneas se encuentran mejor protegidas frente a la contaminación que las aguas superficiales. Sin embargo ésta protección no existe cuando se inyecta el contaminante directamente en el acuífero subterráneo. Sin embargo como contrapartida a éste aspecto favorable se da el hecho que una vez incorporado el agente contaminante al flujo subterráneo resulta muy difícil y costoso conocer tanto su evolución, movimiento, remediación y además en muchos casos es prácticamente imposible eliminarlo o extraerlo de la formación permeable. En consecuencia con estos precedentes, la mejor lucha contra la contaminación de las aguas subterráneas es prevenirla e impedir su entrada al acuífero.

Los principales aspectos a considerar en el análisis de la contaminación de las aguas subterráneas son los siguientes:

- Los procesos de transporte y atenuación de los contaminantes, modificaciones que tienen lugar en el medio físico.
- Mecanismos de introducción de los agentes contaminantes en el acuífero.
- Fuentes o causas generadoras de la contaminación.
- Tipos de contaminantes y sus efectos sobre las distintas aplicaciones útiles del agua subterránea.
- Métodos de lucha contra la contaminación.

- **Procesos de transporte y atenuación.** En general las aguas subterráneas se mueven desde una zona de recarga hasta la de descarga de acuerdo con la ley de Darcy, que rige el transporte del agua en los medios porosos.

En todo episodio contaminante existe una fuente, un contaminante, un mecanismo de transporte hacia el acuífero y un mecanismo dentro del acuífero. Los procesos que intervienen en el transporte de los contaminantes disueltos en el agua subterránea son la advención, dispersión hidrodinámica y difusión.

Cuando el contaminante no llega al acuífero de manera directa puede haber modificación del mismo. Los procesos de modificación conocidos como atenuación indican la proporción de contaminante retenido y modificado durante su recorrido. Las reacciones que se presentan pueden ser de tipo físico, químico y biológico.

- **Mecanismos de introducción y propagación de la contaminación.** Los mecanismos por los que un agente contaminante puede alcanzar el acuífero y propagarse en él, son múltiples y a veces muy complejos. Una clasificación

práctica de estos mecanismos es la que considera la posición del punto desde que se propaga el contaminante. Según ella se puede establecer tres categorías:

- A partir de la superficie.
- A través de la zona no saturada.
- En la zona saturada.

- **Origen de la contaminación.** La contaminación de las aguas subterráneas, puede producirse por la introducción en ellas de sustancias químicas y microorganismos, por la interferencia cuantitativa de los esquemas naturales de circulación a que da lugar el bombeo de las aguas subterráneas, o por una combinación de ambas causas.

Teniendo en cuenta que la actividad humana es la principal causa de contaminación, el origen de la contaminación se puede agrupar en las diferentes categorías:

- Origen urbano y doméstico. Incluye los vertidos de residuos sólidos, efluentes líquidos domésticos, lavado de calles, fugas de colectores y alcantarillas, fosas sépticas, etc.
- Origen industrial y minero. Incluye también el vertido de residuos líquidos y sólidos pero mucho más variado y peligroso debido a la variedad y tipo de industria. En la minería la oxidación de sulfuros puede provocar la generación de drenajes ácidos.
- Origen agrícola y ganadero. Incluye la contaminación por el uso de fertilizantes y pesticidas, purines de animales estabulados y otros residuos agrícolas. Este tipo de contaminación se distingue por su carácter difuso.

- **Tipos de contaminación.** Los contaminantes de las aguas subterráneas son muy heterogéneos, tanto por su diversidad, naturaleza, comportamiento, importancia de cada uno, así como por sus efectos o riesgos para la salud cuando se trata de aguas para consumo. Teniendo en cuenta estos aspectos se establecen las siguientes categorías:

- Contaminantes de naturaleza química. Orgánicos e inorgánicos.
- Contaminantes de naturaleza biológica. Por organismos patógenos.
- Contaminantes de naturaleza física. Mecánicas, térmicas y radiactivas.



- **Lucha contra la contaminación.** Una vez la contaminación alcanza la zona saturada, las características del medio subterráneo hacen muy difícil tanto técnica como económicamente atajar el problema. Por esta razón y por altos que sean los costos de los programas de protección integrada de las aguas subterráneas, los métodos preventivos resultan la mayoría de las veces los únicos posibles y los más rentables. Los métodos de lucha contra la contaminación de las aguas subterráneas están enfocados en tres sentidos: métodos preventivos, identificación de la contaminación y métodos correctivos.¹⁴

5.2.5 Contaminación de acuíferos y las actividades que la producen. El hombre, al utilizar el agua para sus distintas necesidades (domésticas, agrícolas, industriales, etc.), en muchos casos, consume solamente una parte de ella y devuelve al medio una gran parte del agua utilizada, pero con su calidad afectada. Cada uso exige determinados requisitos de calidad del agua, por lo que la afectación de esa calidad a que se ha hecho referencia, puede llegar a inutilizarla para determinado uso. En este caso, se dirá que el agua está contaminada. La contaminación no procede solamente de la utilización previa del agua, sino que es producto, en general, de las diversas actividades del hombre, que arroja residuos y desechos que pueden introducir perturbaciones en el ciclo hidrológico y en la circulación de las aguas.

A pesar de que el agua, a diferencia de los recursos minerales, no es un recurso que al ser explotado por el hombre queda agotado irreversiblemente, sino que se renueva continuamente dentro del ciclo hidrológico, transformándose más o menos radicalmente tanto en cantidad como en calidad, en ocasiones, y especialmente en el caso de las aguas subterráneas, se pueden considerar algunas formas de contaminación virtualmente irreversibles, ya que el tiempo necesario para la regeneración puede ser muy largo.

La contaminación de las aguas superficiales es muy visible, por eso resulta más fácil controlarla y combatirla que la de las aguas subterráneas que, como no se ven tan fácilmente, cuando resulta perceptible la contaminación, puede haber alcanzado un gran desarrollo, haciendo en ese momento difíciles y hasta antieconómicas las medidas para restablecer al agua una calidad aceptable. De ahí la gran importancia que tiene las medidas de control de la contaminación y de protección de los acuíferos contra los procesos y sustancias contaminantes.¹⁵

¹⁴ GUÍO, op. cit., p. 1.

¹⁵ PÉREZ FRANCO, op.cit., p. 486-487.

- **Consecuencias del deterioro de su calidad.** Las sustancias contaminantes pueden ser de distintos tipos:

- **Minerales:** las sales solubles comúnmente existentes en el agua (cloruros, sulfatos, nitratos, carbonatos, etc.) o compuestos metálicos pesados, de comportamiento muy variado, y algunos de alta toxicidad como los cromatos, por ejemplo, que aparecen muy comúnmente en áreas industriales.
- **Orgánicas:** degradables, como las excretas; poco o no degradables, como los pesticidas, los detergentes duros, los hidrocarburos, etc.
- **Biológicas:** las bacterias, algas y virus.
- **Radioactivas:** procedentes de explosiones nucleares como el tritio; o de usos pacíficos de la energía atómica, como el Sr-90, el Cs-137, el Pu-239, etc.
- **Gaseosas:** el CO₂, el SH₂ y el CH₄.

Al ser introducido el producto contaminante en el acuífero, el agua quedará afectada en mayor o menor grado por su presencia, y la calidad del agua se deteriorará a corto o largo plazo, haciendo que no se pueda continuar usando con el propósito con que se estaba utilizando y quizás con ningún otro objetivo. Lo difícil que resultan los procesos de descontaminación de acuíferos, tanto desde el punto de vista técnico como económico, reafirman la necesidad de evitar la contaminación o controlarla adecuadamente cuando es inevitable.¹⁶

- **Fuentes de contaminación.** La actividad continua del hombre sobre el medio ambiente, es el elemento fundamental que origina la contaminación, tal como se ha señalado, aunque el tipo de actividad determinará la forma de contaminación, el tipo de elementos contaminantes y la persistencia de su acción.

Las fuentes de contaminación se pueden clasificar, según el tipo de actividad humana, agrupándolas como sigue:

Contaminación originada por la vida del hombre en comunidad. En este grupo se incluyen la contaminación procedente de la disposición de las aguas residuales de las actividades domésticas del hombre, de los vertederos de basuras y la que se origina por efecto de la urbanización, las aguas residuales domésticas vertidas en fosas sépticas y pozos negros, las fugas de los sistemas de alcantarillado, etc., producen una contaminación esencialmente orgánica y biológica a la que debe sumarse la contaminación química, efecto de los detergentes, cuyo uso es más intenso cada día.

¹⁶ Ibid, p. 487-488.

El hombre produce diariamente basuras, formadas principalmente por sustancias orgánicas, algunas sales solubles y una gran variedad de materiales inertes. Aunque se hayan ensayado diversos métodos para disponer estos residuos sólidos urbanos (cremación, preparación de abonos, etc.), el método que más comúnmente se utiliza es el conocido como relleno sanitario, en el que la basura se deposita en capas apisonadas alternándolas con capas de tierra. El agua que se infiltra en el relleno y que posteriormente rezuma, tiene generalmente un grado de contaminación elevada, y es necesario evitar que pueda pasar al acuífero a través de alguna conexión vertical o lateral de éste con el vertedero.

Los efectos obvios de la urbanización son el aumento de la densidad de población y la concentración de edificaciones residenciales, comerciales e industriales, y otras instalaciones, con el aumento consecuente de las áreas impermeabilizadas. La urbanización influye indiscutiblemente en el incremento del volumen de las aguas residuales y de las basuras. Existe una relación entre precipitación, escurrimiento urbano y contaminación, de modo que es lógico esperar que el escurrimiento de las zonas industriales sea altamente contaminante y que esto pueda ser una fuente de contaminación del agua subterránea.

Contaminación ocasionada por actividades agrícolas. Las actividades de una agricultura intensiva (irrigación, fertilización, lucha contra las plagas etc.) pueden dar origen a la contaminación del agua subterránea, a través del lavado de los fertilizantes o de los elementos naturales del suelo por exceso del agua de riego, lo que da lugar a la aparición de compuestos nitrogenados entre los componentes del agua subterránea y a cambios en su dureza, alcalinidad y sólidos totales.

Otro aspecto importante de la contaminación por la actividad agrícola, se deriva de la utilización de insecticidas, herbicidas, fungicidas, etc., que en algunos casos pueden llegar a constituir problemas muy graves y permanentes, ya que son con frecuencia productos nocivos para el hombre y los animales, que tienden a acumularlos en sus tejidos, pudiendo crear de este modo toxicidad por acumulación y que tienen la característica adicional de ser compuestos muy estables de difícil degradación.

La inactivación de un plaguicida puede ser rápida o lenta, dependiendo de los siguientes factores:

- Naturaleza del plaguicida
- Naturaleza del suelo

- Climatología
- Labores agrícolas

Contaminación causada por actividades pecuarias. En los últimos años, la cría de ganado vacuno, de cerdos, de aves, etc., se ha ido convirtiendo en una actividad intensiva, por la producción de grandes concentraciones de estos en las granjas, lo que ha provocado problemas serios con el tratamiento y disposición de los residuales, que son más agresivos y están más concentrados, en general, que los procedentes de las aglomeraciones urbanas, especialmente los de las granjas porcinas.

La contaminación originada por estos desechos, es fundamentalmente orgánica y biológica, y puede resultar muy intensa.

Contaminación originada por la extracción, procesamiento y distribución de hidrocarburos. Los hidrocarburos son principalmente peligrosos a causa de su estabilidad y su alta capacidad contaminante, aún en pequeñas cantidades; es por esto que las fugas de petróleo en oleoductos y en depósitos subterráneos (estaciones de servicio) resultan altamente dañinas, y es destacable el hecho de que en los últimos tiempos han sido considerables los casos de este tipo de contaminación, originados por fallas y accidentes.

Por otra parte, todo pozo de petróleo o de gas en funcionamiento, se debe considerar una fuente potencial de contaminación de acuíferos, ya que la producción de petróleo está generalmente acompañada por la producción de aguas residuales con un contenido comúnmente alto de cloruros.

Contaminación producida por actividades mineras. La evacuación de aguas de las minas y el lavado de los minerales puede resultar una fuente importante de contaminación del agua subterránea de carácter esencialmente mineral.

Contaminación ocasionada por actividades industriales. La contaminación por actividades industriales dependerá del tipo de industria que la origina. La industria metalúrgica puede originar contaminaciones nocivas con metales pesados. Las industrias químicas y petroquímicas pueden dar origen a contaminación por sustancias inorgánicas y orgánicas. Los mataderos producen residuales orgánicos de alta agresividad.

Otras fuentes de contaminación. Las actividades de extracción de agua de un acuífero pueden inducir la contaminación de aguas salinas nativas o la intrusión marina. La recarga artificial de los acuíferos puede introducir pesticidas, abonos y otros contaminantes. Las actividades nucleares y médicas pueden dar origen a la contaminación con radio-isótopos. En fin, el hombre, en sus actividades vitales y económicas, es capaz de producir un gran número de fuentes de contaminación del agua subterránea.¹⁷

- **Reacción de los acuíferos frente a la contaminación y descontaminación de acuíferos.** Algunos acuíferos, fundamentalmente aquellos formados por partículas más o menos sueltas o cementadas, pueden presentar un cierto poder depurador frente a diversos agentes contaminantes a causa de diversos factores, entre ellos:

- La acción de filtración mecánica ejercida sobre partículas en suspensión, algas y bacterias.
- Las acciones de oxidación-reducción sobre materias orgánicas y nitrogenoides.
- La adsorción y absorción por el terreno.
- Los procesos bioquímicos
- Procesos de dilución

Es bueno aclarar, sin embargo, que este poder depurador tiene un límite y depende del tipo de contaminante, y que no se debe olvidar que una vez que un acuífero sea contaminado, el proceso de regeneración suele durar varios años, haciendo el proceso de descontaminación lento y difícil y, generalmente, costoso, no solo por la inversión necesaria, sino también por la necesidad de buscar otra fuente de abastecimiento mientras el acuífero permanezca contaminado.

De todo lo anterior se desprende que es mucho mejor prevenir que tener que descontaminar.¹⁸

- **Control de la contaminación y protección de los acuíferos.** El control de la contaminación debe comenzar por someter a tratamiento adecuado las aguas residuales domésticas e industriales que puedan afectar la calidad de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, y por tomar las diversas medidas preventivas aconsejables para evitar la contaminación originada por otras fuentes.

¹⁷ Ibid, p. 488-491.

¹⁸ Ibid, p. 491.

Estas medidas pueden ir desde la prohibición, regulación, u ordenamiento, de ciertas actividades en zonas determinadas y el establecimiento de medidas de seguridad sobre actividades potencialmente nocivas, hasta la creación de redes de detección de las posibles sustancias contaminantes en el agua subterránea. Todas las medidas de protección, para que sean realmente efectivas, se deben basar en el conocimiento, lo más detallado posible, de las características geológicas e hidrodinámicas del acuífero y en la organización de un sistema adecuado de control de la calidad del agua.¹⁹

¹⁹ Ibid, p. 492.

6 DISEÑO METODOLÓGICO

La aplicación de la metodología propuesta conllevó a una correcta identificación de amenazas potenciales de contaminación y por ende a la predicción del nivel de riesgo sobre los acuíferos del sector sur del municipio de Paipa.

Para el desarrollo del estudio se consideraron los siguientes aspectos y actividades:

- Recopilación y revisión de la información existente principalmente la del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio.

- Revisión de la cartografía de los usos del suelo.

- Elaboración de formatos para la recopilación de información necesaria sobre las diferentes fuentes de contaminación.

- Visitas de campo para recolección de la información solicitada en cada uno de los formatos.

- Clasificación de las principales fuentes de contaminación del acuífero de acuerdo al siguiente esquema:
 - Agrícola y ganadero
 - * Fertilizantes
 - * Pesticidas
 - * Abono
 - * Desechos de animales estabulados y residuos agrícolas.

Se determinaron áreas bajo diferentes usos agrícolas: tipos de prácticas de cultivos, fertilizantes, herbicidas, fungicidas y pesticidas utilizados.

Para la obtención de esta información se realizaron visitas de campo, en las cuales se identificaron los diferentes usos del suelo, clases de cultivos, aplicación de fertilizantes, pesticidas, abonos (lodo), tipos de ganadería y la evacuación de residuos generados por éstos, puesto que pueden ingresar al suelo por infiltración o escorrentía.

- Doméstico, turístico y hotelero

- * Vertido de residuos sólidos
- * Vertido de efluentes líquidos
- * Fugas de colectores y alcantarillas
- * Fugas de estructuras de tratamiento
- * Fosas sépticas

Se efectuó un inventario y se caracterizaron las fuentes de contaminación y su distribución en el área urbana y rural, de acuerdo al tipo de disposición de aguas residuales y residuos sólidos.

Se realizó un recorrido junto con el operador de la red de alcantarillado para conocer el estado de las diferentes estructuras que componen el alcantarillado como: pozos de inspección, sumideros y colectores finales, identificando el sitio de vertimiento de dichos efluentes y por último se determinaron los problemas generados por la disposición final de dichos residuos.

Se visitaron además las estaciones de servicio, el matadero municipal y los centros turísticos y hoteleros, para evaluar la forma de disposición final de residuos sólidos y líquidos.

Con las visitas de campo realizadas para la identificación de contaminación por actividades agrícolas y ganaderas, se aprovechó para verificar el estado actual de las fosas sépticas utilizadas en las diferentes viviendas para la disposición final de los efluentes provenientes de los sanitarios, a su vez se identificó el sitio de disposición final y/o tratamiento de los residuos sólidos.

- Minero

- * Vertido de residuos sólidos

- * Vertido de residuos líquidos
- * Drenaje ácido de minas (oxidación de sulfuros).

Se identificó la distribución de la minería, prácticas de disposición de aguas de las minas y disposición de estériles.

Se realizó un inventario minero para las diferentes actividades extractivas en cada una de las veredas del municipio del sector sur, ubicando las minas existentes e identificando los diferentes impactos causados por estas, mediante visitas a la explotación, observación directa y entrevistas con el administrador o explotador de la mina, identificando y evaluando de ésta manera la disposición de estériles, escombreras y demás residuos sólidos generados en las fases de exploración, desarrollo, preparación y explotación, así como también el drenaje de las aguas ácidas provenientes de la ejecución de dichas fases tanto en minas activas como inactivas.

- Industrial

- * Vertido de residuos sólidos
- * Vertido de residuos líquidos
- * Fugas y derrames de combustibles

Se identificó la distribución de la industria, prácticas de disposición de aguas residuales industriales y residuos sólidos.

Mediante la revisión de información contenida en el Plan de Ordenamiento Territorial – POT y expedientes que se encuentran en la Corporación Autónoma Regional de Boyacá, se ubicaron las diferentes industrias para determinar los procesos que generan residuos sólidos y líquidos especiales, y el tratamiento al que se someten. Además se verificó el estado en que se encuentran las estructuras destinadas a dicho tratamiento.

- No se realizaron caracterizaciones en laboratorio de los diferentes tipos de agua residual debido a lo siguiente:

- La caracterización del agua residual urbana no fue necesario realizarla, puesto que el municipio de Paipa cuenta con un Estudio de Prefactibilidad y

- Factibilidad para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual, lo cual implicó un minucioso análisis de laboratorio para llevar a cabo la construcción que actualmente se encuentra en proceso.
- La caracterización de las aguas provenientes de la actividad minera fue presentada en un informe realizado por la cooperativa Coagrominera del municipio de Paipa a Corpoboyacá.
 - La caracterización de las aguas provenientes de las estaciones de servicio se obtuvieron de un informe presentado por las mismas a Corpoboyacá.
- Procesamiento de la información obtenida.
- Una vez se obtuvo toda la información anterior en diferentes formatos adaptados para cada caso, se procedió a evaluar el índice de amenaza potencial de contaminación del acuífero.
- Se elaboró la cartografía a escala 1:30000 de la distribución de prácticas de disposición de aguas residuales y residuos sólidos.
- Se elaboró la cartografía a escala 1:30000 de la distribución de la minería y la industria, prácticas de disposición de aguas residuales, aguas de las minas de carbón y residuos sólidos.
- Sobreposición de los mapas cartografiados, correspondientes a las amenazas de contaminación del acuífero del sector sur del Municipio de Paipa y el mapa de vulnerabilidad de dicho acuífero existente en CORPOBOYACA.
- Posterior a la sobreposición de mapas se realizó una evaluación preliminar del riesgo a la contaminación que presenta el acuífero sujeto de este estudio, el cual se obtuvo con ayuda de las valoraciones cuantitativas propias de cada proyecto.

7 VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACION DEL ACUIFERO DEL SECTOR SUR DEL MUNICIPIO DE PAIPA

La vulnerabilidad o susceptibilidad de un acuífero a la contaminación indica la facilidad con la cual ingresan las sustancias contaminantes al acuífero mediante infiltración a través del suelo y la zona no saturada como consecuencia de las diferentes actividades que se desarrollan en el suelo.

De acuerdo a los resultados del estudio denominado "Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos del sector sur del municipio de Paipa", realizado por Corpoboyacá, se determinó que en la zona de estudio existen zonas que van desde alta a muy baja vulnerabilidad, localizadas en las siguientes áreas:

- **Zonas de alta vulnerabilidad a la contaminación.** Están asociadas a las cabeceras de los depósitos aluviales, bordes de los depósitos cuaternarios en la vereda E l Salitre y Romita, y en las zonas donde las rocas están compuestas por estratos arenosos y carecen de cobertura edáfica o suelo. En los depósitos aluviales cuaternarios presentes en las veredas Salitre, La Esperanza y La Playa aflora la mayoría de las fuentes de aguas termales de la región.

- **Zonas de moderada vulnerabilidad de contaminación.** Se encuentran en las áreas de los depósitos aluviales, principalmente los localizados en el área de influencia del Río Chicamocha y en las áreas donde afloran rocas de las formaciones Plaeners y Labor y Tierna.

- **Zonas de baja vulnerabilidad a la contaminación.** Es una de las zonas de mayor extensión. En el norte del área de estudio están asociadas a rocas de las formaciones Arcabuco, Los Medios (miembro inferior) y parte de la formación Tilatá aflorante en las veredas Cruz de Bonza y El Rosal. También se presenta en las veredas Río Arriba, Quebrada Honda y Rincón de Vargas.

- **Zonas de muy baja vulnerabilidad a la contaminación.** Se presenta muy baja vulnerabilidad a la contaminación al norte del área en estudio en las zonas donde aflora la formación Guaduas y en las áreas donde aparecen rocas andesíticas del terciario y en algunos sectores de la formación Tilatá donde el nivel freático está a profundidades superiores a 5 metros y los suelos son de características arcillosas. También se presenta esta característica de baja vulnerabilidad en el sector

noroccidental en las veredas Medios y La Bolsa y en el sector oriental de la vereda Caños (anexo A).²⁰

²⁰ GUÍO, Heladio. Contaminación de las aguas subterráneas. En : SEMINARIO INTERNACIONAL DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE (2000 : Tunja). Memorias del Seminario Internacional de Ecología y Medio Ambiente. Tunja : Corpoboyacá, 2000. p. 2-3.

8 ACTIVIDADES QUE GENERAN PELIGRO POTENCIAL DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

8.1 ACTIVIDADES AGRICOLAS Y GANADERAS

Las aguas de uso agrícola deben tener ciertas características en lo que se refiere a condiciones de salinidad, permeabilidad, toxicidad específica por ciertos iones y contaminación desde el punto de vista sanitario.

En los flujos de vertido, deben tenerse en cuenta tanto la cantidad como la calidad. Las sales que aparecen en las aguas residuales, comprenden sólidos disueltos diversos, que proceden del transporte de las aguas residuales, de los aportes que han sido vertidos y en cierta medida de las transformaciones que han sufrido estos productos a lo largo de las corrientes receptoras.

Las bases que deben tenerse en cuenta, en las exigencias de las aguas para usos agrarios son: salinidad, permeabilidad, toxicidad y en menor grado factores complementarios como pueden ser: aporte excesivo de nitrógeno y anomalías de pH.

Los problemas típicos de las aguas residuales en cuanto a la presencia en cursos de agua no son necesariamente los mismos, si se piensa en utilizar esta agua en aplicaciones agrícolas.²¹

8.1.1 Productos químicos comúnmente utilizados. Dentro de los productos químicos a utilizar en las diferentes actividades agrícolas y que conducen a la contaminación de las aguas subterráneas están:

- **Plaguicidas.** Los plaguicidas son productos sintéticos tóxicos destinados a establecer un control químico sobre los parásitos; tanto animales como vegetales, que constituyen las plagas. La contaminación con estos productos es muy peligrosa al no ser esta visible, ni sus efectos inmediatos.

²¹ INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. Las aguas subterráneas y los plaguicidas. Madrid : Gardela S.A., 1992. p. 19.

La contaminación del agua por estos compuestos presenta características especiales, ya que estas sustancias son tóxicas para diversas formas de vida animal y vegetal. Los plaguicidas, una vez aplicados, son arrastrados por las corrientes de agua y de aire, siendo transportados a grandes distancias. Los residuos volátiles, al pasar a la atmósfera vuelven de nuevo a ser precipitados por la lluvia en otros lugares distintos a aquellos en donde se utilizaron.

Los plaguicidas más comúnmente utilizados en el área de estudio son:

Lorsban 4-E: insecticida fosforado de amplio espectro de acción en los cultivos de maíz (gusano cogollero) y papa (minador de la hoja y pulguitas). Presenta acción contra insectos barrenadores, minadores y chupadores. Su presentación es líquido concentrado emulsionable.

Furadán 3 Granulado: insecticida sistémico para aplicar en el cultivo de papa para el control del gusano blanco en la siembra, también Controla tostón y pulguita.

De una manera u otra los plaguicidas persistentes y sus productos de degradación tóxicos, permanecen en el terreno el tiempo suficiente para que puedan ser arrastrados por las aguas de lluvia o las de regadío hacia corrientes superficiales y/o subterráneas.²²

- *Movimiento de los plaguicidas hacia las aguas subterráneas*. El movimiento de los plaguicidas hacia las aguas subterráneas viene condicionado por las características intrínsecas de los productos y esta estrechamente ligado con las propiedades del medio en que se encuentren.

La inactivación de un plaguicida puede ser rápida o lenta, dependiendo de los siguientes factores: Naturaleza del plaguicida, naturaleza del suelo, climatología y labores agrícolas.

Entre las propiedades de los plaguicidas que influyen en su movimiento hacia las aguas subterráneas se destacan: solubilidad, volatilidad, persistencia y porción en los materiales del suelo y las plantas.²³

²² DICCIONARIO AGROPECUARIO. Bogotá : s.n., 1987. p. 73-75.

²³ INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA, op.cit., p. 35.

- *Solubilidad en agua.* Es la capacidad del plaguicida para disolverse en el agua; cuanto mayor es la solubilidad en agua de un plaguicida mayor es la cantidad del mismo que puede ser transportado en disolución. En general, se admite que cuando la solubilidad es mayor de 30 ppm, existe un riesgo potencial de que el plaguicida alcance el agua subterránea.

- *Persistencia.* La persistencia de un plaguicida en el suelo se define como el tiempo que se requiere para que su concentración se reduzca a la mitad; a menudo se le denomina también "vida media en el suelo".

En general, los más resistentes son los organoclorados, y entre ellos los Fenolbencenos altamente sustituidos; los plaguicidas menos resistentes son los orgnofosforados. Los plaguicidas organoclorados persisten varios años, mientras que otros plaguicidas se degradan en meses o incluso semanas.

La estabilidad en el suelo o persistencia, depende de una serie de factores entre los que se encuentran el tipo de preparado, el modo de aplicación, las condiciones climáticas, evaporación, el tipo de plantas a las que se aplica el plaguicida y algunos procesos de descomposición que conducen a la degradación química, en particular la hidrólisis y la fotólisis, así como la transformación microbiana. La hidrólisis es la reacción de un compuesto con el agua, la fotólisis es la ruptura o degradación de un compuesto cuando se expone a la luz del sol, y las transformaciones microbianas resultan de las actividades metabólicas de los microorganismos presentes en el suelo. Cuando un plaguicida resiste estos procesos de descomposición y además no se evapora, será muy persistente, tendrá una vida media muy larga y un alto potencial para contaminar las aguas subterráneas. Esto es particularmente cierto si el mismo plaguicida es altamente soluble en agua y no se adsorbe a las partículas del suelo.

En general, los plaguicidas que tengan vidas medias superiores a 2 ó 3 semanas deben ser cuidadosamente evaluados debido a la posibilidad que contaminen las aguas subterráneas antes de ser aplicados (cuadro 1).

- **Fertilizantes.** Los fertilizantes de más amplia utilización son:

- *NUTRIMON 15-15-15:* Fertilizante granulado de propósito general, usado también para el reabonamiento de la papa.
- *COMPUESTO 10-30-10:* Abono químico granulado, fertilizante en suelos pobres en fósforo de los climas fríos y medios o suelos fuertemente ácidos de

clima cálido (pH menor de 5,6), para cultivos de papa, hortalizas, trigo, cebada, avena, etc.

- WUXAL 7-21-7: Abono foliar líquido.²⁴

Cuadro 1. Persistencia relativa de los plaguicidas.

Clase	Acción	Persistencia	Proceso inicial de degradación
Organoclorados	Insecticidas	2-5 años	Deshidrohalogenación o epoxidación
Ureas	Hebicidas	4-10 meses	Desalquilación
Acidos Benzoicos	Herbicidas	3-12 meses	Deshalgenación o Descarboxilación
Amidas	Herbicidas	2-10 meses	Desalquilación
Carbamatos	Herbicidas Fungicidas Insecticidas	2-8 semanas	Hidrólisis de ésteres
Acidos Alifáticos	Herbicidas	3-10 semanas	Deshalogenación
Organofosforados	Insecticidas	7-84 semanas	Hidrólisis de ésteres

Fuente: INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. Las aguas subterráneas y los plaguicidas. Madrid : Gardela S.A., 1992. p. 49.

8.2 ACTIVIDADES ANTROPOGENICAS

8.2.1 Aguas residuales domésticas. Los vertimientos de aguas residuales a los cuerpos de agua, no solo impactan la vida acuática, si no que principalmente afectan la salud humana. La contaminación bacteriológica presente en las aguas residuales municipales es la más relevante a nivel sanitario, ya que estas contienen en grandes cantidades microorganismos patógenos generadores de múltiples enfermedades (cólera, amebiasis, disentería, gastroenteritis, fiebre tifoidea, hepatitis A, entre otras).

El principal contaminador de las aguas residuales domésticas son las heces y la orina humana seguido de los residuos orgánicos de la cocina, estas presentan un alto contenido de materia orgánica biodegradable y de microorganismos que por lo general son patógenos.

Las aguas residuales domésticas producen una serie de alteraciones en los

²⁴ DICCIONARIO AGROPECUARIO, op.cit., p. 90.

cursos planos de agua debido a los diversos productos que contienen y a que las áreas receptoras son cada vez menos capaces de asimilar. La capacidad de autodepuración de una masa de agua es siempre limitada, es decir, el volumen de aguas residuales depuradas no alcanza el nivel que debería tener hasta compensar la diferencia que existe con la capacidad de autodepuración de los ríos.

La implantación de las industrias y la concentración de poblaciones en grandes núcleos urbanos, genera vertimientos de tipo doméstico e industrial, los cuales provocan alteraciones en los cuerpos de agua, esto se manifiesta principalmente en la disminución del oxígeno de la materia orgánica que agregan.

- **Papel del oxígeno disuelto en las aguas receptoras.** Cuando se descargan en el agua los sólidos de las aguas residuales, tiene lugar a la degradación y la descomposición debido a las actividades de las bacterias y los microorganismos presentes en las aguas residuales y en las receptoras. El oxígeno es necesario para verificar algunas reacciones biológicas y bioquímicas. Cuando se descargan aguas residuales en una corriente, las reacciones resultantes dependerán del oxígeno disuelto que contenga el agua.

- **Comportamiento fisico-químico de un contaminante en un cuerpo de agua.** Cuando un contaminante es vertido en un cuerpo de agua, sufre un cambio de concentración debido principalmente a tres acciones: Transporte por advección, difusión y reacción o degradación.

- *Transporte por advección:* Consiste en que el contaminante se desplaza de un punto de mayor concentración a otro de menor concentración, originada por la separación o compresión de las líneas de corriente de agua, por cambios de volumen por la masa de agua que transporta el contaminante.

- *Difusión:* Se refiere al desplazamiento del contaminante por cambios de concentración del mismo dentro de la masa de agua. Cuando existen puntos de diferente concentración, el contaminante se dispersa hasta que la concentración es igual en todos los puntos.

- *Reacción o degradación:* Es la transformación o cambio de concentración que sufre el contaminante por su interacción con los componentes químicos (especialmente el oxígeno) y biológicos (disminución o crecimiento de ciertas especies) del agua.

Todo cuerpo de agua tiene una capacidad asimilativa que reduce la contaminación a través del tiempo, si no se producen nuevas cargas de contaminantes. La consideración más importante para determinar la capacidad asimilativa es la habilidad que presenta para mantener la concentración de oxígeno disuelto y esta afectada por los siguientes factores:

- *Temperatura*: el aumento en la temperatura reduce el valor de saturación de oxígeno disuelto e incrementa la velocidad de degradación de la materia orgánica.

- *DBO*: El oxígeno que consumen los microorganismos para degradar la materia orgánica.

- *Reaireación*: Es la recuperación de oxígeno que realiza el cuerpo de agua para compensar el consumo generado por la DBO. La reaireación se puede realizar por la presencia de tributarios, escorrentía superficial, contacto interfuncional de la masa de agua con la atmósfera y fotosíntesis de las plantas acuáticas.

- *Salinidad*: La presencia de sal en el agua hace que se disminuya la capacidad para retener el oxígeno disuelto.

- **Problemas sanitarios creados por las descargas de aguas servidas y efectos sobre los cuerpos de aguas receptoras.** Cuando los ríos u otros cursos de agua reciben descargas de agua residuales y residuos industriales líquidos, deben considerarse tres aspectos fundamentales en relación con la autpurificación natural:

- *Concentración de coliformes en el agua*: Refleja el peligro relativo de infección y el uso del agua. Los patrones o normas requeridos para los diferentes usos del agua pueden servir de guía o criterio para definir la calidad sanitaria del agua en cuanto a su contaminación coliforme.

- *Aspectos estéticos o urbanísticos*: La calidad del agua desde el punto de vista de la atracción natural, agrado y aspecto urbanístico, debe considerarse en relación con el contenido de materia orgánica: en solución, estado coloidal, flotantes o aceites y otras sustancias provenientes de residuos, lo que conduce a procesos desagradables al sentido de la vista y olores desagradables.

- **Disposición de aguas residuales.** Con el desarrollo de los suministros de agua a las poblaciones y el uso del agua para transportar los desechos caseros, se hizo necesario el método para disponer los mismos desechos y el agua portadora. Se emplea para ello tres métodos:

- Disposición por irrigación: consiste en derramar las aguas residuales sobre la superficie del terreno, excluyendo una pequeña parte que se evapora, el resto se resume en la tierra y suministra humedad. Dicho método solo se aplica a pequeños volúmenes de aguas residuales provenientes de pequeñas poblaciones.

- Disposición superficial: Hace llegar las aguas residuales a la tierra por debajo de la superficie, a través de excavaciones o enlazados, estas provienen de residencias o instituciones.

- Disposición por dilución: Descargar las aguas de desecho en aguas superficiales como las de un río, lago, dando lugar a la contaminación del agua receptora. Su grado de contaminación depende del volumen de aguas residuales y de composición, en comparación con los volúmenes de agua con los que se mezclan.²⁵

8.2.2 Tanques sépticos. Este tipo de disposición de excretas es utilizado para un número de habitantes menores a 300, no funciona como sistema de tratamiento pues solamente acondiciona las aguas residuales para ser dispuestas en una superficie de absorción.

Los tanques sépticos herméticamente cerrados permiten el flujo lento y descendente de la materia orgánica sólida, de los residuos líquidos y/o excretas, hasta que finalmente se depositan en el fondo de la estructura. Después de un tiempo estos sólidos son llevados fuera el tanque y dispuestos en un área para su secado y completa estabilización.

En este tipo de disposición de residuos se presenta una eficiencia de remoción de sólidos de 50 – 70 %, DBO₅ max 60% y grasas 70 – 80 %.

²⁵ CORPOBOYACÁ. Inventario de las actividades desarrolladas en la cuenca de la Quebrada el Salitre. Tunja : El autor, 1998. p. 24-32.

8.3 ACTIVIDADES INDUSTRIALES

8.3.1 Residuos provenientes de las termoeléctricas y siderurgias. En los diversos procesos industriales como, producción y transformación de materia orgánica prima se genera una serie de residuos que se convierten en una amenaza de contaminación para el medio ambiente.

Los residuos comúnmente generados a través de dichos procesos están los siguientes:

- Desechos sólidos: hay desechos, tales como los residuos domésticos, de oficina, sanitarios entre otros.

- Desechos gaseosos: existen industrias que en sus procesos generan gases y polvos molestos; que si no se controlan debidamente ocasionan contaminación atmosférica, arrastrados por el vapor y que a su vez pueden alcanzar la superficie terrestre accionados por las aguas lluvias.

- Aguas industriales de desecho: estas varían tanto en cantidad como en capacidad contaminante; pueden ser descargados al sistema de alcantarillado, siempre que su volumen sea pequeño en comparación de su gasto normal de aguas residuales o cuando han sido sometidos a un pretratamiento correspondiente.

Las aguas industriales de desecho contienen material mineral suspendido, coloidal y disuelto, así como sólidos orgánicos. Además pueden ser excesivamente ácidas o alcalinas y tener baja o alta concentración de materias colorantes.

- Desechos inertes: son los que sufren cambios en los procesos químicos o biológicos. Los desechos tóxicos por su parte originan gases o vapores venenosos, o aquellos que contienen productos químicos o metales capaces de aniquilar el proceso biológico empleado en el tratamiento de aguas de desecho.

8.3.2 Residuos provenientes de las estaciones de servicio. Las estaciones de servicio ubicadas dentro del casco urbano se convierten en otra de las fuentes urbanas generadoras de posible contaminación al agua subterránea, debido a la

producción de residuos tanto líquidos como sólidos y por almacenamiento de hidrocarburos en tanques subterráneos.

Dentro de los residuos generados están los siguientes:

- *Residuos domésticos y comerciales*: consiste en residuos sólidos orgánicos e inorgánicos, que se generan en la operación y mantenimiento del punto de suministro de combustible.

- *Residuos especiales*: son de origen doméstico y comercial y requieren manejo cuidadoso. Por sus características se clasifican así en residuos peligrosos (sustancias reactivas, corrosivas, inflamables y tóxicas) y residuos especiales como los de línea blanca (artículos voluminosos de electrodomésticos), baterías automotrices, pilas, aceites usados y llantas.

Los residuos especiales o peligrosos provenientes de las estaciones de servicio pueden ser nocivos para la salud y el medio ambiente, solos o en contacto con otros. Entre estos se encuentran los residuos que pueden producir enfermedades o infecciones, los tóxicos, radiactivos, explosivos, inflamables o combustibles (arden fácilmente), volátiles (se esparcen en el aire), reactivos (producen reacciones químicas con otros elementos) y corrosivos (que pueden deteriorar otros materiales).

8.4 ACTIVIDADES MINERAS

8.4.1 Carbón. Las actividades industriales relacionadas con la explotación de los recursos minerales, cualquiera que sea su escala, generan por sí misma numerosos e importantes cambios en el entorno físico-biológico y socio-económico dentro del área de influencia donde se ubican.

El gran porcentaje de minería de carbón está en los rangos de pequeña y mediana minería, la cual es realizada bajo sistemas subterráneos, en los cuales la afectación ambiental es de otro tipo y naturaleza que la de la minería a cielo abierto, pero también se ven involucrados los componentes físicos como la atmósfera, el suelo, el agua, el paisaje y la vegetación.

Los problemas ambientales en el medio físico que crea este tipo de minería son: hundimientos y subsidencia, contaminación de aguas tanto superficiales como subterránea, alteración del paisaje, pérdida del suelo o de sus características naturales, acumulación de material estéril producto de la operación minera, residuos sólidos y líquidos, procesos erosivos geomorfológicos, pérdida de drenajes superficiales e impacto en el entorno humano.

En cuanto al componente agua de acuerdo con la cantidad de minerales sulfurosos que contengan tanto el carbón como las rocas asociadas en el yacimiento, las aguas provenientes de una mina de carbón se acidifican y así pueden causar grandes problemas ambientales, dado que la acidificación de estas aguas genera un impacto ambiental complejo. Las aguas que se generan en la pequeña minería subterránea provienen principalmente de las infiltraciones de las aguas lluvias, drenajes naturales y niveles freáticos.

Las bocaminas y los bocavientos abandonados constituyen una de las principales entradas de agua a la mina, pues al estar fuera de explotación, las cubiertas colocadas para evitar la entrada de aguas se encuentran generalmente en malas condiciones.

Como consecuencia de la explotación de yacimientos minerales de carbón, sulfuros metálicos, metales auro-argentíferos (oro y plata), uranio, cobre, zinc, etc, quedan expuestas a la meteorización grandes cantidades de materiales sulfurosos asociados al yacimiento beneficiado. Estas piritas y los sulfuros asociados a ellas, se oxidan espontáneamente cuando existen grandes cantidades de agua y oxígeno a sí como también en presencia de bacterias catalizadoras.

El drenaje ácido de una mina entonces, puede definirse, como la contaminación química inorgánica del agua, resultante de la oxidación de sulfuros, principalmente piritita (FeS_2), pirrotina (Fe_{1-x}S), marcasita (S_2Fe), calcopiritita (CuFeS_2), galena (PbS), escalerita (ZnS) y arsenopiritita (SFeAs), así como de sulfatos. Los productos de oxidación que se originan, tales como el sulfato ferroso soluble, hidróxido insoluble de hierro $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y el ácido sulfúrico que hacen que disminuya el pH del agua convirtiéndola en agua fuertemente corrosiva y aumentando la solubilidad de muchos metales con lo que las aguas pueden llegar a ser tóxicas, además de degradar el ecosistema fluvial, hasta hacerlo incapaz de mantener las diversas formas de vida acuática.

Como consecuencia se produce una serie de efluentes ácidos que tienen como características: Bajo pH (entre 3 y 5 normalmente), altos contenidos de sulfato

ferrosos y niveles elevados de metales disueltos que incluyen hierro, zinc, cadmio, manganeso, arsénico, plomo, aluminio, cobre, níquel, mercurio, cromo, calcio, magnesio y otros minerales metálicos y no metálicos.

En la formación de aguas ácidas de minas, la oxidación de los sulfuros y los sulfatos se genera por el contacto de estos minerales con aguas provenientes de la superficie y con un alto contenido de oxígeno disuelto del contacto directo entre aguas freáticas o subterráneas y aire con alto contenido de oxígeno, así como de la presencia de las bacterias catalizadoras. Esta oxidación afecta la roca hasta el sitio donde penetran las aguas oxigenadas; de hecho, los sulfuros son estables indefinidamente cuando están en contacto con aguas sin oxígeno disuelto y que circulan lentamente, como es el caso que se presentan en los macizos rocosos profundos, localizados por debajo de los niveles freáticos.

Por la acción de las aguas oxigenadas, los sulfuros se oxidan y se transforman en sulfatos de hierro soluble, los cuales forman costras salinas de color ocre amarillentas y localizadas en las superficies de las rocas meteorizadas, que serán disueltas por aguas lluvias, generándose entonces aguas ácidas. E primer paso de la reacción libera el ión ferroso, que se oxida a férrico y forma oxihidróxilos, los cuales le dan el color ocre amarillento característico de las aguas ácidas de mina.

El drenaje ácido de una mina afecta principalmente: el agua subterránea adyacente a la explotación minera, los drenajes superficiales, suelos afectados por acumulaciones de rocas ricas en sulfuros y/o por el paso continuo de las aguas efluentes ácidas, drenajes adyacentes a las escombreras de las minas, aguas subterráneas por infiltración de aguas ácidas generadas en escombreras y suelos adyacentes a bocaminas, por vertido directo del efluente ácido.

Las aguas ácidas, tanto en minas abandonadas como en las activas, se pueden formar tanto en el interior de las labores mineras como en la superficie, por la oxidación de la pirita y sulfuros asociados contenidos en los taludes de los cortes, en las escombreras, en los centros de acopio del mineral extraído y en los apiles del material estéril. En todos los casos, las aguas contaminadas pueden acceder al sistema hidráulico subterráneo, contaminando los acuíferos o surgir como efluentes que vierten en los cursos de agua superficial.

9 DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS DIVERSAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN EL SECTOR SUR DEL MUNICIPIO DE PAIPA DE ACUERDO A SU ORIGEN

9.1 ACTIVIDAD AGRÍCOLA Y GANADERA

9.1.1 Principales cultivos agrícolas. Uno de los principales riesgos de contaminación de las aguas subterráneas procede del uso de productos agroquímicos y riego con agua residual en las diferentes clases de cultivos que se producen, con un área de 196.9 Ha del total del municipio de Paipa (cuadros 2 y 3, figuras 1 y 2).

Dentro de las prácticas de cultivo más utilizadas en el Sector sur del Municipio de Paipa están los siguientes:

- *Cultivo de frijol:* las labranzas son mínimas de aproximadamente 3 Ha. Distribuidas en las veredas Los Medios, Caños, Bonza y Romita; las prácticas de siembra y recolección de la cosecha son excelentes, así mismo de la preparación del suelo. Debido a la falta de nutrientes de la tierra y de las plagas que se presentan en estos terrenos se utilizan fertilizantes como NUTRIMON 15-15-15, granulado, y abono orgánico (gallinaza, porquiraza, viruta) y compost, insecticidas y fungicidas con el fin de exterminar toda clase de animales dañinos y enriquecer el suelo con los nutrientes necesarios para el desarrollo de los cultivos y evitar el agotamiento de los suelos (cuadro 4, figura 3).

- *Cultivo de arveja:* corresponde a uno de los cultivos semestrales sembrados en el sector sur del municipio en un área de 4.2 Ha. correspondientes a las veredas Medios, Caños, Marcura y La Bolsa. Se utiliza maquinaria agrícola y se prepara el terreno con bueyes que a su vez son utilizados para siembra y recolección. En esta práctica de cultivo se utiliza NUTRIMON 15- 15- 15 granulado producto especial para aumentar la fertilidad del suelo (cuadro 5, figura 4).

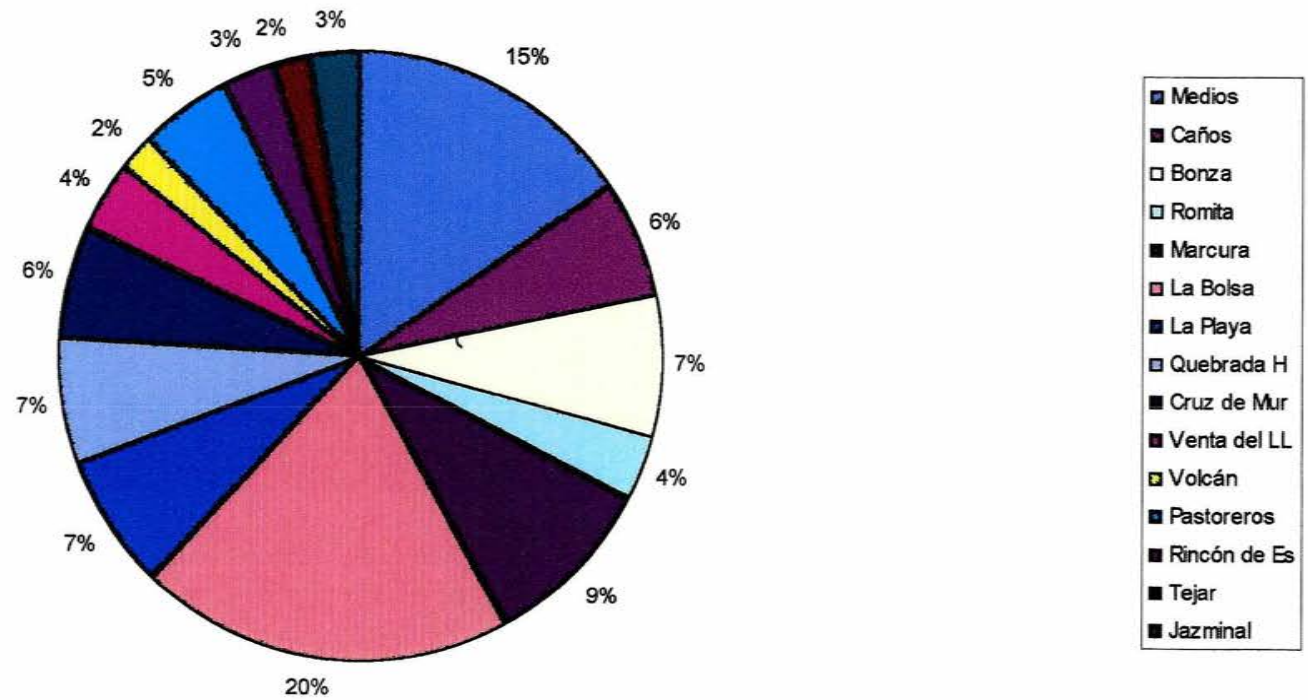
- *Cultivo de cebada:* el área de siembra de este tipo de cultivo esta alrededor de 24 Ha. distribuidas en las veredas La Playa, Quebrada Honda, Cruz de Murcia y Pastoreros. En esta práctica para mejorar la producción se utilizan agroquímicos como: fertilizantes, y NUTRIMON 15-15-15, granulado evitando de esta manera la proliferación de diferentes plagas (cuadro 6, figura 5).

Cuadro 2. Distribución del número de cultivos por veredas en el sector sur del municipio de Paipa.

Veredas	Cultivos	Fríjol	Arveja	Cebada	May	Trigo	Papa	Haba	Total
Medios		15	18	0	0	0	13	18	64
Caños		15	12	0	0	0	0	0	27
Bonza		15	0	0	16	0	0	0	31
Romita		15	0	0	0	0	0	0	15
Marcura		0	12	0	0	0	15	12	39
La Bolsa		0	18	0	24	0	24	18	84
La Playa		0	0	16	0	14	0	0	30
Quebrada Honda		0	0	8	0	20	0	0	28
Cruz de Murcia		0	0	15	0	11	0	0	26
Venta del Llano		0	0	0	0	15	0	0	15
Volcán		0	0	0	8	0	0	0	8
Pastoreros		0	0	21	0	0	0	0	21
Rincón de Españoles		0	0	0	12	0	0	0	12
Tejar		0	0	0	0	0	8	0	8
Jazminal		0	0	0	0	0	0	12	12
Total		60	60	60	60	60	60	60	420

Fuente: Anuario estadístico del municipio de Paipa, 2002.

Figura 1. Distribución total de cultivos por veredas.



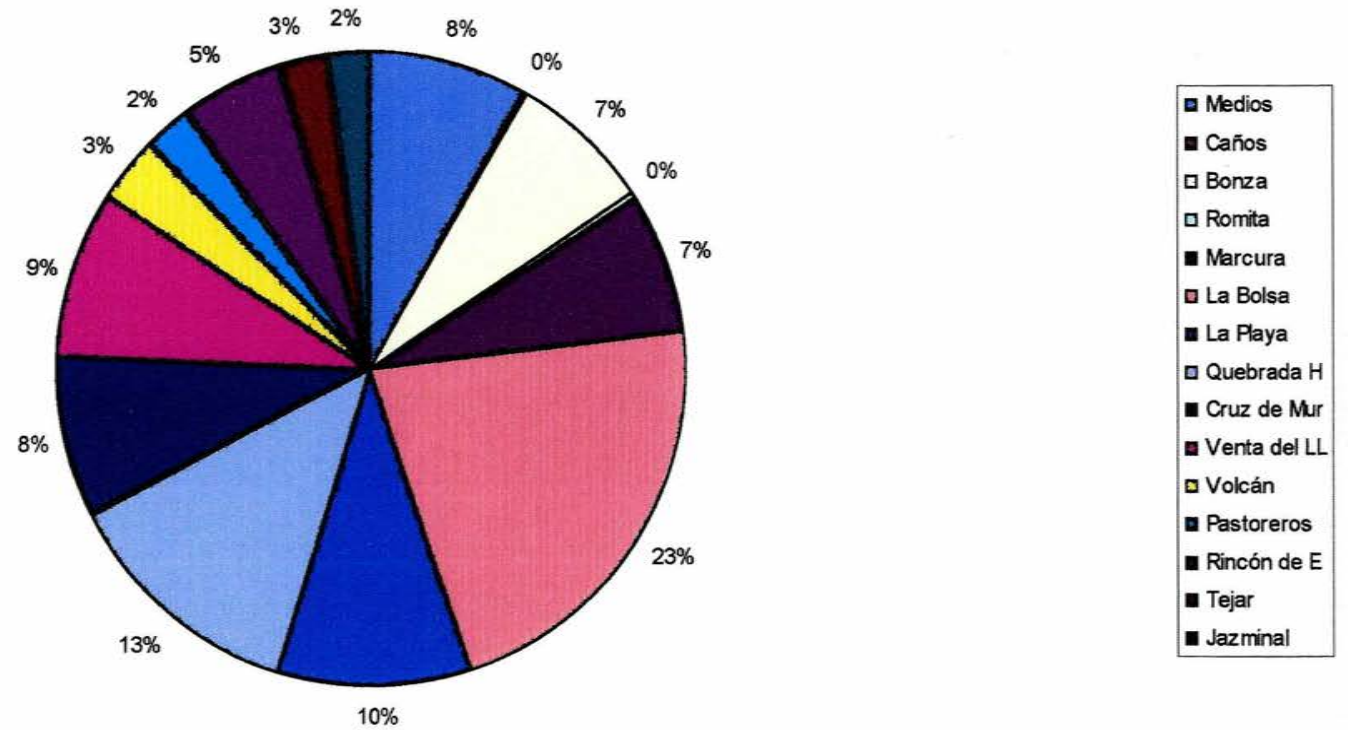
Fuente: Las Autoras.

Cuadro 3. Distribución de áreas de cultivos por veredas.

Veredas	Cultivo	Frijol (ha)	Arveja (ha)	Cebada (ha)	Maíz (ha)	Trigo (ha)	Papa (ha)	Haba (ha)	Total (ha)
Medios		0,75	1,26	0	0	0	14,7	10,8	27,51
Caños		0,75	0,84	0	0	0	0	0	1,59
Bonza		0,75	0	0	24	0	0	0	24,75
Romita		0,75	0	0	0	0	0	0	0,75
Marcura		0	0,84	0	0	0	17	7,2	25,04
La Bolsa		0	1,26	0	36	0	27	10,8	75,06
La Playa		0	0	6,4	0	28	0	0	34,4
Quebrada Honda		0	0	3,2	0	40	0	0	43,2
Cruz de Murcia		0	0	6	0	22	0	0	28
Venta del Llano		0	0	0	0	30	0	0	30
Volcán		0	0	0	12	0	0	0	12
Pastoreros		0	0	8,4	0	0	0	0	8,4
Rincón de Españoles		0	0	0	18	0	0	0	18
Tejar		0	0	0	0	0	9,1	0	9,1
Jazminal		0	0	0	0	0	0	7,2	7,2
Total		3	4,2	24	90	120	67,8	36	345

Fuente: Anuario estadístico del municipio de Paipa, 2002.

Figura 2. Distribución de áreas de cultivos en las diferentes veredas.



Fuente: Las Autoras.

Cuadro 4. Distribución de cultivo de frijol por veredas.

Veredas	No. de cultivos
Medios	15
Caños	15
Bonza	15
Romita	15

Fuente: Anuario estadístico del municipio de Paipa, 2002

Cuadro 5. Distribución de cultivo de arveja por veredas.

Veredas	No. de cultivos
Medios	18
Caños	12
Marcura	12
La Bolsa	18

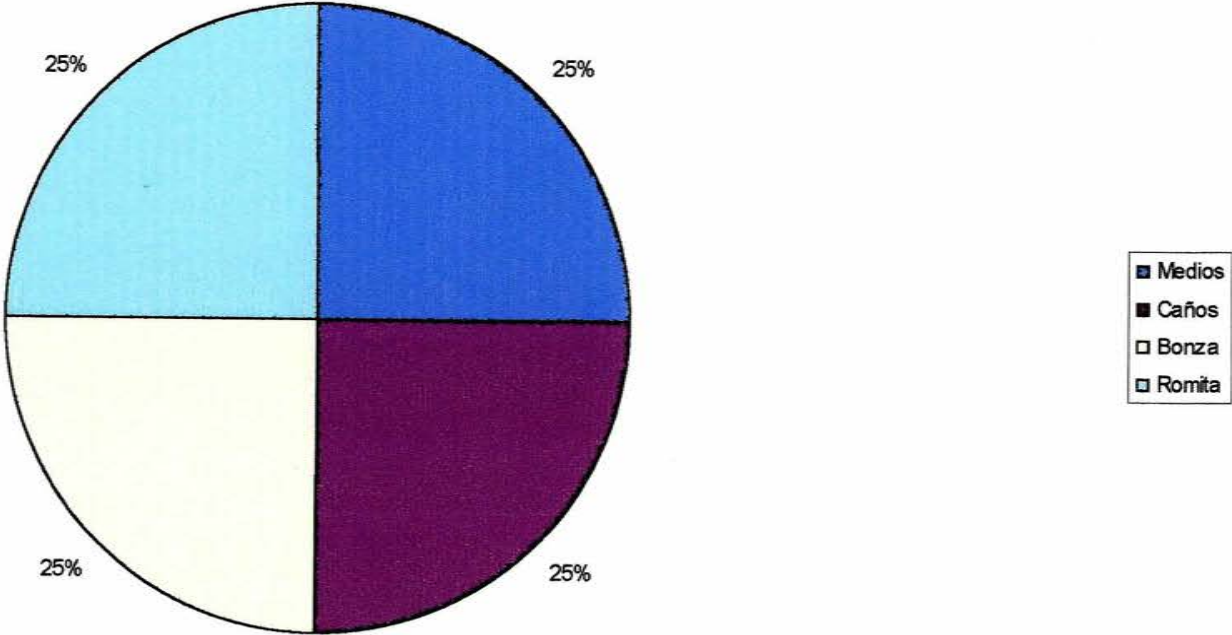
Fuente: Anuario estadístico del municipio de Paipa, 2002

Cuadro 6. Distribución de cultivo de cebada por veredas.

Veredas	No. de cultivos
Cruz de Murcia	15
La Playa	16
Pastoreros	21
Quebrada Honda	8

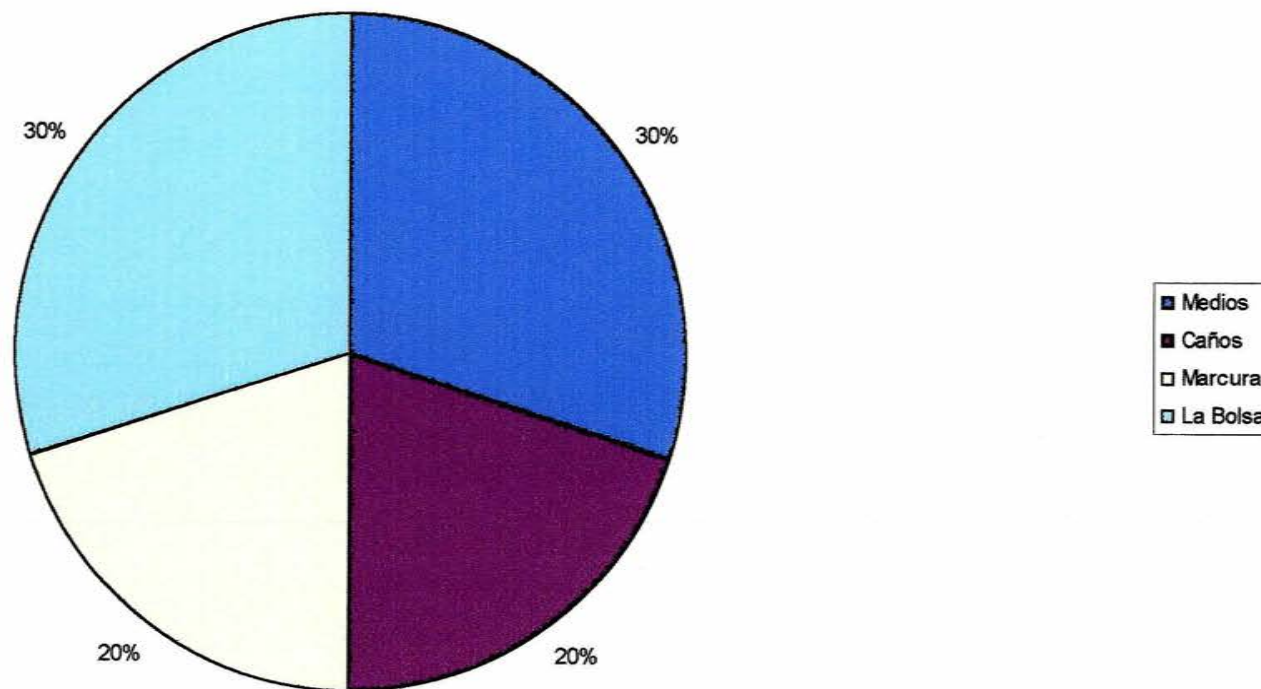
Fuente: Anuario estadístico del municipio de Paipa, 2002.

Figura 3. Distribución del cultivo de frijol por veredas.



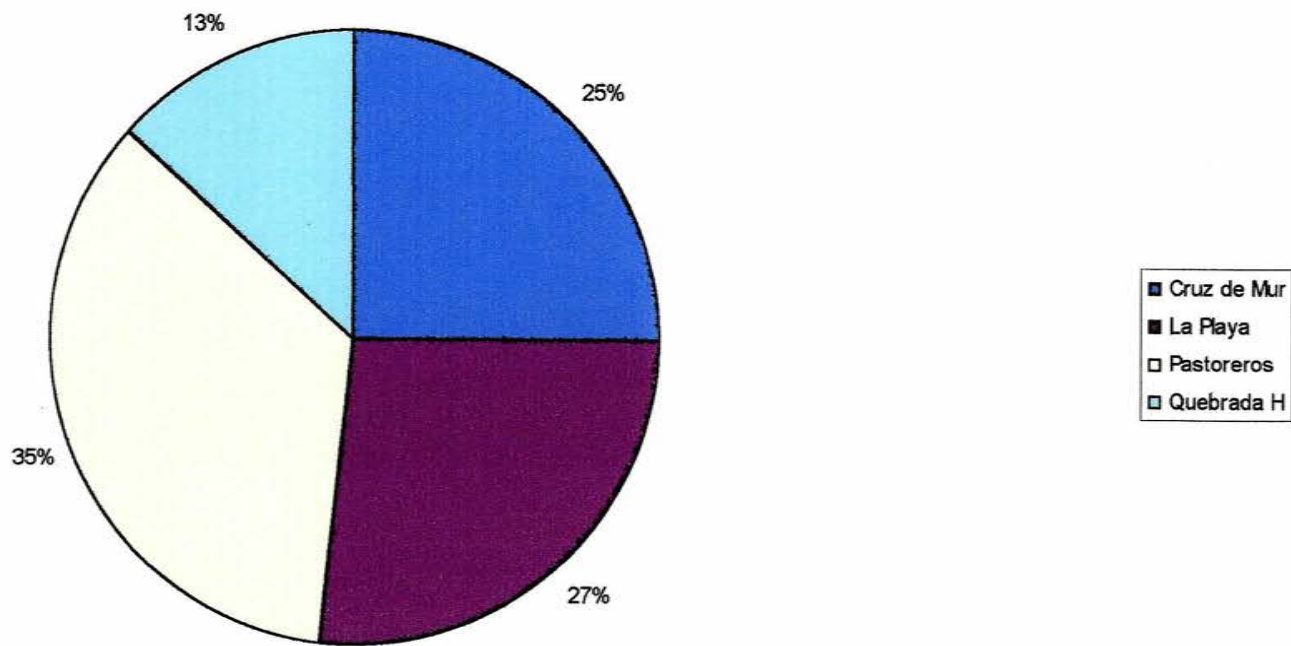
Fuente: Las Autoras.

Figura 4. Distribución del cultivo de arveja por veredas.



Fuente: Las Autoras.

Figura 5. Distribución del cultivo de cebada por veredas.



Fuente: Las Autoras.

- *Cultivo de haba*: el área de siembra de esta práctica de cultivo es de 36 Ha., distribuidas en las veredas de Los Medios, Marcura, La Bolsa y Jazminal. Para las labores de preparación de la tierra, siembra y cosecha, se utiliza maquinaria agrícola y bueyes. Se utiliza como fertilizante NUTRIMON 15-15-15, granulado (cuadro 7, figura 6).

- *Cultivo de papa*: se está realizando labranza mínima para protección de la tierra, utilizando buenas prácticas de preparación, siembra y cosecha del cultivo. Esta es una de las prácticas de cultivo más aplicadas en esta región con un área de 67,8 Ha., distribuidas en las veredas Medios, Marcura, La Bolsa y Tejar, debido al piso térmico en que Paipa se encuentra, lo cual hace que este sea un producto de alto consumo y a su vez de alta demanda, hecho que conlleva a que los pequeños productores hagan uso de fertilizantes (Wuxal, y Foliar 10-30-10), insecticidas (Lorsban, Furadán) fungicida (Kitazin -48CE, Fitorax y Acrobat), y abono orgánico (gallinaza, porquiraza, viruta y compuesto) para evitar que las plagas acaben y/o alteren la producción (cuadro 8, figura 7).

- *Cultivo de maíz*: este es otro de los tipos de cultivo más aplicados en la región sur del municipio de Paipa en un área de 90 Ha. En las veredas Bonza, La Bolsa Volcán y Rincón de Españoles. Este cultivo se realiza con maquinaria agrícola y utilización de bueyes para las labores de preparación, siembra y cosecha. Se utilizan como agroquímicos fertilizantes de los tipos NUTRIMON 15-15-15 granulado y wuxal líquido, insecticidas como Lorsban para evitar que los animales dañinos acaben con las cosechas (cuadro 9, figura 8).

- *Cultivo de trigo*: esta práctica de cultivo es la más aplicada en la parte sur del municipio de Paipa en un área de 120Ha., distribuida en las veredas La Playa, Quebrada Honda, Cruz de Murcia y Venta del Llano. Se utiliza maquinaria agrícola y bueyes para las labores de preparación, siembra y cosecha. En este tipo de cultivo se aplica fertilizante del tipo NUTRIMON 15-15-15 granulado (cuadro 10, figura 9).

9.1.2 Principal ganadería del sector sur del municipio. Otro tipo de fuente contaminante es la ganadería la cual ocupa una mayor extensión en el municipio, pues se estima que un 40% del área total del municipio con 8517 Ha., generando diversos residuos tanto líquidos como sólidos provenientes del baño y vacunación del ganado y a vez desechos de animales.

Cuadro 7. Distribución de cultivo de haba por veredas.

Veredas	No. de cultivos
Medios	18
La bolsa	18
Marcura	12
Jazminal	12

Fuente: Anuario estadístico del municipio de Paipa, 2002.

Cuadro 8. Distribución de cultivo de papa por veredas.

Veredas	No. de cultivos
La Bolsa	24
Marcura	15
Medios	13
Tejar	8

Fuente: Anuario estadístico del municipio de Paipa, 2002.

Cuadro 9. Distribución de cultivo de maíz por veredas.

Veredas	No. de cultivos
La Bolsa	24
Bonza	16
Rincón de Españoles	12
Volcán	8

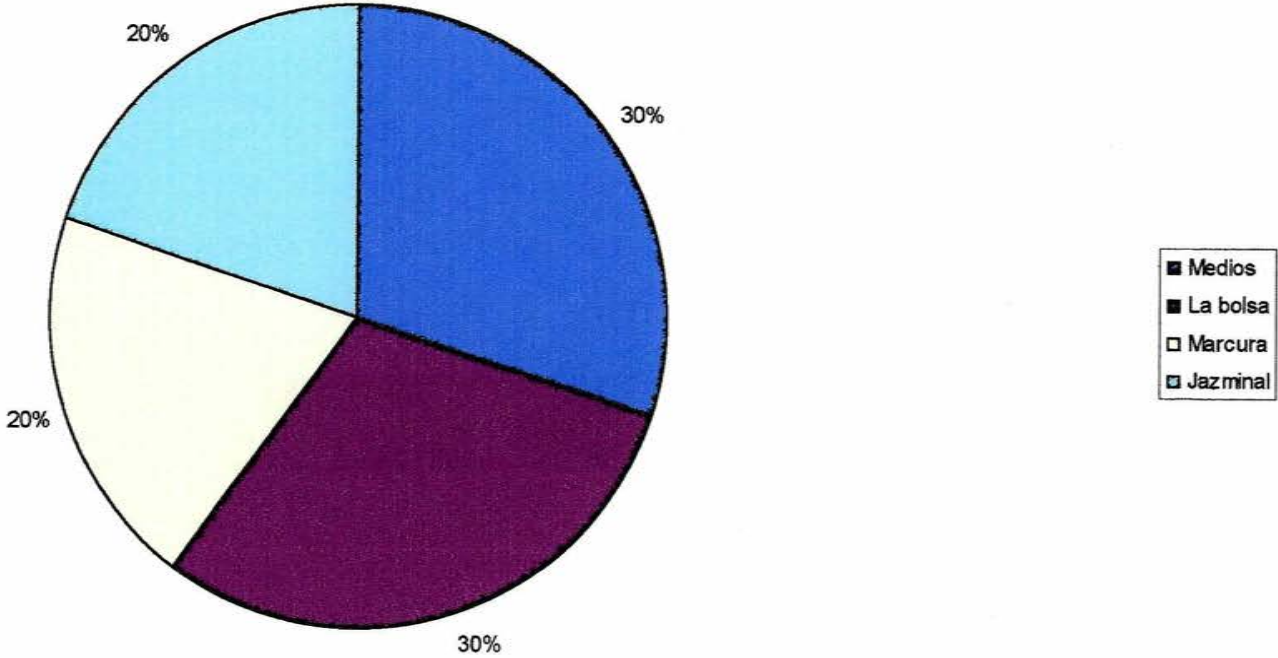
Fuente: Anuario estadístico del municipio de Paipa, 2002.

Cuadro 10. Distribución de cultivo de trigo por veredas.

Veredas	No. de cultivos
La Playa	14
Quebrada Honda	20
Cruz de Murcia	11
Venta de Llano	15

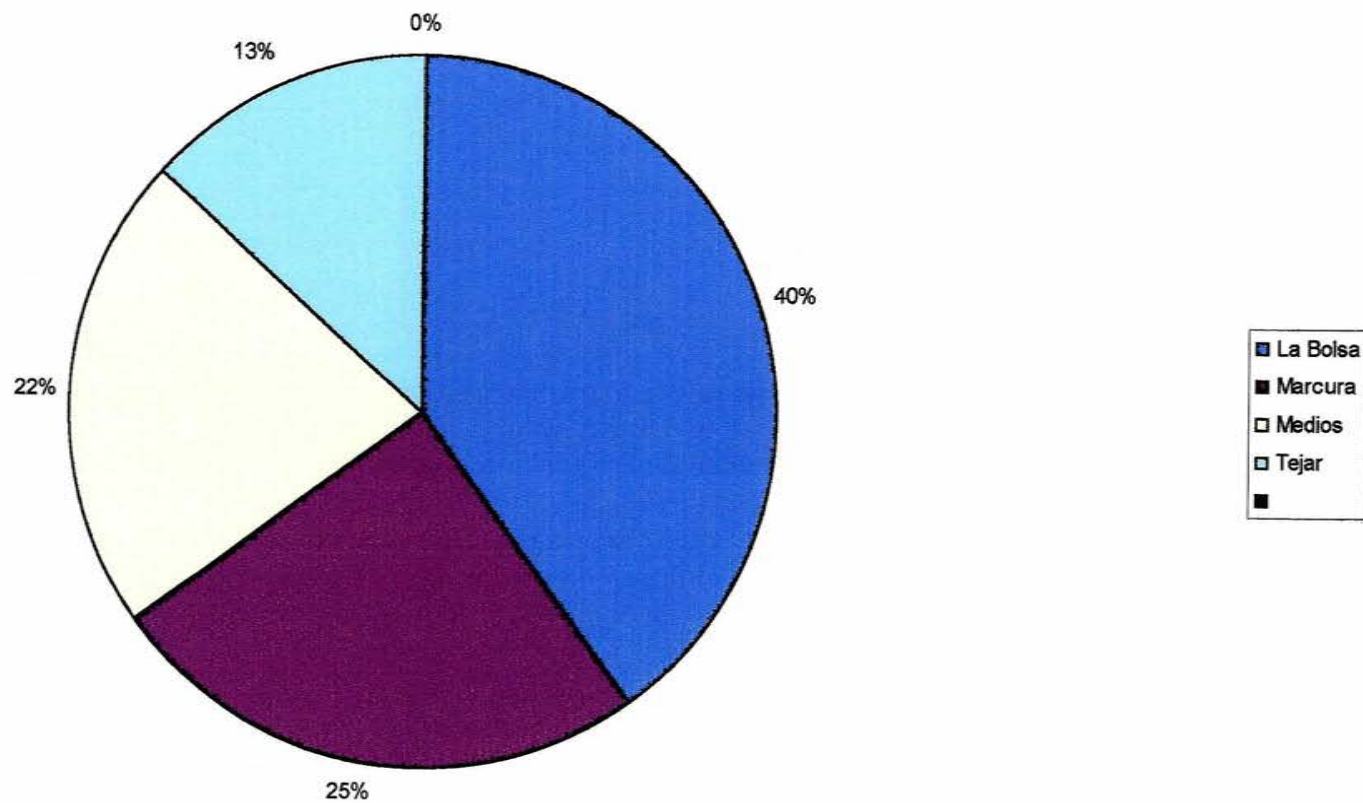
Fuente: Anuario estadístico del municipio de Paipa, 2002..

Figura 6. Distribución del cultivo de haba por veredas.



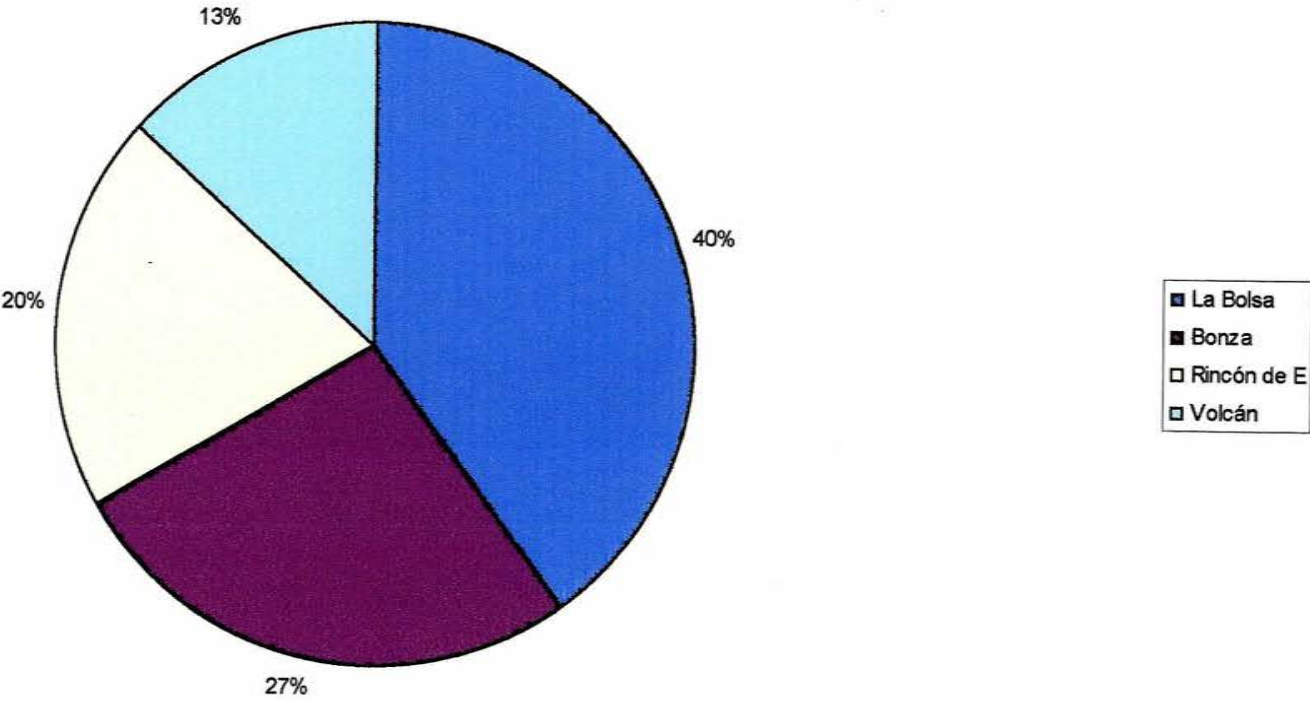
Fuente: Las Autoras.

Figura 7. Distribución del cultivo de papa por veredas.



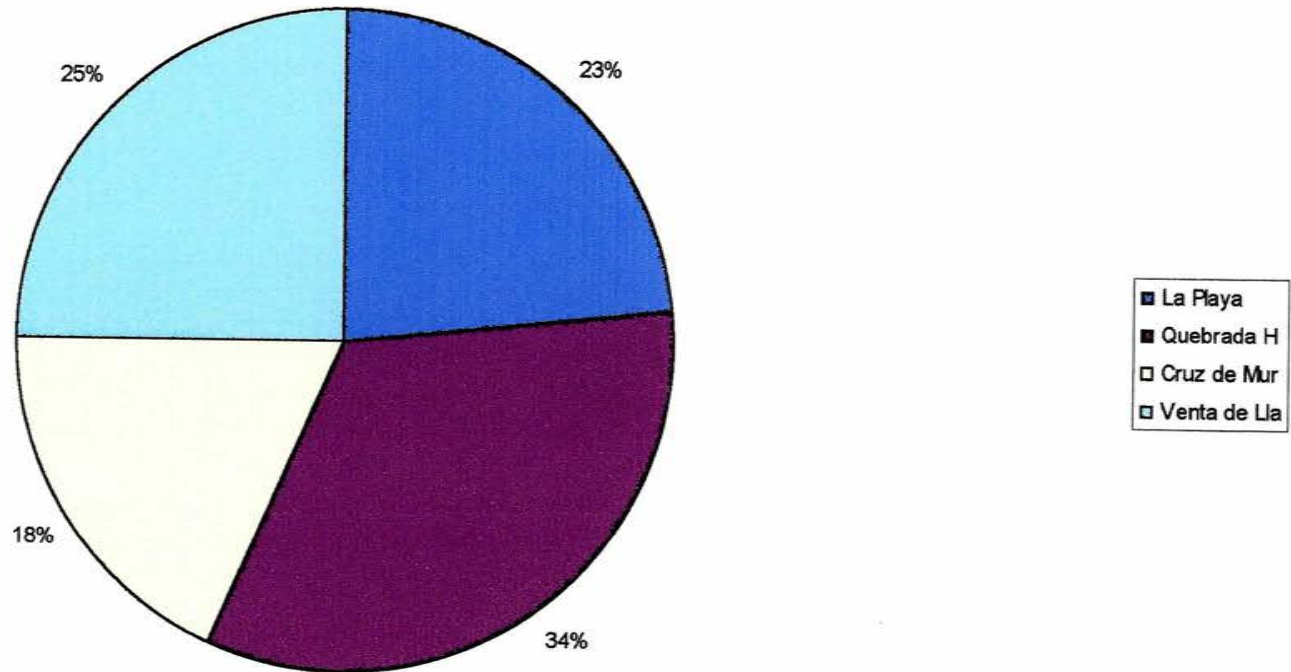
Fuente: Las Autoras.

Figura 8. Distribución del cultivo de maíz por veredas.



Fuente: Las Autoras.

Figura 9. Distribución del cultivo de trigo por veredas.



Fuente: Las Autoras.

Los productos veterinarios frecuentemente utilizados en la actividad ganadera, en el sector sur del municipio de Paipa, para combatir las enfermedades causadas por los insectos, garrapatas, piojos, moscos y otros son: garafos concentrado líquido y ganabaño concentrado, los cuales presentan una gran composición tóxica que a través de la escorrentía provocada por las aguas lluvia pueden llegar hasta los cuerpos superficiales, así como también infiltrarse a las aguas subterráneas, alterando la calidad natural de estas.

En el sector sur del municipio de Paipa existe un total de 13391 cabezas de ganado bovino distribuidos en diferentes veredas, dentro de las cuales las más sobresalientes son: Pantano de Vargas, Romita, Quebrada Honda, Toibita, Caños, Bonza, Salitre, Volcán, Centro y Sátiva (cuadro 11, figura 10).

9.2 ACTIVIDAD DOMESTICA, TURISTICA Y HOTELERA

La expansión urbana del municipio es una fuente contaminante de gran importancia debido a que el asentamiento poblacional es alto y a su vez es un sitio de turismo y recreación, lo que ocasiona un incremento en la generación de aguas residuales y residuos sólidos.

9.2.1 Alcantarillado. En la actualidad el municipio de Paipa cuenta con un sistema de alcantarillado combinado, es decir, las aguas residuales domésticas que se originan en las residencias se mezclan con las aguas lluvias.

El alcantarillado del área urbana presenta una cobertura del 90%. En promedio las aguas residuales urbanas aportan el 80% del caudal total y las aguas del área turística el porcentaje restante. El caudal residual doméstico de descarga es 38l/s.

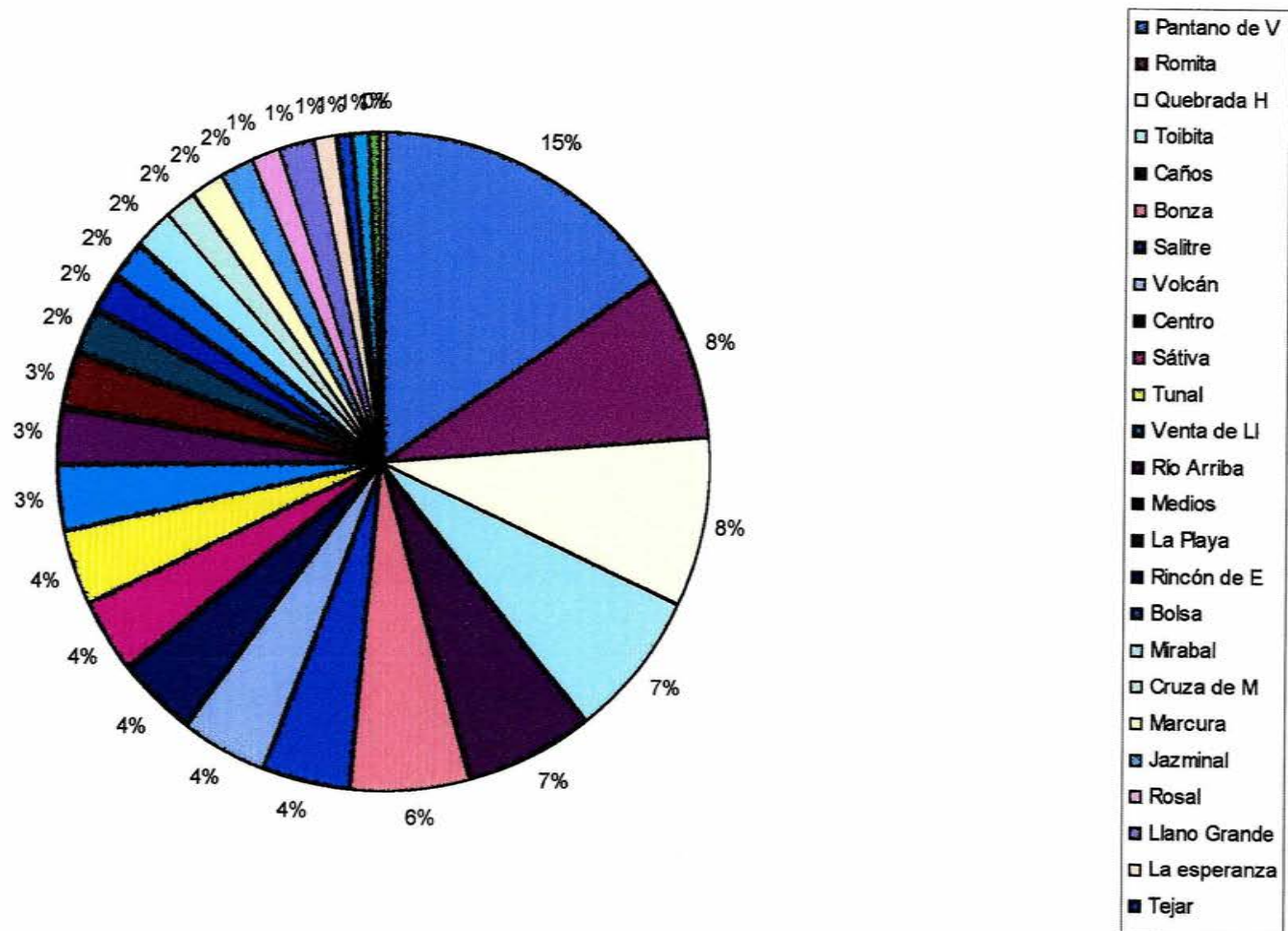
En la parte central del área urbana el alcantarillado por ser combinado, presenta un problema de aumento de caudal por la no separación de las aguas sanitarias de las aguas lluvias y a la vez por el diseño del alcantarillado con diámetros muy pequeños y pendientes mínimas, lo cual ocasiona el rebose del agua en los pozos de inspección permitiendo el escurrimiento del agua residual en combinación con el agua lluvia a lo largo de la vía. Este problema se evidencia en épocas de altas precipitaciones principalmente en la avenida Los Libertadores.

Cuadro 11. Distribución de la ganadería de acuerdo a su ocupación por veredas.

Veredas	Número de cabezas de ganado
Pantano de Vargas	2061
Romita	1119
Quebrada Honda	1109
Toibita	954
Caños	872
Bonza	772
Salitre	582
Volcán	570
Centro	542
Sátiva	510
Tunal	470
Venta de Llano	427
Río Arriba	386
Medios	375
La Playa	292
Rincón de Españoles	277
Bolsa	250
Mirabal	245
Cruza de Murcia	238
Marcura	236
Jazminal	214
Rosal	196
Llano Grande	194
La esperanza	174
Tejar	112
Canocas	89
Chital	76
Pastoreros	49
Total	13391

Fuente: Oficina ganadera del municipio de Paipa, 2002.

Figura 10. Distribución de la ganadería de acuerdo a su ocupación por veredas.



Fuente: Las Autoras.

Las diversas estructuras del alcantarillado que conforman la red urbana se encuentran en muy mal estado, puesto que la mayoría de pozos de inspección, sumideros y tubería ya cumplieron su vida útil, ocasionando fuga de desagües y por ende infiltración de agua contaminada; situación que se presenta en casi todo el casco urbano pues el tiempo de instalación que lleva el alcantarillado es aproximadamente 25-30 años, excepto algunas zonas de urbanización que llevan entre 2-3 años de construcción (figura 11).

Figura 11. Pozos de inspección contruidos en ladrillo sin impermeabilización.



Fuente: Las Autoras.

Este alcantarillado descarga al río Chicamocha sin ningún tipo de tratamiento previo, a través de tres colectores: el colector el Bosque, el colector de San Miguel – las quintas y el colector del alcantarillado perimetral ubicado frente al matadero municipal (figuras 12 y 13).

En el sitio de vertimiento del alcantarillado al río Chicamocha se observa una manguera con la cual se capta agua residual para regar cultivos de maíz y potreros con pastos (figura 14).

Figura 12. Descarga del alcantarillado urbano del sector sur del municipio de Paipa al río Chicamocha.



Fuente: Las Autoras.

Figura 13. Mezcla de las aguas residuales del alcantarillado urbano con las aguas del río Chicamocha.



Fuente: Las Autoras.

Figura 14. Captación de aguas servidas para el riego de cultivos.



Fuente: Las Autoras.

Además de estos vertimientos, existen otros que se descargan en potreros, los más representativos son los del colector del Barrio Corinto y el colector procedente de la urbanización la pradera; así como también se presentan otras descargas directas sin previo tratamiento a lo largo del recorrido del río Chicamocha provenientes de diversas fuentes (figuras 15 y 16).

Tomando como base caracterizaciones del agua residual en cada uno de los colectores o puntos de vertimiento al río Chicamocha, donde se midieron parámetros como pH, DBO, DQO, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables se pudo establecer lo siguiente:

- *Potencial de Hidrogeno (pH)*. Constituye una medida de la concentración de iones de Hidronio presentes en el agua. Este parámetro depende de la naturaleza de las sustancias presentes en la muestra.

Los valores de pH para las descargas muestreadas colector 1, 2 y 3 reportaron valores en 100% dentro del rango de 5.0 y 9.0 unidades. El Decreto 1594 de 1984 establece que todo vertimiento a un cuerpo de agua debe presentar valores de pH entre 5.0 y 9.0 unidades.

Figura 15. Descarga del efluente proveniente del alcantarillado perimetral del sector hotelero al río Chicamocho.



Fuente: Las Autoras.

Figura 16. Descarga proveniente del matadero municipal del municipio de Paipa.



Fuente: Las Autoras.

- *Demanda química de oxígeno.* Mediante este parámetro se determina el contenido de material oxidable presente en la muestra por acción química. Su valor se expresa en términos de oxígeno (mg/l) para establecer en un momento dado la cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica. Por lo anterior la DQO se ve afectada por:

- Presencia de material de origen vegetal y animal
- Presencia de compuestos fenólicos
- Presencia de grasas y aceites
- Presencia de tensoactivos
- Presencia de compuestos orgánicos capaces de ser oxidados (alcoholes, aldehídos, etc.)

Los valores de concentración hallados en dicha caracterización son de 358 mg/l en el colector 1 (las quintas), 349 mg/l en el colector 2 (el Bosque) y de 102 mg/l en el colector 3 (alcantarillado perimetral).

De acuerdo con la literatura el valor típico de DQO para aguas residuales domésticas de concentración alta es de 300 mg/l, lo que indica que las concentraciones 1 y 2 se encuentran por encima de este valor. El colector 3 se encuentra en un valor típico de concentración baja (100 mg/l).

Teniendo en cuenta este parámetro la carga contaminante total calculada para el municipio es de 917.54 Kg/día. En el Decreto 1594 de 1984 no se establece límite permisible para este parámetro.

- *Demanda biológica de oxígeno.* Corresponde a la cantidad de oxígeno susceptible de ser degradada por microorganismos en condiciones aeróbicas. En la caracterización realizada, se determinaron los valores de DBO en cada uno de los colectores; en el colector 1 se presentó un valor 290 mg/l lo que equivale a un 53.90% del valor de la DQO. En el colector 2 el valor reportado fue de 150mg/l y corresponde al 42.98% del valor de DQO, y el colector 3 presentó un valor de 42 mg/l correspondiendo al 41.18% del valor de DQO.

Lo anterior muestra que la relación promedio DQO/DBO₅ es de 1 a 20 en los tres puntos de vertimiento, lo que indica que estos porcentajes de material orgánico son susceptibles de degradación por la acción de microorganismos.

De acuerdo con la literatura los valores típicos para las aguas residuales domésticas de concentración alta son del orden de 300 mg/l, para concentración media son de 200 mg/l y para concentración baja son de 100 mg/l.

Esto permite concluir que en el colector 1 presenta un valor alto, en el colector 2 se presenta un valor medio y el colector 3 presenta un valor bajo en concentración.

Basados en lo anterior se puede determinar que la carga contaminante promedio de DBO_5 que aporta el municipio es de 765.31 Kg/día.

Estos valores son los más representativos para el presente estudio concerniente a la posible contaminación de las aguas subterráneas por infiltración.

Cuadro 12. Caracterización del agua residual proveniente del municipio colector 1.

ASA FRANCO & CIA S EN C.					
VERTIMIENTO SAN MIGUEL					
Localidad	PAIPA (BOYACÁ)	Código _____	Sitio de Recolección <u>VILLA VIANEY</u>		
Ordenada Por	MUNICIPIO DE PAIPA		Recolectada por <u>ING. SALVADOR MONTAÑEZ</u>		
Fecha y hora de recolección	<u>VII/16/17/2001</u>		Tipo de Muestra <u>COMPUESTA</u>		
7:00 - 7:00					
RESULTADOS DEL ANÁLISIS					
DETERMINACIÓN	RESULTADOS	EN	DETERMINACIÓN	RESULTADOS	EN
Temperatura (In Situ)		oC	Sulfuro		mg/l S=
pH		unidades	Sulfitos		mg/l SO =3
Conductividad Específica		micromhos/cm	Sulfatos		mg/l SO =4
Turbiedad		UNT	Cloruros		mg/ Cl -
Color		Unidades	Cianuros		mg/l CN-
Sólidos Totales	521.4	mg/l	Fluoruros		mg/l F-
Sólidos Suspendidos	180.0	mg/l	Nitrógeno Total		mg/ N
Sólidos Disueltos	341.4	mg/l	Nit. Amoniacal		mg/ N
Sólidos Sedimentados	0.3	ml/hr	Nit. Orgánico		mg/ N
Sólidos Fijos Totales		mg/l	Nitratos		mg/ N
Sólidos Fijos Suspendidos		mg/l	Nitritos		mg/ N
Sólidos Fijos Disueltos		mg/l	Fósforo Total		mg/l P
Sólidos Volátiles Totales	250.6	mg/l	Silicatos		mg/lm SiO2
Sólidos Volátiles Susp.	138.8	mg/l	Fenoles		mg/l Fenol
Sólidos Volátiles Disuelt.	111.8	mg/l	Detergentes		mg/l A.B.S.
Alcalinidad Total	123.5	mg/l CaCO3	Grasas y Aceites		mg/l Grasa
Alcalinidad a la Fenolft		mg/l CaCO3	Oxígeno Disuelto		mg/l O2
Alc. al Metil Naranja		mg/l CaCO3	CO2 Disuelto		mg/l CO2
Dureza Total		mg/l CaCO3	D.Q.O.	358	mg/l
Dureza Cálcica		mg/l CaCO3	D.B.O.5	290	mg/l
Dureza Magnética		mg/l CaCO3	Coliformes totales		NMP/100ml
Acidez Total		mg/l CaCO3	Coliformes Fecales		NMP/100ml
Cloro Residual		mg/l Cl	Recuento Total		UFC/ml
OBSERVACIONES _____					
Químico _____ Fecha _____ Bogotá, Julio 26/2001					

Fuente: ASA FRANCO. Estudio de caracterización de los vertimientos de las aguas residuales del casco urbano del municipio de Paipa. Bogotá : Municipio de Paipa, 2001. p. 27.

Cuadro 13. Caracterización del agua residual proveniente del municipio colector 2.

ASA FRANCO & CIA S EN C.					
COLECTOR ALCANTARILLADO					
Localidad	PAIPA (BOYACÁ)	Código _____	Sitio de Recolección <u>PERIMETRAL</u>		
Ordenada Por	<u>MUNICIPIO DE PAIPA</u>		Recolectada por <u>ING. SALVADOR MONTAÑEZ</u>		
Fecha y hora de recolección	<u>VII/16/17/2001</u>		Tipo de Muestra <u>COMPUESTA</u>		
7:00 - 7:00					
RESULTADOS DEL ANÁLISIS					
DETERMINACIÓN	RESULTADOS	EN	DETERMINACIÓN	RESULTADOS	EN
Temperatura (In Situ)		oC	Sulfuro		mg/l S=
pH		unidades	Sulfitos		mg/l SO =3
Conductividad Específica		micromhos/cm	Sulfatos		mg/l SO =4
Turbiedad		UNT	Cloruros		mg/ Cl -
Color		Unidades	Cianuros		mg/l CN-
Sólidos Totales	382.5	mg/l	Fluoruros		mg/l F-
Sólidos Suspendidos	36.9	mg/l	Nitrógeno Total		mg/ N
Sólidos Disueltos	345.6	mg/l	Nit. Amoniacal		mg/ N
Sólidos Sedimentados	0.2	ml/hr	Nit. Orgánico		mg/ N
Sólidos Fijos Totales		mg/l	Nitratos		mg/ N
Sólidos Fijos Suspendidos		mg/l	Nitritos		mg/ N
Sólidos Fijos Disueltos		mg/l	Fósforo Total		mg/l P
Sólidos Volátiles Totales	128.2	mg/l	Silicatos		mg/lm SiO2
Sólidos Volátiles Susp.	14.53	mg/l	Fenoles		mg/l Fenol
Sólidos Volátiles Disuelt.	113.7	mg/l	Detergentes		mg/l A.B.S.
Alcalinidad Total	38.5	mg/l CaCO3	Grasas y Aceites		mg/l Grasa
Alcalinidad a la Fenolft		mg/l CaCO3	Oxígeno Disuelto		mg/l O2
Alc. al Metil Naranja		mg/l CaCO3	CO2 Disuelto		mg/l CO2
Dureza Total		mg/l CaCO3	D.Q.O.	102	mg/l
Dureza Cálcica		mg/l CaCO3	D.B.O.5	42	mg/l
Dureza Magnética		mg/l CaCO3	Coliformes totales		NMP/100ml
Acidez Total		mg/l CaCO3	Coliformes Fecales		NMP/100ml
Cloro Residual		mg/l Cl	Recuento Total		UFC/ml
OBSERVACIONES _____					
Químico _____ Fecha <u>Bogotá, Julio 26/2001</u>					

Fuente: ASA FRANCO. Estudio de caracterización de los vertimientos de las aguas residuales del casco urbano del municipio de Paipa. Bogotá : Municipio de Paipa, 2001. p. 28.

Cuadro 14. Caracterización del agua residual proveniente del municipio colector 3.

ASA FRANCO & CIA S EN C.					
					COLECTOR EL
Localidad	PAIPA (BOYACÁ)	Código _____	Sitio de Recolección <u>BOSQUE</u>		
Ordenada Por	<u>MUNICIPIO DE PAIPA</u>		Recolectada por <u>ING. SALVADOR MONTAÑEZ</u>		
Fecha y hora de recolección	<u>VII/16/17/2001</u>		Tipo de Muestra <u>COMPUESTA</u>		
RESULTADOS DEL ANÁLISIS					
DETERMINACIÓN	RESULTADOS	EN	DETERMINACIÓN	RESULTADOS	EN
Temperatura (In Situ)		oC	Sulfuro		mg/l S=
pH		unidades	Sulfitos		mg/l SO =3
Conductividad Específica		micromhos/cm	Sulfatos		mg/l SO =4
Turbiedad		UNT	Cloruros		mg/ Cl -
Color		Unidades	Cianuros		mg/l CN-
Sólidos Totales	378.0	mg/l	Fluoruros		mg/l F-
Sólidos Suspendidos	135.0	mg/l	Nitrógeno Total		mg/ N
Sólidos Disueltos	243.0	mg/l	Nit. Amoniacal		mg/ N
Sólidos Sedimentados	0.3	ml/hr	Nit. Orgánico		mg/ N
Sólidos Fijos Totales		mg/l	Nitratos		mg/ N
Sólidos Fijos Suspendidos		mg/l	Nitritos		mg/ N
Sólidos Fijos Disueltos		mg/l	Fósforo Total		mg/l P
Sólidos Volátiles Totales	193.8	mg/l	Silicatos		mg/lm SiO2
Sólidos Volátiles Susp.	106.0	mg/l	Fenoles		mg/l Fenol
Sólidos Volátiles Disuelt.	87.8	mg/l	Detergentes		mg/l A.B.S.
Alcalinidad Total	105.4	mg/l CaCO3	Grasas y Aceites		mg/l Grasa
Alcalinidad a la Fenolft		mg/l CaCO3	Oxígeno Disuelto		mg/l O2
Alc. al Metil Naranja		mg/l CaCO3	CO2 Disuelto		mg/l CO2
Dureza Total		mg/l CaCO3	D.Q.O.	349	mg/l
Dureza Cálrica		mg/l CaCO3	D.B.O.5	150	mg/l
Dureza Magnética		mg/l CaCO3	Coliformes totales		NMP/100ml
Acidez Total		mg/l CaCO3	Coliformes Fecales		NMP/100ml
Cloro Residual		mg/l Cl	Recuento Total		UFC/ml
OBSERVACIONES					
Químico _____	Fecha _____		Bogotá, Julio 26/2001 _____		

Fuente: ASA FRANCO. Estudio de caracterización de los vertimientos de las aguas residuales del casco urbano del municipio de Paipa. Bogotá : Municipio de Paipa, 2001. p. 29.

Por otro lado, las aguas residuales de origen termal provenientes de los hoteles son conducidas a través de una zanja construida en tierra hasta la Dársena ubicada al costado oriental del lago Sochagota, donde confluyen estas aguas combinadas con algunos efluentes de agua residual doméstica producto de la actividad turística desarrollada en el sector (figuras 17 y 18).

9.2.2 Residuos sólidos

- **Antiguo botadero.** Localizado hacia el costado izquierdo de la vía que conduce del municipio de Paipa a Duitama, donde se desprende un ramal que conduce al Barrio Solano, en una longitud promedio de 460 metros hasta llegar a la vereda Toibita. Al sitio se ingresa por una vía que se encuentra recebada, la cual termina en una ladera con pendientes superiores al 40%. La ladera presenta una conformación semiplana en la parte alta y las pendientes se incrementan a medida que se avanza, mientras que el área útil del terreno se reduce, situación que provoca un alto descenso, con pendiente del 55% terminando en unas cárcavas que han sido originadas por erosión de tipo hídrico y eólico, con una profundidad aproximada de 15 metros (figura 19).

La parte alta de la ladera, corresponde a un terreno semiondulado con pendientes promedio de 7 a 10% y con una extensión aproximada de 2 fanegadas, allí se han realizado movimientos de tierra de gran magnitud y se observa que el suelo es de tipo arcilloso, se considera que el estrato es semipermeable.

La parte media de la ladera, es el sitio en el cual se estaban descargando los desechos, los cuales rodaban ladera abajo en el inicio de las cárcavas; estos desechos se cubrían con material extraído de la parte alta de la ladera. Se observa la presencia de gaviones en piedra en la parte intermedia de la ladera, donde se encuentra el inicio del carcavamiento, con el propósito de evitar que los desechos rueden hasta el fondo de las cárcavas y al mismo tiempo llenar estos espacios por acumulación de desechos, estos muros se encuentran empotrados en los costados de la cárcava y en el fondo de la misma.

La parte baja de la ladera presenta cárcavas con profundidades entre 4 metros en la parte alta hasta alturas mayores a los 8 metros; en el fondo de la cárcava se construyó un tanque de almacenamiento sin ningún tipo de impermeabilización y se instaló una bomba que se encargaba de recircular el lixiviado almacenado allí.

Figura 17. Canal en tierra por donde circula agua residual termal combinada con agua residual doméstica proveniente del sector hotelero.



Fuente: Las Autoras.

Figura 18. Vertimiento al río Chicamocha de las aguas residuales termales y doméstica proveniente del zanjón en tierra hasta el depósito.



Fuente: Las Autoras.

Figura 19. Antiguo botadero a cielo abierto sin control, localizado en un terreno erosionado.



Fuente: Las Autoras.

La tubería de recolección y recirculación de lixiviados es de Gress, de diámetro 6 pulgadas ranurada, según manifestación de la administración municipal, ya que el acceso a ésta fue dificultoso debido a la topografía del terreno. Es de precisar que este tipo de tubería por las características de los lixiviados está sujeta a corrosión, incrustaciones y taponamiento a mediano plazo.

- **Planta de manejo integral de residuos sólidos.** Actualmente, en el Municipio de Paipa, se está llevando a cabo un proceso de manejo integral para el tratamiento y/o disposición final de los residuos sólidos, el cual comprende la separación de estos en la fuente y una reclasificación en el sitio destinado para dicho proceso (figura 20). Del total de los residuos sólidos generados en el municipio del 65 al 68% corresponden a residuos de tipo orgánico, el 12% a residuos higiénicos y entre el 20 al 22% corresponde a residuos de tipo inorgánico.

El sitio escogido para este fin fue el terreno próximo al antiguo botadero, donde se venían disponiendo toda clase de residuos sin ningún tipo de control de erosión ni de lixiviados.

Figura 20. Sitio de descarga de los residuos urbanos para efectos de reclasificación.



Fuente: Las Autoras.

El manejo integral de los residuos generados comprende la clasificación y separación de acuerdo al origen de la naturaleza y son los siguientes:

- **Residuos orgánicos:** estos incluyen los desperdicios de comida provenientes de restaurantes, hoteles (sector urbano y rural), industrias, instituciones educativas, viviendas y plaza de mercado. Dichos residuos son recogidos en la fuente de generación y llevados en vehículos dispuestos para este fin, por parte de la empresa encargada del servicio de aseo, que para el caso es el Municipio de Paipa, hasta el sitio próximo al antiguo botadero donde son dispuestos directamente sobre el suelo sin ningún tipo de infraestructura, en área de 300 metros cuadrados y finalmente tratados mediante un proceso de compostación, seguido de un sistema de lombricultura con la especie Roja Californiana (*Eusemia Feótida*), que consta de 16 pilas de maduración construidas en ladrillo en un área estimada de 400 metros cuadrados, implementado para obtener como producto final humus, material que posteriormente es utilizado como abono. Los lixiviados producidos durante la disposición inicial, escurren sobre el suelo libremente hasta infiltrarse, ya que no se cuenta con ningún tipo de estructura recolectora o de control y por ende no se le hace tratamiento alguno (figura 21).

Figura 21. Lixiviados producidos por la descomposición de la materia orgánica almacenada que escurren por el suelo hasta infiltrarse.



Fuente: Las Autoras.

- Residuos inorgánicos: conformados por plásticos, papel, cartón, vidrio, chatarra, latas y en general todo material reciclable, los cuales son separados en su origen y recogidos por la empresa de aseo, para almacenarlos en una caseta ubicada al costado derecho de la entrada del predio, donde son reclasificados y finalmente entregados a terceros.
- Residuos higiénicos: estos comprenden los desechos sanitarios como papel higiénico, toallas higiénicas, cuchillas, empaques de crema dental, drogas pasadas y pañales. Esta clase de residuos son separados en la fuente y llevados por los vehículos recolectores hasta el predio contiguo al antiguo botadero, donde son dispuestos directamente en el suelo y tapados con un plástico para evitar el contacto con el agua lluvia, con el fin de disminuir la generación de lixiviado. Estos desechos son almacenados para posteriormente compostarlos y utilizarlos finalmente como abono (figura 22).
- Residuos especiales: este tipo de residuo lo constituyen las pilas, baterías y productos de línea blanca, separados al igual que los anteriores residuos en su

origen y recogidos por los vehículos encargados, para llevarlos a una fosa sin ningún tipo de impermeabilización ubicada próxima al antiguo botadero donde son enterrados como disposición final.

Figura 22. Compostación como tratamiento de los residuos higiénicos.



Fuente: Las Autoras.

9.2.3 Residuos de la plaza de mercado. Los residuos generados de la plaza de mercado son clasificados dentro de los residuos orgánicos y por tanto son tratados mediante el proceso de compostación y vermicultivo utilizado en la planta de manejo integral de residuos, ubicada próxima al antiguo botadero. Finalmente son utilizados como abono en las diferentes prácticas de cultivo.

Los residuos líquidos producidos en el lavado de los patios y mesones son conducidos al alcantarillado municipal sin tratamiento alguno.

9.2.4 Residuos sólidos peligrosos. Conformados por los residuos sólidos procedentes de hospitales, consultorios odontológicos y consultorios veterinarios, los cuales son recogidos por la empresa prestadora del servicio de aseo del Municipio para posteriormente conducirlos al matadero municipal donde se encuentra el incinerador y quemarlos como tratamiento final. Las cenizas

producidas son enterradas en una fosa sin impermeabilización, con una profundidad mayor de 5m y cubiertas con tierra.

9.2.5 Matadero municipal. El matadero municipal cuenta con un Biodigestor, el cual tiene como función diluir totalmente los sólidos e impurezas para convertirlas finalmente en aguas fertilizantes y utilizarlas como riego de pastos.

El agua de lavado de mesones y pisos pasa inicialmente por un canal abierto en concreto compuesto por rejillas y posteriormente llega hasta el Biodigestor a través de una tubería de gress, con un diámetro de 6 pulgadas. Finalmente el agua es vertida al Río Chicamocha, en un tramo donde también se recibe el caudal proveniente del alcantarillado urbano.

Para remoción de olores producidos por el estiércol y evitar a su vez proliferación de larvas de moscos, se utiliza cal y finalmente se vende como abono (figura 23). Los residuos no comestibles del ganado (cachos, cascotes) y las cenizas producidas en el proceso de incineración de los demás residuos sólidos, son enterrados en una fosa mayor de 5m y cubiertos con tierra.

9.2.6 Sector de vivienda rural. Gran parte de las viviendas situadas en el área rural cuentan con pozo séptico como disposición final de las aguas residuales domésticas. Estos pozos en su gran mayoría están contruidos en ladrillo con tapa de cemento a profundidades entre 2-4 metros, se encuentran en un estado muy deteriorado debido a que llevan mucho tiempo de instalación, lo que ocasiona la erosión de las paredes las cuales no tiene ningún revestimiento o impermeabilización que impida la infiltración de los efluentes residuales.

9.2.7 Sector hotelero y recreacional

- **Hotel Colonial.** Los residuos líquidos generados provenientes de aguas lluvias, domésticas y termales son combinados y vertidos al antiguo alcantarillado del municipio, conducidos a un colector final que descargará posteriormente al río Chicamocha sin previo tratamiento. Es de anotar que las estructuras de esta red ya cumplieron su vida útil, presentándose fugas y a su vez infiltraciones al subsuelo en diferentes tramos del mismo.

Los residuos sólidos producidos son separados en la fuente de acuerdo a su naturaleza (orgánica, inorgánica, especial o higiénica), para luego ser recogidos

por la empresa encargada y llevados a la planta de manejo integral de residuos sólidos del municipio o entregados a terceros según corresponda.

Figura 23. Matadero municipal.



Fuente: Las Autoras.

- **Hotel Los Lanceros.** Los residuos líquidos que se generan en las actividades domésticas son conducidos por el alcantarillado antiguo en combinación con las aguas de escorrentía y termales hasta un canal abierto, el cual dispone dicho vertimiento en una dársena sin impermeabilización, manejada por el Instituto Nacional de Adecuación de Tierras – INAT, de donde se conduce hasta descargar finalmente al río Chicamocha sin previo tratamiento. Es de anotar que el canal abierto no está impermeabilizado ocasionando posibles infiltraciones al subsuelo, de aguas residuales tanto termales como domésticas. Este problema se viene presentando desde el punto donde se reciben las aguas residuales termales del Hotel Sochagota.

Los residuos sólidos producidos son separados en la fuente de acuerdo a su naturaleza (orgánica, inorgánica, especial o higiénica), para luego ser recogidos por la empresa encargada que para el caso es el Municipio de Paipa y llevados a la planta de manejo integral de residuos sólidos o entregados a terceros según corresponda.

- **Hotel Sochagota.** Residuos líquidos (domésticos y de escorrentía): son conducidos al colector principal del alcantarillado perimetral, para vertirlos finalmente al río Chicamocha sin previo tratamiento.

- *Residuos líquidos termominerales:* se conducen mediante una tubería hacia un canal abierto sin impermeabilización para posteriormente llevarlos a la dársena manejada por el INAT, en combinación con las aguas residuales provenientes del Hotel Los Lanceros.

- *Residuos sólidos:* se clasifican en la fuente de acuerdo a su naturaleza para ser entregados al carro recolector del municipio, y ser llevados finalmente a la planta de manejo integral de residuos y/o reciclarlos.

- **Hotel La Casona del Salitre.** Residuos líquidos domésticos: estos efluentes son vertidos a una caja recolectora semienterrada, cuyas dimensiones son 4 metros de profundidad, 4 metros de ancho y 4 metros de largo en concreto. Posteriormente este caudal es conducido a un tanque séptico con profundidad 4 metros, construido en concreto sin impermeabilización alguna, cuyo tiempo que lleva de construcción es 10 años.

Los residuos sólidos son separados en la fuente de origen, de acuerdo a su naturaleza, para luego ser transportados hasta la planta de manejo integral de residuos, en vehículos de propiedad del municipio de Paipa, donde se reclasifican y se les da el tratamiento adecuado.

- **Club náutico Colsubsidio.** La recolección de las aguas residuales domésticas y lluvias se realiza a través de una tubería de 6 pulgadas de diámetro, la cual las conduce al alcantarillado perimetral, para finalmente ser dispuestas en el río Chicamocha sin previo tratamiento.

Los residuos sólidos son clasificados en el punto de generación y recogidos por el municipio para ser conducidos hasta la planta de manejo integral de residuos, con el fin de reclasificarlos y darles el tratamiento requerido.

- **Paipa Hotel.** El caudal de aguas residuales generado, en las actividades domésticas y el agua residual termal proveniente de los jacuzzis, es conducido hasta una planta de tratamiento de lodos activados con capacidad para tratar 130m³/día y sus efluentes se descargan posteriormente al alcantarillado

perimetral, que dispone finalmente en el río Chicamocha; eventualmente estas aguas del efluente de la planta de tratamiento, son utilizadas para el riego de prados dadas las condiciones climáticas actuales (figura 24). El caudal promedio vertido al alcantarillado es de 1l/seg.

El material sobrenadante (lodos) y el recogido en la limpieza de la rejillas como unidad de pretratamiento, es deshidratado en una fosa artesanal, cuya base ha sido rellena con grava como medio filtrante de 2 metros de profundidad, 3 metros de ancho y 3 metros de largo. Una vez ha perdido toda la humedad se utiliza como abono para hortalizas.

El agua lluvia es recogida mediante un canal perimetral que las conduce hasta el lago Sochagota.

Los residuos sólidos se clasifican en la fuente en inorgánicos, higiénicos y orgánicos; los primeros son entregados a terceras personas y los restantes son llevados por el vehículo recolector del municipio, para disponerlos en la planta de manejo integral de residuos.

- **Piscinas municipales.** Los efluentes líquidos provenientes de estas piscinas son de dos tipos: aguas residuales domésticas y aguas residuales termales. A ninguna de las dos se les hace previo tratamiento y a pesar de que salen por tuberías separadas, se combinan mas adelante en la zanja construida en tierra que las conduce hasta la dársena.

Los residuos sólidos generados son clasificados en la fuente de acuerdo a tres tipos: inorgánicos, higiénicos y orgánicos. Estos son recogidos en su punto de generación por el vehículo encargado de la empresa prestadora del servicio para conducirlos hasta el tratamiento correspondiente.

9.2.8 Recursos hídricos

- **Cuenca del Río Chicamocha.** La cuenca hidrográfica del río Chicamocha se encuentra ubicada en la cordillera Oriental, ocupando áreas de los departamentos de Boyacá y Santander. Cuenta con una superficie aproximada de 9.606 Km² y alberga las cabeceras de 72 municipios, 53 de ellos en el departamento de Santander.

Figura 24. Planta de tratamiento del agua residual doméstica mediante lodos activados.



Fuente: Las Autoras.

El cauce principal del Río Chicamocha tiene una longitud aproximada de 270 Km y su red hidrográfica sobrepasa los 1000Km de longitud.

La contaminación del río Chicamocha, se produce por el desarrollo de diversas actividades antropogénicas, que generan contaminación causando un impacto negativo a este recurso hídrico y son los siguientes:

- *Vertimientos domésticos.* Disposición final de los vertimientos procedentes de las aguas residuales del alcantarillado municipal. Actualmente las aguas residuales domésticas generadas en la zona urbana, son conducidas a través del alcantarillado municipal en combinación con las aguas lluvias, hacia el Río Chicamocha, sin ningún tipo de tratamiento previo. Este vertimiento o disposición final, es realizado mediante tres colectores ubicados aledañosamente al municipio y que vierten directamente al Río.
- *Afluentes agrícolas.* El uso de agroquímicos como pesticidas, fertilizantes y abonos conllevan a la contaminación del Río Chicamocha, principalmente por las

prácticas de cultivos que se encuentran en las partes aledañas o riberas del Río Chicamocha, así como también por acción de las actividades ganaderas que se desarrollan en esta zona; dicha contaminación se debe al escurrimiento de cada uno de los productos químicos accionado por la lluvia y/o por la topografía del terreno.

- *Diversos efluentes.* Otra acción que genera contaminación del Río Chiacamocha es el vertimiento del agua residual proveniente del biodigestor que se encuentra en el matadero municipal, drenajes de sistemas de riego y desechos de minería que vierten residuos altamente contaminantes.

Estos anteriores vertimientos están produciendo un alto impacto ambiental negativo sobre el Río Chicamocha, conllevando a la alteración de sus propiedades físicas y químicas y por ende convirtiéndose en una fuente de contaminación microbiológica, física y química del agua subterránea, mediante el mecanismo de infiltración y más aún cuando el Río funciona como medio de alimentación del acuífero.²⁶

- **Cuenca del Río Salitre.** Esta cuenca presenta características especiales, como lo son recursos mineros, aguas termales, bosques, escasa fauna silvestre, bosques nativos y por el mal uso del suelo se han iniciado procesos erosivos severos.

Se han diferenciado en forma preliminar tres sectores de la cuenca del río Salitre:

- El sector más alto de la cuenca se encuentra a más de 2.900 msnm. donde se presentan formas quebradas de areniscas del cretáceo, con buenas probabilidades de captación y acumulación de aguas subterráneas, que dan origen al nacimiento del Río Salitre. Este nace con el nombre de Quebrada Honda Grande, en el Alto los Volcanes a más de 2800 msnm., en jurisdicción del municipio de Tuta. En su recorrido de aproximadamente 13 Km. drena un área cuya extensión se acerca a las 8000 Hectáreas.

- La parte media de la cuenca presenta un paisaje ondulado, derivado de materiales sedimentarios poco consolidados del terciario que dan origen a unos suelos inicialmente profundos y con alto contenido de materia orgánica, transformados en la actualidad en suelos de un alto grado de deterioro evolutivo en donde se han formado, una serie de horizontes impermeables relacionados con

²⁶ CORPOBOYACÁ, op. cit., p. 37-39.

la degradación de la materia orgánica, originando en la actualidad suelos altamente impermeables, endurecidos, muy susceptibles a la erosión.

- La parte baja de la cuenca presenta por un lado, un paisaje quebrado construido por rocas duras del cretáceo, con un alto contenido de sales en su composición mineral y que dan origen a los niveles freáticos, ricos en sales que caracterizan la parte baja de la región.

En términos generales la cuenca se encuentra en clima frío seco, con deficiencia de agua gran parte del año, en donde hay evidencias de desecamiento progresivo de quebradas y ríos.

Los suelos de la cuenca han perdido capacidad de regulación, que junto con el sobrepastoreo y el mal manejo producen gran nivel de escorrentía durante las épocas lluviosas, con un bajo grado de almacenamiento que aumenta el problema del embalse por cambios químicos del agua, de la misma manera, durante las épocas secas se presentan déficit marcados de agua y un deterioro generalizado del área de la cuenca.

Atendiendo a la densidad de las corrientes, a su textura y configuración en forma de ramificaciones de carácter arborescente en su parte alta y media, es una cuenca del tipo dendrítico.

En ella se observan líneas divisorias de aguas; nacimientos, riachuelos o pequeños arroyos, quebradas; fuentes de agua termal en su tramo intermedio y final; terrenos bajos y pantanosos cuya humedad se origina en las aguas de escorrentía o en el ascenso del nivel freático; y canales artificiales de aguas o acequias, construidos algunos con el fin de drenar las zonas más bajas y llanas y otros para riego.

Los afloramientos termales conocidos se ubican cerca de las piscinas municipales de Paipa y más al sur, aguas arriba de la quebrada en los alrededores de la escuela la Playa.

Entre los tributarios de la quebrada El Salitre se identifican las quebradas Cerón, Gorrero, Tunal y Olitas.

La cuenca está dividida en más de 2.000 predios, la mayoría de los cuales para efecto político-administrativo se agrupan en dos veredas: Quebrada Honda y El Salitre.

En las partes altas se caracteriza por la prevalencia de minifundios dedicados a la pequeña agricultura o de pancoger.

En las zonas planas los usos relevantes, por las extensiones que ocupan, son institucional y el turístico. El resto son pastizales para aprovechamientos pecuarios.

Entre los primeros figuran el Aeropuerto y los predios de propiedad del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF), y del Instituto Técnico Agrícola (ITA). Entre los segundos; las piscinas municipales, los Hoteles: la Casona, Lanceros, Colonial, Sochagota y las Cabañas de Colsubsidio y de la Policía Nacional.

Existen también algunas canteras y explotaciones a cielo abierto de arenas y materiales para construcción; pequeñas ladrilleras a nivel artesanal, y aguas abajo del Lago, una pequeña factoría dedicada a producir compuestos de sodio utilizando como materia prima aguas termales extraídas mediante pozos perforados en las cercanías del aeropuerto.

A lo largo de las divisorias de agua de las principales corrientes, existen caminos o carretables que permiten la delimitación de la cuenca respectiva.

A esta cuenca drenan las aguas ácidas sin previo tratamiento, provenientes de las minas de carbón ubicadas en la vereda El Salitre sector Villa-Rica.²⁷

- **Lago Sochagota.** El lago Sochagota es un cuerpo de agua artificial o "embalse" que ocupa una superficie de 1.6 Km² y tiene una capacidad de almacenar 4'500.000 m³ de agua.

Sus aguas provienen, casi en totalidad de los aportes de la Quebrada el Salitre, de las descargas, de las corrientes menores y probablemente de las corrientes subterráneas.

²⁷ Ibid, p. 42-43.

Características físicas abióticas

Hidrología: el río Salitre, discurre en dirección general Sur Norte y esta formado por las quebradas Chiquita, Honda y Olitas como principales componentes, las que tienen sus nacimientos a una altura aproximada de 3.000 m.s.n.m y desembocan en la parte sur del lago, en donde también vierte sus aguas una pequeña quebrada la cual pasa cerca al ITA, su caudal es pequeño y en época de verano intenso se seca.

Las Quebradas, por ser de corto recorrido tienen un caudal bajo, siendo además su variación en el tiempo bastante acentuado, debido a la escasa cobertura vegetal que protege sus cuencas. En la parte nor-oeste del lago, llega una zanja pequeña que transporta aguas lluvias.

Bordeando el hotel Centro de Convenciones se encuentra un canal que recoge aguas lluvias y aguas de drenaje que son vertidas al lago. En la parte sur frente al Hotel Sochagota y Club Náutico existen también canales de aguas lluvias que vierten en el lago.

Precipitación: la precipitación media anual es 934.2 mm/año. Esta región se caracteriza por presentar dos periodos típicos: uno de invierno y otro de verano; la época de invierno inicia de abril a mayo y octubre a noviembre y los periodos secos corresponden de diciembre a marzo y de junio a septiembre.²⁸

9.3 ACTIVIDAD INDUSTRIAL

9.3.1 Aceros Boyacá. Las aguas residuales producidas en esta industria que se conducen al alcantarillado municipal, son netamente domésticas, puesto que los efluentes provenientes de procesos industriales o enfriamiento de las calderas, son almacenados en dos tanques enterrados impermeabilizados y posteriormente recirculados totalmente en combinación con las aguas de escorrentía.

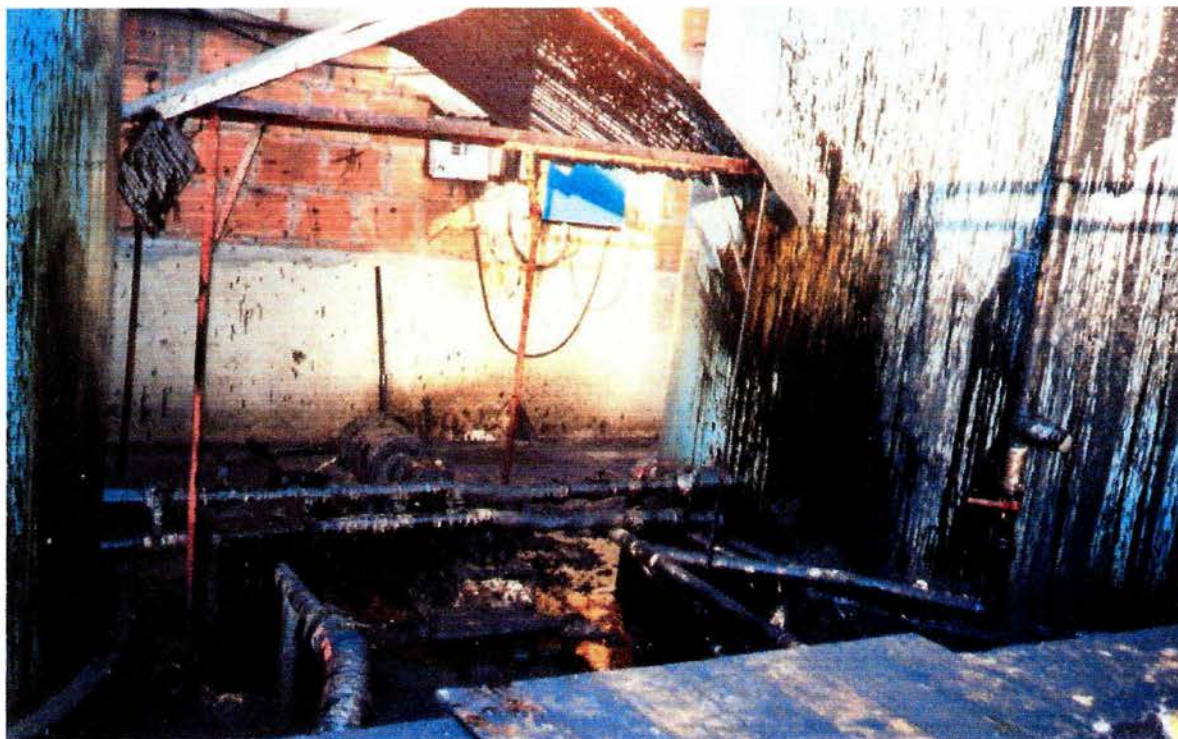
El agua residual doméstica es vertida directamente al alcantarillado municipal.

El almacenamiento del crudo, utilizado para el funcionamiento de las calderas es realizado en una caseta sin cubierta y sin ningún tipo de impermeabilización y con

²⁸ Ibid, p. 46-47.

un desagüe para salida del agua lluvia, con el fin de evitar almacenamiento de dicha agua en época de invierno (figura 25).

Figura 25. Tanques de almacenamiento de crudo.



Fuente: Las Autoras.

Los residuos sólidos generados, son clasificados en la fuente de acuerdo al tipo de material y posteriormente recogidos por la empresa de aseo, para conducirlos al botadero y/o reciclarlos.

9.3.2 Empresa de Energía de Boyacá (unidad I, II, III). Los residuos líquidos que se generan provienen de tres fuentes:

- Agua de lavado del patio de carbón y agua lluvia: este efluente es conducido a través de canales perimetrales al sistema de tratamiento donde se estabiliza mediante adición de cal y posteriormente es descargado a un lago de enfriamiento cuya profundidad es 2m.

- Agua proveniente de procesos internos: debido a que este tipo de efluente contiene diversidad de contaminantes entre ellos metales pesados. El tratamiento dado consta de un filtro percolador y un reactor UASB, del cual es conducido a través de un alcantarillado interno hasta descargarlo finalmente en el lago de enfriamiento (figura 26).

Figura 26. Laguna de enfriamiento de los efluentes líquidos industriales provenientes de la Empresa de Energía de Boyacá.



Fuente: Las Autoras.

- Agua de lavado del patio de carbón en combinación con aguas negras de la vereda aledaña: los residuos sólidos que se producen del proceso industrial y los domésticos son tratados de la siguiente manera:

Patio de carbón: el sitio de almacenamiento del carbón presenta una impermeabilización con recebo.

Patio de cenizas: la disposición final de este tipo de material es realizado en un botadero a cielo abierto sin ningún tipo de impermeabilización.

Residuos domésticos y de oficina: son separados en la fuente de origen, dependiendo de la naturaleza del residuo, para posteriormente entregarlos a la empresa prestadora del servicio de aseo la cual es el municipio y ser conducidos al botadero y/o reciclarlos.

9.3.3 Electrosochagota (unidad IV). Las aguas residuales de origen doméstico que provienen de los sanitarios, el casino, la cocina y el taller, se conducen a la planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados, donde se remueve el 80% de la DBO y de los sólidos suspendidos, para posteriormente conducirlos hasta un tanque de precaución, donde son combinadas con las aguas residuales industriales y las aguas lluvias con el objeto de neutralizarlas.

El tratamiento de las aguas residuales se inicia con neutralización de las aguas provenientes de la limpieza química de la caldera, del lavado de los calentadores de aire y de los diferentes procesos en los cuales hay intervención química incluyendo el agua de purga del sistema de refrigeración, el agua doméstica proveniente de la planta y el agua lluvia, con el fin de adecuar el pH a los niveles señalados por las regulaciones nacionales y reducir la temperatura.

Una vez neutralizada el agua, se inicia el tratamiento en la planta de carbón activado, el sobrenadante que se obtenga después del tratamiento en el clarificador es vertido al río Chicamocha. El volumen de lodo resultante se envía a un lecho de secado.

Las aguas lluvias son recogidas y conducidas por un canal perimetral que circunda toda la planta de energía, hasta un tanque impermeabilizado en el cual son tratadas mediante la adición de sulfato de calcio para balancear el pH y luego son llevadas hasta el tanque de precaución, donde son combinadas con las aguas residuales industriales y domésticas para su respectivo tratamiento y posterior vertimiento al río Chicamocha.

- *Patio de carbón:* presenta un área de 24500m², la cual tiene una capacidad de almacenamiento de 86000 toneladas de carbón. La base del patio o pila de almacenamiento del carbón esta compuesta por gravilla, sin ningún tipo de impermeabilización. El agua de escorrentía o lavado llega finalmente al canal perimetral de aguas lluvias y otra parte es infiltrada.

- *Patio de cenizas:* está ubicado en la vereda el Volcán y tiene un área de 22 hectáreas. Actualmente este sitio se esta recuperando con especies de retamo liso

y acacia, plantas de poca altura con el fin de evitar posibles erosionamientos.

Las cenizas de fondo recogidas del filtro de talegas son entregadas a una industria cementera para su reutilización.

Los residuos sólidos generados son de tipo orgánico e inorgánico. Los orgánicos provienen del restaurante y cafetería y son llevados por el personal de Colsubsidio quien suministra los alimentos al casino. Los inorgánicos son entregados a terceras personas para su reutilización.

9.3.4 Estaciones de servicio. Las estaciones de servicio están ubicadas en el área urbana del municipio, siendo de gran importancia para el estudio por la generación de residuos industriales, tanto líquidos como sólidos y residuos domésticos. Las cuatro estaciones son las siguientes:

- **Centralco S.A “La Esperanza”.** Durante los procesos realizados en la estación de servicio se generan diferentes tipos de efluentes líquidos:

- Aguas industriales (lavado de vehículos): el agua de lavado es captada por las rejillas interceptoras para ser conducidas al Sistema de Tratamiento Primario. La primera cámara (desarenador), realiza el control de las condiciones de flujo como reducción de la velocidad y ofrece el tiempo de retención necesario para separar por gravedad las partículas de interés.

De esta cámara el fluido pasa a un dispositivo de trampa de grasas, que cuenta con un recipiente desnatador donde se recogen las grasas. El separador de grasas y aceites del sistema de tratamiento primario, posee un codo a la salida para asegurar mayor retención de aceites y grasas, de esta cámara, el flujo pasa a una segunda cámara denominada cámara clarificadora que permite la sedimentación de las partículas suspendidas más finas. Finalmente de la cámara clarificadora, el fluido pasa a la cámara de aforo, donde se realizan los muestreos para su análisis de calidad y las mediciones del caudal manejado.

La descarga a la red de alcantarillado de este tipo de efluente se realiza únicamente por rebose del tanque en época de lluvia.

- Las aguas domésticas provenientes de los baños: son vertidas directamente a

la red de alcantarillado municipal sin tratamiento alguno.

- Drenaje de tanques: el tratamiento se realiza mediante trampa de grasas y posteriormente es descargado al alcantarillado municipal.
- Aguas lluvias (patios, maniobras y áreas abiertas): como tratamiento previo a la recirculación este efluente pasa a través de un sistema de rejillas y trampa de grasas para luego incorporarlas a la unidad de recirculación mediante el tanque de almacenamiento.

Los residuos sólidos que se producen en esta actividad se manejan de la siguiente manera:

- Lodos aceitosos: son depositados en la caseta secadora de lodos, que ha sido diseñada para permitir la rápida deshidratación de lodos. Una vez el material adquiere consistencia, es almacenada en sacos permeables para obtener mayor nivel de deshidratación, por evaporación y por compresión puesto que las bolsas se apilan unas sobre otras. Cuando el material adquiere consistencia y se han encapsulado las sustancias de Interés sanitario, se entrega a la compañía de recolección de residuos que presta este servicio, en esta parte del sistema ambiental urbano de Paipa para finalmente disponerlos en la planta de manejo integral de residuos sólidos del municipio, junto con la materia orgánica para tratarlos mediante un proceso de compostaje y lombricultura. El lixiviado generado, se conduce hasta la trampa de grasas del sistema de recirculación.
- Borrás: son almacenados para luego ser adicionados a aceites usados.
- Aceites usados: se recolectan en un tanque de almacenamiento subterráneo de 7m³ impermeabilizado y posteriormente son entregados a terceros (Cementos Boyacá).
- Chatarra, envases, canecas y filtros de aceite usados: son separados en el punto de generación y enseguida, entregados a terceros para ser fundidos en horno eléctrico y posteriormente reutilizarlos.
- Papel, icopor, plástico, cartón y vidrio: clasificados en la fuente y entregados a terceros para su reutilización.
- Residuos orgánicos: estos son recogidos por la empresa prestadora del servicio de aseo y dispuestos en el sitio contiguo al botadero a cielo abierto, donde son

tratados por compostación y lombricultura.

Adicionalmente se anexa las caracterizaciones obtenidas de la estación de servicio "La Esperanza" con parámetros como; pH, DBO₅, DQO, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, grasas y aceites, detergentes y temperatura.

Cuadro 15. Caracterizaciones de la estación de servicio "La Esperanza".

MUESTRA No. 13044 ANÁLISIS No. 4692 – CAJA DE AFORO

Tipo de muestra: Compuesta
 Día: Agosto 01 de 2002
 Hora: 09:15 am – 1:15 pm
 Sitio de muestreo: Caja de aforo y descarga al alcantarillado

Parámetro	Resultado de laboratorio	Resolución 1074 de 1997	Resolución 1596 de 2001	Cumplimiento
pH	6.45 unidades	5-9 unidades		X
DBO ₅	25 mgO ₂ -l	1000 mg-l		X
DQO	188 mgO ₂ -l	2000 mg-l		X
Sólidos suspendidos	74 mg-l	800 mg-l		X
Sólidos sedimentables	0.2 ml-l-h	2.0 mL-l-h		X
Grasas y aceites	15.2 mg-l	100 mg-l		X
Detergentes	5.1 mg-l		20 mg-l	X
Temperatura	14.5 C	Menor 30 C		X
Caudal medio	0.21 l-seg			

Fuente: Expediente Corpoboyacá, Estación La Esperanza.

MUESTRA No. 13045 ANÁLISIS No. 4693 – CAJA DE AFORO

Tipo de muestra: Simple
 Día: Agosto 01 de 2002
 Hora: 10:05, 10:15, 10:30 am
 Sitio de muestreo: Piezómetros 1, 2 y 3 contacto agua - aire

Pozo de monitoreo	Parámetro	Unidad	Resultado de laboratorio
1	TPH	mg-l	22.2
2	TPH	mg-l	41.4
3	TPH	mg-l	38.4

Fuente: Expediente Corpoboyacá, Estación La Esperanza.

Taxturístico: los residuos líquidos generados en las diferentes actividades realizadas en la estación son tratados de la siguiente manera:

- Aguas industriales (lavado de vehículos): antes de ser vertidas al alcantarillado son recirculadas para reutilizarlas en otros procesos.
- Aguas domésticas (baños): son vertidas directamente al alcantarillado sin ningún tipo de tratamiento.
- Drenaje de tanques: pasa a través de una trampa de grasas y luego es dispuesto en el alcantarillado.
- Aguas lluvias (patios de maniobras y áreas abiertas): son recirculadas y posteriormente vertidas al alcantarillado.

Los residuos sólidos producidos son:

- Lodos: son almacenados y deshidratados para luego conducirlos a la planta de manejo integral de residuos sólidos del municipio.
- Borrás: son almacenados e incinerados para posteriormente llevarlos a la planta de manejo integral de residuos sólidos del municipio.
- Aceites usados: son reciclados y entregados a terceros para su reutilización.
- Baterías y filtros: son separados en el sitio de origen y entregados a terceros para reutilización.
- Papel y cartón: se clasifican y se separan para entregarlos a terceros para reciclaje.
- Residuos orgánicos: se reciclan y se entregan a terceros para reutilización

- **La turística.** Los residuos líquidos que se generan son:

- Aguas industriales (lavado de vehículos): el tratamiento dado consta de rejillas, desarenador, trampa de grasas y filtro, y luego vertidos al alcantarillado municipal.
- Aguas domésticas (baños): estas son separadas de las aguas lluvias y vertidas al alcantarillado municipal.
- Aguas lluvias (patios de maniobras y áreas abiertas): son separadas de las aguas domésticas y descargadas en la vía pública.

Los residuos sólidos que se producen son:

- Aceites usados: estos son reciclados y entregados a terceros para reutilización.

- Envases y tambores: son separados en la fuente para entregarlos a terceros.
- Plástico, cartón y filtros: se clasifican y se separan en la fuente y luego son recogidos por la empresa prestadora del servicio de aseo y llevados al botadero municipal donde se les hace una reclasificación para entregarlos a terceros.
- Residuos orgánicos: una vez son seleccionados en la fuente, son conducidos por la empresa encargada hasta el botadero donde se someten a un proceso de compostación y lombricultura.

- **La gran vía.** Los residuos líquidos que se producen en el desarrollo de las actividades se clasifican así:

- Aguas industriales (lavado de vehículos): se vierten al alcantarillado municipal sin ser sometidos a tratamiento alguno.
- Aguas domésticas (baños): no se someten a ningún tratamiento antes de ser vertidas al alcantarillado municipal.
- Drenaje de tanques: estos son almacenados y vertidos al alcantarillado municipal.
- Agua lluvia: se hace reciclaje y reutilización y se conducen al alcantarillado municipal.

Los residuos sólidos se tratan a seguir:

- Envases vacíos: se hace separación en la fuente y se disponen en el botadero municipal por parte de la empresa prestadora de servicio de aseo para finalmente entregarlos a terceros.
- Cajas y cartones: son clasificados en el punto de origen y de allí entregados a terceros.
- Filtros: separados en la fuente para entregarlos terceros.
- Drenaje de tanques: almacenados y vertidos al alcantarillado municipal.
- Lodos y borras: se almacenan y se deshidratan antes de llevarlos al botadero municipal, por parte de la empresa prestadora de servicio para someterlos a compostaje y lombricultura.
- Basuras y otros: clasificados en la fuente de generación y transportados al botadero municipal para reclasificarlos y entregarlos a terceros.

9.4 ACTIVIDAD MINERA

La explotación de los recursos naturales no renovables, como es el caso de la minería, ocasiona impactos negativos sobre el medio ambiente.

En el Sector Sur del municipio de Paipa, se encuentran 139 unidades extractivas, cuyos porcentajes por estado de actividad para cada mineral se muestran a continuación.

Cuadro 16. Minerales explotados y estado de actividad.

Estado de Actividad	Carbón	Recebo	Arena	Puzolana	Hierro	Arcilla
Activas	102	0	0	0	2	1
Inactivas	7	2	3	5	0	1
Intermitentes	3	11	8	1	0	0
Abandonadas	27	2	2	1	0	1
Numero de minas	139	15	13	7	2	3

Fuente: CABALLERO VÁSQUEZ, Germán y VARGAS CASTAÑEDA, Sonia Patricia. Inventario y caracterización minero ambiental del municipio de Paipa. Sogamoso, 2002. Trabajo de grado (Ingeniero Geólogo). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Escuela de Ingeniería. p. 69.

9.4.1 Minas de carbón. El sector sur del municipio de Paipa cuenta con 139 minas de carbón. El carbón explotado es de tipo térmico, teniendo como principales consumidores, empresas como Termopaipa, Acerías Paz del Río y algunas ladrilleras de la región.

La actividad carbonífera en este sector del municipio se desarrolla en las veredas Salitre, Volcán, Cruz de Murcia, Jazminal, Esperanza y Llano Grande. La mayor parte de esta actividad se centra en las veredas Salitre y Volcán.

Cuadro 17. Distribución de las minas de carbón por veredas en el sector sur del municipio de Paipa.

Vereda	No. de minas
Cruz de Murcia	6
Esperanza	3
Salitre	91
Volcán	29
Jazminal	9
Llano Grande	1
Total	139

Fuente: CABALLERO VÁSQUEZ, Germán y VARGAS CASTAÑEDA, Sonia Patricia. Inventario y caracterización minero ambiental del municipio de Paipa. Sogamoso, 2002. Trabajo de grado (Ingeniero Geólogo). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Escuela de Ingeniería. p. 75.

Las operaciones unitarias de arranque y cargue se desarrollan en su totalidad de forma manual, debido a las características tanto de la minería como de los frentes de trabajo. El transporte, es de tipo manual ejercido con carretillas, mecánico realizado con malacates y combinado el que se lleva a cabo con carretilla hasta el túnel central y de este se lleva a superficie por medio del malacate.

Las operaciones de desagüe se dan en su mayoría de forma combinada, presentándose minas que cuentan con pozos de recolección de aguas de mina que a partir de estos es bombeada a superficie y posteriormente debido a la topografía del terreno, escurren por una zanja hasta encontrar un cauce natural.

En cuanto infraestructura civil existente en el sector carbonífero el servicio de campamento es mínimo, estos son utilizados como sitios de almacenaje de herramientas o insumos y no como tales; Con relación a casa-vivienda sólo algunas minas presentan estas obras con su respectivo baño; siendo más frecuentes los patios de acopio de carbón construidos sobre estériles provenientes de la mina; la mayoría de las minas presentan botaderos de estériles alrededor de sus bocaminas sin ningún tipo de control en la forma de botadero.

El carbón puede explotarse por métodos subterráneos (túneles), a cielo abierto (excavaciones superficiales), o una mezcla entre los anteriores, siendo el más frecuente en el área de estudio el tipo subterráneo.

Para la explotación del carbón en el Sector Sur del Municipio se utilizan los métodos de explotación por cámaras y pilares y cámaras con ensanche en el rumbo. En la primera se forman cámaras limitadas por pilares, los cuales son recuperados en retirada. La relación entre las cámaras y los pilares se toman de acuerdo a la razón de explotación. Las dimensiones de las cámaras y los pilares están entre 4 y 20 metros de ancho, por 2 metros de alto, con longitudes de 40 a 400 metros. El método propiamente consiste en dividir el manto en bloques mediante galerías y sobreguías, comunicadas entre sí por tambores avanzados a distancias prudentes para facilitar la ventilación. Luego que el bloque está preparado, se inicia la explotación cuya secuencia se hace en avance en forma ascendente.

Las cámaras con ensanche en el rumbo corresponden a uno de los tipos de cámaras existentes y está definido por la dirección del arranque del material. En este método, el bloque de explotación es dividido, por medio de vías horizontales en el sentido del rumbo (guías y sobreguías) y vías inclinadas en el sentido del buzamiento (tambores), generando bloques de forma cuadrada o rectangular. La

explotación propiamente, se reduce al ensanche de los tambores mediante testers, franjas rectas o en diagonal hasta dejar manchones que sirvan como sostenimiento parcial.²⁹

- **Sector Salitre 1.** El Sector de Salitre 1, se encuentra ubicado en el municipio de Paipa, en el departamento de Boyacá conformando una pequeña área de la vereda El Salitre. A la zona de estudio se llega por la vía Paipa-Toca-Tunja, de donde se desprenden carreteables, en buen estado que comunican con los sitios de explotación.

El sector cuenta con 32 bocaminas y 15 campamentos de aproximadamente 30 metros cuadrados, caseta para malacates, patios de madera y patios de acopio de carbón. La vía de acceso se encuentra recepada y afirmada con sus respectivas alcantarillas y cunetas para drenaje de aguas lluvias.

La temperatura del lugar comprende de 6 a 18°C, con un régimen de lluvias de 500 a 1000 mm/año y situada entre los 2500 y 3000 msnm.

La principal corriente es la del río Chicamocha donde desembocan las quebradas la Cañada y los Lazos que atraviesan el sector, fluyendo de norte a sur.

El régimen de circulación de agua es predominantemente hipodérmico lento en razón al grado de alteración de las areniscas y a la presencia de arcillolitas. Esto se evidencia en el hecho de que las poco incisadas quebradas, llevan agua muchos días después de un aguacero, teniendo en cuenta que en la zona las diferencias de altura no son muy grandes y por lo tanto las áreas aferentes tampoco lo son; por supuesto existen en la zona algunos altos topográficos significativos.

El gran paisaje del área en estudio corresponde al de cordillera andina, específicamente la cordillera oriental. Se observan paisajes de valle y mayoritariamente montañoso. En la parte dentro del área se presenta un relieve colinado y en lomas cortas con pendientes fuertemente onduladas. También se observan pendientes suavemente onduladas a ligeramente inclinadas sobre áreas de depósito aluvial.

La zona de explotación esta constituida por la agrupación de pequeñas minas de

²⁹ VÁSQUEZ CABALLERO y VARGAS CASTAÑEDA, op. cit., p. 50-51.

uso individual, con características iguales entendiéndose como mina, el conjunto de operaciones y actividades que se deban realizar para beneficiar un mineral, en este caso el carbón.

El método seleccionado para explotar el mineral es por Tajo Corto con derrumbe dirigido, el cual requiere de la elaboración de pequeños bloques; la explotación se realiza en retroceso con pico y pala manual.

Existen tres clases de carbón: bituminoso alto volátil C, sub-bituminoso A y sub-bituminoso B. Este carbón es del tipo térmico con un alto poder calorífico lo que permite que sea comprado por la Empresa de Energía de Boyacá.

Cuadro 18. Características del carbón extraído del sector Salitre 1.

Parámetro	Cantidad
Humedad residual	2.8%
Humedad libre	2.2%
Humedad total	4.89%
Cenizas	16.82%
Material volátil	36.18%
Poder calorífico	5850 cal/gr.
Carbono fijo	44.20%
Azufre	2.33%
FSI	1

Fuente: COOPERATIVA AGROMINERA MULTIACTIVA DE PAIPA LTDA. Informe general minero-ambiental. Minas de carbón salitre 1. Paipa : El autor, 2002. p. 32.

Los estériles provenientes de las etapas de exploración, desarrollo y explotación de las minas son dispuestos alrededor de estas, para luego con ayuda de maquinaria (retroexcavadora) dispersar dicho material y posteriormente proceder a la siembra de cespedón, como mecanismo de recuperación de suelos. Parte de los estériles se utilizan también en la conformación de la base de los patios de acopio y de madera de las minas (figuras 27 y 28).

El manejo de aguas lluvias se efectúa a través de cunetas hechas en tierra alrededor de los patios de acopio, disposición de estériles y áreas aledañas a la bocamina, para luego disponerlas finalmente a la Quebrada el Salitre (figura 29).³⁰

³⁰ COOPERATIVA AGROMINERA MULTIACTIVA DE PAIPA LTDA. Informe general minero-ambiental. Minas de carbón salitre 1. Paipa : El autor, 2002. p. 30-33.

Figura 27. Prácticas de disposición de estériles alrededor de la bocamina provenientes de la minería del carbón en el sector Salitre 1.



Fuente: Las Autoras.

Figura 28. Recuperación de la zona de disposición de estériles mediante la siembra de cespedón.



Fuente: Las Autoras.

Figura 29. Disposición de las aguas ácidas provenientes de la mina y de escorrentía sector Salitre 1.



Fuente: Las Autoras.

- **Sector Salitre 2.** La actividad minera se encuentra localizada en la vereda el Salitre del Municipio de Paipa, por la vía que conduce a la planta de bienestarina a una distancia de 10 kilómetros de la zona urbana. El área comprende una extensión de 271.7019 hectáreas, mediante las siguientes coordenadas:

X= 1'122.532.000; Y= 1'102.581.60

La temperatura promedio de este sector se presenta entre 6 y 18°C, con un régimen de lluvias de 500 a 1000 mm/año, situada entre los 2500 y 3000 msnm. La principal corriente es la del río grande donde desembocan las quebradas que atraviesan el sector fluyendo de norte a sur.

La zona presenta valles con pendientes suaves onduladas hacia el sur las cuales corresponden a formaciones de resistencia media a baja, en el norte las pendientes son más fuertes debido a que las constituyen formaciones de resistencia alta.

El sector cuenta con 39 bocaminas y 15 campamentos de aproximadamente 30 metros cuadrados, casetas para los malacates, patios de madera y patios de acopio de carbón.

El método seleccionado para explotar el mineral es por Tajo Corto con derrumbe dirigido, este método requiere de la elaboración de pequeños bloques, la explotación se realiza en retroceso con pico y pala manual.

El sistema de explotación consiste en recuperar los bloques formados durante la etapa de preparación. La explotación se adelanta bajo tierra a una altura de 2500 msnm. aproximadamente. El arranque del mineral se hace por medios manuales (pico y pala) y transportado a superficie en vagonetas por el sistema de malacates (motor de tracción). El carbón extraído es apilado en un patio de acopio con capacidad de almacenamiento de 10 Ton diarias.

Cuadro 19. Características del carbón extraído del sector Salitre 2.

Parámetro	Cantidad
Humedad residual	2.8%
Humedad libre	2.2%
Humedad total	4.89%
Cenizas	16.82%
Material volátil	36.18%
Poder calorífico	5850 cal/gr.
Carbono fijo	44.20%
Azufre	2.33%
FSI	1

Fuente: COOPERATIVA AGROMINERA MULTIACTIVA DE PAIPA LTDA. Informe general minero-ambiental. Minas de carbón salitre 1. Paipa : El autor, 2002. p. 18.

El área donde se desarrolla la explotación es suelo apto para pastoreo, actividad agrícola y la capa vegetal es escasa. El componente suelo, es perturbado al igual que la capa vegetal ocasionado por la explotación, disposición inadecuada de estériles; se evidencian procesos erosivos como surcos de escorrentía.

El agua de origen doméstico proveniente de los campamentos es conducida a tratamiento mediante pozo séptico. El agua de escorrentía y el agua de la mina llevada a superficie por medio de bombas, es vertida a zanjas construidas paralelamente a la vía hasta los humedales de tratamiento construidos para tal fin,

los cuales están compuestos por piedra caliza y juncos extraídos del lago Sochagota, debido a que las plantas acuáticas remueven los metales de los drenajes ácidos de las minas. Además las algas y bacterias que se desarrollan en estos sistemas oxidan el hierro y el manganeso (figura 30).

Una vez las aguas ácidas provenientes de las minas han sido tratadas mediante los humedales, son conducidas y finalmente descargadas a las quebradas Villarrica y Lazos.

En cuanto al manejo y disposición de estériles, algunos de estos son depositados alrededor de la mina sin ningún tipo de control, mientras que otros se utilizan en la conformación de patios de acopio y de madera de cada mina (figura 31).

Se anexa a continuación las caracterizaciones del agua proveniente de la mina a la entrada de un sedimentador y a la entrada al humedal.

Actualmente, dicho sedimentador, se encuentra fuera de servicio y por tanto las aguas provenientes de la mina pasan directamente al humedal.

Cuadro 20. Efluente de la mina.

Parámetro	Resultado
Color (UFC)	24
Sólidos suspendidos (mg-l)	66
Hierro (mg-l de Fe)	0.66
Dureza cálcica (mg-l CaCO ₃)	178
Conductividad (ms-cm ²)	1.8645
Acidez (mg-l)	16.4
Alcalinidad (mg-l)	0.0
pH	7.24
Cloruros (mg-l)	4.412
Temperatura (C)	24

Fuente: COOPERATIVA AGROMINERA MULTIACTIVA DE PAIPA LTDA. Informe general minero-ambiental. Minas de carbón salitre 2. Paipa : El autor, 2002. p. 18.

Figura 30. Tratamiento con humedales para las aguas ácidas provenientes de las minas sector Salitre 2.



Fuente: Las Autoras.

Figura 31. Disposición de los estériles alrededor de la bocamina en el sector Salitre 2.



Fuente: Las Autoras.

Cuadro 21. Salida sedimentador.

Parámetro	Resultado
Color (UFC)	14
Sólidos suspendidos (mg-l)	20
Hierro (mg-l de Fe)	0.46
Dureza cálcica (mg-l CaCO ₃)	163
Conductividad (ms-cm ²)	1.856
Acidez (mg-l)	3.04
Alcalinidad (mg-l)	0.0
pH	7.98
Cloruros (mg-l)	4.302
Temperatura (C)	16

Fuente: COOPERATIVA AGROMINERA MULTIACTIVA DE PAIPA LTDA. Informe general minero-ambiental. Minas de carbón salitre 2. Paipa : El autor, 2002. p. 18.

Cuadro 22. Entrada humedal.

Parámetro	Resultado
Color (UFC)	4
Sólidos suspendidos (mg-l)	2
Hierro (mg-l de Fe)	0.049
Dureza cálcica (mg-l CaCO ₃)	165.8
Conductividad (ms-cm ²)	1.865
Acidez (mg-l)	0.0
Alcalinidad (mg-l)	6.1
pH	8.35
Cloruros (mg-l)	4.3
Temperatura (C)	14

Fuente: COOPERATIVA AGROMINERA MULTIACTIVA DE PAIPA LTDA. Informe general minero-ambiental. Minas de carbón salitre 2. Paipa : El autor, 2002. p. 18.

- **Sector El Volcán.** Las minas de este sector se encuentran ubicadas a 45 kilómetros de la ciudad de Tunja, en carretera pavimentada en excelentes condiciones. Para el acceso a las minas se desprenden de la autopista central del norte, cinco carreteables de longitudes oscilantes entre 2.5 y 3.2 kilómetros que se encuentran recebados en buenas condiciones.

La temperatura se presenta entre 6 y 18°C, con un régimen de lluvias de 500 - 1000 mm/año.

El método seleccionado para explotar es por tajo corto por derrumbe dirigido, la

explotación se realiza en retroceso con pico y pala manual.

El tipo de carbón extraído es térmico bituminoso alto volátil, cuyo poder calorífico es 6.701 cal/gr., el cual es vendido finalmente a la Empresa de Energía de Boyacá.

Cuadro 23. Características químicas del carbón extraído del sector El Volcán.

Parámetro	Cantidad
Humedad residual	2.87%
Cenizas	14.5%
Materia volátil	41.2%
Poder calorífico	6.701cal/gr.
Carbono fijo	41.2%
Azufre	1.3%
FSI	11/2
Humedad libre	2.88%
Humedad total	5.56%

Fuente: COOPERATIVA AGROMINERA MULTIACTIVA DE PAIPA LTDA. Informe general minero-ambiental. Minas de carbón salitre 2. Paipa : El autor, 2002. p. 27.

En este sector se cuenta con 29 bocaminas y 3 campamentos de aproximadamente 30 metros cuadrados, casetas para los malacates, patios de madera y patios de acopio de carbón.

Para el control de erosión y manejo de escorrentía se han sembrado especies nativas de la zona, siguiendo las curvas de nivel y plantando a tres bolillos, en las áreas que presentan pendientes fuertes o de laderas. No existen zonas erosionadas (cárcavas) y los fenómenos de subsidencia se han tratado con terrazas, nivelación, recubrimiento y reforestación con eucalipto. El manejo de aguas lluvias, se efectúa a través de cunetas hechas en tierra alrededor de los patios de acopio, disposición de estériles y áreas alledañas a la bocamina.

El manejo y adecuación de estériles se hace mediante adecuación morfológica del depósito de estériles, para posterior revegetalización, mediante la siembra de cespedón (figura 32). Parte de los estériles se utilizan en la conformación del patio de acopio y de la madera utilizada para el sostenimiento de la mina.

Figura 32. Recuperación de la zona de disposición de estériles provenientes de la minería de carbón mediante la siembra de cespedón sector El Volcán.



Fuente: Las Autoras.

En los patios de carbón se dispone de cunetas para conducción de aguas provenientes de escorrentía, disminuyendo el contacto con el mineral. Así mismo para disminuir el contacto con los estériles, se cuenta con trinchos.

La evacuación y manejo de aguas provenientes de la mina, se realiza mediante la conducción a través de humedales o zanjas compuestas, por juncos extraídos del lago Sochagota y piedra caliza para estabilizar el pH del agua, construidas paralelamente a la vía de acceso, permitiéndoles su oxigenación. Esta agua tratada se lleva a represas para la utilización en pastoreo de ganado y riego de potreros.

Para la reforestación y recuperación de la cobertura vegetal se han sembrado árboles y plantas que amortiguan la caída y velocidad del agua lluvia sobre el terreno circundante a la mina. El corte de árboles se hace en forma racional en cuanto a la necesidad para el sostenimiento de la mina.

El manejo de residuos sólidos y líquidos provenientes de los campamentos se hace mediante enterramiento, mientras que la chatarra y los empaques son entregados a terceros para su reutilización.

Las obras ambientales ejecutadas en el Sector “El Volcán” son las siguientes:

Cuadro 24. Actividades y obras ambientales desarrolladas en el sector El Volcán.

Descripción	Cantidad	Unidad
Recuperación de estériles	6000	m ²
Empradización	6000	m ²
Sellamiento de bocaminas	6	Unid
Reforestación en eucalipto	20000	Unid
Reforestación nativa	5000	Unid
Construcción represa	30	m ³
Adecuación humedal	5	m ³
Construcción y adecuación de zanjas	500	ml
Recebo de vías	2000	m ³
Perfilada de vías	6000	ml
Extendida de recebo	2000	m ³
Adecuación de terrenos	8000	m ²
Confinamiento de basuras	5	Unid
Ordenamiento de maderas de las minas	5	gl
Adecuación de carpas a las volquetas	5	Unid
Dotación de elementos de seguridad industrial	24	Unid
Establecimiento de PSO	1	gl
Creación del Copaso	1	gl
Capacitación ambiental	1	gl
Erradicación del menor trabajador	1	gl

Fuente: COOPERATIVA AGROMINERA MULTIACTIVA DE PAIPA LTDA. Informe general minero-ambiental. Minas de carbón salitre 2. Paipa : El autor, 2002. p. 29.

9.4.2 Recebo. Las explotaciones de recebo presentes en el sector sur del municipio se ubican en las veredas Cruz de Murcia, Sativa, Caños, el Tunal y Medios, distribuidas así:

Cuadro 25. Distribución de las minas de recebo por veredas.

Vereda	No. de minas
Cruz de Murcia	4
Sativa	4
Caños	2
El Tunal	4
Medios	1
Total	15

Fuente: CABALLERO VÁSQUEZ, Germán y VARGAS CASTAÑEDA, Sonia Patricia. Inventario y caracterización minero ambiental del municipio de Paipa. Sogamoso, 2002. Trabajo de grado (Ingeniero Geólogo). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Escuela de Ingeniería. p. 106.

En la actualidad las explotaciones de recebo se desarrollan a cielo abierto mediante el método de explotación por frente único. En este método se excava desde la parte superior hacia el pie del talud utilizando maquinaria (retroexcavadora), generando taludes que inducen al derrumbe, dando origen a paredes altas con pendientes casi verticales.

Para la explotación del recebo en el municipio, no se llevan a cabo operaciones de perforación y voladura; el arranque del material se realiza, de forma manual con pico y varilla de acero y de forma mecánica por medio de maquinaria (retroexcavadora). El recebo es utilizado en obras civiles como agregado, base, sub-base y como material afirmado para las vías.

En este tipo de minería, la disposición de estériles y capa vegetal u orgánica se hace a través de botadero, alrededor de la mina, en quebradas y ríos.

Por otro lado, debido a que en la minería del recebo no existen campamentos, ni viviendas cercanas que pertenezcan a los explotadores, no se considera la disposición de residuos sólidos domésticos.

El agua es un recurso del cual no se le da ningún tipo de uso en la minería del recebo, pero no es de excluir su intervención en el desarrollo de esta actividad minera.

No existen obras para la recolección de las aguas lluvias y de escorrentía, lo que

genera la erosión del suelo.³¹

9.4.3 Arena. Las arenas explotadas en el sector sur del municipio son explotadas a cielo abierto, en su totalidad en el área de la construcción, siendo extraídas en las veredas la Esperanza, Salitre, Cruz de Bonza y Toibita.

Cuadro 26. Distribución de las explotaciones de arena por veredas.

Vereda	No. de minas
La Esperanza	1
Salitre	3
Cruz de Bonza	8
Toibita	1
Total	13

Fuente: CABALLERO VÁSQUEZ, Germán y VARGAS CASTAÑEDA, Sonia Patricia. Inventario y caracterización minero ambiental del municipio de Paipa. Sogamoso, 2002. Trabajo de grado (Ingeniero Geólogo). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Escuela de Ingeniería. p. 110.

La extracción de arena se realiza de forma antitécnica, induciendo a un derrumbe en el macizo rocoso, por medio del ataque en el pie del talud utilizando pico y pala, estos trabajos generan taludes con altura excesiva y pendientes negativas.

Las operaciones unitarias realizadas en las explotaciones de arena se llevan a cabo en su totalidad de forma manual. Para el arranque del material se utiliza herramienta menor (pico, varilla); el cargue se realiza con pala manual directamente a las volquetas, el transporte se da como operación de mercadeo y no como operación minera.

En cuanto a disposición de estériles en todas las minas de arena el material estéril es dispuesto alrededor de las mismas sin ninguna medida de control.

Por otra parte, el uso del agua en la minería de arena es casi nulo, no se realiza ningún proceso a beneficio, razón por la cual no se requiere fuentes por abastecimiento de agua. Pero en cambio se presentan procesos erosivos en el área por causa de la falta de obras para recoger las aguas lluvias y de escorrentía.³²

³¹ CABALLERO VÁSQUEZ y VARGAS CASTAÑEDA, op.cit., p. 39-42.

³² Ibid, p. 44-45.

9.4.4 Puzolana. La puzolana es un material utilizado como aditivo en la fabricación de cemento, la explotación de este material se lleva a cabo en las veredas Quebrada Honda, Cruz de Murcia, Rincón de Vargas y Salitre.

Los principales consumidores de puzolana son empresas como Cementos Paz del Río y Cementos Diamante.

Cuadro 27. Distribución de las explotaciones de puzolana por veredas.

Vereda	No. de minas
Quebrada Honda	1
Cruz de Murcia	3
Rincón de Vargas	1
Salitre	2
Total	7

Fuente: CABALLERO VÁSQUEZ, Germán y VARGAS CASTAÑEDA, Sonia Patricia. Inventario y caracterización minero ambiental del municipio de Paipa. Sogamoso, 2002. Trabajo de grado (Ingeniero Geólogo). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Escuela de Ingeniería. p. 112.

Las explotaciones de puzolana que se adelantan en el Municipio se realizan a cielo abierto mediante el método de explotación por bancos.

Este método se basa en una minería de banqueo ascendente, se aplica a yacimientos potentes relativamente horizontales. La secuencia de explotación es ascendente, teniendo en cuenta que la pendiente es favorable y el buzamiento en sentido contrario, facilitando la construcción de los bancos.

Entre las ventajas que ofrece este método se cuentan: no se necesita gran inversión en la maquinaria para la extracción, la extracción se puede adaptar a las condiciones de mercado, hay una alta recuperación del material y bajos costos de operación de arranque.

Las desventajas consisten en que se presentan dificultades de operaciones mineras debido a condiciones climáticas desfavorables, además de impacto visual negativo.

En cuanto a la disposición de estériles, debido a que algunas de estas explotaciones pertenecen a industrias cementeras (Industrias e Inversiones Samper), estas realizan la disposición en botaderos técnicos con un adecuado mantenimiento. Las demás explotaciones pertenecientes a pequeños propietarios hacen la disposición de estériles alrededor de la mina o en botaderos.

Las aguas lluvias y de esorrentía, son manejadas con canales o zanjas con ayuda de la gravedad.³³

9.4.5 Hierro. Las explotaciones de mineral de hierro presentes en el sector sur del municipio se ubican únicamente en la vereda Quebrada Honda, con un total de 2 unidades extractivas. Las minas cuentan con casa-vivienda, taller, patio de acopio y botadero a cielo abierto (fotografía 23).

Figura 33. Explotación de hierro en la vereda Quebrada Honda.



Fuente: Las Autoras.

La clase de mineral de hierro explotado en el sector es utilizado en la industria cementera, por esta razón el estado de actividad esta dado por la demanda del material por parte de las empresas consumidoras.

³³ Ibid, p. 48-49.

El mineral de hierro presente, debido a su origen (metasomático) y geometría es explotado en forma desordenada y antitécnica, mediante la apertura de huecos donde posiblemente hay manifestaciones, utilizando para el descapote y arranque del material, maquinaria (retroexcavadora), hasta donde la profundidad lo permita y posteriormente de forma manual con pica y pala.

Una de las dos minas se adelanta con explotación técnica empleando el método de explotación por bancos o terrazas. Los estériles en este tipo de minería son depositados en un botadero técnico, existente alrededor de las explotaciones.

El agua proveniente de escorrentía formada por aguas lluvias es drenado a través de zanjas hasta perderse por infiltración en el terreno o encontrar un cauce natural.³⁴

9.4.6 Arcilla. La explotación de arcilla adelantada en el sector sur del municipio esta encadenada con el área de la construcción, debido a que la arcilla es utilizada como materia prima en la industria alfarera para la fabricación de diferentes productos como ladrillo, teja, tubos, cerámicas, etc.

El sector cuenta con 3 explotaciones de arcilla distribuidas así: una explotación en la vereda Caños, una explotación en la vereda Toibita y una explotación en la vereda Sátiva, perteneciendo esta última a la empresa ladrillos El Zipa S.A., la cual presenta botadero, patio de acopio, campamento y oficina.

La extracción de arcilla se realiza a cielo abierto de forma antitecnica, induciendo a un derrumbe en el frente, el arranque es de tipo manual mediante el empleo de pica y pala con las cuales se ataca pie del talud, generando alturas y pendientes excesivas. En la empresa "Ladrillos El Zipa" la extracción de arcilla se realiza mediante el método de explotación por bancos o terrazas, siendo esta la única explotación adelantada técnicamente.

La extracción de arcilla esta encadenada con un posterior proceso de beneficio, razón por la cual el estado de actividad esta dado por el funcionamiento de los hornos de cocción del ladrillo y demás productos.

³⁴ Ibid, p. 50-51.

La etapa del proceso minero esta relacionada con la industria alfarera y a su vez con el sector de la construcción, pues este último es quien ofrece mayor demanda de los productos provenientes de la arcilla.

Los estériles son depositados en un botadero adecuado técnicamente. La empresa "Ladrillos El Zipa" realiza rehabilitación en el terreno con obras como adecuación morfológica, reforestación y empradización.³⁵

³⁵ Ibid, p. 53-54.

10 ÍNDICE DE AMENAZA POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN

Con base en la caracterización de los residuos líquidos y sólidos respecto a su disposición final, se realiza la calificación del índice de amenaza potencial de contaminación, de las diversas actividades desarrolladas en el sector sur del municipio de Paipa como son; agrícolas y ganaderas, domésticas, turísticas y hoteleras, mineras e industriales, desde muy baja hasta extrema, cuantificándola en un rango de 0 a 1, para posteriormente clasificarlas dentro de un mapa de amenazas de contaminación con el objeto de identificar finalmente el riesgo potencial de contaminación del agua subterránea (cuadro 28).

Cuadro 28. Índice de amenaza potencial de contaminación.

Amenaza	Índice
Extrema	0.71 – 1.0
Alta	0.51 -0.7
Moderada	0.31 – 0.5
Baja	0.11 – 0.3
Muy baja	Menor o igual a 0.1

Fuente: Las autoras

- *Extrema*: Es asignada, a la disposición final de residuos tanto líquidos como sólidos sobre la superficie terrestre, sin ningún tipo de tratamiento y/o control, que conlleva a una inevitable y fuerte contaminación del agua subterránea y se cuantifica entre valores de 0.71 – 1.0.

- *Alta*: Se valora entre 0.51 – 0.7, a toda clase de residuos líquidos y sólidos cuya disposición final es realizada directamente sobre el suelo sin previo tratamiento, ocasionando contaminación del agua subterránea.

- *Moderada*: La cuantificación esta dada entre los valores de 0.31 – 0.5, que corresponde a la posible contaminación del agua subterránea a mediano plazo, causada por el ineficiente tratamiento y/o control previo a la disposición final de residuos líquidos y sólidos.

- *Baja*: La disposición final de residuos sólidos y líquidos pueden no generar

contaminación del agua subterránea, debido al tratamiento y/o control que se les está haciendo, cuantificándolos entre 0.11 y 3.0.

- *Muy baja*: Se representa entre valores menores o iguales a 1, a los residuos tanto líquidos como sólidos, cuya disposición final es realizada con un previo y eficiente tratamiento, que conlleva a una insignificante contaminación del agua subterránea.

La valoración del riesgo potencial es el resultado de la sobreposición de los mapas de amenaza y vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, y matemáticamente este índice es el producto de la multiplicación del índice de amenaza por el índice de vulnerabilidad, este último obtenido del estudio de "Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación del sector sur del municipio de Paipa" (anexo B).

Cuadro 29. Actividad agrícola y ganadera.

Caracterización de acuerdo al tipo de disposición final de residuos líquidos y sólidos	Peligro potencial que representa la disposición de los residuos	Índice de amenaza	Riesgo potencial
- AGRÍCOLA			
Veredas			
<p><i>La Bolsa:</i> esta vereda tiene un área de siembra de cultivos de aproximadamente 75,06 Ha., entre cultivos de arveja, maíz, papa y haba.</p>	<p>Se asigna el valor de 0,8, indicando una amenaza extrema de contaminación, debido al uso de agroquímicos como fertilizantes, plaguicidas (insecticidas y fungicidas) y abono orgánico y compuesto.</p> <p>La contaminación del agua con plaguicidas presenta características especiales, ya que estas sustancias son tóxicas para diversas formas de vida animal y vegetal. Los plaguicidas, una vez aplicados, son arrastrados por las corrientes de agua, siendo transportados a grandes distancias.</p> <p>De una manera u otra los plaguicidas persistentes y sus productos de degradación tóxicos permanecen en el terreno, el tiempo suficiente para que puedan ser arrastrados por las aguas de lluvia o las de regadío hacia corrientes superficiales y/o subterráneas.</p> <p>Además la utilización de fertilizantes provoca la alteración de las propiedades físico-químicas del agua subterránea.</p>	0,8	0,24 Bajo
<p>- <i>Quebrada Honda:</i> posee un área de cultivo de 43,2 Ha., sembradas por cebada y trigo.</p>	<p>Se determina este valor de 0,55, lo cual representa una amenaza alta por la aplicación a los cultivos de agroquímicos como fertilizantes.</p> <p>El uso de fertilizantes conlleva a un cambio de las condiciones físicas y químicas del agua subterránea.</p>	0,55	0,27 Bajo
<p>- <i>La Playa:</i> el área total de siembra es de 34,4 Ha. Y los cultivos presentes son cebada y trigo.</p>	<p>Se le da un valor de 0,51, calificando la amenaza alta, por la utilización de agroquímicos como fertilizantes.</p> <p>Dichos agroquímicos afectan las propiedades intrínsecas del agua subterránea.</p>	0,51	0,35 Moderado
<p>- <i>Marcura:</i> el área sembrada corresponde a 25,04 Ha., conformadas por cultivos de arveja, papa y haba.</p>	<p>Este valor de 0,8 indica una extrema amenaza, debido a la aplicación de fertilizantes, herbicidas (insecticidas, fungicida), abono orgánico y compuesto.</p> <p>El uso de plaguicidas provoca la contaminación del agua subterránea debido a que estos compuestos presentan sustancias tóxicas. Los plaguicidas, una vez aplicados, son arrastrados por las corrientes de agua, siendo transportados a grandes distancias.</p>	0,8	0,24 Bajo

Continúa...

	<p>De una manera u otra los plaguicidas persistentes y sus productos de degradación tóxicos permanecen en el terreno el tiempo suficiente para que puedan ser arrastrados por las aguas de lluvia o las de regadío hacia corrientes superficiales y/o subterráneas.</p> <p>Además la utilización de fertilizantes provoca alteración del agua subterránea en sus condiciones naturales.</p>	0,8	0,24 Bajo
- <i>Venta de Llano</i> : posee 30 Ha., sembradas únicamente por cultivo de trigo.	<p>El valor asignado es de 0,51, indicando una amenaza alta, la cual se debe a la utilización de Fertilizantes.</p> <p>El uso de fertilizantes modifica las propiedades físicas y químicas del agua subterránea, alterando su calidad.</p>	0,51	0,15 Bajo
- <i>Cruz de Murcia</i> : el área sembrada en la vereda es de 28 Ha., que corresponden a cultivos de cebada y trigo.	<p>Se determina el valor de amenaza de 0,4 correspondiente a una amenaza moderada, por la aplicación a los cultivos de agroquímico como fertilizantes.</p> <p>El uso de agroquímicos como fertilizantes produce cambios en la calidad del agua subterránea.</p>	0,4	0,2 Bajo
- <i>Medios</i> : posee 27,51 Ha. cultivadas por frijol, arveja, papa y haba.	<p>La asignación del valor de 0,75, correspondiente a una amenaza extrema, por motivo a la aplicación a los cultivos de fertilizantes, y plaguicidas como insecticidas, y fungicidas, abono orgánico y compuesto.</p>	0,75	0,22 Bajo
- <i>Bonza</i> : el área sembrada es de 24,75 Ha., por cultivos de frijol y maíz.	<p>El valor dado es de 0,51 representando una alta amenaza de contaminación de las aguas subterráneas por las características propias de los diferentes agroquímicos como son fertilizantes, plaguicidas (insecticidas y fungicidas) abono orgánico y compuesto.</p>	0,51	0,35 Moderado
- <i>Rincón de Españoles</i> : tiene un área de 18 Ha., sembradas únicamente en maíz.	<p>Se define el valor de 0,75 como amenaza extrema, por la aplicación de fertilizantes, plaguicidas como insecticidas y fungicidas y abono orgánico.</p>	0,75	0,22 Bajo
- <i>Volcán</i> : su área total de siembra corresponde a 12 Ha., conformadas por cultivos de maíz.	<p>Se valora extrema la amenaza con un índice de 0,75, debido al uso de agroquímicos como fertilizantes, insecticidas, abono orgánico y fungicidas.</p>	0,75	0,37 Moderado
- <i>Tejar</i> : cuenta con 9,1 Ha., cultivadas con papa.	<p>Basados en la aplicación de agroquímicos como fertilizantes, insecticidas, fungicidas, y abono orgánico, se le dio un índice de amenaza de 0,71 correspondiendo a una amenaza extrema.</p>	0,71	0,21 Bajo
- <i>Pastoreros</i> : abarca un área de 8,4 Ha., en cultivo de cebada.	<p>Se determina el valor de 0,31 indicando una amenaza moderada, por la aplicación de fertilizantes.</p>	0,31	0,09 Muy bajo
- <i>Jazminal</i> : presenta un área de siembra de 7,2 Ha, en cultivo de haba.	<p>La definición de 0,31 como amenaza extrema, se realizó tomando como referencia el uso de fertilizantes en los cultivos.</p>	0,31	0,09 Muy bajo

Continúa ...

- Caños: el área de siembra corresponde a 1,59 Ha., cultivadas en frijol y arveja.	Teniendo en cuenta la utilización de agroquímicos como fertilizantes, insecticidas, fungicidas, y abono orgánico, se le dio un índice de amenaza de 0,71 correspondiendo a una amenaza extrema.	0,71	0,35 Moderado
- Romita: su área de siembra es de 0,75 Ha., únicamente en cultivo de frijol.	Basados en la aplicación de agroquímicos como fertilizantes, insecticidas, fungicidas, y abono orgánico, se le dio un índice de amenaza de 0,71 correspondiendo a una amenaza extrema.	0,71	0,49 Moderado
- GANADERA			
Veredas			
La vereda Pantano de Vargas, cuenta con un total de 2061 cabezas de ganado correspondiendo al mayor porcentaje, equivalente a un 15% del total del sector sur del municipio de Paipa.	Se le asigna el valor de 0,9 indicando una extrema amenaza, debido al gran número de ganado con que cuenta la vereda y por ende a la gran generación de residuos tanto líquidos como sólidos, dispuestos a cielo abierto, sin ningún tipo de control y que por acción de las lluvias pueden ser arrastrados hacia las fuentes superficiales y posteriormente al agua subterránea. Además el uso de productos químicos para baño de ganado como garraños y ganabaño, provocan una amenaza extrema al infiltrarse hasta alcanzar el agua subterránea.	0,9	0,45 Moderado
La vereda Romita, abarca un porcentaje del 8% del total del sector sur con número de cabezas de ganado de 1119.	Para un porcentaje del 8% de uso de la tierra en ganadería, se le da un índice de amenaza de 0,75, es decir extrema, debido a que se sigue presentando un alto número de cabezas de ganado, los cuales generan una cantidad considerable de residuos sólidos y líquidos, provocando la contaminación del agua subterránea. También la infiltración o arrastre de productos químicos utilizados como los garraños y ganabaño, generan amenaza de contaminación.	0,75	0,52 Alto
La vereda Quebrada Honda al igual que la vereda Romita tiene un porcentaje del 8% con un número de cabezas 1109.		0,75	0,37 moderado
La vereda Toibita, cubre el 7% del total de la ganadería en el sector sur del municipio con un número de 954 cabezas.	En estas veredas el índice asignado es de de 0,71, correspondiente a una amenaza extrema, debido al número significativo de cabezas de ganado, y por ende a la generación de residuos líquidos y sólidos tanto de los animales como también de los productos de uso veterinario.	0,71	0,49 Moderado
La vereda los Caños, presenta el mismo porcentaje anterior es decir del 7% con un número de cabezas de ganado de 872.		0,71	0,35 Moderado
La vereda Cruz de Bonza, abarca un porcentaje del 6% con 772 cabezas de ganado.	El elevado número de animales presentes en esta vereda originan una representativa cantidad de efluentes líquidos y residuos sólidos que por acción de la escorrentía alcanzan inevitablemente los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas.	0,71	0,35 Moderado
La vereda Salitre, cubre el 4% de la ganadería total del sector sur del municipio, con un número de cabezas de ganado de 582.	Se presenta amenaza de contaminación alta. En estas veredas el porcentaje del total de cabezas de ganado se ha reducido y con él, también la generación de los residuos sólidos y líquidos que van a alterar la calidad de las aguas subterráneas.	0,65	0,32 Moderado

Continúa ...

Al igual que la vereda anterior la vereda Volcán, se ubica en un porcentaje de 4% con 570 cabezas.		0,65	0,32 Moderado
El sector urbano se encuentra dentro del mismo porcentaje de 4%, con un número de cabezas de ganado de 542.		0,65	0,45 Moderado
La vereda Sátiva, abarca también el porcentaje de 45 con 510 cabezas.		0,65	0,45 Moderado
Finalmente la vereda Tunal, es la de menor cantidad de ganado con 470 cabezas, se alcanza a ubicar dentro del mismo porcentaje 4%.		0,65	0,45 Moderado
La vereda Venta de Llano, cuenta con 427 cabezas de ganado, alcanzando un porcentaje del 3% del total del sector sur del municipio.	Se asigna un valor de 0,6, lo cual indica que la amenaza de contaminación, generada por la ganadería es alta, debido al uso de productos veterinarios, y a las heces de los animales que escurren sobre el suelo, hasta infiltrarse.	0,6	0,18 Bajo
Esta vereda Río Arriba, también se ubica dentro del porcentaje de 3% con un número de cabezas de ganado de 386.		0,6	0,3 Bajo
La vereda Medios cuenta con 375 cabezas de ganado y se ubica dentro de un porcentaje del 3%.		0,6	0,18 Bajo
La vereda la Playa, abarca un porcentaje de 2% del total de ganadería del sector sur del municipio con 292 cabezas de ganado.		Representa amenaza alta con un valor de 0,55, provocada por la presencia de un número todavía significativo de reces, las cuales generan gran cantidad de residuos sólidos y líquidos, lo cual sumado al uso de productos químicos, conlleva a la contaminación del agua subterránea por infiltración.	0,55
La vereda Rincón de Españoles se ubica dentro del rango del 2% con un total de cabezas de ganado de 277.	0,55		0,38 Moderado
La vereda la Bolsa, tiene 250 cabezas de ganado, alcanzando un porcentaje de 2%, del total sur del municipio.	0,55		0,27 Bajo
La vereda Mirabal, cuenta con 245 cabezas, quedando dentro de un porcentaje de 2%.	0,55		0,38 Moderado

Continúa...

La vereda Cruza de Murcia, tiene 238 cabezas de ganado, siendo este valor el 2% del total de ganadería del sector sur del municipio.		0,55	0,27 Bajo
La vereda Marcura, presenta el mismo porcentaje 2% con un número de cabezas de 236.		0,55	0,16 Bajo
La vereda Jazminal, cuenta con 214 cabezas de ganado alcanzando un porcentaje de 2%, del total del sector sur del municipio.		0,55	0,16 Bajo
La vereda Rosal, abarca el 1% del total del sector sur del municipio, con 196 cabezas de ganado.	El valor asignado es 0,51, correspondiendo a una amenaza alta, debido al uso de insecticidas en el baño del ganado, los cuales presentan una composición altamente tóxica, siendo de gran peligro para las aguas subterráneas, al ser infiltrados.	0,51	0,35 Moderado
La vereda Llano Grande, cuenta con 194 cabezas de ganado, con un porcentaje de 1%.		0,51	0,35 Moderado
La vereda la esperanza, cuenta con número de 174 cabezas de ganado con un porcentaje de 1% del sector sur del municipio.		0,51	0,25 Bajo
La vereda Tejar, se ubica dentro de un porcentaje del 1% con un número de cabezas de ganado de 112.		0,51	0,35 Moderado
La vereda Canocas, se ubica dentro del rango de porcentaje de 1% con un total de cabezas de ganado de 89.		0,51	0,25 Bajo
La vereda Chital, abarca un porcentaje del 1% del total de ganadería del sector sur del municipio con un número de cabezas de 76.		0,51	0,15 Bajo
Finalmente la vereda Pastoreros, es la que cuenta con menor número de cabezas de ganado, pues tan solo cuenta con 49, alcanzando un valor de 1% del total del sector sur del municipio de Paipa.		0, 51	0,15 Bajo

Fuente: Las Autoras.

Cuadro 30. Actividad doméstica, turística y hotelera.

Caracterización de acuerdo al tipo de disposición final de residuos líquidos y sólidos	Peligro potencial que representa la disposición de los residuos	Índice de amenaza	Riesgo potencial
- ALCANTARILLADO			
<p>Las diversas estructuras del alcantarillado que conforman la red urbana, se encuentran en muy mal estado puesto que la mayoría de pozos de inspección, sumideros y tubería, ya cumplieron su vida útil. Situación que se presenta en casi todo el casco urbano pues el tiempo de instalación que lleva el alcantarillado es aproximadamente 25-30 años, excepto algunas zonas de urbanización que llevan entre 2-3 años de construcción.</p> <p>Actualmente las aguas residuales combinadas con las aguas lluvias procedentes del alcantarillado municipal, son vertidas al río Chicamocha sin ningún tipo de tratamiento previo, a través de tres colectores: el Bosque, San Miguel – las quintas y el colector del alcantarillado perimetral ubicado frente al matadero municipal.</p> <p>Además de estos vertimientos existen otros que se descargan en potreros; los más representativos de estos son los del colector del barrio Corinto y el colector procedente de la urbanización la pradera.</p>	<p>Se le asigna el valor de 0,8 obteniendo una amenaza extrema, debido a que las descargas de las aguas residuales en los recursos hídricos, tiene lugar a la degradación y a la descomposición debido a las actividades de las bacterias y los microorganismos presentes en dichas aguas. A su vez el oxígeno sufre una disminución inmediata.</p> <p>Cuando los ríos u otros cursos de agua reciben vertimientos residuales se produce una concentración de conformes, en dichos cuerpos de agua conllevando al peligro relativo de infección y el uso del agua.</p>	0,8	0,40 Moderado
- RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS			
<p><u>Antiguo botadero:</u></p> <p>La disposición final de los residuos sólidos se venía realizando en una ladera con pendientes superiores al 40%. El suelo es de tipo arcilloso, se considera que el estrato es semipermeable.</p> <p>La parte media de la ladera, es el sitio en el cual se estaban descargando los desechos los cuales rodaban ladera abajo hasta el inicio de las cárcavas.</p>	<p>Se le asigna el valor de amenaza a la contaminación de 1,0 indicando que es extrema, debido a que la disposición se hace sin ningún tipo de control de los lixiviados generados en la descomposición de la materia orgánica e inorgánica.</p> <p>Aunque este botadero se ha dejado de utilizar hace aproximadamente 2 meses, desde el inicio del manejo integral de residuos sólidos, actualmente, se encuentra en una etapa de degradación de dichos residuos y generación de lixiviado que por acción de</p>	1,0	0,7 Alto

Continúa...

<p>La parte baja de la ladera presenta cárcavas con profundidades entre 4 metros, en la parte alta hasta alturas mayores a los 8 metros; en el fondo de la cárcava se construyó un tanque de almacenamiento sin ningún tipo de impermeabilización y se instaló una bomba que se encargaba de recircular el lixiviado almacenado allí.</p> <p>La tubería de recolección y recirculación de lixiviados es de Gress, de diámetro 6 pulgadas ranurada, según manifestación de la administración municipal, ya que el acceso a ésta fue dificultoso debido a la topografía del terreno. Es de precisar que este tipo de tubería por las características de los lixiviados está sujeta a corrosión, incrustaciones y taponamiento a mediano plazo.</p>	<p>la gravedad se infiltra a través del suelo semipermeable.</p>		
<p><u>Planta de manejo integral de residuos sólidos:</u></p> <p>El sitio escogido para este fin fue el terreno próximo al antiguo botadero, donde se venían disponiendo toda clase de residuos sin ningún tipo de control de erosión ni de lixiviados.</p> <p>- Residuos orgánicos: estos incluyen los desperdicios de comida provenientes de restaurantes, hoteles (sector urbano y rural), industrias, instituciones educativas, viviendas y plaza de mercado. Son dispuestos en un sitio próximo al antiguo botadero, directamente sobre el suelo sin ningún tipo de infraestructura, en un área de 300 metros cuadrados y finalmente tratados mediante un proceso de compostación seguido de un sistema de lombricultura. Los lixiviados producidos durante la disposición inicial escurren sobre el suelo libremente hasta infiltrarse, ya que no se cuenta con ningún tipo de estructura recolectora o de control y por ende no se le hace tratamiento alguno.</p> <p>- Residuos higiénicos: estos comprenden los desechos sanitarios como papel higiénico, toallas higiénicas, cuchillas, empaques de crema dental, drogas pasadas y pañales. Esta clase de residuos son dispuestos directamente en el suelo y</p>	<p>Se valora con 0,7 debido a que el sitio donde esta ubicada la actual planta de manejo de residuos sólidos es aledaño al antiguo botadero.</p> <p>Unido a esto los lixiviados generados en el almacenamiento de la materia orgánica antes de ser conducidos al compostaje, escurren superficialmente sobre una zanja hasta alcanzar su infiltración.</p> <p>El suelo es del mismo tipo del botadero es decir semipermeable, lo cual conlleva con mayor facilidad al alcance del lixiviado a las aguas subterráneas. Según la literatura existente en cuanto a caracterizaciones típicas, esta clase de lixiviados son altamente contaminantes debido a la presencia de gran cantidad de microorganismos patógenos como bacterias, virus, hongos; los cuales presentan un amenaza extrema a la salud humana.</p>	<p>0,7</p>	<p>0,49 Moderado</p>

Continúa...

<p>tapados con un plástico para evitar el contacto con la lluvia, con el fin de disminuir la generación de lixiviado. Estos desechos son almacenados para posteriormente compostarlos y utilizarlos finalmente como abono.</p> <p>- Residuos especiales: este tipo de residuo lo constituyen las pilas, baterías y productos de línea blanca. Son dispuestos en una fosa sin ningún tipo de impermeabilización, ubicada próxima al antiguo botadero donde son enterrados como disposición final.</p>			
<p>- RESIDUOS SÓLIDOS PELIGROSOS</p>			
<p>Conformados por los residuos sólidos procedentes de hospitales, consultorios odontológicos y consultorios veterinarios. Estos residuos son llevados al matadero municipal donde se encuentra el incinerador para quemarlos como tratamiento final. Las cenizas producidas son enterradas en una fosa sin impermeabilización alguna con una profundidad mayor de 5m y cubiertas con tierra</p>	<p>Se le asigna un valor de 0.3 indicando que la amenaza es baja dado que mediante la incineración, los residuos sólidos peligrosos son desactivados.</p>	<p>0.3</p>	<p>0,21 Bajo</p>
<p>- MATADERO MUNICIPAL</p>			
<p>El matadero municipal cuenta con un Biodigestor, el cual tiene como función diluir totalmente los sólidos e impurezas para convertirlas finalmente en aguas fertilizantes y utilizarlas como riego de pastos.</p> <p>El agua de lavado de mesones y pisos pasa inicialmente por un canal abierto en concreto compuesto por rejillas y posteriormente llega hasta el Biodigestor, a través de una tubería de gress con un diámetro de 6 pulgadas. Finalmente el agua es vertida al río Chicamocha en un tramo donde también se recibe el caudal proveniente del alcantarillado urbano.</p> <p>Los residuos no comestibles del ganado (cachos, cascós) y las cenizas producidas en el proceso de incineración de los demás residuos sólidos son enterrados en una fosa mayor de 5m y cubiertos con tierra.</p>	<p>El índice de amenaza dado es 0.6, es decir alto, por motivo a que no todos los residuos provenientes del matadero son incinerados, pues los no comestibles del ganado (cachos, cascós) y las cenizas generadas en el proceso de incineración son enterrados en una fosa mayor de 5m.</p> <p>Por otra parte el agua proveniente del biodigestor es utilizada como riego de pastos, lo cual se evidencia por la presencia de mosquitos en la zona.</p>	<p>0.6</p>	<p>0,3 Bajo</p>

Continúa...

- SECTOR DE VIVIENDA			
<p><u>Pozos sépticos</u></p> <p>Los pozos sépticos están construidos la gran mayoría en cemento, algunos en tierra y uno o dos en ladrillo a una profundidad de 2 a 3 metros sin ningún tipo de impermeabilización.</p>	<p>El valor asignado es 1,0 correspondiendo a una amenaza extrema, debido a que el material en que están construidos no es el apropiado y principalmente la no impermeabilización genera una extrema contaminación del agua subterránea y más aún por la profundidad bajo tierra a que se encuentran.</p> <p>Además este sistema de disposición de excretas no funciona como sistema de tratamiento pues solamente acondiciona las aguas residuales para ser dispuestas en una superficie de absorción.</p>	1,0	0,5 Moderado
- Sector Hotelero			
<p><u>Hotel colonial:</u></p> <p>Los residuos líquidos generados provenientes de aguas lluvias, domésticas y termales son combinados y vertidos al antiguo alcantarillado del municipio conducidos a un colector final que descargará posteriormente al río Chicamocha sin previo tratamiento. Es de anotar que las estructuras de esta red ya cumplieron su vida útil, presentándose fugas y a su vez infiltraciones al subsuelo en diferentes tramos del mismo.</p> <p>Los residuos sólidos producidos son entregados a la empresa de servicio de aseo.</p>	<p>La amenaza esta valorada en 0,8 indicando que es extrema, debido a que el agua residual generada es altamente contaminante por la presencia de microorganismos patógenos como bacterias, virus entre otros y no cuenta con un tratamiento antes de conducirla al alcantarillado perimetral antiguo, el cual ya cumplió su vida útil pues lleva 30 años de estar funcionando, y además se evidencia el deterioro de sus estructuras como pozos de inspección ubicadas a lo largo de la vía que conduce hacia el Pantano de Vargas.</p>	0,8	0,12 Bajo
<p><u>Hotel Los Lanceros:</u></p> <p>Los residuos líquidos que se generan en las actividades domésticas, son conducidos por el alcantarillado antiguo en combinación con las aguas de escorrentía y termales hasta un canal abierto el cual dispone dicho vertimiento en una dársena sin impermeabilización alguna, manejada por el Instituto Nacional de Adecuación de Tierras-INAT, de donde se conduce hasta descargar finalmente al río Chicamocha sin previo tratamiento.</p>	<p>La amenaza que se presenta por la disposición del agua residual termal y residual en este sitio es extrema valorándose en 0,9, debido a que el agua residual es conducida al alcantarillado perimetral antiguo, el cual se encuentra en muy malas condiciones y posteriormente vertida al río Chicamocha.</p> <p>Unido a esto, el agua residual termal es descargada en una zanja o canal a cielo abierto que conduce a las dársenas del INAT para posterior vertimiento al río Chicamocha.</p>	0,8	0,4 Moderado

Continúa...

<p>Es de anotar que el canal abierto no está impermeabilizado ocasionando posibles infiltraciones al subsuelo de aguas residuales tanto termales como domésticas.</p> <p>Este problema se viene presentando desde el punto donde se reciben las aguas residuales termales del Hotel Sochagota. Los residuos sólidos producidos son llevados por la empresa encargada que para el caso es el Municipio de Paipa.</p>	<p>Unido a esto, el agua residual termal es descargada en una zanja o canal a cielo abierto que conduce a las dársenas del INAT para posterior vertimiento al río Chicamocha.</p>		
<p><i>Hotel Sochagota</i></p> <p>Los residuos líquidos (domésticos y de escurritía) son conducidos al colector principal del alcantarillado perimetral, para vertirlos finalmente al río Chicamocha sin previo tratamiento.</p> <p>Los residuos líquidos termominerales: se conducen mediante una tubería hacia un canal abierto sin impermeabilización para posteriormente llevarlos a la dársena manejada por el INAT en combinación con las aguas residuales provenientes del Hotel Los Lanceros.</p> <p>Los residuos sólidos son recogidos por la empresa de servicio de aseo.</p>	<p>Se le asigna el valor de 0,8, es decir amenaza extrema debido a que la generación de aguas residuales tanto domésticas como termales, no reciben ningún tratamiento previo a su vertimiento al alcantarillado perimetral nuevo que descarga al río Chicamocha, y a la zanja o canal abierto que no cuenta con impermeabilización alguna y conduce a la dársena del INAT, respectivamente.</p>	0,8	0,24 Bajo
<p><i>Hotel Casona del Salitre</i></p> <p>Los residuos líquidos domésticos son vertidos a una caja recolectora semienterrada, cuyas dimensiones son 4 metros de profundidad, 4 metros de ancho y 4 metros de largo en concreto. Posteriormente este caudal es conducido a un tanque séptico con profundidad 4 metros construido en concreto sin impermeabilización alguna, cuyo tiempo que lleva de construcción es 10 años.</p> <p>Los residuos sólidos son separados en la fuente y posteriormente entregados a la empresa de aseo.</p>	<p>El valor de amenaza dado es 0,9 debido a que el agua termal residual es conducida a la zanja o canal abierto, que descarga en la dársena del INAT, y el agua residual doméstica es dispuesta en pozos sépticos de 4 metros de profundidad, en cemento sin ningún tipo de impermeabilización.</p>	0,9	0,45 Moderado

Continúa...

<p><i>Paipa Hotel</i></p> <p>El caudal de aguas residuales generado en las actividades domésticas y el agua residual termal proveniente de los jacuzzis, es conducido hasta una planta de tratamiento de lodos activados con capacidad para tratar 130m³/día y sus efluentes se descargan posteriormente al alcantarillado perimetral, que dispone finalmente en el río Chicamocha; eventualmente estas aguas del efluente de la planta de tratamiento son utilizadas para el riego de prados dadas las condiciones climáticas actuales. El caudal promedio vertido al alcantarillado es de 1l/seg.</p> <p>El material sobrenadante (lodos) y el recogido en la limpieza de la rejillas como unidad de pretratamiento, es deshidratado en una fosa artesanal, cuya base ha sido rellena con grava como medio filtrante de 2 metros de profundidad, 3 metros de ancho y 3 metros de largo. Una vez ha perdido toda la humedad se utiliza como abono para hortalizas.</p> <p>El agua lluvia es recogida mediante un canal perimetral que las conduce hasta el lago Sochagota.</p> <p>Los residuos sólidos son entregados a la empresa de servicio de aseo del municipio.</p>	<p>El valor asignado es 0,4, indicando que presenta una amenaza moderada, debido a que el agua residual doméstica pasa por un sistema de tratamiento de lodos activados, removiendo gran cantidad de materia orgánica, antes de ser vertida al alcantarillado perimetral nuevo que descarga actualmente al río Chicamocha.</p>	<p>0,4</p>	<p>0,2 Bajo</p>
<p><i>Hotel club Náutico Colsubsidio</i></p> <p>La recolección de las aguas residuales domésticas y lluvias se realiza a través de una tubería de 6 pulgadas de diámetro, la cual las conduce al alcantarillado perimetral, para finalmente disponerlas en el río Chicamocha sin previo tratamiento.</p> <p>Los residuos sólidos son clasificados son entregados a la empresa encargada del servicio de aseo.</p>	<p>Se cuantifica con un valor de 0,8, por motivo a que el agua residual doméstica generada no recibe tratamiento previo a la descarga al alcantarillado perimetral nuevo que vierte en el río Chicamocha, con el fin de disminuir parte de su carga contaminante.</p>	<p>0,8</p>	<p>0,24 Bajo</p>
<p>- RECURSOS HÍDRICOS</p>			
<p><i>Cuenca del Río Salitre</i></p> <p>La cuenca se encuentra en clima frío seco con deficiencia de agua gran parte del año, en donde hay evidencias de desecamiento progresivo de quebradas y ríos.</p>	<p>Se asigna un valor de 1,0, es decir se presenta una amenaza extrema debido a que esta cuenca recibe vertimientos de aguas ácidas producto de actividades mineras de explotación de carbón localizadas en la zona, lo cual genera gran aumento de su caudal, en relación con el natural.</p>	<p>1,0</p>	<p>0,7 Alto</p>

Continúa...

<p>Los suelos de la cuenca han perdido capacidad de regulación, que junto con el sobrepastoreo y el mal manejo produce gran nivel de escorrentía durante las épocas lluviosas.</p> <p>La cuenca está dividida en más de 2.000 predios, la mayoría de los cuales para efecto político-administrativo se agrupan en dos veredas: Quebrada Honda y el Salitre.</p> <p>En las partes altas se caracteriza por la prevalencia de minifundios dedicados a la pequeña agricultura o de pancoger.</p> <p>En las zonas planas los usos relevantes, por las extensiones que ocupan, son institucional y el turístico. El resto son pastizales para aprovechamientos pecuarios. Entre los primeros figuran el Aeropuerto y los predios de propiedad del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF), y del Instituto Técnico Agrícola (ITA). Entre los segundos; las piscinas municipales, los hoteles: la Casona, Lanceros, Colonial, Sochagota y las Cabañas de Colsubsidio y de la Policía Nacional.</p> <p>A esta cuenca drenan las aguas ácidas sin previo tratamiento, provenientes de las minas de carbón ubicadas en la vereda el Salitre sector Villa-Rica.</p>			
<p><u>Cuenca del Río Chicamocha</u></p> <p>- <i>Vertimientos Domésticos.</i></p> <p>Actualmente las aguas residuales domésticas generadas en la zona urbana son conducidas a través del alcantarillado municipal en combinación con las aguas lluvias hacia el río Chicamocha, sin ningún tipo de tratamiento previo. Este vertimiento o disposición final es realizado mediante tres colectores ubicados aledañosamente al municipio y que vierten directamente al Río.</p> <p>- <i>Afluentes agrícolas.</i> Por la topografía del terreno y a la vez accionado por el agua lluvia se presenta escurrimiento de productos agroquímicos como pesticidas, fertilizantes y abonos</p>	<p>El índice de amenaza dado es de 1,0 indicando que la amenaza es extrema a lo largo de la cuenca. Este valor se genera debido a la elevada carga contaminante que está siendo vertida sobre esta cuenca, dentro de las cuales está la descarga del alcantarillado municipal de la zona urbana, el alcantarillado perimetral nuevo de la zona rural y el alcantarillado perimetral antiguo de la misma zona sin tratamiento alguno. Unido a esto las industrias que se encuentran en la zona vierten sus caudales, aunque previamente tratados, no se obtiene el resultado esperado debido a la gran contaminación que presenta el río y por ende la incapacidad de autodepuración a lo largo de todo su cauce.</p>	<p>1,0</p>	<p>0,5 Moderado</p>

Continúa...

<p>utilizados en las prácticas de cultivos que se encuentran en las partes aledañas o riberas del río Chicamocha, así como también por las actividades ganaderas que se desarrollan en esta zona.</p> <p>- <i>Diversos afluentes.</i> Otra descarga de agua residual a este río es el proveniente del biodigestor, que se encuentra en el matadero municipal, drenajes de sistemas de riego y desechos de minería que vierten residuos altamente contaminantes.</p>	<p>El índice de amenaza dado es de 1,0 indicando que la amenaza es extrema a lo largo de la cuenca. Este valor se genera debido a la elevada carga contaminante que está siendo vertida sobre esta cuenca, dentro de las cuales está la descarga del alcantarillado municipal de la zona urbana, el alcantarillado perimetral nuevo de la zona rural y el alcantarillado perimetral antiguo de la misma zona sin tratamiento alguno. Unido a esto las industrias que se encuentran en la zona vierten sus caudales, aunque previamente tratados, no se obtiene el resultado esperado debido a la gran contaminación que presenta el río y por ende la incapacidad de autodepuración a lo largo de todo su cauce.</p>		
<p><u>Lago Sochagota</u></p> <p>El río Salitre discurre en dirección general sur-norte y esta formado por las quebradas Chiquita, Honda y Olitas como principales componentes, estas tienen sus nacimientos a una altura aproximada de 3.000 msnm y desembocan en la parte sur del lago, en donde también vierte sus aguas una pequeña quebrada la cual pasa cerca al ITA, su caudal es pequeño y en época de verano intenso se seca.</p> <p>Bordeando el hotel Centro de Convenciones se encuentra un canal que recoge aguas lluvias y aguas de drenaje que son vertidas al lago.</p> <p>En la parte sur frente al hotel Sochagota y Club Náutico existen también canales de aguas lluvias que vierten en el lago.</p>	<p>Se asigna un valor de 0,4, lo cual indica que la amenaza es moderada, puesto que el lago puede conducir a la contaminación del agua subterránea debido a que el lago recibe las descargas del río Salitre, de los canales perimetrales de aguas lluvias y canal de agua lluvia proveniente del Paipa Hotel. Estas descargas pueden arrastrar compuestos contaminantes por acción de las aguas lluvias e introducirlos al lago lo que a su vez por infiltración podría conllevar a la contaminación de las aguas subterráneas.</p>	<p>0,4</p>	<p>0,2 Bajo</p>

Fuente: Las autoras.

Cuadro 31. Actividad industrial.

Caracterización de acuerdo al tipo de disposición final de residuos líquidos y sólidos	Peligro potencial que representa la disposición de los residuos	Índice de amenaza	Riesgo potencial
- Aceros Boyacá			
<p><u>Vertimientos líquidos</u></p> <p>Las aguas residuales producidas en esta industria que se conducen al alcantarillado municipal, son netamente domésticas puesto que los efluentes provenientes de procesos industriales, son almacenados en dos tanques enterrados impermeabilizados y posteriormente recirculados totalmente en combinación con las aguas de escorrentía.</p> <p><u>Residuos sólidos</u></p> <p>Los residuos sólidos generados son clasificados en la fuente de acuerdo al tipo de material y posteriormente recogidos por la empresa de aseo para conducirlos a la planta de manejo integral de residuos sólidos.</p> <p>El almacenamiento del crudo, utilizado para el funcionamiento de las calderas se realiza en una caseta descubierta sin ningún tipo de impermeabilización, esta caseta cuenta con un sifón para salida del agua lluvia acumulada, la cual es conducida a los tanques subterráneos para su posterior reutilización.</p>	<p>Se asigna el valor de 0,8 indicando amenaza extrema, debido a que se evidenció el estancamiento subterráneo de agua proveniente del enfriamiento de las calderas por la rotura de la tubería, a su vez a este sitio llega el agua de escorrentía de los patios y del desagüe de la caseta de almacenamiento de crudo; las aguas provenientes del enfriamiento de las calderas son conducidas a dos tanques subterráneos para su reutilización siendo estas excesivamente ácidas debido a que el material que se funde es hierro.</p> <p>Otra amenaza de contaminación es el sitio de almacenamiento del crudo, debido a que la caseta no cuenta con ningún tipo de impermeabilización y además tiene un orificio por donde se evacuan las aguas lluvias acumuladas, ocasionando lavado de los derrames accidentalmente producidos.</p>	0,8	0,56 Alto
- EMPRESA DE ENERGÍA DE BOYACÁ			
<p><u>Vertimientos líquidos</u></p> <p>El agua de lavado del patio de carbón y agua lluvia es conducida a través de canales perimetrales, al sistema de tratamiento donde se estabiliza, mediante adición de cal y posteriormente es descargado a un lago cuya profundidad es 2m.</p> <p>El agua proveniente de procesos internos es conducida a un tratamiento que consta de un filtro percolador y un reactor</p>	<p>Se asigna un valor de 0,8, lo cual indica que la amenaza es extrema debido a que el agua lluvia genera el lavado del patio de carbón, arrastrando consigo azufre el cual por oxidación en presencia del oxígeno y en combinación con el agua lluvia produce sulfuros los cuales generan una elevada acidez y por ende disminución del pH., posteriormente es conducida sin previo tratamiento y/o control al río Chicamocha, en donde se une con el agua residual proveniente de la vereda aledaña a la empresa.</p>	0,8	0,4 Moderado

Continúa...

<p>UASB, del cual es conducido a través de un alcantarillado interno hasta descargarlo finalmente en el lago de enfriamiento. El agua de lavado del patio de carbón en combinación con aguas negras de la vereda aledaña es descargada al río Chicamocha, sin previo tratamiento.</p> <p><u>Residuos sólidos</u></p> <p>Los residuos sólidos que se producen en el proceso industrial y los domésticos son tratados de la siguiente manera: el patio de cenizas no tiene ningún tipo de control y/o impermeabilización por lo cual se puede decir que es un botadero a cielo abierto. El patio de carbón se encuentra impermeabilizado con recebo.</p> <p>Los residuos domésticos y de oficina son separados en la fuente de origen, dependiendo de la naturaleza del residuo para posteriormente entregarlos a la empresa prestadora del servicio de aseo la cual es el municipio y conducirlos hasta la planta de manejo integral de residuos sólidos.</p>			
<p>- ELECTROSOCHAGOTA</p>			
<p><u>Vertimientos líquidos</u></p> <p>Las aguas residuales de origen doméstico que provienen de los sanitarios, el casino, la cocina y el taller, se conducen a la planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados, donde se remueve el 80% de la DBO y de los sólidos suspendidos, para posteriormente conducirlos hasta un tanque de precaución donde son combinadas con las aguas residuales industriales y las aguas lluvias con el objeto de neutralizarlas. El tratamiento de las aguas residuales industriales se inicia con neutralización de las aguas provenientes de la limpieza química de la caldera, del lavado de los calentadores de aire y de los diferentes procesos en los cuales hay intervención química incluyendo el agua de purga del sistema de refrigeración, el agua doméstica proveniente de la planta y el agua lluvia, con el fin de adecuar el pH a los niveles señalados por las regulaciones nacionales y reducir la temperatura.</p>	<p>El valor dado es 0,3 indicando que la amenaza de contaminación es baja debido a que el agua residual industrial, el agua residual doméstica, el agua provenientes de lavado de carbón pasan por un tratamiento previo a la descarga al río Chicamocha.</p>	<p>0,3</p>	<p>0,15 Bajo</p>

Continúa...

Una vez neutralizada el agua se inicia el tratamiento en la planta de carbón activado, el sobrenadante que se obtenga después del tratamiento en el clarificador es vertido al río Chicamocha. El volumen de lodo resultante se envía a un lecho de secado.

Las aguas lluvias son recogidas y conducidas por un canal perimetral que circunda toda la planta de energía hasta un tanque impermeabilizado en el cual son tratadas mediante la adición de sulfato de calcio para balancear el pH y luego son llevadas hasta el tanque de precaución, donde son combinadas con las aguas residuales industriales y domésticas para su respectivo tratamiento y posterior vertimiento al río Chicamocha.

Residuos sólidos

El patio de carbón presenta un área de 24500m², la cual tiene una capacidad de almacenamiento de 86000 toneladas de carbón. La base del patio o pila de almacenamiento del carbón esta compuesta por gravilla, sin ningún tipo de impermeabilización. El agua de escorrentía o lavado llega finalmente al canal perimetral de aguas lluvias y otra parte es infiltrada.

El patio de cenizas está ubicado en la vereda el Volcán y tiene un área de 22 hectáreas. Actualmente este sitio se esta recuperando con especies de retamo liso y acacia, plantas de poca altura, con el fin de evitar posibles erosionamientos.

Las cenizas de fondo recogidas del filtro de talegas son entregadas a una industria cementera para su reutilización.

Los residuos sólidos generados son de tipo orgánico e inorgánico. Los orgánicos provienen del restaurante y cafetería y son llevados por el personal de Colsubsidio, quien suministra los alimentos al casino. Los inorgánicos son entregados a terceras personas para su reutilización.

- ESTACIONES DE SERVICIO			
<p><u>Centralco S.A</u></p> <p>- Efluentes líquidos:</p> <p>Las aguas industriales (lavado de vehículos), los drenajes de tanques, aguas lluvias (patios, maniobras y áreas abiertas) se pasan por un sistema de tratamiento (desarenador, trampa de grasas y cámara clarificadora). La descarga a la red de alcantarillado de este tipo de efluente se realiza únicamente por rebose del tanque en época de lluvia. Las aguas domésticas provenientes de los baños son vertidas directamente a la red de alcantarillado municipal sin tratamiento alguno.</p> <p>- Residuos sólidos:</p> <p>Los lodos aceitosos son depositados en la caseta secadora de lodos, el lixiviado generado se conduce hasta la trampa de grasas del sistema de recirculación. Las borras son almacenadas para luego ser adicionadas a aceites usados. Los aceites usados se recolectan en un tanque de almacenamiento subterráneo de 7m³ impermeabilizado y posteriormente son entregados a terceros (Cementos Boyacá). La chatarra, envases, canecas, filtros de aceite usados, papel, icopor, plástico, cartón y vidrio son clasificados en la fuente y entregados a terceros para su reutilización. Los residuos orgánicos son recogidos por la empresa prestadora del servicio de aseo.</p>	<p>El valor asignado es 0.3 indicando que la amenaza de contaminación es baja, puesto que tanto los efluentes líquidos como los residuos sólidos se disponen finalmente con un previo y adecuado tratamiento, reduciendo su capacidad contaminante.</p> <p>Además los aceites usados son almacenados adecuadamente en un tanque impermeabilizado y los hidrocarburos que son sustancias reactivas, corrosivas, inflamables y tóxicas son almacenados en un tanque subterráneo impermeabilizado, evitando infiltración alguna.</p>	0.3	0.21 Bajo
<p><u>Taxturístico</u></p> <p>- Efluentes líquidos</p> <p>Las aguas industriales (lavado de vehículos), las aguas lluvias (patios de maniobras y áreas abiertas, antes de ser vertidas al alcantarillado son recirculadas para reutilizarlas en otros procesos. Los drenajes de tanques pasan a través de una trampa de grasas y luego son dispuestos en el alcantarillado. Las aguas domésticas (baños) Son vertidas directamente al alcantarillado sin ningún tipo de tratamiento.</p>	<p>El valor de amenaza dado es de 0.6, es decir alto debido a que los aceites usados son almacenados en simples canecas sin ningún tipo de control de derrame o impermeabilización, ocasionando fugas de estos directamente sobre el suelo, y también por almacenamiento de hidrocarburos en tanques subterráneos, los cuales son sustancias reactivas, corrosivas, inflamables y tóxicas .</p>	0,6	0,42 Moderado

Continúa...

<p>- Residuos sólidos Los lodos son almacenados en canecas para posteriormente deshidratarlos, las borras son almacenadas e incineradas. Los aceites usados son almacenados en canecas para entregarlos a terceros para su reutilización. Las baterías, filtros, papel, cartón y residuos orgánicos son entregados a terceros.</p>			
<p><u>La Turística</u></p> <p>- Efluentes líquidos Las aguas industriales (lavado de vehículos) pasan por un tratamiento previo rejillas, desarenador, trampa de grasas y filtro antes de ser vertidas al alcantarillado municipal. Las aguas domésticas (baños) son separadas de las aguas lluvias y vertidas al alcantarillado municipal. Las aguas lluvias (patios de maniobras y áreas abiertas) son separadas de las aguas domésticas y descargadas en la vía pública.</p> <p>- Residuos sólidos Los aceites usados, envases y tambores, son reciclados y entregados a terceros. Los plásticos, cartones, filtros y residuos orgánicos son recogidos por la empresa prestadora del servicio de aseo.</p>	<p>Se le asigna un valor de 0,5, es decir presenta una amenaza moderada, debido a que hay posibilidad de contaminación, puesto que las aguas lluvias son descargadas en la vía pública y pueden conllevar al arrastre de combustible accidentalmente derramado en los patios de maniobra y a su vez por los hidrocarburos; sustancias reactivas, corrosivas, inflamables y tóxicas que son almacenadas en tanques subterráneos.</p>	<p>0,5</p>	<p>0,35 Moderado</p>
<p><u>La gran vía</u></p> <p>-Efluentes líquidos Las aguas industriales (lavado de vehículos), las aguas domésticas (baños), los drenajes de tanques se vierten al alcantarillado municipal sin ser sometidos a tratamiento alguno. El agua lluvia se recicla y se reutiliza antes de verterla al alcantarillado municipal.</p> <p>- Residuos sólidos El drenaje de tanques es almacenado y vertido al alcantarillado municipal. Los envases vacíos, basuras y otros son recogidos por la empresa de servicio de aseo del municipio. Las cajas, cartones, y filtros son entregados a terceros. Los lodos y borras se almacenan y se deshidratan antes de llevarlos de ser recogidos por parte de la empresa de aseo.</p>	<p>El valor asignado es 0,6 lo cual indica que se presenta una amenaza alta, por motivo a que no existe un sistema de tratamiento para las aguas provenientes del lavado de los vehículos o aguas industriales, las cuales por infiltración contaminan las aguas subterráneas y también por almacenamiento de hidrocarburos en tanques subterráneos.</p> <p>También se convierte en una alta amenaza la disposición del drenaje de tanques directamente al alcantarillado sin previo tratamiento.</p>	<p>0,6</p>	<p>0,42 Moderado</p>

Fuente: Las autoras.

Cuadro 32. Actividad minera.

Caracterización de acuerdo al tipo de disposición final de residuos líquidos y sólidos	Peligro potencial que representa la disposición de los residuos	Índice de amenaza	Riesgo potencial
- Minas de Carbón			
<p><u>Sector Salitre 1</u></p> <p>El sector cuenta con 32 bocaminas y 15 campamentos de aproximadamente 30 metros cuadrados, caseta para malacates, patios de madera y patios de acopio de carbón. La principal corriente es la del río Chicamocha donde desembocan las quebradas la Cañada y los Lazos que atraviesan el sector, fluyendo de norte a sur.</p> <p>Los estériles provenientes de las etapas de exploración, desarrollo y explotación de las minas son dispuestos alrededor de estas, para luego con ayuda de maquinaria (retroexcavadora) dispersar dicho material y posteriormente proceder a la siembra de cespedón, como mecanismo de recuperación de suelos. Parte de los estériles se utilizan también en la conformación de la base de los patios de acopio y de madera de las minas.</p> <p>El manejo de aguas lluvias se efectúa a través de cunetas hechas en tierra alrededor de los patios de acopio, disposición de estériles y áreas aledañas a la bocamina, para luego disponerlas finalmente a la quebrada el Salitre.</p>	<p>El valor asignado es de 1.0 indicando que la amenaza es extrema debido a que los vertimientos de los efluentes provenientes de las minas de carbón presentes en el sector, no reciben ningún tipo de tratamiento antes de ser conducidos a las zanjas que los conducen a la fuente receptora, que para el caso es la quebrada Salitre.</p> <p>Una vez el agua sale de la mina sufre un proceso de oxidación que a su vez origina, productos tales como el sulfato ferroso soluble, hidróxido insoluble de hierro (Fe(OH)₃) y el ácido sulfúrico que hacen que disminuya el pH del agua convirtiéndola en agua fuertemente corrosiva y aumentando la solubilidad de muchos metales con lo que las aguas pueden llegar a ser tóxicas, hasta hacerlo incapaz de mantener las diversas formas de vida acuática.</p>	1,0	0,3 Bajo
<p><u>Sector Salitre 2</u></p> <p>El sector cuenta con 39 bocaminas y 15 campamentos de aproximadamente 30 metros cuadrados, casetas para los malacates, patios de madera y patios de acopio de carbón. La principal corriente es la del río grande donde desembocan las quebradas que atraviesan el sector fluyendo de norte a sur.</p> <p>El agua de origen doméstico proveniente de los campamentos</p>	<p>El valor asignado es de 0,8, es decir que se presenta una amenaza extrema por motivo a la disposición inadecuada de los estériles los cuales son dispuestos a cielo abierto sin previo tratamiento o control alguno, originando infiltración del agua de lavado de dicho material.</p> <p>En épocas de lluvias se producen los momentos más críticos de contaminación por aguas ácidas, ya que se lavan las sales solubles formadas en la superficie de las</p>	0,8	0,24 Bajo

Continúa...

<p>es conducida a tratamiento mediante pozos sépticos con profundidad de 2 metros.</p> <p>El agua de escorrentía y el agua de la mina llevada a superficie por medio de bombas, es vertida a zanjas construidas paralelamente a la vía hasta los humedales, los cuales están compuestos por piedra caliza y juncos extraídos del lago Sochagota.</p> <p>Finalmente son conducidas y descargadas a las quebradas Villarrica y Lazos.</p> <p>En cuanto al manejo y disposición de estériles, algunos de estos son depositados alrededor de la mina sin ningún tipo de control mientras que otros se utilizan en la conformación de patios de acopio y de madera de cada mina.</p>	<p>escombreras ricas en sulfuros y por ende la calidad de los efluentes se deterioran.</p>	<p>0,8</p>	<p>0,24 Bajo</p>
<p><u>Sector Volcán</u></p> <p>En este sector se cuenta con 29 bocaminas y 3 campamentos de aproximadamente 30 metros cuadrados, casetas para los malacates, patios de madera y patios de acopio de carbón. El manejo de aguas lluvias se efectúa a través de cunetas hechas en tierra alrededor de los patios de acopio disposición de estériles y áreas aledañas a la bocamina.</p> <p>El manejo y adecuación de estériles se hace mediante adecuación morfológica del depósito de estériles, para posterior revegetalización, mediante la siembra de cespedón. Parte de los estériles se utilizan en la conformación del patio de acopio y de la madera utilizada para el sostenimiento de la mina.</p> <p>En los patios de carbón se dispone de cunetas para conducción de aguas provenientes de escorrentía, disminuyendo el contacto con el mineral. Así mismo para disminuir el contacto con los estériles, se cuenta con trinchos.</p>	<p>El índice de amenaza dado es de 0,5 indicando que existe una amenaza moderada, correspondiendo a la posible contaminación del agua subterránea por la disposición final que se le da al agua proveniente de la mina, la cual es conducida hasta una cárcava o laguna, hecha sin impermeabilización o control de infiltración.</p>	<p>0,5</p>	<p>0,05 Muy bajo</p>

Continúa...

<p>La evacuación y manejo de aguas provenientes de la mina se realiza mediante la conducción a través de humedales o zanjas compuestas por juncos extraídos del lago Sochagota y piedra caliza, construidas paralelamente a la vía de acceso permitiéndoles su oxigenación. Esta agua tratada se lleva a represas para la utilización en pastoreo de ganado y riego de potreros.</p> <p>El manejo de residuos sólidos y líquidos provenientes de los campamentos se hace mediante enterramiento, mientras que la chatarra y los empaques son entregados a terceros para su reutilización</p>			
<p>- MINAS DE RECEBO</p>			
<p>Las explotaciones de recebo se desarrollan a cielo abierto mediante el método de explotación por frente único.</p> <p>La disposición de estériles y capa vegetal u orgánica se hace a través de botadero, alrededor de la mina, en quebradas y ríos. Por otro lado, debido a que en la minería del recebo no existen campamentos, ni viviendas cercanas que pertenezcan a los explotadores, no se considera la disposición de residuos sólidos domésticos.</p> <p>El agua es un recurso del cual no se le da ningún tipo de uso en la minería del recebo, pero no es de excluir su intervención en el desarrollo de esta actividad minera.</p> <p>No existen obras para la recolección de las aguas lluvias y de escorrentía, lo que genera la erosión del suelo.</p>	<p>Se asigna el valor de 0,5, equivalente a una amenaza moderada, debido a que este material no está compuesto por sustancias tóxicas, pero no se tiene un adecuado manejo de residuos por lo cual existe la posibilidad de contaminación del acuífero.</p>	<p>0,5</p>	<p>0,15 Bajo</p>
<p>- MINAS DE ARENA</p>			
<p>Las arenas explotadas en el sector sur del municipio se hacen a cielo abierto.</p> <p>La disposición de estériles en todas las minas de arena se realizan alrededor de las mismas, sin ninguna medida de control.</p>	<p>La valoración dada es de 0,5, indicando que la amenaza es moderada, por motivo a que esta explotación puede llegar a causar contaminación del acuífero a mediano plazo.</p>	<p>0,5</p>	<p>0,35 Moderado</p>

Continúa...

<p>Por otra parte, el uso del agua en la minería de arena es casi nulo, no se realiza ningún proceso a beneficio.</p> <p>Se presentan procesos erosivos en el área por causa de la falta de obras para recoger las aguas lluvias y de escorrentía.</p>			
<p>- MINAS DE PUZOLANA</p>			
<p>Las explotaciones de puzolana que se adelantan en el Municipio se realizan a cielo abierto.</p> <p>En cuanto a la disposición de estériles, debido a que algunas de estas explotaciones pertenecen a industrias cementeras (Industrias e Inversiones Samper), estas realizan la disposición en botaderos técnicos con un adecuado mantenimiento. Las demás explotaciones pertenecientes a pequeños propietarios hacen la disposición de estériles alrededor de la mina o en botaderos.</p> <p>Las aguas lluvias y de escorrentía, son manejadas con canales o zanjas con ayuda de la gravedad.</p>	<p>La amenaza de contaminación es alta con un índice de 0,6, debido a la disposición inadecuada y sin ningún tipo de control de los residuos y efluentes generados, hecho que conlleva a la contaminación del acuífero.</p>	0,6	0,42 Moderado
<p>- MINAS DE HIERRO</p>			
<p>Los estériles en este tipo de minería son depositados en un botadero técnico existente alrededor de de las explotaciones.</p> <p>El agua proveniente de escorrentía formada por aguas lluvias es drenado a través de zanjas hasta perderse por infiltración en el terreno o encontrar un cauce natural.</p>	<p>El valor asignado es 1,0, el cual indica que se presenta una amenaza extrema debido a que no se le está haciendo ningún tipo de tratamiento y/o control alguno a los estériles, lo cual genera una fuerte e inevitable contaminación por el lavado del agua lluvia sobre estos y posteriormente la infiltración de los mismos.</p>	1,0	0,3 Bajo
<p>- MINAS DE ARCILLA</p>			
<p>La extracción de arcilla se realiza a cielo abierto de forma antitécnica, induciendo a un derrumbe en el frente.</p> <p>Los estériles son depositados en un botadero adecuado técnicamente. La empresa "Ladrillos El Zipa" realiza rehabilitación en el terreno con obras como adecuación morfológica, reforestación y empradización.</p>	<p>Se establece un valor de 0,5, correspondiendo a una amenaza moderada, por la posible contaminación que se puede presentar, por la falta de control y adecuado manejo de residuos.</p>	0,5	0,35 Moderado

Fuente: Las autoras.

11 CONCLUSIONES

- La amenaza de contaminación del agua subterránea en el sector sur del municipio de Paipa, se presenta por la inadecuada y/o mal manejo, en la disposición final de los residuos tanto líquidos como sólidos, originados en cada una de las fuentes potenciales de contaminación que a su vez son ocasionadas por las diversas actividades realizadas en dicho sector, conllevando al deterioro de una posible fuente de abastecimiento de agua para futuras generaciones.

- El alcantarillado municipal representa una amenaza de contaminación extrema, debido al mal estado en que se encuentran las diversas estructuras que conforman dicha red urbana como son los pozos de inspección, sumideros y tubería, pues ya cumplieron su vida útil. Este problema se presenta en casi todo el casco urbano pues el tiempo de instalación que lleva el alcantarillado es aproximadamente 25-30 años, excepto algunas zonas de urbanización que llevan entre 2-3 años de construcción. Este sistema de recolección de aguas residuales está a su vez generando amenaza de contaminación extrema al río Chicamocha, ya que sus vertimientos se están haciendo directamente al cauce sin tratamiento alguno.

Las aguas residuales domésticas municipales provocan un riesgo potencial moderado de contaminación de los acuíferos, ubicados en el área de estudio; esto porque la amenaza se califica como extrema y la vulnerabilidad del acuífero es moderada.

- El antiguo botadero municipal y la planta de manejo integral de residuos sólidos presentan una amenaza de contaminación extrema y alta respectivamente, como consecuencia de la inadecuada forma en que se venía adelantando la disposición final de los residuos y a la vez por la falta de control y tratamiento del lixiviado generado, en el proceso de descomposición tanto en el antiguo botadero como en la planta actual. Estos a su vez generan un riesgo potencial alto y moderado de contaminación a los acuíferos del sector sur del municipio de Paipa debido, a que presentan un índice de amenaza extrema y vulnerabilidad alta.

- Dentro de las actividades industriales presentes en la zona de estudio, la industria que genera una amenaza extrema es Aceros Boyacá, debido a la falta de tratamiento y control de sus vertimientos líquidos, principalmente los industriales que son los que producen un elevado efluente residual. Esta actividad industrial

desarrollada en el sector sur del municipio conlleva a un riesgo potencial alto de contaminación de los acuíferos, por presentar amenaza extrema y vulnerabilidad del acuífero alta.

- De las cuatro estaciones de servicio ubicadas en el casco urbano del municipio, tres de ellas generan riesgo potencial moderado de contaminación del acuífero mientras que la otra provoca un riesgo potencial bajo. Las primeras, por presentar amenaza moderada debido a que puede ser una potencial fuente contaminante por el ineficiente tratamiento que se le está haciendo a sus residuos líquidos antes de su vertimiento y vulnerabilidad del acuífero alta, y la última por motivo a que presenta amenaza baja y vulnerabilidad alta.

- Las actividades mineras y principalmente las minas de carbón ubicadas en la vereda el Salitre (sector 1 y 2), donde se concentra el 65% de la minería de carbón, conllevan a un alto deterioro del recurso hídrico, debido a la gran densidad de minas y a la forma antitécnica como se esta explotando el recurso, convirtiéndose en una de las causantes del impacto negativo generado en el sector sur del municipio de Paipa y por ende las que representan una gran amenaza de contaminación al agua subterránea, debido al inadecuado control y/o manejo que se les viene dando a los vertimientos de aguas de minas y a la disposición de estériles. Esta actividad desarrollada en la vereda el Salitre, genera un riesgo potencial de contaminación de los acuíferos bajo, debido a que la amenaza es extrema, y la vulnerabilidad de los acuíferos presentes en el área de influencia es baja.

- Las minas de carbón explotadas en la vereda el Volcán generan un riesgo potencial de contaminación muy bajo de los acuíferos, esto se debe a que la amenaza calificada es moderada, y la vulnerabilidad del acuífero es muy baja.

12 RECOMENDACIONES

- Como alternativa, para la disminución del riesgo de contaminación, por la inadecuada disposición de los residuos sólidos, se recomienda optimizar la planta de manejo integral de dichos residuos, en cuanto a las unidades para el tratamiento adecuado, según el tipo de residuo en orden de importancia: sanitarios, especiales, orgánicos y reciclables.
- Se recomienda para la red de alcantarillado municipal, la revisión, mantenimiento y/o limpieza ó sustitución de las estructuras componentes del sistema, a fin de minimizar el impacto negativo en los acuíferos, ocasionado por la infiltración del agua residual a través de las estructuras que actualmente presentan deterioro y que puede alterar la calidad de estos.
- Es necesario tecnificar la explotación de los minerales presentes en el sector, con el objeto de contribuir al desarrollo sostenible del municipio de Paipa y mejorar la eficiencia de los tratamientos de las aguas ácidas de las minas, así como también dar un adecuado manejo a la totalidad de los estériles provenientes de las minas.
- Como medida necesaria para la mitigación de la amenaza de contaminación de los acuíferos, generada por el efluente residual industrial proveniente de Aceros Boyacá, es la de almacenar en tanques con impermeabilización adecuada dichos residuos para su posterior reutilización, de lo contrario darles un tratamiento previo al vertimiento, a la red de alcantarillado.
- En las zonas donde se detectó riesgo potencial de contaminación alto, se debe realizar análisis puntual que incluya la caracterización a escala detallada del subsuelo y toma de muestras de suelos y de aguas subterráneas. A partir de dicho análisis se tomarán por parte de CORPOBOYACA, las medidas del caso, y si es necesario se adelantarán las actividades de remediación de suelos y/o aguas subterráneas contaminadas.
- Se recomienda que a partir de la identificación de los riesgos del presente estudio se realicen comprobaciones de campo y se proceda a determinar el panorama de riesgo real de contaminación de los suelos y aguas subterráneas de la zona de estudio.

- La información resultante en el presente estudio se debe tener en cuenta para la formulación del plan de manejo y protección que adelantará CORPOBOYACA en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

ASA FRANCO. Estudio de caracterización de los vertimientos de las aguas residuales del casco urbano del municipio de Paipa. Bogotá : Municipio de Paipa, 2001. 31 p.

CABALLERO VÁSQUEZ, Germán y VARGAS CASTAÑEDA, Sonia Patricia. Inventario y caracterización minero ambiental del municipio de Paipa. Sogamoso, 2002, 75h. Trabajo de grado (Ingeniero Geólogo). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Escuela de Ingeniería.

COOPERATIVA AGROMINERA MULTIACTIVA DE PAIPA LTDA. Informe general minero-ambiental. Minas de carbón salitre 1. Paipa : El autor, 2002. 30 p.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ. SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL. Guía de términos de referencia para la elaboración del estudio de identificación y caracterización de las amenazas de contaminación de los acuíferos del sector sur del municipio de Paipa. Tunja : El autor, 2002. 6 p.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ. Inventario de las actividades desarrolladas en la cuenca de la Quebrada el Salitre. Tunja : El autor, 1998. 271 p.

DICCIONARIO AGROPECUARIO. Bogotá : s.n., 1987. 193 p.

FOSTER and HIRATA. Contaminación de las aguas subterráneas. Lima : Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS, Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud, 1987. 42 p.

_____. Determinación de riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. 2ª ed. Lima : Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS, Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud, 1990. 81 p.

GUÍO, Heladio y MERCADO, Dan. Estudio de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos del sector sur de Paipa. Tunja : Corpoboyacá, 2002. 41 p.

GUÍO, Heladio. Contaminación de las aguas subterráneas. En : SEMINARIO INTERNACIONAL DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE (2000 : Tunja). Memorias del Seminario Internacional de Ecología y Medio Ambiente. Tunja : Corpoboyacá, 2000. 4 p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. OFICINA CIAF. Plan de Ordenamiento Territorial de Paipa. Bogotá : El autor, 2000. 337 p.

INSTITUTO TECNICO GEOMINERO DE ESPAÑA. Las aguas : subterráneas y los plaguicidas. Colección: informes agua subterránea. Madrid : Gardela Algete, 1992. 149 p.

METCALF AND EDDY. Ingeniería de aguas residuales. V. 1. España : McGraw-Hill, 1995. 505 p.

PAIPA. Alcaldía Municipal. Plan de ordenamiento territorial. Paipa : Alcaldía, 2000. 240 p.

PÉREZ FRANCO, Diosdado. La explotación del agua subterránea : un nuevo enfoque. La Habana : Científico - Técnica, 1995. 492 p.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Hidráulica de pozos. Bogotá : El autor, 1972. 75 p.

ANEXOS

Anexo A. Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos del sector sur del municipio de Paipa

Anexo B. Mapa de amenazas de los acuíferos a la contaminación