

**GESTIÓN DEL RIESGO A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA ZONA DE
EXPANSIÓN OCCIDENTAL DEL MUNICIPIO DE PEREIRA, RISARALDA**

DIANA MARCELA AGUDELO MORALES

LUIS MIGUEL SEPÚLVEDA CASTAÑO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL

2017

**GESTIÓN DEL RIESGO A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA ZONA DE
EXPANSIÓN OCCIDENTAL DEL MUNICIPIO DE PEREIRA, RISARALDA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE ADMINISTRADOR
AMBIENTAL**

DIANA MARCELA AGUDELO MORALES

LUIS MIGUEL SEPÚLVEDA CASTAÑO

DIRECTOR

Ing. MSc, PhD DIEGO PAREDES CUERVO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL

2017

Nota de Aceptación

Firma Jurado (Evaluador)

Firma Jurado (Director)

Pereira, 2017

DEDICATORIAS

A mi madre y a mi abuela por ser los motores en todo lo que realizo, en todo lo que soy.

Marcela Agudelo Morales

Al Eterno por darme la posibilidad de vivir cada día para aprender y mejorar, a mi madre Imelda Castaño López que luchó de la mano conmigo para sacar adelante el pregrado, a mis hermanos Diana Sepúlveda y Daniel Sepúlveda por apoyarme en el inicio de mi carrera y al profesor Diego Paredes Cuervo por apoyarme en la formación investigativa y brindarme el privilegio de hacer parte del GIAS, a Derly Zuleta por motivarme constantemente y enseñarme, a Javier Pulido, Leidy Hernández y Juan Hernández por animarme a ingresar a la educación superior.

El agradecimiento más especial es para mi compañera de tesis Marcela Agudelo Morales.

Luis Miguel Sepúlveda Castaño

AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento –GIAS- de la Universidad Tecnológica de Pereira, en especial a su Director Diego Paredes Cuervo por acogernos y brindarnos la posibilidad de aprender en este gran equipo de trabajo; a Derly Zuleta por transmitirnos la pasión por el tema de agua subterránea y acompañarnos en el proceso de manera incondicional; a Julián Lasso por su orientación y consejos; a Leidy Agudelo y Juan Carlos Sierra por su paciencia y disposición; a Juan Lavid Ramírez por su apoyo incondicional en las labores de campo; a los profesores Héctor Vásquez y Miguel Ángel Dossman por sus asesorías y recomendaciones.

CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT.....	10
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN	11
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	11
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. OBJETIVOS	13
3.1. General.....	13
3.2. Específicos	13
4. MARCO REFERENCIAL	13
5. MARCO NORMATIVO.....	15
6. MÉTODO O ESTRUCTURA DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS.....	16
6.1. Unidad de análisis	18
7. PROCESO METODOLÓGICO	19
7.1. Momento diagnóstico: Delimitación del sistema y búsqueda de las variables clave	19
7.2. Momento analítico: Análisis del sistema	20
7.3. Momento propositivo: Propuesta de intervención del riesgo de contaminación	21
8. ALCANCES Y LÍMITES DE LA INVESTIGACIÓN	22
8.1. Alcances.....	22
8.2. Límites	22
CAPÍTULO II - FACTORES DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO	22
9. RETROSPECTIVA AMBIENTAL: MODELO DE OCUPACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	22
10. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DEL RIESGO.....	28
10.1. Vulnerabilidad intrínseca del acuífero	28
10.1.1. Métodos para determinar la vulnerabilidad de los acuíferos.....	28
10.1.2. Vulnerabilidad intrínseca del acuífero mediante el método DRASTIC.....	28
10.1.3. DRASTIC modificado (DRATIC).....	30
10.1.4. Proceso para la aplicación del DRASTIC modificado.....	32
10.2. Amenazas antrópicas.....	34
10.2.1. Recolección de la información.....	36
10.2.2. Amenazas antrópicas pasadas o heredadas	37
10.2.3. Amenazas existentes	37
10.2.4. Evaluación de las amenazas antrópicas existentes.....	49

CAPÍTULO III - CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO.....	57
11. DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN.....	57
11.1. Riesgo actual de contaminación.....	57
11.2. Rol de los actores sociales en el riesgo de contaminación del acuífero	60
11.3. Análisis estructural: Variables clave.....	61
11.3.1. Listado de variables	61
11.3.2. Relación entre variables	62
11.3.3. Variables claves	63
11.4. Riesgo futuro de contaminación	65
11.4.1. Escenario tendencial	65
11.4.2. Escenario catastrófico	65
11.4.3. Escenario utópico.....	66
CAPÍTULO IV - ESTRATEGIAS PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO.....	67
12. ESCENARIO APUESTA PARA LA ZONA DE ESTUDIO.....	67
13. LINEAMIENTOS DE GESTIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	68
CAPÍTULO V - ANOTACIONES FINALES	72
14. CONCLUSIONES	72
15. RECOMENDACIONES.....	73
16. BIBLIOGRAFÍA	74
17. ANEXOS	80

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Cronograma de trabajo	80
Anexo B. Cobertura del sistema de alcantarillado	81
Anexo C. Comparación entre los métodos de superposición más utilizados.....	82
Anexo D. Clasificación variable “D”.....	84
Anexo E. Clasificación variable “R”	84
Anexo F. Clasificación variable “A”	84
Anexo G. Clasificación de la variable “S”.....	84
Anexo H. Clasificación de la variable “T”	84
Anexo I. Clasificación de la variable “I”	85
Anexo J. Clasificación de la variable “C”	85
Anexo K. Información utilizada para las variables del DRASTIC modificado (DRATIC)	85

Anexo L. Actividades antrópicas contaminantes para el agua subterránea	86
Anexo M. Puntos visitados	88
Anexo N. Formato base para entrevistas semi-estructuradas.....	89
Anexo O. Perfil de los actores entrevistado	89
Anexo P. Contaminantes asociados a industrias tipo 3.....	90
Anexo Q. Cultivos y agroquímicos asociados a los usos del suelo en la zona de estudio	91
Anexo R. Listado de actores, rol y tipo de estrategias a desarrollar	93
Anexo S. Matriz de influencias directas (MID).....	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Resumen de normatividad ambiental adoptada para la Gestión del Riesgo a la Contaminación ..	15
Tabla 2. Hitos fundamentales del proceso de riesgo.....	17
Tabla 3. Procesos claves para la intervención del riesgo	17
Tabla 4. Procesos de dirección y apoyo	17
Tabla 5. Desarrollo metodológico del momento diagnóstico	20
Tabla 6. Desarrollo metodológico del momento analítico	21
Tabla 7. Desarrollo metodológico del momento propositivo.....	21
Tabla 8. Variables consideradas en el acrónimo DRASTIC	28
Tabla 9. Factor de ponderación del método DRASTIC.....	29
Tabla 10. Grado de vulnerabilidad por método DRASTIC	30
Tabla 11.Reclasificación del DRASTIC, variables “A” e “I”	31
Tabla 12. Matriz de selección de los actores clave	34
Tabla 13. Puntos de agua subterránea -PAS- evaluados	38
Tabla 14. Evaluación de los PAS.....	50
Tabla 15. Evaluación del manejo de los residuos sólidos - información primaria.....	51
Tabla 16. Evaluación del manejo de los residuos sólidos - información secundaria	52
Tabla 17. Evaluación de los cuerpos de agua superficial.....	52
Tabla 18. Evaluación de las E.D.S.....	52
Tabla 19. Evaluación del agua residual	53
Tabla 20. Evaluación de la producción agrícola	54
Tabla 21. Clasificación de las amenazas antrópicas según la puntuación de la evaluación.....	54
Tabla 22. Listado de Actores Evaluados en los diferentes tipos de Amenaza	56
Tabla 23.Listado de Actores Evaluados en los diferentes tipos de Riesgo	59
Tabla 24. Variables de la gestión del riesgo de contaminación en la zona de estudio.....	61
Tabla 25. Lineamiento estratégico 1	69
Tabla 26. Lineamiento estratégico 2.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio	18
Figura 2. Crecimiento urbanístico, industrial y comercial en la zona de estudio	25
Figura 3. Cambios en los usos del suelo	27

Figura 4. Evaluación de las variables del DRATIC	33
Figura 5. Vulnerabilidad del acuífero a partir del DRASTIC modificado (DRATIC)	34
Figura 6. Clasificación de las amenazas de acuerdo a su distribución y perspectiva histórica.....	36
Figura 7. Puntos visitados	37
Figura 8. Planes parciales en la zona de estudio y los sistemas de tratamiento proyectados.....	45
Figura 9. Zonas de interés Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira	46
Figura 10. Evaluación de los diferentes tipos de amenaza antrópica.....	55
Figura 11. Evaluación del riesgo de contaminación	59
Figura 12. Posición de los actores frente a la gestión del riesgo a la contaminación y su nivel de influencia en la ZEO	61
Figura 13. Plano de Influencias/Dependencias Directas.....	63
Figura 14. Plano de desplazamiento directo indirecto	64

TABLA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Fuentes de abastecimiento de agua	38
Gráfico 2. Usos del agua subterránea.....	38
Gráfico 3. Estado actual de los aljibes	39
Gráfico 4. Estado actual de los pozos	39
Gráfico 5. Condiciones sanitarias de la captación	39
Gráfico 6. Fuentes puntuales de contaminación para los PAS.....	39
Gráfico 7. Condiciones de protección de los PAS	39
Gráfico 8. Clasificación por fuente generadora y tipo de residuo sólido.....	41
Gráfico 9. Tipo de residuo sólido.....	42
Gráfico 10. Tipo de recolección.....	42
Gráfico 11. Manejo del agua residual en la zona de estudio.....	44
Gráfico 12. Percepción del agua subterránea por parte de los actores entrevistados.....	48

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Registro fotográfico 1. Manejo de los PAS en la ZEO	41
Registro Fotográfico 2 Manejo de hidrocarburos y sustancias peligrosas en E.D.S.....	43
Registro fotográfico 3. Manejo de vertimientos en la ZEO	47

RESUMEN

El proceso de urbanización en la Zona de Expansión Occidental –ZEO- del municipio de Pereira, incrementa las actividades industriales, comerciales y residenciales, al disponer residuos líquidos y sólidos que pueden ser potencialmente contaminantes para el acuífero; por las características de la actividad o por el inadecuado manejo de las aguas residuales. En este sentido, se formularon lineamientos de gestión del riesgo a la contaminación, teniendo en cuenta que ésta área cuenta con gran cantidad Pozos y Aljibes y es una de las zonas de recarga para el acuífero de la formación Pereira.

La investigación se fundamentó en el enfoque metodológico de la gestión del riesgo basada en procesos, tomando como complemento la Planeación Prospectiva Estratégica. El riesgo se evaluó a partir de la interacción entre la vulnerabilidad intrínseca del acuífero, determinada mediante el método DRASTIC modificado (DRATIC); y las amenazas antrópicas valoradas desde seis aspectos clave: Manejo de Puntos de Agua Subterránea, residuos sólidos, agua residual, contaminación por fuentes superficiales receptoras, hidrocarburos y sustancias peligrosas y producción agrícola.

Los resultados evidenciaron que los valores más altos de riesgo de contaminación están asociados al derrame de hidrocarburos (42.9%) y la disposición inadecuada de aguas residuales (38.2%). Por otro lado, el componente cultural es transversal en la configuración de las amenazas, debido a esto la educación ambiental es el eje estructurante en la formulación de los lineamientos estratégicos para la prevención y mitigación del riesgo a la contaminación del acuífero.

PALABRAS CLAVES: Acuífero, Amenaza, Contaminación el agua subterránea, Lineamientos, Gestión del Riesgo, Vulnerabilidad

ABSTRACT

The urbanization process in the Western Expansion Zone -ZEO- of the municipality of Pereira increases industrial, commercial and residential activities. Those activities generate liquid and solid wastes that could become a source of groundwater contamination depending on their characteristics or treatment systems. This zone is one the recharge areas of the “Formación Pereira” aquifer and it also has a large number of wells that supply water for human consumption, agriculture and other economic activities. There for, guidelines for pollution risk management were formulated in order to mitigate and prevent groundwater contamination.

The research was based on the methodological approach of process-based risk management as well as the Strategic Prospective Planning. The risk was evaluated according to the interaction between the intrinsic vulnerability of the aquifer, which was determined by the modified DRASTIC method (DRATIC), and the anthropic threats divided in six key aspects: Management of water wells, solid waste disposal, waste water management, surface water interactions, agricultural pollution and hydrocarbons and hazardous substances disposal.

The results showed that the higher values for the contamination risk are associated with hydrocarbons spillage (42.9%) and inadequate wastewater disposal (38.2%). On the other side, the cultural component is transversal in the configuration of the threat. Because of that; the environmental education is the structuring axis in the formulation of the strategic guidelines for prevention and mitigation of the contamination risk of the aquifer.

KEYWORDS: Aquifer, Groundwater Contamination, Guidelines, Risk Management, Threat, Vulnerability

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El área de estudio forma parte de la zona de recarga del acuífero de La Formación Pereira (CARDER, 2007; Paredes et al, 2012); pese a esto, en el modelo de expansión hacia las periferias que adoptó el municipio, ha propiciado una acelerada urbanización (Marulanda, 2014; Giraldo, Osorio y Tobón, 2013); para el año 2016 se desarrollaron 61 proyectos urbanísticos en Cerritos (Secretaría de Planeación de Pereira, 2016).

La ciudad se ha expandido sin garantizar el acceso a servicios básicos como el agua potable, lo cual influye en el uso del agua subterránea como fuente estratégica pues cerca del 81% de la población de la Zona de Expansión Occidental –ZEO- se abastece de dicho recurso (MinMinas, 2014), constituyéndose como la mayor demanda (CARDER, 2007) y factor clave para el desarrollo de la zona. Por otro lado, aspectos como el turismo, la industria y el comercio, influyen en grandes flujos de población flotante, “Pereira ocupa el octavo lugar a nivel nacional entre los destinos turísticos preferidos por los visitantes nacionales y extranjeros” (Pérez, Valencia, González y Cardona, 2014, p. 11).

Con la urbanización se incrementan y conjugan actividades domésticas, industriales y comerciales que disponen residuos líquidos y sólidos que podrían llegar a ser potencialmente contaminantes para el acuífero; ya sea por la naturaleza de la actividad o por el inadecuado sistema de tratamiento de las aguas residuales, cabe resaltar que debido a la ausencia del sistema de alcantarillado, el saneamiento básico in situ ha sido la única alternativa para la mayoría de los actores.

Aunque el agua subterránea comparada con el agua superficial, es menos vulnerable a la contaminación, cuando esta ocurre, los contaminantes se demoran mucho tiempo en ser depurados; así mismo, la detección de la contaminación en fuentes hídricas subterráneas se da cuando ya se ha transcurrido mucho tiempo (Sánchez, S.F). En ese sentido, las estrategias de gestión del recurso hídrico no pueden centrarse sólo en las fuentes superficiales, sino incorporar el agua subterránea como componente clave para el desarrollo del territorio.

Los instrumentos de planificación del recurso hídrico subterráneo en la zona de estudio son recientes si se comparan con el tiempo en el que se ha venido aprovechando el recurso; solo hasta el año 2001, la Corporación Autónoma Regional de Risaralda -CARDER- inició el proyecto de plan de manejo integrado de aguas subterráneas del municipio de Pereira, en el cual se proponen instrumentos técnicos, políticos, económicos y sociales para la adecuada gestión del recurso (CARDER, 2007). Dicho plan es para todo el acuífero en general, pero por el acelerado crecimiento que ha tenido la ZEO, se requiere un análisis más detallado y que incorpore los nuevos cambios asociados a la urbanización.

Con base en lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Cuáles lineamientos se pueden formular para la gestión del riesgo a la contaminación del agua subterránea en la Zona de Expansión Occidental del municipio de Pereira? Para el alcance de la pregunta general se plantean las siguientes incógnitas ¿Cuáles son las amenazas antrópicas presentes en la zona de estudio? ¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad del acuífero de la zona de estudio?, ¿Cuál es el riesgo potencial a la contaminación en el acuífero de la zona de estudio?, ¿Qué estrategias se deben proponer para la gestión del riesgo a la contaminación del acuífero?

2. JUSTIFICACIÓN

El agua subterránea es la principal fuente de reserva a nivel mundial, sustituyendo la falta de abastecimiento del recurso hídrico a partir de corrientes superficiales. Del 100% del agua del planeta, solo el 2,5% corresponde a agua dulce, pero de esta cantidad, sólo el 0,0075% corresponde a agua superficial y el 0,75% corresponde a agua subterránea, lo que indica que a largo plazo representa una alternativa viable en términos de calidad y cantidad para uso doméstico, agrícola e industrial (MADS, 2014). Además se convierte en un recurso estratégico debido a la cercanía a los predios, su protección por los suelos y su bajo costo de extracción una vez se tiene el aljibe o pozo, además, las sequias poco influyen en su oferta hídrica, a diferencia de como sucede con las fuentes superficiales, esta representa una alternativa de adaptación al abastecimiento hídrico en el marco de la variabilidad climática (Sahuquillo, 2009).

La CARDER (2007) reporta un incremento significativo en el uso del agua subterránea en Pereira, principalmente en la ZEO, donde este recurso se ha configurado como una alternativa para el abastecimiento del agua, siendo los pozos y aljibes los medios principales para su aprovechamiento. La ZEO es considerada una de las zonas de recarga del acuífero de la Formación Pereira, estas zonas son por lo general muy vulnerables, sensibles a la contaminación y sobre las mismas se deben tomar medidas de protección debido a que de ellas puede depender el abastecimiento de agua en el futuro (POMCA, 2016).

Pese a lo anterior, acciones como el manejo de Puntos de Agua Subterránea –PAS-, el manejo de residuos sólidos y líquidos y la producción agrícola, establecen la interacción entre lo antrópico (amenazas) y lo natural (vulnerabilidad), configurando el riesgo a la contaminación de este recurso. Lo anterior, enmarcado en aspectos culturales, lo cual otorga una gran complejidad ambiental que requiere para su abordaje una visión integral que permita la identificación del riesgo para su posterior intervención, pero especialmente para su prevención.

El administrador ambiental como gestor del desarrollo sustentable, incorpora una visión integral del territorio, en la cual las estrategias de gestión ambiental se deben plantear teniendo en cuenta además de la configuración intrínseca del acuífero, todos los actores sociales que configuran el riesgo.

3. OBJETIVOS

3.1. General

Proponer lineamientos de gestión del riesgo a la contaminación del acuífero en la Zona de Expansión Occidental del municipio de Pereira.

3.2. Específicos

Identificar las amenazas antrópicas y la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero en la zona de estudio.

Analizar el riesgo potencial de contaminación en la zona de estudio.

Formular estrategias para la gestión del riesgo a la contaminación en la zona de estudio.

4. MARCO REFERENCIAL

El ambiente es un término ampliamente discutido desde diferentes percepciones y disciplinas, creando así, un amplio panorama de interpretaciones que varían según el contexto. Puede ser conceptualizado como una estructura socio-ecológica compleja que incorpora bases ecológicas y condiciones sociales; por lo tanto existe una construcción de lo ambiental dentro de un contexto social, en el cual el ambiente ocupa un papel fundamental en las transformaciones físicas, culturales y sociales, relacionadas con los procesos de ocupación del territorio (Leff, 2004).

“La complejidad del debate sobre el territorio reside en su multidimensionalidad, es decir, en la posibilidad de abordarlo desde varias y diversas perspectivas” (Altschuler, 2013, p. 65). La Zona de Expansión Occidental de Pereira, es un territorio considerablemente complejo debido a que posee una mezcla de características urbanas y rurales en una constante evolución, caracterizada por cambios significativos asociados a la acelerada expansión urbana, la cual reconfigura el territorio constantemente, e intensifica la presión sobre los recursos naturales.

El suelo de expansión es el constituido por la porción del territorio municipal destinada a la expansión urbana, que se habilitará para el uso urbano durante la vigencia del Plan de Ordenamiento (Ley 388 de 1997). En el municipio de Pereira se reconoce para esta categoría un área de 1.427,47 Ha, de las cuales 898,19 Ha (62,92%) corresponden a la ZEO, en la cual se aprobaron 16 planes parciales entre los años 2000-2013 (Secretaría de Planeación, 2015, p.68). “Las áreas de expansión urbana pueden ser objeto de desarrollo con restricciones de uso, de intensidad y de densidad, garantizando el autoabastecimiento en servicios públicos domiciliarios, de conformidad con lo establecido en la Ley 99 de 1993 y en la Ley 142 de 1994” (Ley 388 de 1997).

Pese a lo establecido en la normatividad, los procesos de urbanización se caracterizan por el desarrollo de nuevas y diversas actividades económicas (sobre todo servicios), así como el desarrollo de infraestructura urbana y del transporte (Aguilar, 2006) pero con una débil la incorporación de los factores biofísicos, sociales, económicos y culturales del área en general; lo cual además de generar una enorme presión sobre los recursos naturales, afecta el nivel de vida de la población presente en estas áreas (Sánchez y Villegas, 2008) configurando así las problemáticas ambientales propias de los sistemas culturales, más que de los sistemas naturales, debido a que el orden humano no coincide con el orden natural, es ahí donde empiezan a establecerse barreras para ambos sistemas (Ángel, 2003).

En Colombia, la mayoría de las ciudades capitales se han caracterizado por una expansión urbana acelerada, producto de un ordenamiento territorial fragmentado y poco planificado (Duarte y Vargas, 2013). En el caso de Pereira la urbanización se intensifica cada vez más por ser la ciudad más poblada de la región del Eje Cafetero, con un porcentaje de crecimiento poblacional para el año 2017 de 84,59% y una población de 474.335 habitantes (DANE, 2008).

La débil planificación implica presiones sobre recursos naturales estratégicos, tal como se refleja en la Zona de Expansión Occidental de Pereira, la cual “se encuentra sobre el acuífero de la formación Pereira que almacena gran cantidad de agua subterráneas, evidenciada en 600 aljibes aproximadamente (Paredes et al, 2012, p.47); pese a ello, está sujeta a diversos cambios asociados a los procesos urbanizadores.

El agua subterránea es una de las potenciales fuentes de abastecimiento de agua potable para uso doméstico, industrial y agrícola, y prácticamente la única en zonas donde hay escasez de fuentes de agua superficial (Jaramillo y Aristizábal, 2006). En Pereira, a pesar de que el agua subterránea no es la principal fuente de abastecimiento, su uso es esencial en las zonas de expansión urbana (Cerritos, Puerto Caldas, Tribunales) (CARDER, 2007). Sin embargo, “éste aprovechamiento es realizado generalmente en sitios donde el conocimiento de los acuíferos es limitado, generando en muchas ocasiones, daños irreparables como sequía de fuentes superficiales y de pozos someros, fenómenos de subsidencia del terreno, acentuación o inducción de procesos de contaminación natural o antrópica, entre otros” (Jaramillo y Aristizábal, 2006, p.6).

La zona urbana de Pereira y su zona de expansión interceptan el trayecto de las aguas subterráneas hacia su zona de mayor acumulación y demanda (Cerritos), por lo tanto en las zonas de expansión, las actividades proyectadas que tengan alto y moderado peligro potencial de contaminación, deben estar sujetas a diversas restricciones de la autoridad ambiental (CARDER, 2007), pero en la ZEO se presentan amenazas antrópicas para el acuífero, principalmente por la disposición de efluentes y residuos sólidos de alcantarillados, agroquímicos, potenciales derrames de hidrocarburos, la utilización de los aljibes no sellados como depósitos de basura y la no existencia de sistemas de alcantarillado (Paredes et al, 2012).

Por otro lado, se debe tener en cuenta que el acuífero presenta determinadas características biofísicas que lo pueden hacer más o menos vulnerable en determinadas zonas o ante determinados factores. El término vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero es usado para representar las características intrínsecas que determinan la susceptibilidad de un acuífero a ser adversamente afectado por una carga contaminante (Foster e Hirata, 1991).

Con base en lo anterior, se entiende que en la zona de estudio se configura el riesgo de contaminación del agua subterránea, debido a la confluencia e interacción de la vulnerabilidad del acuífero con las amenazas antrópicas, siendo necesario entonces que su abordaje se realice de una manera integral. Es así como la gestión del riesgo se convierte en un factor clave, al permitir la previsión, reducción y control constante de los factores de riesgo en la sociedad, integrado al desarrollo humano, económico, ambiental y territorial sustentable (Narváez et al, 2009).

La gestión del riesgo se fundamenta en la identificación de los factores del riesgo (amenaza y vulnerabilidad), sus procesos de conformación, incluyendo los actores sociales involucrados en su configuración. Dicho conocimiento permite construir escenarios de riesgo; los cuales pueden ser de mayor o menor complejidad incorporando atributos sobre la percepción del impacto (riesgo alto, moderado, bajo) o sobre su temporalidad (inminente, de mediano o de largo plazo) (Narváez et al, 2009).

El riesgo es un proceso dinámico en el tiempo, producto del cambio acelerado en las condiciones territoriales y tecnológicas de los procesos de producción; para efectos del presente trabajo, ese dinamismo se puede manifestar en la alteración de la calidad del agua subterránea; en este sentido, se adopta la gestión del riesgo a la contaminación como el proceso que permitirá la toma de acciones correctivas, en el marco de la gestión del recurso hídrico (Lavell, 2003).

5. MARCO NORMATIVO

Tabla 1 Resumen de normatividad ambiental adoptada para la Gestión del Riesgo a la Contaminación

INSTRUMENTO	NORMA	EPIGRAFE
PLANIFICACIÓN	Ley 2 de 1959	Ley sobre economía forestal de la Nación conservación de recursos naturales renovables
	Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
	Ley 9 de 1979	Código Sanitario Nacional
	Resolución 1433 de 2004	Usos del Agua y Residuos Líquidos, planes de ordenamiento del recurso hídrico, objetivos de calidad.
	Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental – SINA- y se dictan otras disposiciones.
	Ley 388 de 1997	Ley de Desarrollo Territorial

	Decreto1076 de 2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente
REGULACIÓN	Resolución 865 de 2004	Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales
	Resolución 872 de 2006	Por la cual se establece la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas subterráneas a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones.
	Resolución 1478 de 2003	Metodología para la valoración de bienes y servicios ambientales y recursos naturales.
	Decreto1076 de 2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente
OTROS INSTRUMENTOS		
RESOLUCIONES INTERNAS DE LA CARDER E INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN	Res. 444 de 2008 determinaciones para la protección y conservación de la calidad de las aguas subterráneas en los municipios de Pereira y Dosquebradas. Referentes ambientales para la revisión de los planes de ordenamiento territorial de los municipios del departamento. Plan de Acción CARDER 2016-2019 Plan de Gestión Ambiental Regional PGAR 2008 – 2019 Acuerdo 029 de 2011 de CARDER, por el cual se adoptan determinaciones para la protección y conservación de las calidad de las aguas subterráneas en el departamento de Risaralda.	
FINANCIEROS	Transferencias del sector eléctrico, inversión forzosa 1%, inversión 1% de entes territoriales, Rentas CAR´s	
CONSERVACION	Áreas protegidas, Planes de Manejo de áreas de importancia estratégica.	
GUIAS ORIENTADORAS PARA LA PLANIFICACION Y GESTION DE LOS RECURSOS	Política Nacional Para la Gestión Integral del Recurso Hídrico Guías metodológicas para protección integral de aguas subterráneas. Guía para la formulación de los Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos – MADS - 2014 Programa Nacional de Aguas Subterráneas – PNASUB – MADS -2014	

Fuente: Propia

6. MÉTODO O ESTRUCTURA DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS

El presente trabajo está enmarcado bajo la gestión del riesgo basada en procesos (Narváez et al, 2009); pero debido a las necesidades y alcances de la investigación, se hace una adaptación del modelo, por lo tanto, aunque se asume el riesgo como un proceso de construcción social (Narváez et al, 2009), no se trata de riesgo de desastre asociado a la vulnerabilidad de un grupo social; sino de riesgo de contaminación de un recurso natural vulnerable (el acuífero) ante amenazas antrópicas.

El enfoque propone 3 tipos de amenazas: naturales, socio-naturales y antrópicas. Se estudian sólo las antrópicas, entendidas como los "eventos relacionados con la actividad humana en la producción, manejo y transporte de materiales peligrosos" (Narváez et al, 2009). Se retoma el concepto de vulnerabilidad establecido por Foster & Hirata (1991), para los cuales representa las características intrínsecas que determinan la susceptibilidad de un acuífero a ser adversamente afectado por una carga contaminante. Los aspectos y condiciones asociados con la cultura, la

economía y la organización social que en el enfoque se relacionan con la vulnerabilidad; para esta investigación serán abordados desde las amenazas.

La gestión del riesgo de desastres, considera 4 hitos que conforman el proceso de creación del riesgo como proceso, y las acciones frente a cada uno, agrupadas en seis procesos clave, que requieren para su gestión de los procesos de apoyo y dirección (Narváez et al, 2009). Los hitos y procesos fueron adaptados acorde a las necesidades de la investigación (Tablas 2, 3 y 4).

Tabla 2. Hitos fundamentales del proceso de riesgo

HITOS FUNDAMENTALES DEL PROCESO DE CREACIÓN DEL RIESGO			
I. Riesgo futuro	II. Riesgo actual	III. Desastre	IV. Nuevo riesgo post-evento de contaminación
Prospección del riesgo; entendimiento anticipado de su probable consolidación en el futuro	Los factores de riesgo ya están creados, por lo tanto es probable la ocurrencia de eventos de contaminación	El evento de contaminación se manifiesta, impactando la calidad del agua subterránea	Después de la ocurrencia de un evento de contaminación, se produce nuevamente riesgo

Fuente: Narváez et al, 2009

Tabla 3. Procesos claves para la intervención del riesgo

PROCESOS CLAVE O MISIONALES					
I. Generar conocimiento sobre el riesgo	II. Prevenir el riesgo futuro	III. Reducir el riesgo existente	IV. Preparar la respuesta	V. Responder y Rehabilitar:	VI. Recuperar y Reconstruir
Identificar las amenazas y la vulnerabilidad	Tomar medidas de prevención, antes de que se consolide el riesgo	Tomar medidas correctivas y de control para mitigar los posibles efectos de un evento de contaminación antes de que ocurra.	Tomar medidas para responder correctamente en caso de un evento de contaminación	Atender oportunamente un evento de contaminación y prever la aparición de nuevo riesgo	Emprender acciones para recuperar y reconstruir las zonas que han sido afectadas.

Fuente: Narváez et al, 2009

Tabla 4. Procesos de dirección y apoyo

PROCESOS DE DIRECCIÓN			PROCESOS DE APOYO	
Desarrollar la base institucional y organizativa	Planificar y organizar la intervención	Hacer seguimiento, evaluación y control	Procurar recursos	Informar y educar sobre la intervención
Establecer medidas regulatorias para el adecuado funcionamiento de las organizaciones	Establecer las estrategias y la forma de organizar al sistema para ejecutarlas	Medir mediante indicadores la efectividad en el logro de los objetivos	Talento humano, recursos financieros, materiales, tecnología, infraestructura, servicios, etc.	Garantizar el correcto flujo de la información entre la población y las distintas entidades involucradas

Fuente: Narváez et al, 2009

6.1. Unidad de análisis

El municipio de Pereira es el contexto local del presente estudio, se encuentra ubicado en la región sur-oriental del departamento de Risaralda-Colombia, en la vertiente occidental de la cordillera central (CARDER, 2007) y cuenta con un área total de “60.552,30 ha” (Secretaría de Planeación de Pereira, 2016, p.14).

La unidad de análisis es la Zona de Expansión, ubicada en el costado occidental del casco urbano de Pereira en el corregimiento de Cerritos (Figura 1). El suelo de expansión asociado a la cabecera municipal es de 1.427,47 ha, de las cuales 898,19 ha (20,48% del corregimiento de Cerritos y el 1,65% del municipio) corresponden a la zona de estudio; la cual “está comprendida entre el Túnel Consotá – Río Otún y el Bioparque Ukumarí y la Proyectada Paralela Norte y el Río Consotá” (Secretaría de Planeación, 2015, p.69).

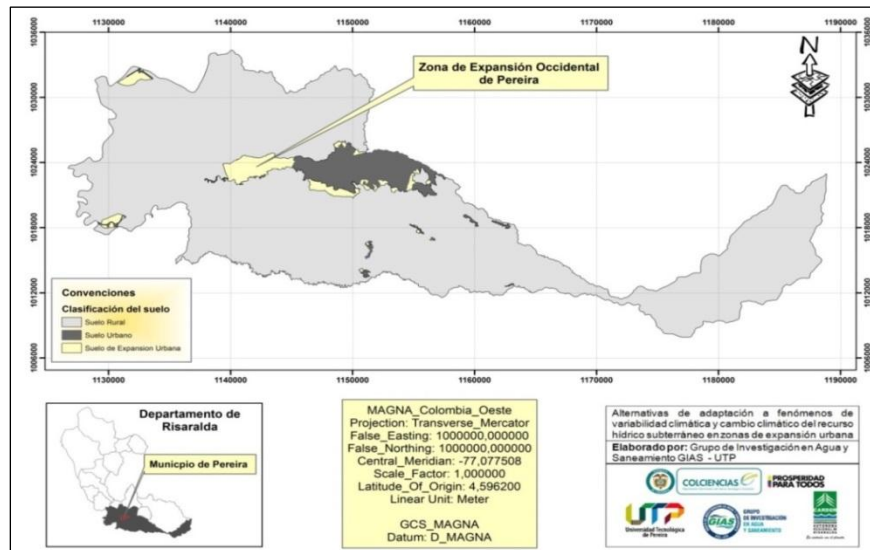


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

Fuente: GIAS, 2012

La ZEO está situada en el acuífero de la Formación Pereira, el cual “presenta dos niveles en contacto directo: uno superior, captado en su mayoría por aljibes (600 aprox.), conformado en cenizas volcánicas, y un nivel inferior, captado por pozos profundos (entre 40 y 258 m), conformado principalmente por depósitos fluviovolcánicos; la dirección regional del flujo es este– oeste, con bifurcación al NW y SW, coincidente con los drenajes superficiales, mostrando como zonas de descarga los ríos Cauca y Barbas (Paredes et al, 2012); corresponde a la clasificación de acuíferos de baja productividad, capacidad específica entre 0.05 y 1 l/s/m. Las unidades acuíferas de extensión local a regional están compuestas por sedimentos y depósitos volcanoclasticos que desarrollan acuíferos libres a semiconfinados (POMCA, 2016).

La Formación Pereira (Tqp), en su estratotipo, está conformada por dos secuencias, la superior de cenizas volcánicas que pueden alcanzar espesores mayores a 35m y la inferior por depósitos fluviales y glacio volcánicos (Arias, 2004); alcanza espesores hasta 600m, con un espesor máximo del orden de 800 m (CARDER, 2007).

7. PROCESO METODOLÓGICO

Se tomó como complemento en el logro de los objetivos específicos, el modelo metodológico de la Planeación Prospectiva Estratégica (PPE) dado que el riesgo puede ser tanto actual o consolidado, futuro o en proceso de creación (Narváez, 2009, p. 26). La PPE precisa cuál es el objeto por cambiar, los escenarios futuros del cambio, quiénes son los actores del cambio, para después estructurar las estrategias (Baena y Neme, 2015). Según Ramírez (2015), el proceso de la PPE se desarrolla en 5 fases (p. 194), que para este caso se agruparon en 3 momentos de acuerdo a los objetivos específicos: Momento diagnóstico (Definición del sistema); momento analítico (Análisis del sistema); y momento propositivo (Análisis de futuro, formulación estratégica y direccionamiento táctico).

Por otro lado, cabe destacar que la presente investigación hace parte de los productos de formación (Vinculación de estudiantes tesistas) del proyecto “Alternativas de adaptación a efectos de variabilidad climática y cambio climático del recurso hídrico subterráneo en zonas de expansión urbana” financiado por COLCIENCIAS en el marco de la convocatoria 660 de 2014, el cual está en ejecución por el Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento –GIAS de la Universidad Tecnológica de Pereira.

La investigación fue desarrollada durante 9 meses (años 2016 y 2017); en el anexo A se encuentran las actividades conducentes al cumplimiento de los objetivos.

7.1. Momento diagnóstico: Delimitación del sistema y búsqueda de las variables clave

Se dividió en dos procesos: retrospectiva ambiental y mapificación territorial. Para el primero se identificaron los cambios relacionados con el modelo de ocupación en la zona de estudio y que pueden representar incidencia en las amenazas antrópicas. Además se seleccionó el método y la información requerida para el establecimiento de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero. Finalmente, a partir de información secundaria se hizo una selección previa de los actores que pueden representar amenazas. En el segundo proceso se evaluó la vulnerabilidad intrínseca del acuífero a partir de la aplicación del método DRASTIC modificado. Además se realizó el levantamiento de información primaria para la evaluación de las amenazas antrópicas (Tabla 5).

Tabla 5. Desarrollo metodológico del momento diagnóstico

MOMENTO DIAGNÓSTICO				
Objetivo específico: Identificar las amenazas antrópicas y la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero en la zona de estudio				
Procesos	Procedimientos	Técnicas	Herramientas	Producto esperado
Retrospectiva ambiental	Clasificación de información secundaria relacionada con el modelo de ocupación del territorio	Análisis documental	Revisión documental Ficha bibliográfica	Influencia del modelo de ocupación en las amenazas antrópicas
		Análisis espacial	ArcGIS 10.2.1	Contraste entre los mapas de los usos del suelo
	Clasificación de información secundaria relacionada con las características hidrogeológicas del acuífero	Análisis documental	Revisión documental Ficha bibliográfica	Matrices con la información hidrogeológica que requiere el método DRASTIC
	Clasificación de información secundaria relacionada con las amenazas antrópicas			Priorización de sectores y/o actividades potencialmente contaminantes
Mapificación territorial	Realización de mapas temáticos, con las variables del DRASTIC	DRASTIC	ArcGIS 10.2.1	Mapas de las variables del DRASTIC
	Realización de mapa final de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero			Mapa de vulnerabilidad intrínseca del acuífero
	Recolección y clasificación de información primaria relacionada con las amenazas antrópicas	Entrevista	Entrevista semiestructurada	Clasificación de las amenazas antrópicas potencialmente contaminantes en la zona de estudio
	Contraste entre la información primaria y secundaria relacionada con las amenazas	Análisis documental Delphi	Revisión documental Entrevista semiestructurada	
	Realización de mapas temáticos de los diferentes tipos de amenaza antrópica	Análisis espacial	ArcGIS 10.2.1	Mapas de las amenazas antrópicas

7.2. Momento analítico: Análisis del sistema

Se dividió en dos procesos: riesgo actual y riesgo futuro. En el primer proceso, con la técnica de análisis espacial se determinó el riesgo actual de contaminación a partir de la interrelación o confluencia de la vulnerabilidad del acuífero con las amenazas antrópicas. Posteriormente se establecieron las variables clave en el riesgo, a partir de la técnica de análisis estructural. En el segundo proceso mediante la técnica de análisis morfológico se determinaron 3 escenarios futuros al año 2027: El tendencial (las cosas siguen como están actualmente), el catastrófico (las cosas empeoran) y el utópico (las cosas salen perfectas) (Tabla 6).

Tabla 6. Desarrollo metodológico del momento analítico

MOMENTO ANALÍTICO				
Objetivo específico: Analizar el riesgo potencial de contaminación en la zona de estudio				
Procesos	Procedimientos	Técnica	Herramienta	Producto esperado
Riesgo actual	Determinación del riesgo actual de contaminación del acuífero	Análisis espacial	ArcGIS 10.2.1	Mapa del riesgo actual de contaminación del acuífero
	Determinación de las causas de fondo del riesgo actual de contaminación	Análisis estructural	Matriz MIC-MAC	Listado de las variables dependientes e influyentes Escenarios de Riesgo

Fuente: Propia

7.3. Momento propositivo: Propuesta de intervención del riesgo de contaminación

Se dividió en dos procesos: reflexión participativa e intervención del riesgo de contaminación. En el primer proceso a partir de la técnica MACTOR (Método, Actores, Objetivos, Resultados de Fuerza) se analizan los actores del sistema, sus divergencias y convergencias, su grado de interés y poder de influencia en los objetivos que se quieren alcanzar. Una vez establecido el juego de actores, se empleó la técnica Delphi, para la construcción del escenario apuesta, el cual se convierte en la visión a alcanzar con la propuesta de gestión.

Por último, en el tercer proceso se construyeron las estrategias de gestión, a partir de los hitos y procesos establecidos en el enfoque metodológico de la gestión del riesgo como proceso (Tabla 7). Las estrategias se formularon en 3 fases: la operativa a 3 años (corto plazo); la táctica a 7 años (mediano plazo) y la estratégica a 11 años (largo plazo); tiempos se establecidos con base en los plazos del POT vigente (Secretaría de Planeación, 2015).

Tabla 7. Desarrollo metodológico del momento propositivo

MOMENTO PROPOSITIVO				
Objetivo específico: Formular estrategias para la gestión del riesgo de contaminación en la zona de estudio				
Procesos	Procedimientos	Técnica	Herramienta	Producto esperado
Reflexión participativa	Identificación de las divergencias y convergencias de los actores más influyentes en el sistema	Juego de actores MACTOR Observación participante	Matriz MACTOR Entrevista semiestructurada	Posición de los actores, niveles de fuerza, alianzas y conflictos
	Construcción del escenario apuesta	Delphi	Entrevista semiestructurada	Misión para la zona de estudio desde la gestión del riesgo

Fuente: Propia

8. ALCANCES Y LÍMITES DE LA INVESTIGACIÓN

8.1. Alcances

- Georreferenciación y actualización del estado de los Puntos de Agua Subterránea –PAS- priorizados.
- Revisión bibliográfica de las diferentes metodologías para la determinación de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos.
- Mapa de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero.
- Mapas de las amenazas de origen antrópico.
- Mapas del riesgo actual de contaminación del agua subterránea.
- Estrategias de gestión del riesgo a la contaminación del acuífero.

8.2. Límites

- No se consideran los problemas asociados a la calidad natural del agua subterránea.
- Se consideran sólo los mecanismos de contaminación que se encuentran en la Zona de Expansión Occidental de Pereira, no se consideran las fuentes de contaminación que estando por fuera de la zona de estudio, pueden alcanzar el acuífero y propagarse en él, afectando áreas que en principio podrían considerarse alejadas de su influencia.
- Algunos actores clave se consideraron en la investigación a partir de información secundaria porque no se obtuvo el acceso a la información primaria.
- No se realizaron análisis de agua y de suelo para determinar parámetros asociados a la calidad del agua subterránea.
- No se consideran amenazas como la producción ganadera debido a las limitaciones en el acceso a la información y los recursos (tiempo y dinero).

CAPÍTULO II - FACTORES DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO

9. RETROSPECTIVA AMBIENTAL: MODELO DE OCUPACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

A partir del Acuerdo Metropolitano 12 de 1986 “Código de Urbanismo”, el Municipio de Pereira se ha visto sometido a varias modificaciones en la Clasificación de su Territorio. En este Acuerdo se definieron tres tipos de Zonas: Urbana, Sub-Urbana y Rural, Se destaca la Zona Urbana, la cual antes se clasificaba en 3: Área Urbana Desarrollada, Área de Expansión Urbana y Área de reserva urbana (Giraldo, Osorio y Tobón; 2013).

En 1991 se genera el Plan de la Zona Occidental de Cerritos con un manejo de zona suburbana de altas restricciones por su componente ambiental y la define con un alto potencial para futuro desarrollo de la ciudad (Giraldo *et al*, 2013).

Posteriormente, en el año 1995 se establece el Acuerdo 039 el cual tenía como finalidad, responder de una forma ordenada y planificada, a las fuertes demandas y dinámicas de crecimiento que venía presentando la ciudad en el año 1994. En este sentido, se clasificó parte del territorio rural en zonas Sub-Urbanas de Expansión (ZSE 1 - 2 - 3 y 4), Sub-urbana de Transición, Sub-Urbana de Amortiguación y Zonas Sub-Urbanas; esta clasificación es usada como base para la formulación del POT, ya que desde esta se identifican las extensiones del suelo Urbano consolidado, los suelos de expansión y suelos suburbanos (Giraldo *et al*, 2013).

En 1997 se establece la reglamentación de la zona suburbana occidental de Cerritos mediante el Acuerdo No. 48, en el cual se establece que para 1998 comenzarían los estudios para el Plan Maestro General que incluiría soluciones integrales ante el problema de acueducto y alcantarillado. Para las zonas que no cubría dicho plan en cuanto a abastecimiento, se haría por medio de agua subterránea con pozos profundos de distancias mínimas de 680 m entre ellos. Para el alcantarillado se establecía la construcción de colectores interceptores paralelos a las quebradas; el manejo y tratamiento definitivo de estas aguas, se integraría a la infraestructura establecida por el Plan Maestro General del Servicio (Alcaldía de Pereira, 1997).

Para los urbanizadores que requerían soluciones antes del planteamiento del Plan Maestro, se permitía el tratamiento de agua residual mediante algún método convencional, siempre y cuando garantizara que la evacuación de los efluentes no contaminara las fuentes receptoras ni incidiera en la contaminación de los pozos profundos. En cuanto al servicio de recolección de basura, el plan establecía que el municipio de Pereira mediante el Plan de desarrollo del sistema de Aseo, se expandiría para abrir adecuadamente esta zona (Alcaldía municipal de Pereira, 1997).

Por otro lado, dicho documento establecía en su artículo 6 que en pro de la conservación del recurso hídrico subterráneo, todas las construcciones de uso residencial, comercial o recreacional debían tener como mínimo un tanque séptico, complementado con otras unidades, según el análisis de cada caso por parte de la autoridad ambiental.

Para 1997 el consumo aproximado de agua subterránea a través de PAS era de 7000 m³/día; y los principales usos eran doméstico (50%), agropecuario (12%), industrial (8,3%), recreativo (2,2%), y sin uso (27,5%). Además, los principales riesgos de contaminación para el agua subterránea eran la disposición de efluentes líquidos y sólidos de origen doméstico e industrial a fuentes superficiales y sobre el suelo, la utilización de los aljibes no sellados como depósitos de basura, la no existencia de sistemas de alcantarillado, ubicación de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, la aplicación de plaguicidas sobre los cultivos de café, caña de azúcar, cítricos, entre otros (Alcaldía de Pereira, 1997).

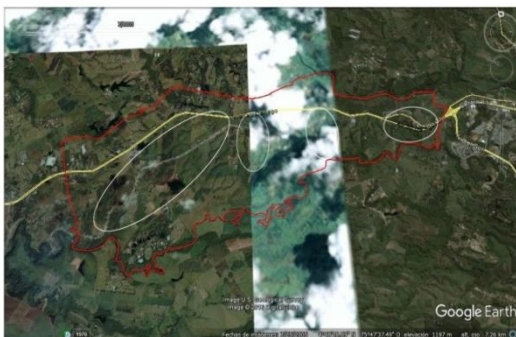
A partir del año 2000 en el Acuerdo 018, se establecieron las zonas de expansión de Pereira, la ZEO se estableció como un sitio clave para el crecimiento de la ciudad y un lugar estratégico para el desarrollo de proyectos viales que permitieran la conexión con el Suroccidente del país, en especial La Virginia que ya había sido incluida dentro de la clasificación de Área Metropolitana Centro Occidente -AMCO; además, el municipio estaba teniendo un desarrollo en infraestructura acorde a la dinámica poblacional que tendía a ser creciente (10.5% entre 1990 y 2002), pero esto generaba una mayor demanda de servicios públicos (Alcaldía de Pereira 2004).

Para el año 2005 la ZEO era concebida como un área importante para el crecimiento de la ciudad, pero la dinámica de crecimiento poblacional no era tan fuerte como para recurrir al desarrollo de proyectos urbanísticos en la zona (Alcaldía de Pereira, 2004). En la figura 2 se evidencia el área de estudio sin el desarrollo de proyectos urbanísticos y una mayor cobertura vegetal

Posteriormente, para el año 2008, el plan de desarrollo mencionaba 17 planes parciales definidos como “instrumentos que articulan de manera específica los objetivos de ordenamiento territorial con los de gestión del suelo concretando las condiciones técnicas, jurídicas, económico-financieras y de diseño urbanístico que permiten la generación de nuevos usos urbanos asegurando condiciones de habitabilidad y protección de la estructura ecológica principal, de conformidad con las previsiones y políticas del plan de ordenamiento territorial” (Decreto 190 de 2004).

Los planes parciales dieron cumplimiento a la necesidad de expansión horizontal de la ciudad, teniendo en cuenta que no había área suficiente para suplir el déficit de vivienda, pues eran necesarias 146 ha de suelo para urbanizar. Debido a la necesidad de expansión de la ciudad, se contempla la titulación de predios, lo cual consiste en tomar predios que son considerados ocupaciones o asentamientos ilegales para desarrollar proyectos de Viviendas de Interés Social o proyectos de Vivienda de Interés Prioritaria (VIS o VIP) (Decreto 190 de 2004).

Julio del 2005



Noviembre del 2011



Junio del 2014



Agosto del 2015



Diciembre del 2015



Figura 2. Crecimiento urbanístico, industrial y comercial en la zona de estudio
Fuente: Modificado de Google Earth

Respecto al servicio de Alcantarillado, se pretendía una cobertura del 100% pero sólo en el área urbana, no se menciona el desarrollo de sistemas sépticos en el área rural o la ampliación del sistema de alcantarillado para las zonas de expansión de la ciudad (Alcaldía de Pereira, 2008).

En la figura 2 se pueden ver las zonas prioritarias para los procesos de urbanización en el año 2011, donde se debía dar cumplimiento del 100% del plan de desarrollo planteado desde el año 2008. En la imagen del 2011 se observa el comienzo de importantes proyectos como Portal del Campo Primera etapa (1), Mukava del Viento (2), SONESTA hotel (3) Bioparque UKUMARI (4), Centro Logístico Eje Cafetero Cerritos (5) y se iniciaba con la adecuación del terreno y los estudios para la construcción del conjunto residencial TANGARA (6) .

Estos proyectos evidencian la necesidad de albergar grandes cantidades de personas al ser focos de desarrollo para el turismo en la región, en especial UKUMARI Y SONESTA (Blandón et al, 2016) por ende, tener un adecuado sistema de prestación de servicios públicos, principalmente y en el marco del agua subterránea, abastecimiento de agua y disposición de aguas residuales a través de un sistema de alcantarillado.

A partir del año 2012 la ocupación del suelo en la ZEO cambió, siendo objeto de réplica de las dinámicas urbanas debido al acelerado crecimiento y aprovechamiento del suelo para el desarrollo de proyectos de vivienda; 1.542 ha fueron foco de desarrollo para proyectos de infraestructura, siendo vivienda el sector con mayor prioridad según el acuerdo 26 de 2006; para el primer semestre de 2011, 180 ha, habían sido licenciadas para el desarrollo de proyectos de infraestructura y 252 en su momento eran objeto de trámites administrativos para ser licenciadas, lo que representa una impermeabilización del 28% del área donde se encuentra el acuífero de La formación Pereira (Alcaldía de Pereira, 2012).

Para el año 2012 se reconocía la necesidad de sanear las corrientes hídricas (Otún y Consotá) receptoras de todos los vertimientos domésticos del área urbana donde se tenía una cobertura del 97% en el sistema de alcantarillado, debido a que el concepto de alcantarillado solo abarca la conducción de las aguas residuales a colectores y posteriormente su vertimiento a las corrientes hídricas (Decreto 302 de 2000). La ampliación de la cobertura del sistema de alcantarillado para el año 2012, aún no se había contemplado para la ZEO.

Para el año 2014 ya se había desarrollado en su totalidad el proyecto Portal del Campo en sus dos etapas, el 20% del Bioparque UKUMARI y SONESTA hotel, para este mismo año aún se encontraban en desarrollo del Conjunto Residencial Mukava del Viento y se había finalizado la construcción del Centro Logístico Eje cafetero Cerritos, además se iniciaban las obras de construcción del Conjunto Residencial TANGARA.

Para el año 2017 el sistema de alcantarillado aún no cubre la totalidad de la ZEO, por lo tanto el saneamiento se sigue realizando in situ y sólo en algunas partes, como es el caso de SONESTA hotel; el servicio de alcantarillado ha llegado pero la información de las cifras de cobertura no están disponibles en su totalidad, solo de manera parcial dentro del POT. En el anexo B se puede ver la cobertura del sistema de alcantarillado para la zona de estudio.

Como se ha mencionado hasta el momento, debido a los procesos de expansión urbana en la zona de estudio, se han modificado notablemente los usos del suelo. Entre los efectos de los procesos urbanizadores se tiene el establecimiento de nuevos usos, que anteriormente habían sido exclusivos del suelo urbano y se reduce el espacio para los usos rurales tradicionales cambiando la dinámica de la zona y su desarrollo en general. En la figura 3 se pueden apreciar los cambios en el uso del suelo, cabe destacar que las metodologías utilizadas para la clasificación de los tipos de uso del suelo son diferentes para los 3 años.

Se tiene entonces un modelo de ocupación que busca aprovechar la posición geográfica y las características físico-ambientales de Pereira, para consolidar su nivel competitivo, para esto se aprovechan los corredores viales y se generan unos nodos de desarrollo sobre los cuales se espera que la ciudad crezca, preferiblemente hacia el occidente (sector de Cerritos) (Giraldo et al, 2013).

El modelo de ocupación para la ZEO se encuentra en el patrón de dispersión urbana, ya que se presenta como un fenómeno de propagación discontinua de los usos residenciales, de comercio y servicio, sobre el suelo de expansión con características de una densidad media (Giraldo et al, 2013).

En términos generales, la expansión de la ciudad se ha realizado sin garantizar el acceso a todos los servicios básicos como el agua potable y el sistema de alcantarillado, esto ha incidido en el uso del agua subterránea como fuente de abastecimiento y en el saneamiento básico in situ como única alternativa para la mayoría de los actores. Además, pese a que en esta zona se recarga el acuífero, la expansión urbana en la zona se ha dado de forma acelerada favoreciendo la impermeabilización del suelo.

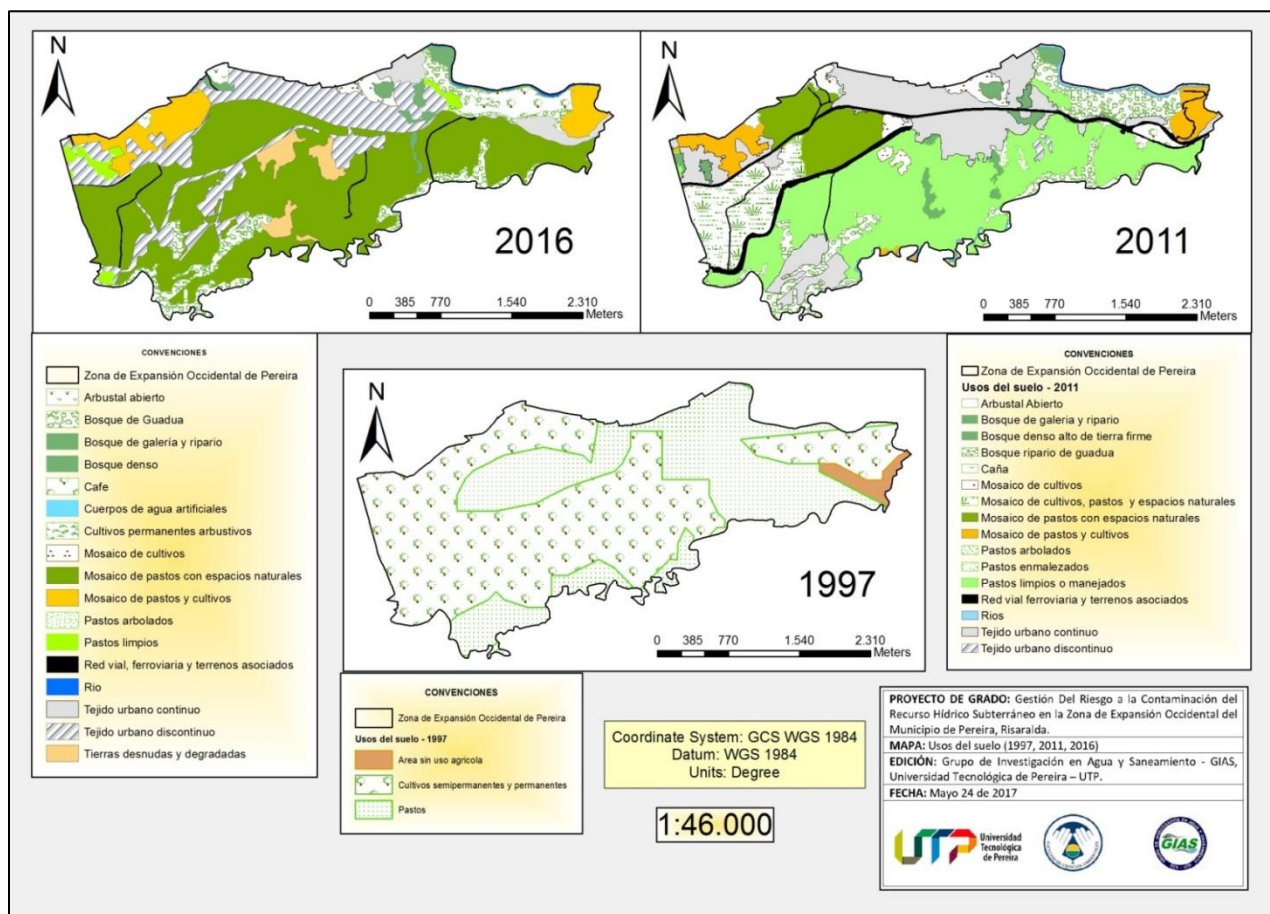


Figura 3. Cambios en los usos del suelo

Fuente: Realizado con base en los shapes de usos del suelo suministrados por la CARDER

10. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DEL RIESGO

10.1. Vulnerabilidad intrínseca del acuífero

La vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación es una propiedad intrínseca del medio que determina la sensibilidad a ser afectados negativamente por un contaminante externo (Foster, 1991). Su evaluación se realiza admitiendo que es un proceso dinámico (cambiante con la actividad realizada) e interactivo (cambiante en función de las medidas protectoras). Puede ser intrínseca (condicionada por las características hidrogeológicas del terreno) y específica (cuando se consideran factores externos como la climatología o el propio contaminante) (Martínez, Delgado, Fabregat, 1998).

10.1.1. Métodos para determinar la vulnerabilidad de los acuíferos

Para la determinación de la vulnerabilidad de acuíferos han sido creados varios métodos de evaluación que se agrupan en 4 modelos: modelos de simulación, métodos estadísticos, métodos de superposición e índices (o paramétricos) y ambientes hidrogeológicos. La selección y aplicación del modelo depende de la información existente, de la densidad de puntos de información y de la escala de evaluación (MAVDT, 2010).

Los métodos de superposición están basados en la combinación de diferentes parámetros y se utilizan para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca. Cada parámetro es puntuado cuantitativamente y se les pueden asignar distinto valor de ponderación para determinar el resultado final que es un índice numérico de vulnerabilidad (iV) (anexo C) (MAVDT, 2010); entre estos se encuentra el índice DRASTIC, uno de los métodos más usados (Martínez *et al*, 1998; Erazo y Thompson, 2013; Li y Merchant, 2013).

Para la presente investigación se aplicó el método DRASTIC por ser el más completo y presentar facilidad de integración de sus factores dentro de Sistemas de Información Geográfica –SIG– (Rahmna, 2008). La principal limitación encontrada es la información requerida, pero en este caso se cuenta con los datos necesarios para aplicar el método.

10.1.2. Vulnerabilidad intrínseca del acuífero mediante el método DRASTIC

El método DRASTIC considera siete variables (tabla 8) y se basa en la asignación de índices que van de 1 (mínima vulnerabilidad) a 10 (máxima vulnerabilidad).

Tabla 8. Variables consideradas en el acrónimo DRASTIC

Variable	Nombre	Descripción
D	depth (profundidad del nivel del agua)	Indica el espesor de la zona no saturada que es atravesado por las aguas de infiltración y que pueden traer consigo el contaminante, hasta alcanzar el acuífero. La vulnerabilidad disminuye a mayor profundidad del nivel freático. En su valoración pueden emplearse datos de puntos de agua, estudios hidrogeológicos y medidas de campo

Variable	Nombre	Descripción
R	recharge (recarga)	Es la cantidad de agua anual por unidad de superficie que contribuye a la alimentación del acuífero. La recarga resulta principalmente de la fracción de precipitación que no se evapotranspira y de la escorrentía superficial. Es el principal vehículo transportador de los contaminantes
A	aquífer (litología del acuífero)	Valora la litología que constituye el acuífero, considerándose que a mayor granulometría y fracturación, mayor permeabilidad y por tanto un grado de vulnerabilidad más elevado
S	soil (Tipo de suelo)	Representa la capacidad de los suelos para oponerse a la movilización de los contaminantes y corresponde a la parte de la zona vadosa o no saturada, que se caracteriza por la actividad biológica
T	topography (topografía, % de pendiente máxima)	Representa la pendiente de la superficie topográfica e influye en la evacuación de aguas con contaminantes por escorrentía superficial y sub-superficial
I	impact (naturaleza de la zona no saturada)	La zona no saturada influye en los procesos de atenuación en la trayectoria del agua hacia la zona saturada. Representa la capacidad del suelo para obstaculizar el transporte vertical. Si el acuífero es libre corresponde a la propia litología del acuífero
C	hydraulic conductivity (permeabilidad)	Determina la cantidad de agua que atraviesa el acuífero por unidad de tiempo y por unidad de sección, es decir la velocidad

Fuente: Modificado de Aller *et al*, 1987; Martínez *et al*, 1998; MAVDT, 2010; Albornoz *et al* 2015

Además de la valoración de 1 a 10 que se da a cada parámetro se pondera su influencia dentro de la evaluación de la vulnerabilidad mediante la asignación de unos pesos de 1 a 5, que variarán si el contaminante en cuestión es un pesticida, al ser éste menos volátil y más persistente. Ambos índices se multiplican y se suman los siete resultados para obtener una valoración final, según se indica en la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{DRASTIC} = & (D_r * D_w) + (R_r * R_w) + (A_r * A_w) + (S_r * S_w) + (T_r * T_w) + (I_r * I_w) \\
 & + (C_r * C_w)
 \end{aligned}$$

Dónde: r: indica factor de clasificación o valoración y w: indica factor de ponderación.

En la Tabla 9 se presentan los valores que adoptan los factores de clasificación y de ponderación para cada variable del DRASTIC, según el MAVDT (2010) y Miliarium, S.F, se resumen en los anexos D, E, F, G, H, I y J.

Tabla 9. Factor de ponderación del método DRASTIC

Tipo contaminante	Variable						
	D _w	R _w	A _w	S _w	T _w	I _w	C _w
Pesticida	5	4	3	5	3	4	2
No pesticida	5	4	3	2	1	5	3

Fuente: MAVDT (2010) y Miliarium, S.F

Por último, se obtiene una valoración final de la vulnerabilidad del acuífero, que oscilará entre 23 (mínima) y 230 (máxima), aunque en la práctica el índice varía entre 50 y 200. Si se considera contaminación por pesticidas podrá tomar valores comprendidos entre 26 y 260. En la tabla 10 se indica el grado de vulnerabilidad en función del valor obtenido por el método DRASTIC

Tabla 10. Grado de vulnerabilidad por método DRASTIC

VULNERABILIDAD GENERAL		VULNERABILIDAD A PESTICIDAS	
Grado vulnerabilidad	Valor DRASTIC	Grado vulnerabilidad	Valor DRASTIC
Muy bajo	23-64	Muy bajo	26-73
Bajo	65-105	Bajo	74-120
Moderado	106-146	Moderado	121-167
Alto	147-187	Alto	168-214
Muy alto	188-230	Muy alto	215-260

Fuente: MAVDT (2010)

10.1.2.1. Limitaciones del método DRASTIC

A pesar del amplio uso del DRASTIC, su eficacia no ha sido siempre exitosa; entre las principales limitaciones se encuentran (Martínez et al 1998; Foster et al, 2002; Auge 2004, MAVDT, 2010; Albornoz et al, 2015):

- Subjetividad al valorar los parámetros, por ello deben utilizarse criterios homogéneos.
- En muchas ocasiones las puntuaciones de los rangos de algunos factores necesitan ser modificadas para adaptarlo a las condiciones del área de estudio.
- Poca incidencia en la vulnerabilidad de la variable “S” tipo de suelo.
- Reiteración en el alcance de algunos parámetros como “R” recarga y “C” conductividad hidráulica, ambos vinculados a la renovación de agua en el acuífero.
- “R” es uno de los factores que agrega mayor incertidumbre, pues cuando no está disponible la información, debe ser deducida a partir de información secundaria. Además no se considera el efecto de dilución, sino que está definida para valorar la capacidad de infiltración, que es la misma característica considerada por el parámetro topografía.

10.1.3. DRASTIC modificado (DRATIC)

10.1.3.1. Reclasificación de “A” Litología del acuífero

La clasificación establecida por el DRASTIC para la variable “A” (litología del acuífero), no permite evaluar elementos representativos de la zona de estudio como las arcillas. Según Kabbour, Zouhri, Mania, Colbeaux, (2004), la infiltración del agua contaminada depende del contenido en limo y arcilla de los suelos, cuanto más rico en arcilla es el suelo, menos infiltración de contaminantes líquidos tendrá. Debido a lo anterior se realizó la reclasificación de la variable A, de manera tal que hubiese coherencia con la litología de la Zona de Expansión Occidental de Pereira.

10.1.3.2. Reclasificación de “I” Naturaleza de la zona no saturada

Se aplicó la misma reclasificación de “A”, teniendo en cuenta que para ambas variables se encontró la misma limitación y que la finalidad de su evaluación es determinar la cantidad de agua de percolación que alcanza la superficie freática (MAVDT, 2010); además cuando el acuífero es libre corresponde a la propia litología del acuífero (Martínez *et al*, 1998). Por otro lado, en las columnas litológicas consultadas, no se establece diferencias entre la zona saturada y la no saturada, por lo tanto se tomó “I” desde el nivel del suelo hasta el nivel freático, y “A” desde nivel freático hasta la profundidad de los PAS que se tuvieron en cuenta para la aplicación del método.

10.1.3.3. Eliminación de “S” Suelo

La información de la ZEO para la aplicación de esta variable es limitada, la cobertura disponible establece sólo la categorización Tqp (Dep_sitos vulcano-sedimentarios y glaciovolcánicos del Plio-Pleistoceno); es decir, se tendría una calificación homogénea para toda la zona, lo cual no contribuye de manera significativa en la determinación de la vulnerabilidad. Por otro lado, una de las modificaciones más comunes para el método es el cambio de la variable “Suelo” por “Usos del suelo”, lo cual se retoma para esta investigación pero no evaluado desde la vulnerabilidad del acuífero, sino desde el factor de amenaza antrópica. Con base en lo anterior, para este estudio se omitió esta variable y se asume que se encuentra incluida en la variable “I”.

10.1.3.4. Bases para la modificación del método DRASTIC

El fin de las variables modificadas (A, I, S), es evaluar la capacidad del medio poroso y/o fracturado para transmitir los contaminantes (MAVDT, 2010); con base en esto, la reclasificación (Tabla 11) se realizó teniendo en cuenta la escala granulométrica de Wentworth, el coeficiente de permeabilidad K y la reclasificación realizada por Kabbour et al (2004), basado en estudios de litopedología superficial y sondeos verticales geoelectricos.

La escala de Wentworth diferencia entre las variedades gruesas, de diámetro superior a 2 mm (gravas, conglomerados), las de grano intermedio (arenas y areniscas), de diámetro entre 2 y 64 mm, y las de grano fino, entre 64 y 4 mm (limos y limolitas) (UCLM, S.F). La Ley de Darcy ha sido aplicada para evaluar el paso de fluidos diferentes al agua, a través de materiales de diferentes granulometrías, incluidas limos, arcillas y gravas (Romaña, 2014). Esta ley es válida para todo suelo donde el flujo sea laminar: arenas finas a medias, arenas gruesas bien gradadas, arcillas y limos (Quezada 2006).

Tabla 11. Reclasificación del DRASTIC, variables “A” e “I”

<i>Escala de Wenworth</i>		<i>Ley de Darcy</i>		Valoración
Roca	Sedimento	K (cm²)	Permeabilidad	
Conglomerados	Bloques	0.001	Permeable	10
	Grava	0.0001	Permeable	9

<i>Escala de Wenworth</i>		<i>Ley de Darcy</i>		Valoración
Roca	Sedimento	K (cm²)	Permeabilidad	
	Cantos	10 ⁻⁵	Permeable	8
Areniscas	Gruesa	10 ⁻⁶	Permeable	7
	Media	10 ⁻⁷	Semi-permeable	6
	Fina	10 ⁻⁸	Semi-permeable	5
Limolitas	Grueso	10 ⁻⁹	Semi-permeable	4
	Medio	10 ⁻¹⁰	Semi-permeable	3
	Fino	10 ⁻¹¹	Poco Permeable	2
Arcillolitas	Arcillas con otros materiales	10 ⁻¹¹	Poco Permeable	2
	Arcillas	10 ⁻¹²	Poco Permeable	1

Fuente: Adaptado de Quezada (2006); Tucker (2009) y Romaña (2014)

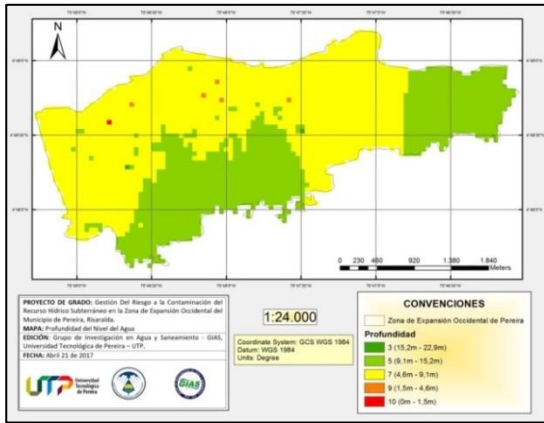
10.1.4. Proceso para la aplicación del DRASTIC modificado

El procedimiento para la implementación del método involucró:

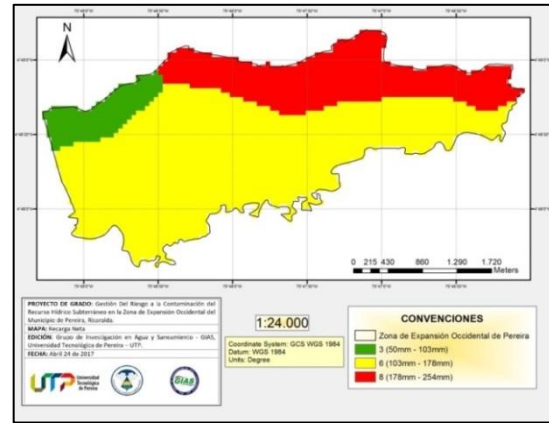
1. Recopilación de datos hidrogeológicos (fuentes secundarias). En el anexo K se especifican las fuentes de datos usadas para la obtención de la información.
2. Estandarización y digitalización de datos.
3. Creación de tablas que dan el rango de valores de los parámetros estudiados peso y calificación.
4. Creación de la capa raster utilizando el Sistema de Información Geográfico ArcGIS
5. Reclasificación con base en los valores de la metodología DRASTIC
6. Creación de mapas temáticos acorde a las ponderaciones del DRASTIC modificado (DRATIC)
7. Producción del mapa final de vulnerabilidad intrínseca, basado en cálculos de las diferentes capas mapeadas y el índice DRASTIC modificado (DRATIC)

10.1.5. Evaluación de la vulnerabilidad mediante el DRASTIC modificado (DRATIC)

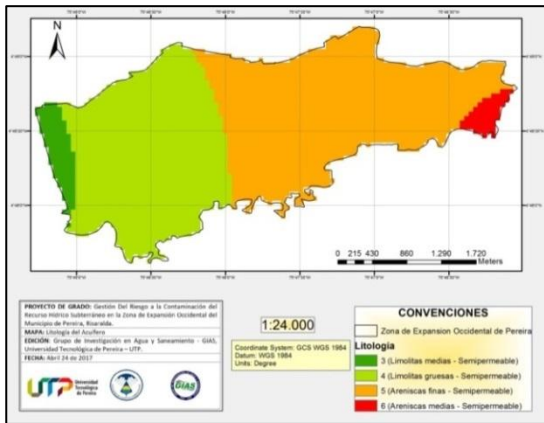
En la figura 4 se pueden apreciar los resultados de la evaluación de cada parámetro del DRATIC (Profundidad, recarga, litología del acuífero, topografía, naturaleza de la zona no saturada y conductividad hidráulica). La variable que más aportó a la vulnerabilidad del acuífero fue la topografía. La evaluación final de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero obtuvo una calificación total que varía entre 115 y 210 (Figura 5). Las áreas con vulnerabilidad moderada ocupan el 58.3% de la superficie total, principalmente en la parte sur oriental; la vulnerabilidad alta ocupa el 33.3% y se distribuye principalmente en la región oriental; la vulnerabilidad muy alta fue del 8.3% del área total, principalmente en la parte norte de la zona de estudio.



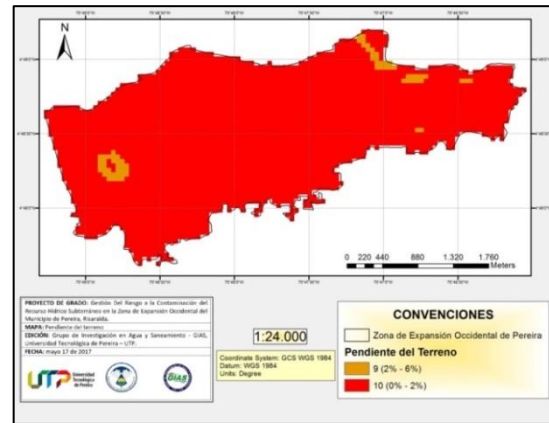
A. Profundidad



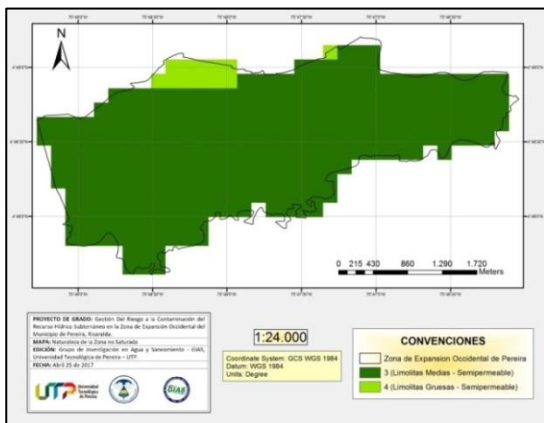
B. Recarga del acuífero



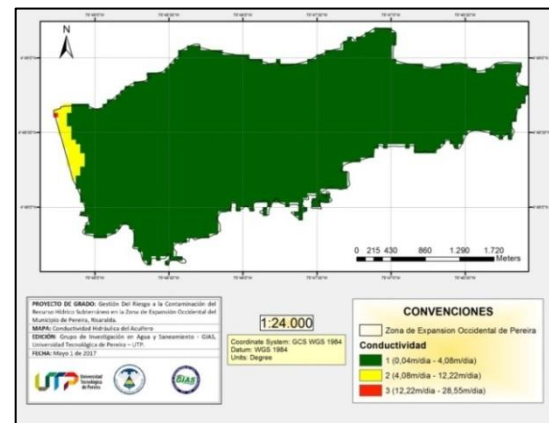
C. Litología del acuífero



D. Topografía



E. Naturaleza de la zona no saturada



F. Conductividad hidráulica

Figura 4. Evaluación de las variables del DRATIC
 Fuente: Elaboración propia con base en los shaps de CARDER (2007), POT Pereira (2016), GIAS (2017)

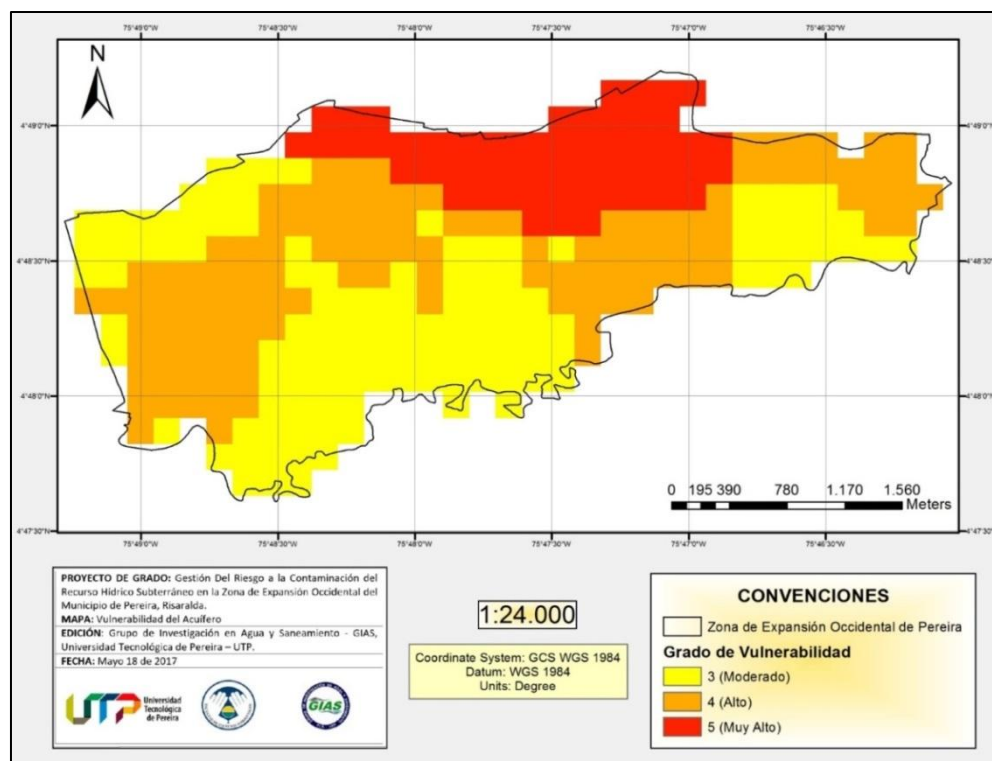


Figura 5. Vulnerabilidad del acuífero a partir del DRASTIC modificado (DRATIC)
Fuente: Propia

10.2. Amenazas antrópicas

Una gran cantidad de actividades antrópicas generan importantes cargas contaminantes, aunque generalmente sólo algunas son responsables de la mayoría de los casos importantes de contaminación del agua subterránea. La intensidad de la contaminación de un acuífero no es una función directa del tamaño de la actividad contaminante (Foster *et al*, 2002), sino que depende de otros factores como el tipo de actividad y tipo de sustancias involucradas.

Para esta investigación no se realizaron pruebas de calidad del agua subterránea debido a los costos que se requiere para ello, por lo tanto la identificación de las actividades potencialmente contaminantes se realizó con base en los principales mecanismos de contaminación para el agua subterránea (Tabla 12), los cuales se resumen en 6 criterios: manejo de los pozos y aljibes, manejo y disposición de residuos sólidos; contaminación por fuentes de agua superficial; manejo de hidrocarburos y sustancias tóxicas o peligrosas; manejo y disposición del agua residual; producción agrícola y usos del suelo.

Tabla 12. Matriz de selección de los actores clave

Mecanismos de contaminación	Criterios de selección
Focos de contaminación por lixiviado de residuos depositados en la superficie: residuos sólidos y acumulación de diferentes sustancias en la superficie	Zonas sin cobertura del sistema de recolección de residuos sólidos
	Puntos críticos de acumulación de residuos sólidos

Mecanismos de contaminación	Criterios de selección
	Escombreras
	Actores que manejen grandes cantidades de residuos sólidos
Focos de contaminación por extracción de agua subterránea en las proximidades de un río o canal, que recoja aguas de retorno de riego, aguas residuales urbanas o industriales, etc.	Pozos cercanos a fuentes de agua superficiales o canales de recolección de agua residual, a una distancia menor a 20 m
Focos de contaminación por aguas residuales domésticas o industriales: utilización de letrinas, pozos sépticos, campos de infiltración y en general, de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas o industriales.	Zonas por fuera del área de cobertura del sistema de saneamiento Actores que manejen grandes volúmenes de agua residual Disposición de aguas residuales directamente al terreno y sin tratamiento previo
PAS abandonados	Usuarios de PAS (Base de datos de la CARDER)
Focos de contaminación por derrame de hidrocarburos o sustancias químicas, potencialmente contaminantes para el agua subterránea	Sitios de almacenamiento, manipulación y venta de sustancias tóxicas y peligrosas. Redes de transporte de hidrocarburos (poliductos) Depósitos de combustibles

Otro componente de suma importancia transversal a todas las clasificaciones anteriores es el cultural, el cual para este caso se evaluará mediante:

- La percepción del agua subterránea por parte de los actores involucrados

Además de lo anterior, se retoman algunos parámetros de análisis del método Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically –POSH-, el cual permite una evaluación de las fuentes potenciales de contaminación en tres niveles: bajo, medio y alto; y la guía de determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas basada en datos existentes (Foster e Hirata, 1988). Con base en esto, se adicionan dos clasificaciones relevantes para la planificación de estrategias:

- De acuerdo a su distribución espacial (Foster et al, 1993)
- Sobre la base de su perspectiva histórica (Foster et al, 2002)

En el anexo L se muestran las actividades antrópicas potencialmente contaminantes más comunes, su categoría de distribución y los principales tipos de contaminantes asociados. En la figura 6 se pueden ver espacializados los 64 puntos visitados, de los cuales algunos están referenciados pero no se les realizó la entrevista debido a diferentes limitantes al momento de acceder a la información. En el anexo M se encuentra la información detallada de los puntos visitados.

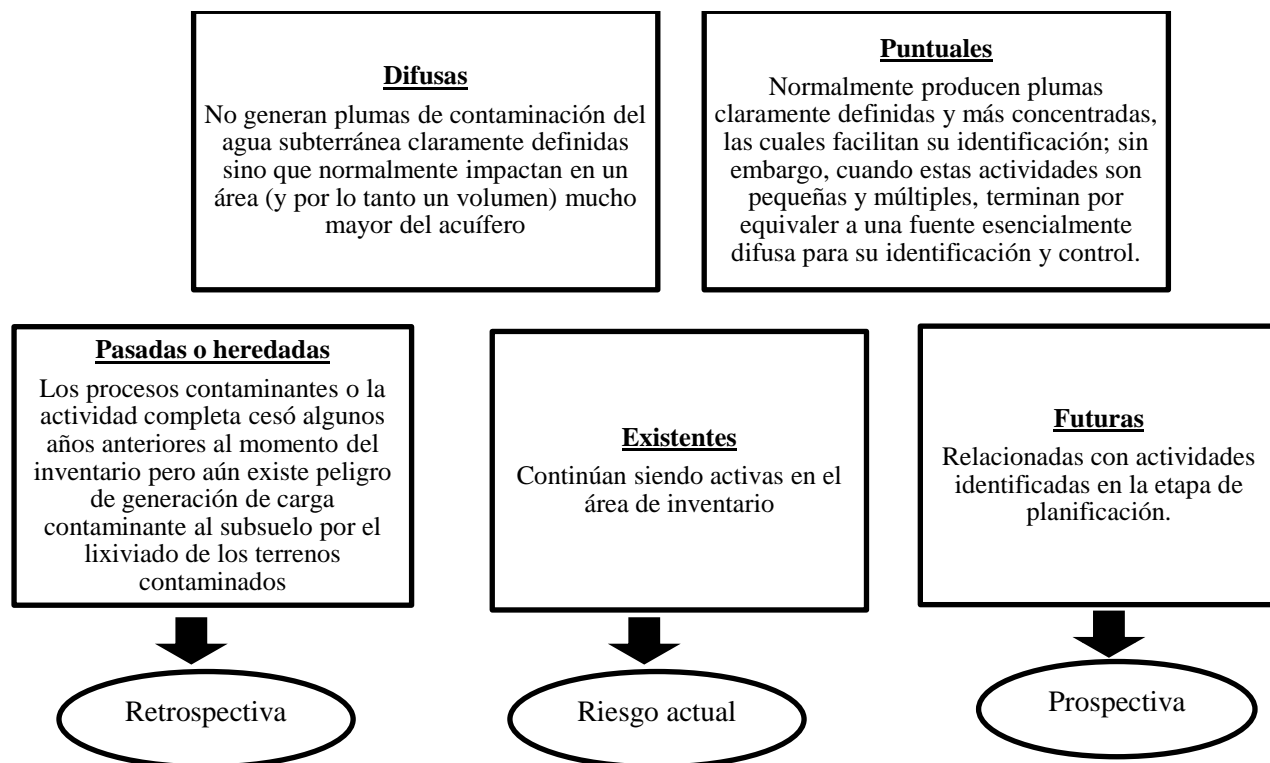


Figura 6. Clasificación de las amenazas de acuerdo a su distribución y perspectiva histórica

Fuente: Modificado de Foster *et al*, 2002

10.2.1. Recolección de la información

La información primaria se recolectó mediante observación simple y entrevistas semi-estructuradas realizadas a los actores que cumplieran con uno o varios criterios de selección (Figura 7) para lo cual se desarrolló un formato con base en el Formulario Único Nacional para el Inventario de Puntos de Agua Subterránea –FUNIAS– del IDEAM (Anexo N). Se seleccionaron 13 tipos de actores para las entrevistas (Anexo O), entre estos se encuentran las empresas prestadoras del servicio de aseo las cuales se seleccionaron como actores clave pero no fue posible acceder a la entrevista.

La información secundaria se recolectó mediante fichas bibliográficas a partir de las páginas oficiales de las empresas prestadoras de servicios públicos, publicaciones oficiales, el plan de manejo integrado de aguas subterráneas en Pereira, estudios realizados por el GIAS, entre otros documentos y trabajos de grado relacionados con el área de estudio.

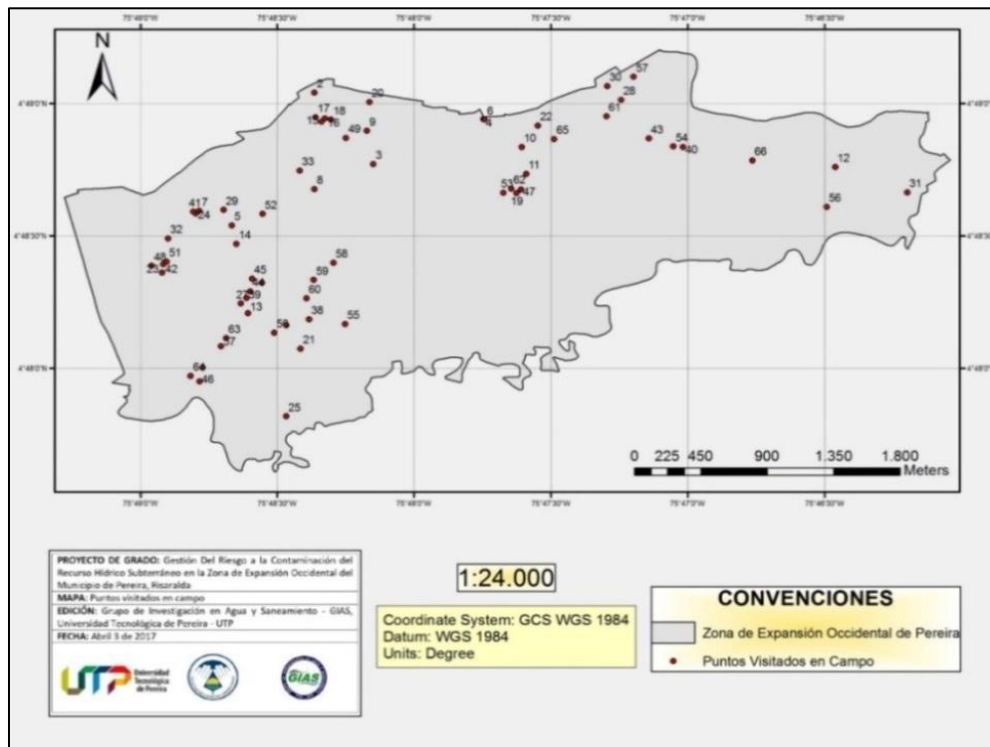


Figura 7. Puntos visitados

Fuente: Propia

10.2.2. Amenazas antrópicas pasadas o heredadas

En la información secundaria consultada, los registros de eventos potencialmente contaminantes durante los procesos de ocupación del territorio en la zona de estudio, son los relativos al manejo y disposición del agua residual e hidrocarburos. No se encontraron registros que indicaran focos de contaminación por antiguas escombreras o rellenos sanitarios.

El evento alusivo al manejo de hidrocarburos fue un derrame de ACPM que se presentó en el año 2007 en la Planta de Abastecimiento Terpel-Pereira ubicada a unos 600 m de la finca Villa Ángel, contaminando el acuífero y el nacimiento de agua (Paredes *et al*, 2014). No fue posible acceder al predio, pero según la persona entrevistada, para el año 2017 las condiciones organolépticas del aljibe de la finca indican que aún hay presencia del hidrocarburo.

10.2.3. Amenazas existentes

10.2.3.1. Manejo de los Puntos de Agua subterránea –PAS

En total se realizaron las entrevistas a 39 actores claves, de los cuales el 62% (24 actores) cuentan con PAS (26 aljibes y 4 pozos) (Tabla 13).

Tabla 13. Puntos de agua subterránea -PAS- evaluados

Tipo de actor	Aljibes Actualizados	Pozos Actualizados
Centros recreacionales	3	3
Restaurantes	1	-
Hoteles	2	-
Instituciones educativas	-	1
Industrias	2	-
Viveros	7	-
Estaciones de servicio	2	-
Empresas prestadoras del servicio de acueducto	-	-
Empresas prestadoras del servicio de aseo	-	-
Condominios y/o fincas	7	-
Planes parciales	-	-
Centros poblados	-	-
Otros	2	-
TOTAL	26	4

Fuente: Propia

Los PAS representan la única fuente de abastecimiento (Gráfico 1) para algunos actores, aunque en varios casos prefieren usar porrones de agua para la manipulación y preparación de alimentos debido a que desconfían de la calidad del recurso.

Entre los motivos de los PAS sin uso, (Gráfico 2) se encuentran: temor de la calidad del recurso, colapso del punto de extracción por derrumbes, costos de mantenimiento y desconocimiento acerca de lo que se debe hacer para reactivar el PAS. El uso agrícola es para riego de cultivos como la piña.

En total se actualizó la información de 26 aljibes y 4 pozos, de los cuales hay un gran porcentaje activos. En general el estado de los pozos presenta mejores condiciones pues no se encontró puntos abandonados (Gráficos 3 y 4).

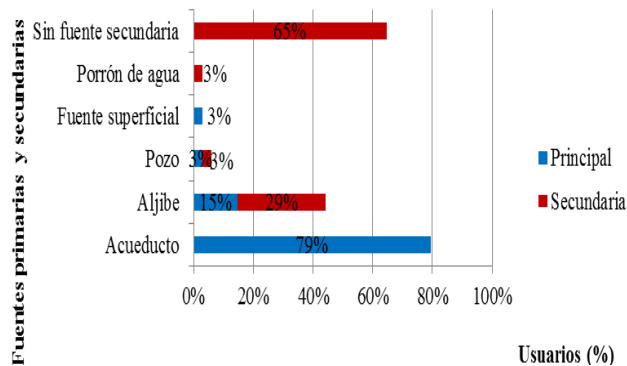


Gráfico 1. Fuentes de abastecimiento de agua

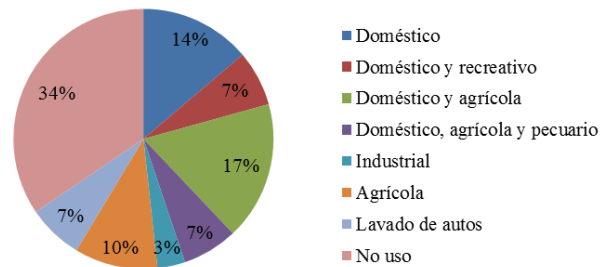


Gráfico 2. Usos del agua subterránea

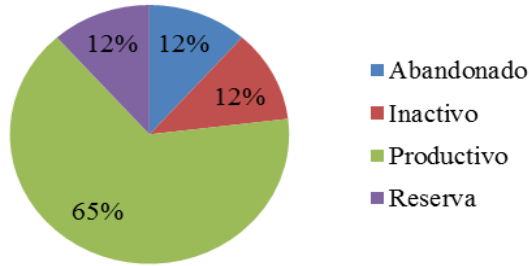


Gráfico 3. Estado actual de los aljibes

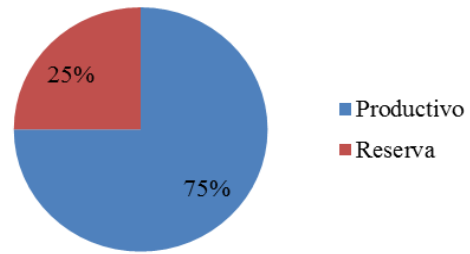


Gráfico 4. Estado actual de los pozos

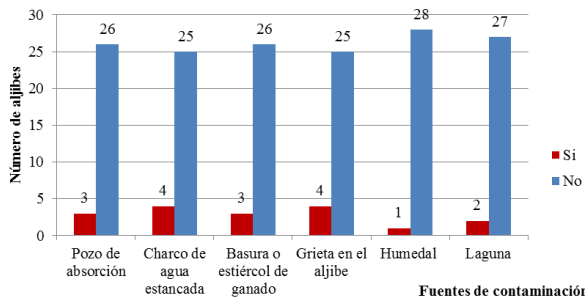


Gráfico 5. Condiciones sanitarias de la captación

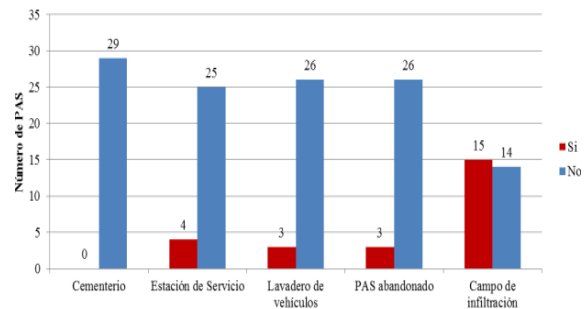


Gráfico 6. Fuentes puntuales de contaminación para los PAS

Fuente: Propia

En cuanto a la legalización del punto de captación, la mayoría de los actores entrevistados desconocen los temas relacionados con el otorgamiento y renovación de la concesión del agua subterránea. Respecto a las condiciones sanitarias de los puntos de captación, se encontraron focos de contaminación como pozos de absorción o charcos de agua estancada (Gráfico 5). Por otro lado, en cuanto a las fuentes puntuales de contaminación (Gráfico 6), se identificaron campos de infiltración con saturación y PAS abandonados a menos de 3 m de otros aljibes.

Respecto a las condiciones de protección y seguridad de los PAS, se identificaron puntos que no cumplen con cubierta adecuada debido a presencia de grietas o materiales inadecuados (Gráfico 7).

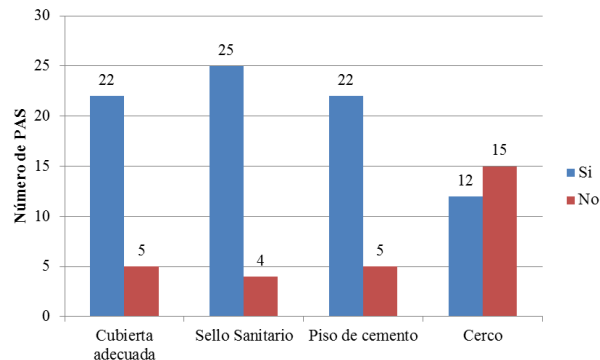


Gráfico 7. Condiciones de protección de los PAS

Fuente: Propia

Aljibes como los del Hogar del Anciano y de la E.D.S Santa Bárbara se encuentran al interior de las instalaciones. En algunos casos los aljibes se encuentran inactivos pero no se les ha realizado el adecuado sellamiento. Respecto a las características organolépticas del agua subterránea (aparición, olor y color), de los 29 puntos visitados, 5 presentan condiciones desfavorables.

También se encontró presencia de animales como cucarachas en aljibes activos para consumo humano. Otra característica presente en 4 PAS fue la presencia de hierro disuelto, esto “es común en aguas subterráneas porque el oxígeno disuelto es típicamente bajo y cuando el agua con hierro disuelto es traída a la superficie, el hierro reacciona con el oxígeno y es convertido en visibles partículas de herrumbre rojo” (Sigler y Bauder, SF).

En cuanto a los sistemas de tratamiento del agua subterránea se encontró que se realiza de manera artesanal para la presencia de hierro mediante pastillas de piedra de alumbre y pocos actores lo hacen mediante bandejas de aireación y carbón activado; sólo el Parque Consotá tiene planta para potabilización del agua pero para consumo humano directo utiliza porrones de agua debido a que no se percibe el recurso subterráneo como una fuente de abastecimiento segura. En el registro fotográfico 1 se encuentran imágenes relacionadas con el manejo de los PAS en la ZEO.



A. Acumulación de aguas lluvias y lixiviados



B. Pozo de absorción a 30 m de un aljibe



C. Tubo de aireación sin protección



D. Aljibe con grietas



E. Aljibe con animales al interior



F. Aljibe sin cubierta



G. Pozo activo para consumo humano



H. Aljibe con cubierta inadecuada



I. Aljibe inactivo por colapso del terreno



J. Planta de tratamiento de agua subterránea



K. Pozo con cerco



Aljibe en medio de cultivo de piña

Registro fotográfico 1. Manejo de los PAS en la ZEO

Fuente: Propia

10.2.3.2. Manejo de los residuos sólidos

Se identificaron 4 fuentes generadoras de residuos sólidos (Gráfico 8), las cuales generan Residuos Sólidos Peligrosos –RESPEL-. El servicio de aseo es prestado en toda la zona de estudio por la empresa ATESA de Occidente; para el manejo de RESPEL los usuarios contratan a empresas como EMDEPSA. S.A y Juanchito S.A (Gráficos 9 y 10). No se identificaron escombreras o puntos críticos de acumulación de residuos.

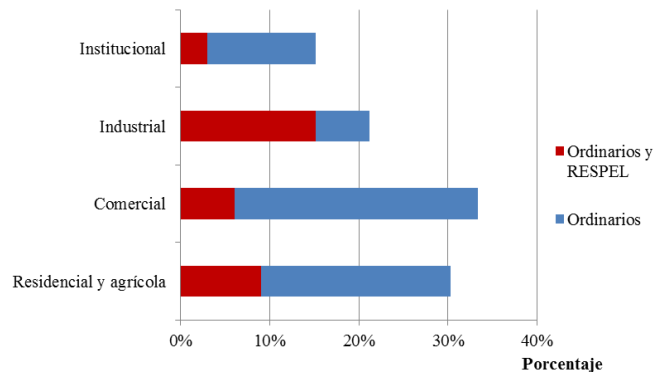


Gráfico 8. Clasificación por fuente generadora y tipo de residuo sólido

Fuente: Propia

En el sector industrial, se generan pinturas, químicos para fumigación de madera, aceites, y grasas; la fuente comercial, conformada para este caso por Ukumarí y el Parque Consotá, genera RESPEL asociados a los procedimientos veterinarios. El sector agrícola es el segundo más representativo, principalmente por los agroquímicos utilizados para los diferentes cultivos de la zona. En las visitas realizadas no se identificaron puntos de almacenamiento de RESPEL directamente sobre el suelo.

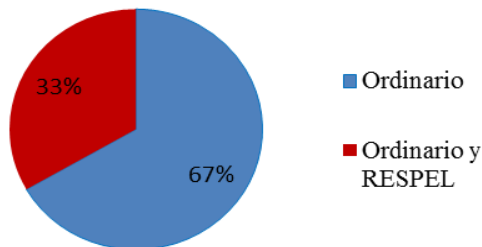


Gráfico 9. Tipo de residuo sólido

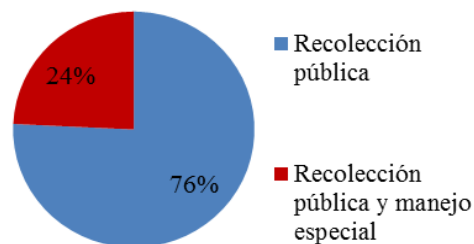


Gráfico 10. Tipo de recolección

Fuente: Propia

10.2.3.3. Fuentes de agua superficial

Las fuentes de aguas superficiales contaminadas (permanentes o intermitentes) que atraviesan el área en donde se hace la evaluación del peligro de contaminación del agua presentan un peligro considerable de contaminación del agua subterránea subyacente y generan una significativa carga contaminante al subsuelo (Foster et al, 2002).

En la zona de estudio se identificaron 8 vertimientos de agua residual doméstica sobre fuentes de agua superficial. La caracterización del estado actual de las fuentes superficiales y su interacción con el acuífero sobrepasa los alcances de esta investigación, pero se retoma lo expuesto por Foster *et al* (2002) para el cual los principales tipos de contaminantes en ríos son: compuestos de nutrientes, carga orgánica general, patógenos fecales, y micro-organismos tóxicos.

10.2.3.4. Manejo de hidrocarburos y sustancias tóxicas o peligrosas

Según Foster (2002), las actividades en las cuales se manipulan sustancias tóxicas peligrosas como benceno, cloro bencenos, tricloroetileno, tetracloroetileno e hidrocarburos aromáticos, entre otros contaminantes, pueden afectar la calidad del recurso hídrico subterráneo porque existe la posibilidad de que dichas sustancias sean manejadas inadecuadamente.

Actores como las Estaciones de Servicio –E.D.S- manipulan grandes volúmenes de hidrocarburos almacenados en tanques subterráneos que no permiten una inspección visual de fugas. Según Foster et al (2002) la principal fuente de contaminación se debe a la corrosión de

los tanques y existe una fuerte correlación entre la incidencia y tamaño de las fugas y la edad de los tanques instalados. Además, las tuberías entre los tanques y los sistemas de distribución se pueden romper debido al tráfico de vehículos pesados o a una pobre calidad de la instalación.

Generalmente las E.D.S miden los niveles de combustibles al comienzo y final de cada jornada de trabajo, normalmente a través de sistemas eléctricos de medición de nivel las cuales se comparan con los volúmenes vendidos registrados en los medidores de flujo. Sin embargo, tales mediciones no reflejan necesariamente una idea clara de las fugas subsuperficiales desde los tanques porque puede suceder que pérdidas pequeñas no sean detectadas, causando de esta forma plumas de contaminación del agua subterránea (Foster *et al*, 2002).

CARDER mediante la resolución 377 de 2005, exige a las E.D.S y otras actividades potencialmente contaminantes de las aguas subterráneas, construir pozos de monitoreo de la calidad del agua con un protocolo definido para detectar a tiempo posibles fugas o escapes de sustancias contaminantes (CARDER, 2007). Las E.D.S visitadas cuentan con pozos de monitoreo de fugas de combustible, para los cuales utilizan salmuera, pero no realizan estudios de monitoreo en el acuífero. En algunas E.D.S se realizan actividades adicionales como mantenimiento de vehículos sobre suelo sin impermeabilizar.

Otro aspecto a considerar es el transporte de sustancias peligrosas ya que pueden presentarse accidentes, los cuales causan una importante carga contaminante al subsuelo. Se identificó el Poliducto ODECA Salgar-Cartago “ubicado en el kilómetro siete (7) de la vía Pereira – Cerritos, vereda Belmonte, con una extensión en el área de estudio de 1.163,44 ha” (Secretaría de Planeación, 2016).



A. Pozos de monitoreo de fugas de combustible en E.D.S



B. Zona de mantenimiento y parqueadero de camiones, en E.D.S

Registro Fotográfico 2 Manejo de hidrocarburos y sustancias peligrosas en E.D.S

Fuente: Propia

Además de las E.D.S y el poliducto se identificaron sitios de almacenamiento de sustancias tóxicas o peligrosas como las industrias FAPRER, Muebles Castaño y Muebles Ático. No se conoce el funcionamiento del total de las empresas relacionadas con el manejo de hidrocarburos, pero las que permitieron el acceso a la información cuentan con sistemas de tratamiento de agua

residual –STAR-. En el registro fotográfico 2 se encuentran imágenes relacionadas con el manejo de hidrocarburos y sustancias peligrosas en la ZEO.

10.2.3.5. Manejo y disposición del agua residual

La empresa Aguas y Aguas de Pereira presta el servicio de alcantarillado pero no cubre toda la zona, sólo el 24% de los actores entrevistados puede acceder a dicho servicio (Gráfico 11); por lo tanto la mayor parte del tratamiento se realiza in situ y algunos vertimientos son dispuestos al suelo sin previo tratamiento. Foster e Hirata (1991) consideran que la principal preocupación es la carga contaminante al subsuelo asociada con saneamiento sin alcantarillado, como fosas, tanques sépticos y letrinas, en áreas residenciales con una conexión del alcantarillado incompleta o nula. Otro aspecto a considerar es que en algunos casos no se conoce la ubicación del pozo séptico o no se conoce su estado actual, por lo tanto puede ser un foco contaminante debido a la falta de mantenimiento.

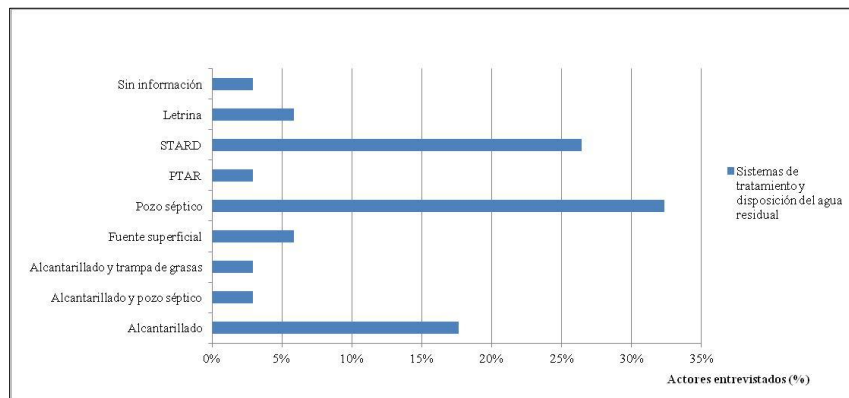


Gráfico 11. Manejo del agua residual en la zona de estudio

Fuente: Propia

Actores como el bioparque Ukumarí, el Parque Consotá y el hotel Sonesta producen grandes cantidades de agua residual debido a las actividades y cantidad de personas que manejan, pero sus sistemas de tratamiento están acorde a su actividad; según Foster *et al* (2002) las industrias más grandes y sofisticadas generalmente ejercen un mayor control y monitoreo en la manipulación y disposición de sustancias químicas y efluentes para evitar los problemas fuera de las instalaciones debido a la inadecuada disposición de los efluentes o derrames accidentales de químicos.

Para los planes parciales aprobados en la zona de estudio, actualmente se tienen soluciones temporales de tratamiento, cuyos efluentes deben garantizar remociones superiores al 95%. Durante el periodo 2000-2013 se aprobaron en la zona de Expansión Occidental de Cerritos, zona de drenajes del río Consotá 16 planes parciales, con igual número de soluciones de tratamiento de agua residuales, como se puede apreciar en la figura 8. Los sistemas de tratamiento deben entrar a ser operados por Aguas y Aguas de Pereira como responsable del Plan

de Saneamiento y Manejo de Vertimientos presentado a la Corporación Autónoma Regional de Risaralda -CARDER, situación que puede generar dificultades ante la variedad de tecnologías que posiblemente se implementen (Secretaría de Planeación, 2016).

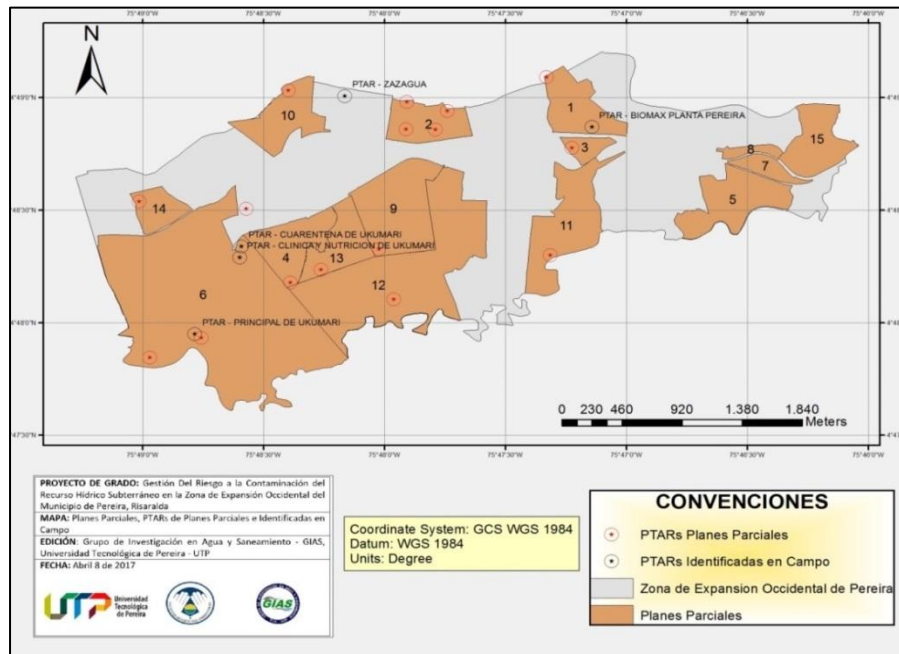


Figura 8. Planes parciales en la zona de estudio y los sistemas de tratamiento proyectados
Fuente: POT, 2016

La empresa de Aguas y Aguas de Pereira determinó que una solución única de tratamiento para la ZEO viable técnica, económica y ambientalmente consiste en un sistema de bombeo al portal del túnel Consotá-Otún, por lo tanto los vertimientos de aguas residuales de los distintos planes parciales se deben integrar a dicha solución y el territorio por planificar, deberá formular su solución de tratamiento en esa dirección. La construcción del túnel tiene como fecha de inicio junio del 2016 y finalización en diciembre del 2018 (Secretaría de Planeación, 2016) y los recursos económicos destinados para las PTAR's debe ser destinado para dicho túnel

Con relación a la zona de expansión que drena al río Otún, el Plan de Saneamiento y Manejo de vertimientos para el horizonte del Plan de Ordenamiento Territorial, la solución es ejecutable en un horizonte superior; debido a que posee un área limitada espacialmente y no presenta el número de usuarios que la cofinancien. En relación a la ZEO que drena a la cuenca del río Cauca según sectorización hidrográfica, cualquier solución de saneamiento deberá articularse al sistema definido por Aguas y Aguas para la vertiente del río Otún (Secretaría de Planeación, 2016).

En la figura 9 se muestra las proyecciones del el servicio de alcantarillado en la zona de estudio, durante el periodo de vigencia del Plan de Ordenamiento Territorial –POT-, acuerdo 035 de 2016. Aunque en el POT se plantean alternativas para el mejoramiento del servicio de alcantarillado para la zona de estudio y las proyecciones de la empresa prestadora del servicio

son amplias, no se alcanzaría a cubrir la totalidad del territorio por lo tanto los sistemas de tratamiento de agua residual individuales es y será un aspecto relevante a la hora de considerar las fuentes de contaminación por manejo de vertimientos.

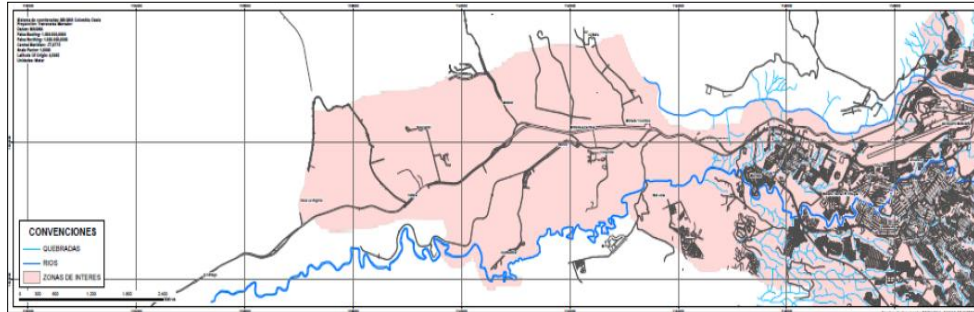


Figura 9. Zonas de interés Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira
Fuente: Aguas y Aguas de Pereira, en: POT Acuerdo 035 de 2016

La información respecto al modo actual de disposición del agua residual para algunos actores es limitada debido a que las entrevistas para las empresas que prestan este servicio no se pudieron realizar; en algunos sectores el servicio es prestado por dicha empresa pero no se conoce la disposición final de estas aguas. Durante los recorridos en campo se identificó una laguna de oxidación en el sector sur occidental la cual fue clausurada pero no se conocen los motivos del sellamiento. En el registro fotográfico 3 se encuentran imágenes relacionadas con el manejo de agua residual doméstica e industrial en la ZEO.



A. Letrina



B. Lechos de secado, Ukumarí



C. Humedal, Ukumarí



D. PTAR, Parque Consotá



E. Lecho de secado de lodos, Parque Consotá



F. STAR, Hotel Sazagua



G. STAR, Restaurantes
sector Galicia



H. Laguna de oxidación



I. STAR Colectivo, Liceo
Merani

Registro fotográfico 3. Manejo de vertimientos en la ZEO

Fuente: Propia

10.2.3.6. Producción agrícola y usos del suelo

Las actividades agrícolas tienen gran influencia en la calidad del agua de recarga del acuífero (Foster, Chilton, y Stuart, 1991). Algunas prácticas agrícolas causan una seria contaminación difusa, principalmente por nitratos y a veces por ciertos pesticidas. Los otros nutrientes importantes de las plantas como el potasio y el fosfato tienden a ser retenidos fuertemente en el suelo y no son lixiviados con facilidad al acuífero (Foster *et al*, 2002).

Generalmente existe alguna correlación entre la cantidad de agroquímicos aplicados y su tasa de lixiviación del suelo al agua subterránea, pero sólo una proporción es lixiviada ya que esta resulta de una compleja interacción entre: tipo de cultivo, propiedades del suelo, régimen de lluvias y de riego, manejo del suelo y aplicaciones de agroquímicos. Más del 75% del nitrógeno total aplicado puede ser oxidado y lixiviado al agua subterránea; en cuanto a pesticidas, las pérdidas por lixiviación normalmente son menores al 1% (Foster *et al*, 2002).

Entre los cultivos que más carga contaminante aportan al agua subterránea se encuentran los monocultivos en áreas extensas. Los cultivos con rotación y manejos más tradicionales, las extensas áreas de pastoreo y los sistemas de granjas ecológicas, normalmente presentan menos probabilidad de carga contaminante al subsuelo. Los cultivos perennes tienen pérdidas por lixiviación mucho menores que las prácticas de cultivos estacionales, debido a que existe menos alteración y aireación del suelo (Foster *et al*, 2002).

El uso del suelo más representativo en la ZEO es el mosaico de pastos con espacios naturales (50.9%), seguido por el tejido urbano discontinuo (18.5%), bosque de guadua (8.67%) y mosaico de pastos y cultivos (6.6%). No se cuenta con información detallada acerca de la producción agrícola desarrollada en la zona pero en los recorridos en campo se identificaron cultivos como la piña, café, cítricos y caña de azúcar; aunque no se identificaron monocultivos, sino que los cultivos se encuentran en pequeñas parcelas.

10.2.3.7. Componente cultural

La percepción del agua subterránea que tienen los actores de la zona la cual es fundamental para el proceso de investigación pues en la medida en que los actores desconozcan la importancia del tema y no se apropien de los procesos relacionados con la gestión del recurso hídrico subterráneo, pueden causar impactos negativos, convirtiéndose en una amenaza potencial de contaminación para el acuífero.

El 61% de los actores entrevistados desconoce el tema de agua subterránea, aun cuando el 21% de dichos actores hace uso de este recurso (Gráfico 12), entre las respuestas se encuentran: “Sólo sé que sale agua del aljibe” “Uso el aljibe pero no sé de dónde proviene el agua” “Nunca había escuchado que en la zona hay agua subterránea”. Algunos actores como el sector educativo aunque no incorporan el tema de agua subterránea en sus clases.

Por otro lado, el 33% de los actores entrevistados reconocen fuentes de contaminación para el agua subterránea como E.D.S, pozos para transporte de combustible, fumigación con agroquímicos, charcos de agua provenientes de campos de infiltración saturados y antiguas lagunas. Respecto al reconocimiento de la importancia del agua subterránea, el 73% identifica el recurso como aspecto clave, entre los motivos se encuentran el desabastecimiento de agua asociado a la variabilidad climática y el difícil acceso al servicio de acueducto en algunos sectores; sin embargo, el 70% considera que el recurso no es confiable para consumo humano.

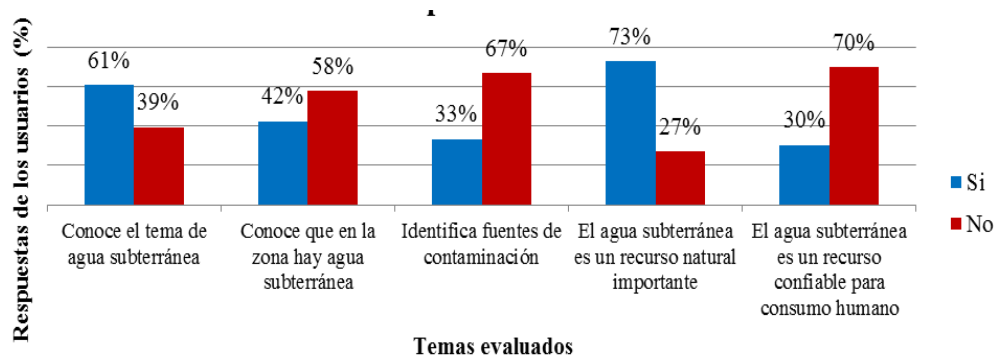


Gráfico 12. Percepción del agua subterránea por parte de los actores entrevistados
Fuente: Propia

10.2.4. Evaluación de las amenazas antrópicas existentes

10.2.4.1. Proceso de evaluación

La evaluación se realizó para cada componente: manejo de PAS (Tabla 13), residuos sólidos (Tablas 14 y 15), fuentes de agua superficial (Tabla 16), hidrocarburos y sustancias tóxicas (Tabla 17), agua residual (Tabla 18) y producción agrícola (Tabla 19).

Para los residuos sólidos la evaluación se realizó de dos maneras, la primera enfocada a la valoración del manejo de dichos residuos por parte de los actores entrevistados, por lo tanto se remite sólo a la información primaria; la segunda se realizó de manera más general con base en información secundaria debido a que no fue posible realizar las entrevistas a los funcionarios encargados del área ambiental de las empresas prestadoras del servicio de aseo, por lo tanto se consultó la información en las páginas web oficiales Atesa de Occidente y la Empresa de Aseo de Pereira. La información secundaria se contrastó durante las salidas de campo, en las cuales se evaluó la existencia de puntos de acumulación de residuos sólidos o escombreras sin autorización.

En cuanto a las industrias y/o establecimientos que manipulan sustancias tóxicas, por cuestiones de confidencialidad empresarial no suministraron la información detallada de clase y cantidad de sustancias utilizadas o manipuladas en su actividad, por lo tanto se consideran como amenaza puntual con un alto grado de potencial de contaminación para el agua subterránea. En el anexo P se detallan los contaminantes asociados a talleres mecánicos, lavanderías, tintorerías, entre otras.

Igualmente, las E.D.S visitadas no suministraron la información exacta de los criterios de diseño y las pruebas del mantenimiento periódico, por lo tanto se clasificaron de acuerdo a las recomendaciones de Foster et al (2002) como fuentes de carga contaminante moderada, pero existe peligro adicional en las E.D.S que se combinan con talleres mecánicos porque utilizan grandes cantidades de solventes orgánicos sintéticos y lubricantes hidrocarbonados, los cuales sin los controles necesarios, podrían ser descargados en el suelo, por lo tanto, a pesar de ser consideradas de antemano con un grado de amenaza media, adicionalmente se realizó una evaluación más detallada para conocer la intensificación que puede presentar dicha amenaza.

Además, la ruta de transporte de hidrocarburos (poliducto) en general representa una amenaza alta debido a las posibilidades de que ocurra un accidente, sin embargo se identificaron los PAS y las fuentes de agua superficial a una radio ≤ 300 m porque en caso de presentarse un derrame la posibilidad de contaminación del acuífero aumenta.

Por otro lado, para los usos del suelo se evaluó sólo la producción agrícola, asumiendo que en general se utilizan agroquímicos para todos los cultivos y que los demás usos del suelo como arbustal abierto, bosque de guadua, bosque de galería y ripario, y bosque denso, no representan

amenazas en cuanto al uso de agroquímicos. Los usos del suelo asociados a desarrollo urbano como red vial, ferroviaria y terrenos asociados; tejido urbano continuo y discontinuo; tampoco se evaluaron porque se hizo de una manera más detallada en los otros ítems. El uso de tierras desnudas y degradadas se considera como aporte a la vulnerabilidad, por lo tanto en amenazas no se evaluó.

La evaluación de la producción constó de 3 etapas; en la primera se realizó un análisis de los parámetros de clasificación establecidos para las coberturas de la zona de estudio con base en la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000 (IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA; 2008) con el fin de determinar las actividades y cultivos asociados a cada uso del suelo. En la segunda etapa se seleccionaron los cultivos más representativos (11) de la zona de estudio para los cuales se determinó el tipo de agroquímico, dosis recomendadas, formas de aplicación, y categoría toxicológica (información para Latinoamérica) a partir de las técnicas de análisis documental y consulta a expertos (anexo Q). Finalmente, en la etapa 3 se realizó la calificación de las coberturas con base en los cultivos y agroquímicos asociados.

Por último, cabe mencionar que para el componente cultural no se realizó una calificación como en los anteriores, pero se evaluó debido a que fue uno de los pilares para el desarrollo del capítulo III en la determinación del rol de los actores sociales en el riesgo de contaminación del acuífero y la planificación de estrategias de gestión ambiental.

Tabla 14. Evaluación de los PAS

Aspecto evaluado	Peso asignado
<i>1. Estado del PAS</i>	<i>Si</i>
Productivo	0.3
Reserva	0.3
Abandonado	1
Inactivo	0.7
Sellado	0
Monitoreo	0.1
<i>Subtotal 1*</i>	<i>1</i>
<i>2. Fuentes dispersas de contaminación a un radio aproximado de 20 m</i>	<i>Si</i>
Letrina	1
Charco de agua estancada	0.5
Basura, criaderos o estiércol de ganado a su alrededor	0.4
Borde o grieta que permita el ingreso de agua superficial	0.4
<i>Subtotal 2</i>	<i>2.3</i>
<i>3. Condición del punto</i>	<i>No</i>
Cubierta adecuada	1
Sello sanitario	0.4
Piso de cemento alrededor del PAS	0.4
Cerco adecuado alrededor del PAS	0.2
<i>Subtotal 3</i>	<i>2</i>
<i>4. Fuentes puntuales de contaminación</i>	<i>Si</i>
Estación de servicio	1

Aspecto evaluado	Peso asignado
Lavadero de carros y motos	0.5
Pozo abandonado	1
Campo de infiltración	0.7
Subtotal 4	3.2
5. Características del agua subterránea	Si
Apariencia (turbia)	0.5
Olor (fétida)	0.5
Color (amarillo, café, gris, verde, otro)	0.5
Presencia de animales	0.5
Presencia de residuos sólidos	0.5
Subtotal 5	2.5
Total (suma subtotales)	11

Fuente: Propia

*Para el subtotal 1 no se realiza la suma de todos los aspectos debido a que el PAS sólo puede presentar una de las características, por lo tanto el valor máximo que podría obtener es 1.

Tabla 15. Evaluación del manejo de los residuos sólidos - información primaria

Aspecto evaluado	Peso asignado
1. Origen del Residuo Sólido	
Doméstico	0.2
Industrial*	
<i>Industrial tipo 1</i>	0.3
<i>Industrial tipo 2</i>	0.6
<i>Industrial tipo 3</i>	1
Agrícola	0.7
Ganadero	0.3
Hospitalario	1
Subtotal 1**	3.2
2. Disposición del Residuo Sólido	
Recolección pública	0
Incineración	0.3
Botadero a cielo abierto	0.7
Residuos especiales	1
Compostaje	0.5
Reciclaje	0
Subtotal 2	2.5
3. Tipo de residuo	
Ordinario	0.3
Respel	1
Subtotal 3	1.3
4. Tipo de actor***	
Pequeño	0.2
Mediano	0.5
Grande	1
Subtotal 4	1
Total (Suma de subtotales 1, 2 y 3)	8

Fuente: Propia

*El peso asignado para las industrias se reclasificó de acuerdo al método POSH en tipo 1, 2 y 3. ** El subtotal 1 incluye sólo la suma de la industria tipo 3 por ser la de mayor peso, teniendo en cuenta que un actor no pueden pertenecer a varios tipos de industrias. *** El subtotal 4 incluye sólo la suma del tipo de actor grande, teniendo en cuenta que se pueden clasificar en un solo tipo.

Tabla 16. Evaluación del manejo de los residuos sólidos - información secundaria

Aspecto evaluado	Peso asignado
1. Zonas sin cobertura del sistema de recolección de basuras	
Industrias	1
Fincas y/o condominios	0.6
Vivienda unifamiliar	0.4
Subtotal 1*	1
2. Puntos críticos de acumulación de residuos sólidos	
PAS a un radio < 50 m	0.7
Suelo sin impermeabilizar	1
Subtotal 2	1.7
3. Escombreras	
PAS a un radio < 50 m	0.5
Suelo sin impermeabilizar	0.8
Subtotal 3	1.3
Total (Suma de subtotales 1, 2 y 3)	4

Fuente: Propia

*El subtotal 1 no se asume como sumatoria debido a que el aspectos evaluado sólo se puede clasificar en un ítem, por lo tanto se toma el de mayor peso.

Tabla 17. Evaluación de los cuerpos de agua superficial

Aspecto evaluado	Peso Asignado
1. Vertimientos de agua residual	
¿La fuente de agua recibe vertimientos de agua residual?	1
Subtotal 1	1
2. Zona de influencia	
PAS a un radio ≤ 100 m	1
Industrias que manipulen sustancias peligrosas a un radio ≤ 50 m	1
Subtotal 2	2
Total (Suma de subtotales 1 y 2)	3

Fuente: Propia

Tabla 18. Evaluación de las E.D.S

Aspecto evaluado	Peso asignado
1. Monitoreo	
¿Tiene pozo de monitoreo?	1
¿Realiza monitoreo de la calidad del agua subterránea en su área de influencia?	0.7
¿Incluye el recurso hídrico subterráneo en su plan de gestión del riesgo?	0.7
Subtotal 1	2.4
2. PAS	
¿Se abastece de agua subterránea?	0.8
Subtotal 2	0.8
3. Zona de influencia	

Aspecto evaluado	Peso asignado
PAS a un radio ≤ 100 m	1
Fuentes de agua superficial a un radio ≤ 100 m	1
Subtotal 3	2
4. Componente cultural	
¿Los empleados tienen conocimiento acerca del agua subterránea en la zona?	0.8
Subtotal 4	0.8
5. Actividades adicionales	
¿En la E.D.S se realizan actividades adicionales como mantenimiento de carros, sobre suelo sin impermeabilizar?	1
Subtotal 5	1
Total (Suma subtotales 1, 2, 3, 4 y 5)	7

Fuente: Propia

Las E.D.S que presentaron con una calificación entre 2.4 y 7, pasaron a ser consideradas como una amenaza con alto potencial de contaminación para el acuífero.

Tabla 19. Evaluación del agua residual

Aspecto evaluado	Peso asignado
1. Sistema de tratamiento	
Alcantarillado	0.2
STARD Individual o colectivo con disposición final en fuente de agua superficial o alcantarillado municipal	0.2
STARD Individual o Colectivo con campo de infiltración	0.6
PTAR	0.2
Letrina o pozo de absorción	1
Subtotal 1*	1
2. Mantenimiento de los sistemas	
Mantenimiento hace más de 12 y menos de 48 meses	0.5
Mantenimiento hace más de 48 meses	1
Subtotal 2**	1
3. Zona de influencia***	
PAS a un radio ≤ 50 m	1
Subtotal 3	1
4. Componente cultural	
¿El usuario sabe que se debe hacer mantenimiento al sistema de tratamiento?	1
Subtotal 4	1
Total (Suma de subtotales 1,2,3 y 4)	4

Fuente: Propia

* El subtotal 1 no equivale a la sumatoria de los ítems porque aunque un usuario puede tener más de 1 sistema de tratamiento se le asigna la calificación más alta. ** El subtotal 2 no equivale a una sumatoria porque el usuario evaluado sólo puede tener para este caso una clasificación por lo tanto se asume la más alta. *** La evaluación de la zona de influencia sólo aplica para los usuarios con vertimientos al suelo (campo de infiltración, letrina y/o pozo de absorción).

Tabla 20. Evaluación de la producción agrícola

Aspecto evaluado	Peso asignado
<i>1. Usos del suelo en la zona de estudio</i>	
Café	2
Cultivos permanentes arbustivos	1
Mosaico de cultivos	3
Mosaico de pastos con espacios naturales	2
Mosaico de pastos y cultivos	3
Pastos arbolados	2
Pastos limpios	3

Fuente: Propia

Con la sumatoria de los diferentes aspectos evaluados en cada componente, se asignaron las clasificaciones para determinar el grado de amenaza en baja, media y alta (tabla 21): Con base en las calificaciones anteriores se realizaron los mapas por amenaza puntual y difusa

Tabla 21. Clasificación de las amenazas antrópicas según la puntuación de la evaluación

Clasificación de la amenaza	PAS	Residuos S Info primaria	Residuos S Info secundaria	Agua superficial	E.D.S	Agua residual	Producción agrícola
Baja	0 - 3.7	0 - 2.7	0 - 1.3	0 - 1	0 - 2.3	0 - 1.3	1
Media	3.8 - 7.4	2.8 - 5.4	1.4 - 2.7	1.1 - 2	2.4 - 4.7	1.4 - 2.7	2
Alta	7.5 - 11	5.5 - 8	2.8 - 4	2.1 - 3	4.8 - 7	2.8 - 4	3

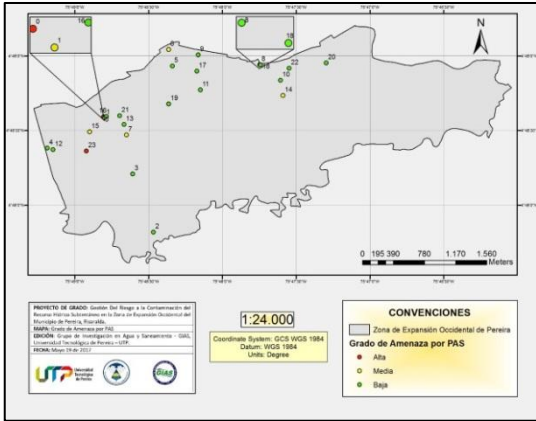
Fuente: Propia

10.2.4.2. Mapificación de las amenazas antrópicas

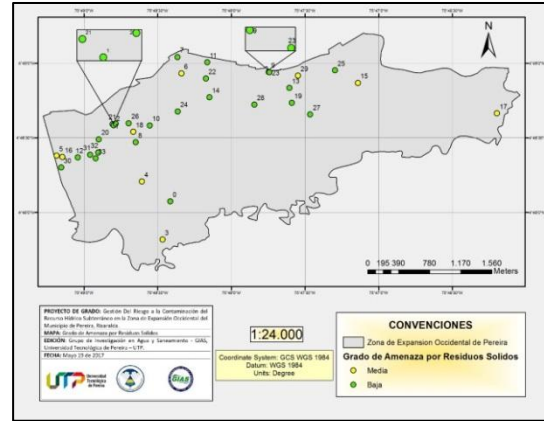
En los recorridos no se encontraron zonas de acumulación de residuos sólidos o escombros, pero en varias ocasiones se identificaron lixiviados de residuos sólidos dispuestos directamente sobre el suelo, provenientes del carro recolector de basuras, como se puede apreciar en las fotografías 61 y 62. Todos los actores entrevistados cuentan con el servicio de recolección, lo cual coincide con la información secundaria en la cual se incluye a Cerritos en las rutas de recolección.

Se agregó en el mapa la amenaza de cada vertimiento para tener como referencia el origen del grado de amenaza que representa cada fuente superficial, debido a que en esta recibe los vertimientos y es ahí finalmente donde se manifiesta algún contaminante proveniente del vertimiento puntual.

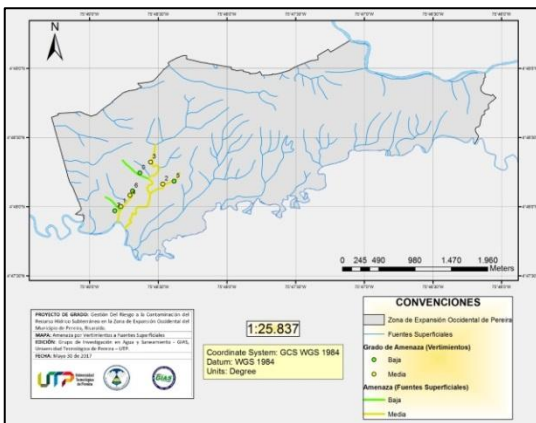
En la figura 10 se presentan los mapas con los resultados finales de la clasificación de las amenazas existentes (puntuales y difusas); en la tabla 22 se presenta la síntesis del grado de amenaza.



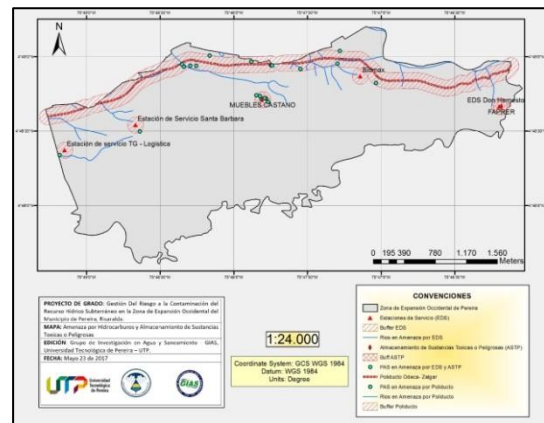
A. Manejo de Puntos de Agua Subterránea



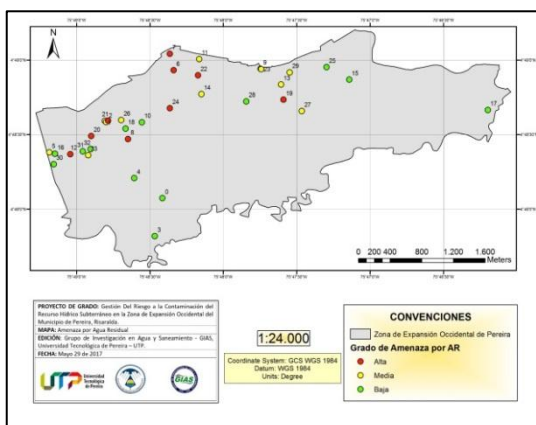
B. Manejo de residuos sólidos



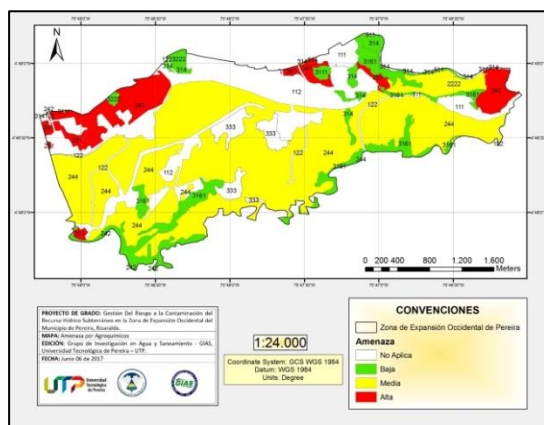
C. Fuentes superficiales receptoras



D. Manejo de hidrocarburos y sustancias peligrosas



E. Manejo del agua residual



F. Producción agrícola

Figura 10. Evaluación de los diferentes tipos de amenaza antrópica

Fuente: Propia

Tabla 22. Listado de Actores Evaluados en los diferentes tipos de Amenaza

LISTA DE ACTORES EVALUADOS		ID	PAS	ID	Residuos Sólidos	ID	Agua Residual
Andrea`s Steak		0		1		1	
Andrea`s Steak		1		2		2	
Parque Consotá		2		3		3	
Bioparque Ukumarí		3		4		4	
El Jardín de Jaibaná		4		5		5	
Vivero Pavas		5		6		6	
Alimentadero Pavas		6		7		7	
Vivero Las Gitanas		7		8		8	
Ecohotel Teocalli		8		9		9	
Sonesta Hotel			N/E	10		10	
Sazagua		9		11		11	
Muebles Ático			N/E	12		12	
Kioskos y Empajados El Paisa		10		13		13	
Construcciones Modulares y CIA S.A.S		11		14		14	
Biomax			N/E	15		15	
EDS TG - Logística		12		16		16	
EDS Don Ernesto			N/E	17		17	
Estación de Servicio Santa Bárbara		13		18		18	
Pesebrera 4 Vientos		14		19		19	
Jauja		15		20		20	
Lukatan		16		21		21	
Talara		17		22		22	
Apopori		18		23		23	
Malasia		19		24		24	
Villa Ángel		20		25		25	
Colegio Saint Andrews		21		26		26	
Colegio Militar General Rafael Reyes			N/E	27		27	
Centro Educativo 30 de agosto			N/E	28		28	
Hogar del Anciano		22		29		29	
Liceo Merani			N/E	30		30	
Parador Paisa			N/E	31		31	
Pizza Piccolo			N/E	32		32	
Comelona del Toro		23		33		33	
Agroquímicos		FS				Hidrocarburos y ASTP	
ID	Actor	ID	Actor		Actor		
231	Pastos limpios	0	Cámara de vertimientos domésticos - Ukumarí		Biomax		
232	Pastos arbolados	5	Laguna de Oxidación - Portal del Campo		EDS TG - Logística		
241	Mosaico de cultivos	6	Vertimiento de Aguas Residuales Domesticas del barrio La Carrilera - Ukumarí		EDS Don Ernesto		
242	Mosaico de pastos y cultivos	7	Vertimiento de Aguas Residuales Domesticas del barrio La Carrilera - Ukumarí		EDS Santa Barbara		
2221	Cultivos permanentes arbustivos	1	Humedal - Ukumarí		Muebles Castaño		
314	Bosque de galería y ripario	2	Humedal afectado por laguna de oxidación - Ukumarí		FAPRER		
3111	Bosque denso	3	Humedal Quebrada Larga - Ukumarí		Poliducto ODECA Salgar - Cartago		
3161	Bosque de Guadua	4	Humedal Receptor de quebrada Corta - Ukumarí		N/E		
3222	Arbustal abierto		N/E		N/E		
244	Mosaico de pastos con espacios naturales		N/E		N/E		
514	Cuerpos de agua artificiales		N/E		N/E		
2222	Café		N/E		N/E		

N/E: No Evaluado

Fuente: Propia

CAPÍTULO III - CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO

11. DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN

11.1. Riesgo actual de contaminación

Mediante la interacción entre la vulnerabilidad intrínseca del acuífero y las amenazas antrópicas puntuales y difusas se generaron los mapas de riesgo a la contaminación del acuífero según cada tipo de amenaza (PAS, Residuos Sólidos, Fuentes Superficiales, Hidrocarburos y Sustancias Peligrosas y producción agrícola) (Figura 11, tabla 23).

La evaluación de los factores de riesgo para algunos casos cambió significativamente al hacer la interacción entre ambos; por ejemplo en la evaluación de la amenaza por PAS el 33,3% de los puntos obtuvo grado alto de amenaza pero al interactuar con la vulnerabilidad del acuífero, se encuentra que sólo el 12,5% presentan un grado alto de riesgo. Respecto al grado medio de amenaza, la variación no fue tan drástica, teniendo la zona de estudio un cambio de 41,7% de los puntos un grado medio de amenaza a un de 45,8% de grado medio de riesgo.

En cuanto a residuos sólidos no se presentó amenaza alta, pero al ser combinada con el mapa de vulnerabilidad del acuífero, se obtuvo que el 10,7% de los puntos evaluados representen un nivel alto de riesgo, lo que sugiere que estos cambios se deben a la ubicación dentro del área con calificación de vulnerabilidad muy alta.

Además, respecto a los niveles de amenaza media, el 26,5% de los puntos estaban en este nivel, con relación al riesgo el 35,7% de los actores presentan un riesgo medio, debido también a que una gran cantidad de puntos presentaban una baja amenaza, pero al estar ubicados en la zona de muy alta vulnerabilidad, se incrementa el riesgo. Los puntos evaluados que obtuvieron una calificación de alto en el nivel de riesgo por Residuos Sólidos se caracterizan por la manipulación de sustancias que pueden llegar a ser nocivas

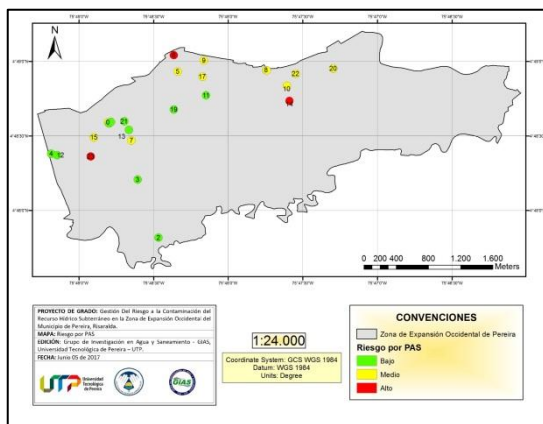
En cuanto a la evaluación del riesgo por fuentes superficiales, los resultados obtenidos no presentan vertimientos que configuren un grado alto de riesgo. Cabe resaltar que aunque este componente se evaluó, la relación entre el acuífero y las fuentes superficiales de la zona aún no se ha determinado.

La interacción entre la amenaza y la vulnerabilidad muestra que los niveles de riesgo alto no presentan variación, representando en ambos casos el 42,9%, con respecto a los niveles medios de riesgo, el único actor que presentó un nivel medio fue Biomax, representando un 14,3% frente a la amenaza en este mismo nivel que era de 0% debido a que ningún actor obtuvo esta calificación, cabe destacar que esta variación se da por las condiciones del acuífero en esta parte donde presenta una vulnerabilidad muy alta.

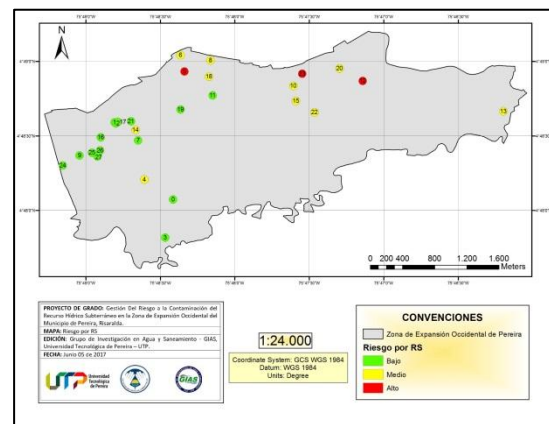
Los valores de amenaza alta estaban representados en un 26,5%, al ser combinados con los

niveles de riesgo, se obtuvo una representación del 38,2%, lo que representa un aumento en el riesgo a la contaminación por Aguas Residuales, respecto a los niveles medio de amenaza, se tenía una representación del 32,4% y al ser combinado con el mapa de vulnerabilidad se obtuvo un valor de 23,5% en el riesgo, debido a las condiciones del acuífero que no favorecen un aumento en el nivel de Riesgo, en la amenaza baja con una representación del 41,2% se obtuvo poca variación el cual se representa en un 38,2% para la zona de estudio.

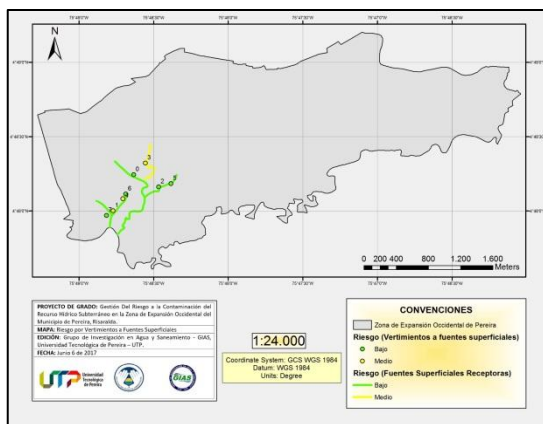
Los niveles de riesgo alto frente a la aplicación de agroquímicos muestran disminución con respecto al mapa de amenaza, debido a las condiciones de vulnerabilidad del acuífero, la amenaza alta se representaba en un 61,1%, combinando el mapa de amenaza con el de vulnerabilidad, se obtuvo un nivel alto de riesgo representado en un 27,8%, con respecto a los niveles medios, la amenaza presentaba un valor de 22,2% y al ser combinada con los niveles de vulnerabilidad del acuífero, se obtuvo un aumento en este aspecto, representado en un nivel de riesgo del 27,8; los niveles bajos de amenaza y riesgo son resultado de las variaciones de los niveles anteriores, mientras que se tenía un nivel bajo de amenaza representado en un 16,7%, el nivel de riesgo bajo aumentaba en un 44,4%.



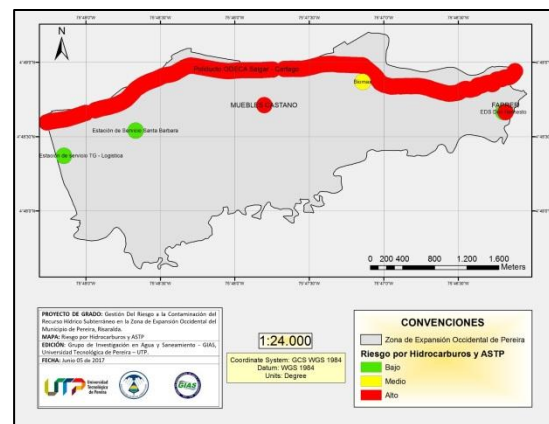
A. Manejo de Puntos de Agua Subterránea



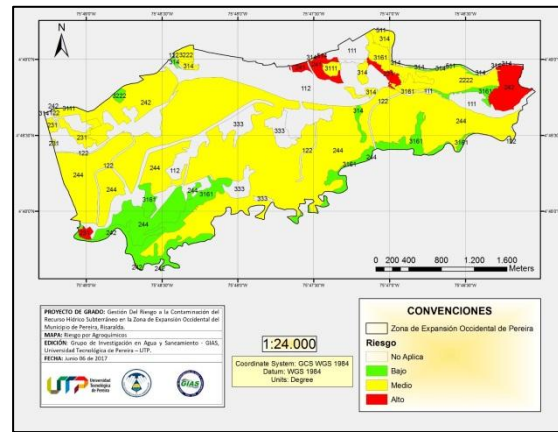
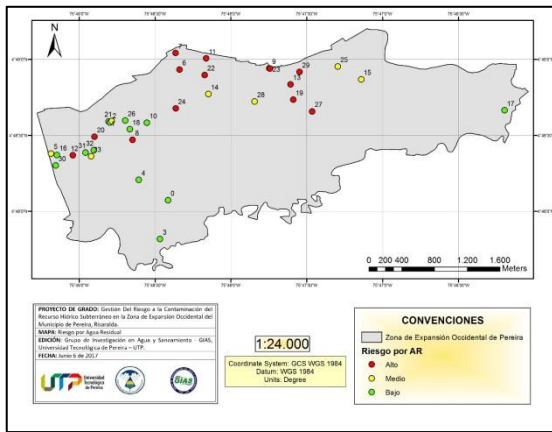
B. Manejo de residuos sólidos



C. Fuentes superficiales receptoras



D. Manejo de hidrocarburos y sustancias peligrosas



E. Manejo del agua residual

F. Producción agrícola

Figura 11. Evaluación del riesgo de contaminación

Tabla 23. Listado de Actores Evaluados en los diferentes tipos de Riesgo

Riesgo por PAS		Riesgo por RS		Riesgo por AR	
ID	Actor	ID	Actor	ID	Actor
0	Andrea´s Steak	1	Andrea´s Steak	1	Andrea´s Steak
1	Andrea´s Steak	2	Andrea´s Steak	2	Andrea´s Steak
2	Parque Consotá	3	Parque Consotá	3	Parque Consotá
3	Bioparque Ukumarí	4	Bioparque Ukumarí	4	Bioparque Ukumarí
4	El Jardín de Jaibaná			5	El Jardín de Jaibaná
5	Vivero Pavas	5	Vivero Pavas	6	Vivero Pavas
6	Alimentadero Pavas	6	Alimentadero Pavas	7	Alimentadero Pavas
7	Vivero Las Gitanas	7	Vivero Las Gitanas	8	Vivero Las Gitanas
8	Ecohotel Teocalli			9	Ecohotel Teocalli
				10	Sonesta
9	Sazagua	8	Sazagua	11	Sazagua
		9	Muebles Ático	12	Muebles Ático
10	Kioskos y Empajados El Paisa	10	Kioskos y Empajados El Paisa	13	Kioskos y Empajados El Paisa
	Construcciones Modulares y		Construcciones Modulares y		Construcciones Modulares y
11	CIA S.A.S	11	CIA S.A.S	14	CIA S.A.S
12	EDS Biomax	12	Biomax	15	Biomax
				16	EDS TG - Logística
13	EDS Don Hernesto	13	EDS Don Ernesto	17	EDS Don Ernesto
			Estación de Servicio Santa		
		14	Bárbara	18	EDS Santa Bárbara
14	Pesebrera 4 Vientos	15	Pesebrera 4 Vientos	19	Pesebrera 4 Vientos
15	Jauja	16	Jauja	20	Jauja
16	Lucatan	17	Lucatan	21	Lucatan
17	Talara	18	Talara	22	Talara
18	Apapori			23	Apapori
19	Malasia	19	Malasia	24	Malasia
20	Villa Ángel	20	Villa Ángel	25	Villa Ángel
21	Colegio Saint Andrews	21	Colegio Saint Andrews	26	Colegio Saint Andrews
			Colegio Militar General Rafael		Colegio Militar General Rafael
		22	Reyes	27	Reyes
				28	Centro Educativo 30 de agosto

22	Hogar del Anciano	23	Hogar del Anciano	29	Hogar del Anciano
		24	Liceo Merani	30	Liceo Merani
		25	Parador Paisa	31	Parador Paisa
		26	Pizza Piccolo	32	Pizza Piccolo
23	Comelona del Toro	27	Comelona del Toro	33	Comelona del Toro
Riesgo por Agroquímicos		Riesgo por FS		Amenaza por Hidrocarburos y ASTP	
ID	Actor	ID	Actor	Actor	
231	Pastos limpios	0	Cámara de vertimientos domésticos - Ukumarí	Biomax	
232	Pastos arbolados	2	Humedal afectado por laguna de oxidación - Ukumarí	EDS TG - Logística	
241	Mosaico de cultivos	5	Laguna de oxidación - portal del campo	EDS Don Ernesto	
242	Mosaico de pastos y cultivos	6	Vertimiento domestico de la carrilera - Ukumarí	EDS Santa Barbara	
2221	Cultivos permanentes arbustivos	7	Vertimiento domestico la carrilera - Ukumarí	Muebles Castaño	
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	1	Humedal - Ukumarí	FAPRER	
314	Bosque de galería y ripario	3	Humedal quebrada larga - Ukumarí	Poliducto ODECA Salgar - Cartago	
3111	Bosque denso	4	Humedal receptor de quebrada corta - Ukumarí	N/A	
3161	Bosque de Guadua		N/A	N/A	
3222	Arbustal abierto		N/A	N/A	
231	Pastos limpios		N/A	N/A	
242	Mosaico de pastos y cultivos		N/A	N/A	
244	Mosaico de pastos con espacios naturales		N/A	N/A	
314	Bosque de galería y ripario		N/A	N/A	
2222	Café		N/A	N/A	
3111	Bosque denso		N/A	N/A	
3161	Bosque de Guadua		N/A	N/A	
3222	Arbustal abierto		N/A	N/A	

Fuente: Propia

11.2. Rol de los actores sociales en el riesgo de contaminación del acuífero

Desde la visión de la gestión del riesgo, uno de los componentes fundamentales es conocer los grupos de personas que de una u otra manera influyen en el territorio de estudio. En ese sentido, se elaboró una clasificación de los “Actores Sociales” identificados, se calificó su influencia en el territorio, teniendo en cuenta la implementación de las acciones propuestas de cada actor en el territorio. En la figura 12 se presentan los actores de la zona de estudio, su función dentro del territorio y el tipo de estrategias que se pueden desarrollar desde la naturaleza de la actividad que cada uno de estos desarrolla. En el anexo R se presenta el rol de los actores y la estrategia a desarrollar.

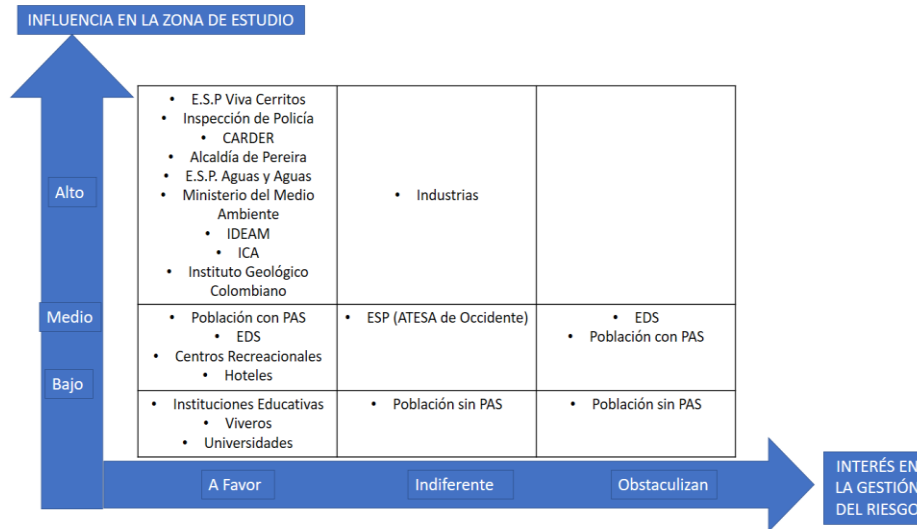


Figura 12. Posición de los actores frente a la gestión del riesgo a la contaminación y su nivel de influencia en la ZEO

Fuente: Propia

Algunos actores como las Estaciones de Servicio (EDS) y Población con y sin PAS, se encuentran en dos casillas, esto se debe a que algunos atendieron el proceso de recolección de información realizado en campo y otras no respondieron las solicitudes hechas por el equipo de investigación.

Las instituciones educativas, Viveros y Universidades representan un nivel de influencia bajo, debido a que en la mayoría de ocasiones las recomendaciones realizadas no son ejecutadas en el territorio o la naturaleza de la actividad no representa un alto nivel de influencia en las dinámicas de la zona de estudio a nivel político y de ordenamiento del territorio.

11.3. Análisis estructural: Variables clave

La Matriz de Impactos Cruzados Multiplicación Aplicada - MICMAC - elaborada por M. Godet en colaboración con J.C. Duperrin, permite describir el sistema gracias a una matriz que une todos sus componentes; mediante el análisis de estas relaciones, se pueden determinar las variables que son esenciales para la evolución del sistema y posteriormente ser utilizadas en la construcción de escenarios. Comprende tres fases: listado de variables (Tabla 24), relación entre variables e identificación de las variables claves que determinan la evolución del sistema estudiado.

11.3.1. Listado de variables

Tabla 24. Variables de la gestión del riesgo de contaminación en la zona de estudio

Nº	Nombre de la variable	Abreviación	Descripción de la variable	Tipo de variable
1	Características Hidrogeológicas del	C Acuífero	Características intrínsecas del acuífero en la zona de estudio	Interna

N°	Nombre de la variable	Abreviación	Descripción de la variable	Tipo de variable
	acuífero			
2	Manejo de los PAS	PAS	Estado sanitario de los pozos y aljibes	Interna
3	Manejo de los Residuos Sólidos	Residuos S	Uso, almacenamiento y disposición de los residuos sólidos por parte de los actores internos y la población flotante	Interna
4	Calidad de las Fuentes de Agua Superficial	Fuente Sup	Estado del recurso hídrico superficial	Interna
5	Manejo de Hidrocarburos y Sustancias Tóxicas	Hidr y Tox	Disposición, almacenamiento y transporte de hidrocarburos y sustancias tóxicas y/o peligrosas	Interna
6	Manejo del Agua Residual	Agua Resid	Disposición y tratamiento (incluye el mantenimiento de los STAR) de los vertimientos de agua residual doméstica e industrial	Interna
7	Producción Agrícola	P Agrícola	Manejo de agroquímicos y prácticas asociadas a la agricultura	Interna
8	Explotación del Agua Subterránea	Exp Ag Sub	Aprovechamiento del agua subterránea en la zona de estudio	Interna
9	Ubicación	Ubicación	Localización geográfica de la Zona de Expansión Occidental - ZEO	Interna
10	Industria y Comercio	Indu y Com	Sector industrial y comercial, en la zona de estudio	Interna
11	Zonas Residenciales	Zona Resid	Centros poblados, fincas y condominios, en la zona de estudio	Interna
12	Percepción del Agua Subterránea	Cultural	Percepción que tienen los actores sociales internos y externos, acerca del agua subterránea	Mixta
13	Expansión urbana	Exp Urbana	Procesos de expansión urbana en la zona de estudio	Mixta
14	Servicio de Alcantarillado	Ser Alcant	Disposición, redes de alcantarillado y tratamiento para el agua residual doméstica e industrial, por parte de las empresas prestadoras del servicio público - E.S.P	Externa
15	Servicio de Abastecimiento de Agua Potable	Ser Agua P	Rutas de transporte, sistemas de tratamiento y fuentes superficiales y subterráneas para el abastecimiento de agua potable, por parte de las empresas prestadoras de servicios públicos - E.S.P	Externa
16	Población Flotante	Pob Flotan	Personas que trabajan o estudian en la zona de estudio pero viven en otros lugares y turistas	Externa
17	Servicio de Recolección de Residuos Sólidos	Ser Residu	Disposición, rutas de recolección y transporte de los residuos sólidos por parte de las empresas prestadoras de los servicios públicos - E.S.P y entes privados	Externa

Fuente: Propia

11.3.2. Relación entre variables

La relación entre las variables se realizó mediante la Matriz de Influencias Directas (MID), el Plano de Influencia y Dependencia Directa y el Gráfico de Influencias Directas. La MID (anexo S), relaciona las filas y columnas con las variables de la fase I. Se asignan valores de acuerdo al nivel de influencia así: 0 sin influencia; 1 influencia débil; 2 influencia media; 3 influencia fuerte.

11.3.3. Variables claves

Las variables claves se identifican mediante el Plano de Influencia Dependencia Directa, en el cual se muestra los resultados obtenidos en la matriz MID y establece, la influencia y la dependencia directa entre variables (figura 13).

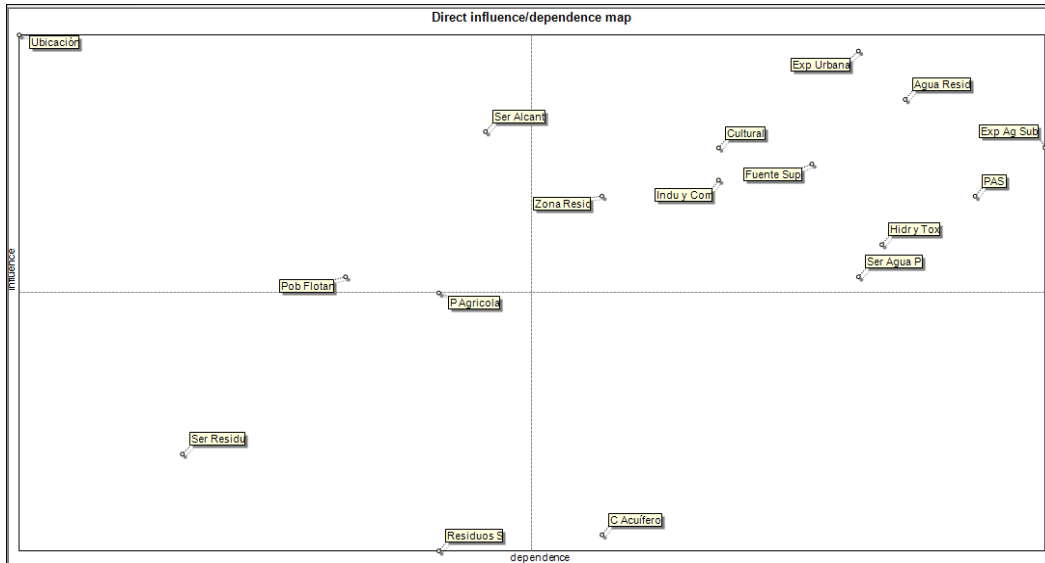


Figura 13. Plano de Influencias/Dependencias Directas

Fuente: Propia

Variables Determinantes: Zona superior izquierda del plano; según su evolución a lo largo del periodo de estudio se convierten en frenos o motores del sistema: Ubicación (Ubicación); Servicio de alcantarillado (Ser Alcant)

Variables Entorno: Zona media de la parte izquierda del plano; presentan poca dependencia y pueden ser consideradas un decorado del sistema: No se presentaron para esta investigación

Variables Reguladoras: Zona central del plano; se convierten en llave de paso para alcanzar el cumplimiento de las variables clave. Determinan el buen funcionamiento del sistema en condiciones normales: Población flotante (Pob Flotan) y Producción agrícola (P Agrícola)

Palancas Secundarias: Se encuentran ubicadas debajo de las reguladoras y son complementarias a éstas: No se presentaron para esta investigación

Variables Objetivo: Parte central a la derecha en el plano. Son muy dependientes y medianamente influyentes; en ellas se puede influir para que la evolución del sistema sea la deseada. Explotación del agua subterránea (Exp Ag Sub); Manejo de puntos de agua subterránea (PAS); Manejo de hidrocarburos y sustancias tóxicas o peligrosas (Hidr y Tox); Servicio de agua potable (Ser Agua P).

Variables Clave: Zona superior derecha del plano. Son muy influyentes y muy dependientes, perturban el funcionamiento normal del sistema. Son por naturaleza inestables y se corresponden con los retos del sistema: Zona residencial (Zona resid); Industria y comercio (Indu y Com); Percepción del agua subterránea (Cultural); Manejo del agua residual (Agua Resid); Expansión urbana (Exp Urbana); Calidad de las fuentes de agua superficial (Fuente Sup).

Variables Resultado: Zona inferior derecha del plano, se caracterizan por su baja influencia y alta dependencia y suelen ser junto con las variables objetivo, indicadores descriptivos de la evolución del sistema. No se pueden abordar de frente sino a través de las que dependen en el sistema: Características hidrogeológicas del acuífero (C Acuífero).

Variables Autónomas: Se encuentran en la zona inferior izquierda del plano, son poco influyentes y poco dependientes. Se relacionan con tendencias pasadas: Servicio de recolección de residuos sólidos (Ser residu); Manejo de los residuos sólidos (Residuos S).

El Plano de desplazamiento directo indirecto (figura 14), muestra los desplazamientos de las variables al tener en cuenta las influencias directas superpuestas sobre las indirectas, dando como resultado las influencias que se podrían manifestar o generar a mediano y largo plazo. El desplazamiento más significativo lo presenta la variable Producción Agrícola, pasando del cuadrante de las variables reguladoras al de las variables resultado. Para las demás no se presenta un desplazamiento importante; lo que muestra que en el mediano y largo plazo, la motricidad y dependencia de las variables seguirán estando iguales.

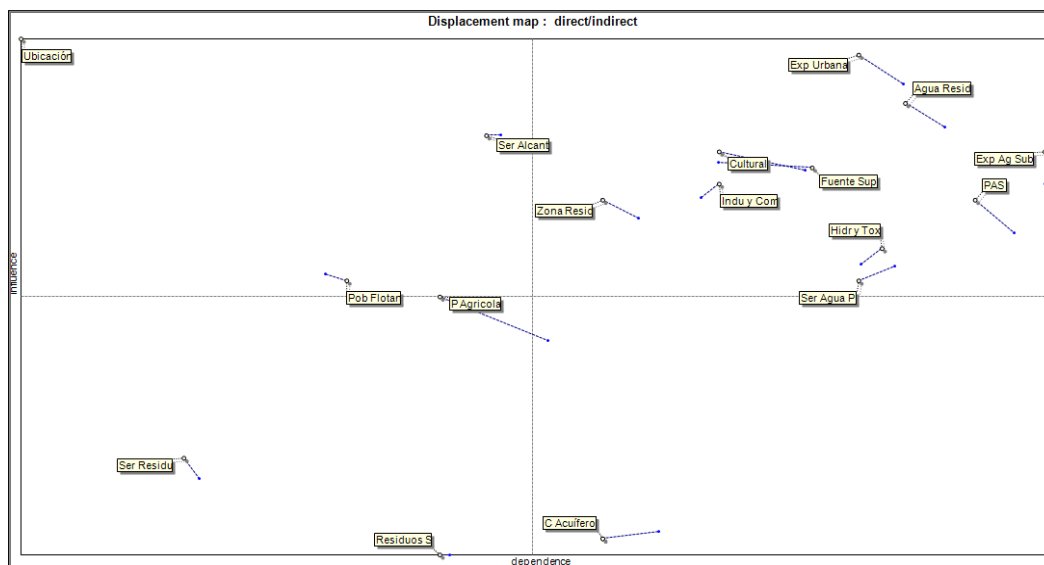


Figura 14. Plano de desplazamiento directo indirecto
Fuente: Propia

11.4. Riesgo futuro de contaminación

A continuación se describen los escenarios de riesgo futuro al 2027, realizados con base en el análisis estructural y los resultados finales del riesgo actual.

11.4.1. Escenario tendencial

La expansión urbana continuó de tal manera que los usos del suelo asociados a la urbanización son los más representativos, con esto aumentó la zona residencial, la industria y comercio y la impermeabilización del suelo. El uso de agroquímicos disminuyó debido al cambio en los usos del suelo, pues la producción agrícola representa menos del 20% del área total, asociada principalmente a pastos. Los usos asociados a bosques también han disminuido pero las tierras desnudas y degradadas han aumentado.

El manejo del agua residual aún se realiza en su gran mayoría con sistemas in situ debido a que las obras de ejecución del plan maestro de acueducto y alcantarillado, aún no han sido terminadas. La calidad del agua de las fuentes superficiales ha disminuido debido al aumento de vertimientos de agua residual industrial, lo que ha incidido en la contaminación del acuífero.

La explotación del agua subterránea disminuyó en su influencia debido al aumento de la expansión del servicio de agua potable. Los PAS productivos han disminuido, pero han aumentado los PAS abandonados debido a que los usuarios a pesar de percibir el recurso como una fuente no confiable para el consumo humano, la perciben como una fuente importante frente a los efectos de la variabilidad climática; algunos han sido sellados por la presión de la autoridad ambiental. Por otro lado, la mayoría de la población nueva desconoce que en la zona hay presencia de agua subterránea.

La autoridad ambiental y la UTP han realizado estudios referentes al recurso hídrico subterráneo, pero aún se desconoce el estado de la calidad del acuífero, aunque los avances reflejan posibles focos de contaminación por hidrocarburos; aunque determinar esto con exactitud es difícil debido a que las E.D.S y demás empresas asociadas al manejo de hidrocarburos y sustancias peligrosas, no realizan monitoreo de calidad en el acuífero.

11.4.2. Escenario catastrófico

La expansión urbana continuó de tal manera que la producción agrícola representa menos del 10% del área total y está asociada especialmente a pastos. La zona residencial, la industrial y el comercio han crecido significativamente, con lo cual el aumento de la población flotante asociada al turismo. Lo anterior ha generado la impermeabilización de la mayor parte de la zona, lo cual afectó drásticamente la calidad del agua superficial debido a la influencia del agua de escorrentía y la falta de sistemas urbanos de drenaje sostenibles; además, los vertimientos sin previo tratamiento a fuentes superficiales han aumentado, tanto de planes parciales como de

industrias debido a que los recursos para dicho tratamiento se utilizaron en el colector que aún no está en funcionamiento; esto ha provocado contaminación en el acuífero.

Debido a que las obras de ejecución del plan maestro de acueducto y alcantarillado, aún no han comenzado, el saneamiento aún se realiza in situ, lo cual ha provocado infiltraciones de sustancias tóxicas y peligrosas asociadas a vertimientos industriales.

Por otro lado, el uso de los PAS como fuente principal disminuyó drásticamente debido a que el servicio de abastecimiento de agua potable ha expandido la prestación a gran parte de la zona; por lo tanto los PAS son utilizados como fuentes secundarias pero no para consumo humano debido a los problemas de contaminación que presenta el acuífero; esto a su vez ha influenciado en que muchos de los usuarios hayan dejado los PAS abandonados o que los hayan conectado a las aguas residuales. Además, cabe mencionar que en el acuífero aún es evidente la presencia de hidrocarburos pero los entes encargados del tema no han dado soluciones.

La percepción que tienen los habitantes del agua subterránea se divide en dos tendencias, la primera es la percepción desfavorable porque la perciben como una fuente de poca confianza para el consumo debido a los problemas de contaminación que presenta; la segunda es el desconocimiento del recurso en la zona lo cual puede estar asociado a la disminución en su uso y a la gran cantidad de población nueva. Por su parte la autoridad ambiental determinó que los recursos económicos para implementar acciones de mitigación de la contaminación del acuífero, superan las capacidades del municipio y de la región.

11.4.3. Escenario utópico

La expansión urbana continuó de tal manera que los usos del suelo asociados a la producción agrícola disminuyeron considerablemente; los cultivos que actualmente se encuentran en la zona están sujetos a un estricto control por parte del ICA debido a la restricción del uso de agroquímicos por ser una zona de recarga del acuífero.

Las restricciones ejercidas por la CARDER y la Alcaldía de Pereira frente a la expansión urbana, han generado importantes avances en el mejoramiento de la calidad del agua de las fuentes superficiales, evidenciado en los informes de caracterizaciones de aguas residuales de los actores de la zona de estudio; sumado a lo anterior, las obras del plan maestro de acueducto y alcantarillado ha generado disminución considerable de la contaminación por agua residual tanto en fuentes superficiales como en el suelo.

Además, el esfuerzo de la autoridad ambiental, la UTP y la policía nacional en la protección de las fuentes superficiales ha favorecido la implementación de programas de educación ambiental que incorporan a la población con y sin PAS y a los empresarios de la zona de estudio, obteniendo un alto impacto cultural frente a la sensibilización y participación en la gestión del riesgo de contaminación del agua subterránea.

Por otro lado, uno de los avances más importantes son los estudios desarrollados en el acuífero, en alianza de instituciones a nivel municipal, regional y nacional; gracias a esto se conoce el estado actual del recurso hídrico subterráneo y se han creado estrategias desde el ordenamiento ambiental de la zona.

Se creó el programa “Acuífero sin Amenazas” en alianza de diferentes empresas e instituciones, donde la mayoría de los actores con PAS los usan como estrategia comercial para atraer personal flotante y dar a conocer los mecanismos de contaminación y protección del agua subterránea, su importancia y dinámica, con el fin de favorecer el turismo y la educación ambiental frente a este recurso que cada día es más importante para el desarrollo de la zona.

CAPÍTULO IV - ESTRATEGIAS PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO

12. ESCENARIO APUESTA PARA LA ZONA DE ESTUDIO

Al año 2027 en la Zona de Expansión Occidental de Pereira se evidencia una gestión del riesgo de contaminación del agua subterránea, estructurada desde la educación ambiental. La expansión urbana se ha realizado de manera planificada y en concordancia con las características hidrogeológicas de la zona, con lo cual Pereira ha sido referencia a nivel nacional en la incorporación del agua subterránea en el ordenamiento territorial.

La alianza entre la autoridad ambiental, la alcaldía de Pereira, el ICA, las empresas prestadoras de servicios públicos y el sector educativo e industrial de la zona, han realizado importantes estudios de los factores de amenaza y vulnerabilidad para el acuífero. Se destacan las acciones frente a la potencialización del uso del espacio urbano y la educación ambiental.

Por otro lado, las obras de ejecución del plan maestro de acueducto y alcantarillado han impactado positivamente en la calidad de las fuentes de agua superficial y en el suelo; aunque hay sectores en los cuales aún el saneamiento se realiza in situ pero se hacen bajo el control de la autoridad ambiental. En cuanto al uso de agroquímicos ha sido fundamental el acompañamiento al agricultor por parte del ICA, de este modo aunque ha disminuido la producción agrícola, han aumentado las buenas prácticas, con lo que se ha favorecido el recurso hídrico subterráneo.

Frente al desarrollo industrial y comercial de la zona, se han desarrollado programas de regulación, mitigación y prevención de la contaminación por parte de la autoridad ambiental, considerando que la naturaleza de muchas actividades es fundamental para el desarrollo urbano, pero puede generar afectaciones al recurso hídrico como por ejemplo el almacenamiento y comercialización de hidrocarburos.

Por último, cabe destacar el impacto positivo que ha tenido el incentivo del uso del agua subterránea en la zona, proceso fundamental para la apropiación del agua subterránea por parte

de la población y su participación activa en proyectos desarrollados por la academia sobre educación ambiental.

13. LINEAMIENTOS DE GESTIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA ZONA DE ESTUDIO

En la tabla 25 se presentan las estrategias que componen el lineamiento para la prevención y mitigación del riesgo a la contaminación del acuífero en la ZEO. Están basadas en la gestión de las amenazas y el riesgo por manejo inadecuado de Puntos de Agua Subterránea (PAS) y de vertimientos de Agua Residual (AR), además, la gestión de la información institucional para la gestión del riesgo, constituye un complemento para el lineamiento.

En la tabla 26 se presentan las estrategias que componen el lineamiento de conocimiento de las amenazas como eje transversal en la gestión del riesgo a la contaminación, las estrategias que componen este lineamiento se enfocan en la gestión del riesgo a la contaminación desde el conocimiento del comportamiento de los contaminantes de vertimientos a fuentes superficiales y uso de agroquímicos. La educación ambiental en ambos lineamientos se contempla como eje transversal, fomentando la apropiación social del conocimiento.

Tabla 25. Lineamiento estratégico 1

LINEAMIENTO: PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y CORRECCIÓN DEL RIESGO A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA ZEO										
ESTRATEGIA: Gestión Integral de la Amenaza por Manejo Inadecuado de Puntos de Agua Subterránea										
Programa	Proyecto	Actividades	Indicadores	Metas	Costos (millones)	Duración			Entidades responsables	Fuentes de Financiación
						C	M	L		
Manejo integral de Pozos y Aljibes	Apropiación social de los PAS mediante la educación ambiental	Diseño e impresión de material didáctico para el manejo adecuado de PAS	Cantidad de material diseñado/ Cantidad de material disponible en inventario	Material didáctico para el manejo adecuado de PAS	25	X			CARDER Viva Cerritos Aguas y Aguas Universidades Instituciones Educativas	CARDER Viva Cerritos Aguas y Aguas Universidades
		Socialización y divulgación de material didáctico	Material entregado/ Cantidad de material disponible en inventario	Entregar el 80% del material impreso	10	X				
		Creación de semilleros de investigación del agua subterránea en instituciones educativas	# de semilleros creados/# total de instituciones educativas de la ZEO	El 100% de las instituciones educativas con semilleros de investigación	10	X	X			
	Prevención e Intervención de la amenaza por manejo inadecuado de PAS	Capacitación para el manejo adecuado de PAS	# usuarios capacitados/total de usuarios de PAS	El 70% de los usuarios con PAS han asistido a jornadas de capacitación	25	X			CARDER Viva Cerritos Aguas y Aguas Universidades SGC IDEAM Usuarios de PAS Alcaldía de Pereira Gobernación de Risaralda	CARDER Viva Cerritos Aguas y Aguas Universidades SGC IDEAM Usuarios de PAS Alcaldía de Pereira Gobernación de Risaralda
		Actualización del estado de PAS	# de PAS actualizados/ # total de usuarios con PAS	Actualizar del 80% de los usuarios con PAS	250					
		Priorización y selección de PAS con grado alto de amenaza	# PAS seleccionados/# total de PAS actualizados	Seleccionar el 100% de los PAS con alto grado de amenaza		X	X	X		
		Visitas de Acompañamiento Técnico	Visitas realizadas/ PAS priorizados	Acompañar técnicamente al 100% de los usuarios de PAS priorizados	50	X	X	X		
		Revisión y selección de PAS para medidas sancionatorias	# de PAS en alto grado de amenaza/# de usuarios de PAS con acompañamiento técnico	Verificar el estado del 100% de los PAS en alto grado de amenaza	50	X	X	X		
		Sellamiento técnico de PAS	PAS Sellados/ Total de PAS con amenaza alta	Realizar sellamiento técnico del 100% de los PAS con alto grado de amenaza	70	X				

Fuente: Elaboración propia

LINEAMIENTO: PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y CORRECCIÓN DEL RIESGO A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA ZEO

ESTRATEGIA: Administración de la información Institucional como base para la gestión del riesgo

Programa	Proyecto	Actividades	Indicadores	Metas	Costos (millones)	Duración			Entidades responsables	Fuentes de Financiación
						C	M	L		
Fortalecimiento de la Red de monitoreo en la ZEO	Manejo integral de datos calidad y niveles del acuífero	Realización informes de resultados de calidad	(# de informes/ # de campañas)*100	100% de campañas de monitoreo con informe de resultados	10	X	X	X	CARDER MinTIC Universidades	CARDER MinTIC Universidades
		Creación de plataforma institucional para la publicación de resultados e investigaciones de calidad del acuífero	# de plataformas implementadas	Crear 1 Plataforma institucional	12	X				
		Socialización de resultados	# de jornadas de socialización/ # de informes de calidad	Realizar 1 jornada de socialización por cada informe de resultados	15	X	X	X		
	Expansión de la cobertura de la red de monitoreo	Ampliación de los puntos de la red de monitoreo en la ZEO incluyendo el tramo del poliducto	# de puntos implementados	Duplicar a 6 el número de puntos de monitoreo existentes	210		X		CARDER Universidades Ecopetrol	CARDER Universidades Ecopetrol

ESTRATEGIA: Gestión Integral de la Amenaza por Manejo Inadecuado de vertimientos de Agua Residual

Programa	Proyecto	Actividades	Indicadores	Metas	Costos (millones)	Duración			Entidades responsables	Fuentes de Financiación
						C	M	L		
Manejo integral de Vertimientos de AR	Educación ambiental sobre el manejo adecuado de vertimientos de Agua Residual	Diseño e impresión de material didáctico para el manejo adecuado de STAR	Cantidad de material diseñado/ Cantidad de material disponible en inventario	Lograr una cobertura del 100% de los usuarios con STAR con el material didáctico	10	X			CARDER Viva Cerritos Aguas y Aguas Universidades Instituciones Educativas Alcaldía de pereira Gobernación de Risaralda Ministerio de Medio Ambiente	CARDER Viva Cerritos Aguas y Aguas Universidades Alcaldía de pereira Gobernación de Risaralda Ministerio de Medio Ambiente
		Socialización y divulgación de material didáctico	Material entregado/ Cantidad de material disponible en inventario	Entregar el 80% del material impreso						
	Establecimiento de la línea base del manejo de vertimientos	Diagnóstico del estado actual de los STAR	# de actores visitados/ # de actores con vertimientos AR	Diagnosticar el estado actual del 70% de los vertimientos de AR	240		X			
	Evaluación de Alternativas de saneamiento hídrico	Desarrollo de proyectos de investigación de saneamiento de vertimientos	# de estudios ejecutados/ # de estudios propuestos	Estudiar el 10% de los vertimientos de la ZEO	180		X	X	IDEAM CARDER Universidades	IDEAM CARDER Universidades
	Evaluación de la eficiencia de los STAR	Priorización y selección de actores clave ubicados en zona de media y alta vulnerabilidad	# actores seleccionados/# total de actores ubicados en zonas de media y alta vulnerabilidad	Seleccionar del 100% de los actores clave ubicados en zonas de media y alta vulnerabilidad	3	X			CARDER Aguas y Aguas Universidades	CARDER Aguas y Aguas
			Caracterización de vertimientos priorizados	# de STAR Caracterizados/ # total de STAR	Caracterizar del 70% de los STAR	1,6	X	X		
	Intervención de la amenaza por vertimientos de agua residual sin tratamiento	Implementación de STAR	# de STAR implementados/ # de actores sin STAR	Implementar del 80% de los STAR requeridos en la ZEO	300		X	X	CARDER Viva Cerritos Aguas y Aguas Universidades Instituciones Educativas Alcaldía de Pereira Gobernación de Risaralda Ministerio de Medio Ambiente	Población de la ZEO
			Acompañamiento Técnico en el manejo de STAR	# de visitas realizadas/ # de población con STAR	Acompañar el 70% de la población con STAR	50	X	X		X
	Estudio de la amenaza por manejo inadecuado de vertimientos	Establecer los valores límites máximos permisibles para vertimientos al suelo	Cuantificación de los límites máximos permisibles	Determinar el 100% de los parámetros	300	X	X	X		CARDER

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Lineamiento estratégico 2

LINEAMIENTO: CONOCIMIENTO DE LAS AMENAZAS COMO EJE TRANSVERSAL EN LA GESTIÓN DEL RIESGO A LA CONTAMINACIÓN										
ESTRATEGIA: Gestión del riesgo a la contaminación desde el conocimiento de la amenaza por Fuentes Superficiales Receptoras										
Programa	Proyectos	Actividades	Indicadores	Metas	Costos (millones)	Duración			Entidades responsables	Fuentes de Financiación
						C	M	L		
Evaluación de la pluma contaminante en la zona de riesgo por FS	Análisis de la calidad de las fuentes superficiales receptoras y vertimientos	Caracterización de Vertimientos	# de Vertimientos Caracterizados/# total de Vertimientos	Caracterización del 100% de los vertimientos	8,4	X			CARDER Usuarios generadores de vertimientos Aguas y Aguas	Usuarios generadores de Vertimientos
		Caracterización de FS	# de FS Caracterizadas/# de FS Receptoras	Caracterización del 100% de las fuentes receptoras	21	X			CARDER Aguas y Aguas	CARDER Aguas y Aguas
	Análisis de la calidad de PAS a <50m de FS Receptoras	Caracterización de PAS	# de PAS Caracterizados/# total de PAS a <50m de FS Receptora	Caracterización del 100% de los PAS a <50m de fuentes receptoras	1,2	X			CARDER	CARDER Viva Cerritos
	Determinación del gradiente hidráulico	Establecimiento de líneas piezométricas	# de Líneas piezométricas establecidas/ # de FS Receptoras	Líneas piezométricas en el 70% de las FS receptoras	170		X	X	IDEAM, SGC, CARDER	IDEAM, SGC, CARDER
ESTRATEGIA: Gestión de la amenaza de contaminación del acuífero por uso de agroquímicos										
Programa	Proyecto	Actividades	Indicadores	Metas	Costos (millones)	Duración			Entidades responsables	Fuentes de Financiación
						C	M	L		
Estudio del potencial de contaminación del acuífero en la ZEO, por agroquímicos	Establecimiento de la línea base del manejo de agroquímicos	Diagnóstico del manejo de agroquímicos	# de Actores visitados/ # de Actores con cultivos	Diagnosticar el 70% de los actores con uso agrícola	270	X			Universidad, ICA, SGC, CARDER, Ministerio de Medio Ambiente, IDEAM	Universidad, ICA, SGC, CARDER, Ministerio de Medio Ambiente, IDEAM, OMS
		Priorización y selección de cultivos, a partir de la línea base	# de cultivos priorizados y seleccionados/ # de cultivos de la línea base	Priorizar y seleccionar el 100% de los cultivos a partir de la línea base	10	X				
	Instalación de parcelas demostrativas	# de parcelas instaladas/# de cultivos priorizados	El 100% de los cultivos seleccionados con parcelas instaladas	100	X	X				
	Prueba piloto para la evaluación de la infiltración de agroquímicos en la ZEO	Modelación del transporte de contaminantes en parcelas seleccionadas	# de agroquímicos infiltrados/ # agroquímicos utilizados	Modelar la pluma contaminante del 70% de los agroquímicos	40			X		
		Diseño de manual de BPA para cada tipo de cultivo priorizado	# de manuales formulados/ # total de cultivos priorizados	Formular manuales para el 100% de los tipos de cultivos	300			X	ICA	ICA
		Socialización y divulgación del manual de buenas prácticas agrícolas	# de manuales entregados/ # total de actores con cultivos priorizados	Entregar manuales para el 100% de los actores con cultivos priorizados	100			X	Universidad, ICA, SGC, CARDER, Ministerio de Medio Ambiente, IDEAM	Universidad, ICA, SGC, CARDER, Ministerio de Medio Ambiente, IDEAM, OMS

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V - ANOTACIONES FINALES

14. CONCLUSIONES

La CARDER (2007) evaluó el peligro potencial de contaminación para el acuífero de La Formación Pereira en el marco del Plan de Manejo, mediante la interacción entre la vulnerabilidad natural del acuífero a la contaminación y la caracterización de las cargas contaminantes generadas por las diversas actividades antrópicas. Los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad a partir del método GOD, determinan que para la ZEO la vulnerabilidad es media. Dichos resultados tienen discrepancias con los obtenidos en esta investigación debido a que para la vulnerabilidad del acuífero se determinaron 3 clasificaciones: moderada, alta, muy alta; a partir del método DRASTIC modificado.

La clasificación de la vulnerabilidad es alta en zonas donde hay mayor recarga y menor pendiente, sin embargo, las acciones frente a estos resultados no son estratégicas para este estudio, debido a que son intrínsecos de la zona de estudio. Además, la intervención del desarrollo de proyectos que conlleven una impermeabilización del suelo, se enfoca más a cantidad que calidad.

Por otro lado, en el estudio de la CARDER (2007), las actividades antrópicas se abordaron desde la valoración cuantitativa de la carga contaminante y el manejo de PAS. En gran medida los resultados determinan para la ZEO como actividades de carga contaminante alta a E.D.S y aljibes abandonados. Los resultados coinciden en algunos aspectos con los obtenidos en esta investigación, aunque en este caso además del manejo de hidrocarburos y el manejo inadecuado del PAS, también fue fundamental la evaluación del manejo del agua residual y cuya valoración fue una de las amenazas que más aportó en la valoración final del riesgo.

Cabe destacar que el área de estudio de la corporación fue todo el acuífero mientras que en este trabajo fue la ZEO, por lo tanto, el nivel de detalle para cada evaluación fue diferente. Además, en este trabajo el componente cultural fue transversal en la evaluación de las amenazas ya que es clave en la configuración del riesgo.

En general, la amenaza de contaminación alta se da principalmente por disposición inadecuada de agua residual al terreno, sumado a las condiciones del PAS y cercanía a éste, sin embargo, la determinación de los niveles de contaminación y naturaleza del contaminante solo se lograría mediante un estudio detallado de la eficiencia del tratamiento in situ de Aguas residuales. La amenaza alta por hidrocarburos se da a partir de la naturaleza de la actividad, sin embargo, los planes de contingencia y pozos de monitoreo de fugas de hidrocarburos, disminuyen esa calificación en la configuración del riesgo. El manejo de

residuos sólidos en la zona de estudio es adecuado y no representa amenaza alta, debido a que los actores que generan RESPEL, hacen la adecuada disposición a terceros.

El riesgo de contaminación refleja una mayor clasificación (alta) por el agua residual, debido a la disposición final en el terreno, mantenimiento inadecuado y condiciones de vulnerabilidad del acuífero, lo que refleja la necesidad de desarrollar estrategias de fortalecimiento de los sistemas de disposición in Situ e implementación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.

El desarrollo de las estrategias se basó en la gestión de la calidad del agua, dentro de los resultados de amenaza y riesgo, siendo estos los aspectos que se pueden intervenir al no ser propios de la naturaleza del acuífero, sino de acciones antrópicas. Debido a lo anterior, la construcción de lineamientos depende de la dinámica del riesgo, determinando la necesidad de actualizar constantemente la información relacionada al riesgo de contaminación.

15. RECOMENDACIONES

Analizar en detalle el comportamiento de los contaminantes en el suelo y su desplazamiento a través del acuífero, con el fin de enfocar las estrategias de gestión de la amenaza en actividades puntuales.

Caracterizar los usos del agua subterránea y reglamentar el acuífero en la ZEO a través de un ejercicio piloto que pueda llegar a ser modelo nacional para la implementación por las Corporaciones Autónomas Regionales en los acuíferos de su jurisdicción.

Determinar la recarga real del acuífero en la ZEO, debido a que este es un factor determinante en la configuración de la vulnerabilidad por ser zona de recarga.

Desarrollar una metodología para la determinación del riesgo a la contaminación con la mayoría de parámetros posibles y que se pueda adoptar en todo el territorio nacional, con el fin de obtener resultados bajo el mismo método y disminuyendo el grado de incertidumbre por adaptaciones locales.

Incluir la gestión del riesgo a la contaminación como eje estructurante del Plan Zonal para la ZEO.

16. BIBLIOGRAFÍA

1. Albornoz, I; González, R; Pacheco J; Zetina C. (2015). Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación aplicando DRASTIC modificado al acuífero de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán. Recuperado de: <http://www.amica.com.mx/issn/archivos/159.pdf>.
2. Aguilar, A. (2006). La ciudad de México y su estructura policéntrica regional. Las grandes aglomeraciones y su periferia regional. Experiencias en Latinoamérica y España. México.
3. Alcaldía de Pereira. Corporación Autónoma Regional de Risaralda. Área Metropolitana Centro Occidente. Empresas Públicas de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira. (1997). Plan de Ordenamiento Territorial Centro Occidente. Ordenamiento Territorial y Reglamentación de la Zona Suburbana Occidental de Cerritos Municipio de Pereira. Acuerdo No 48.
4. Alcaldía de Pereira. 2004. Plan de Desarrollo del Municipio de Pereira. *Trabajando unidos con la gente y para la gente*. Recuperado de: [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/DocumentosPDF/plan_de_desarrollo_2004_pereira_\(47_pag_158_kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/DocumentosPDF/plan_de_desarrollo_2004_pereira_(47_pag_158_kb).pdf)
5. Alcaldía de Pereira. 2008. Plan de Desarrollo del Municipio de Pereira. *Pereira región de oportunidades*. Recuperado de: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/DocumentosPDF/pd-plan-de-desarrollo-pereira-risaralda2008-2011.pdf>
6. Alcaldía de Pereira. 2012. Plan de Desarrollo del Municipio de Pereira. *Por Una Pereira Mejor*. Recuperado de: <http://www.pereiracomovamos.org/es/dominios/pcv.pagegear.co/upload/69/Files/1.%20Plan%20de%20Desarrollo%20-%202012%20-%202015.pdf>
7. Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R.J., Hackett, G. 1987. DRASTIC: Un sistema estandarizado para evaluar el potencial de contaminación del agua subterránea mediante configuraciones hidrogeológicas. NWWA/EPA Series, EPA-600/2-87-035.
8. Altschuler, B. (2013). Perspectivas diversas sobre la problemática territorial y urbana. Territorio y desarrollo: aportes de la geografía y otras disciplinas para repensarlos. Recuperado de: http://revista-theomai.unq.edu.ar/numero_27-28/altschuler.pdf pp. 65.
9. Ángel, A. (2003). La Diosa Némesis. Desarrollo sostenible o cambio cultural.
10. Auge, M. (2004). Vulnerabilidad de acuíferos. Conceptos y métodos. Universidad de Buenos Aires. Recuperado de: http://www.filo.uba.ar/contenidos/investigacion/institutos/geo_bkp/gaye/archivos_pdf/VulnerabilidadConceptos.pdf.
11. Baena, L. Neme, S. (2015) Planeación prospectiva estratégica. El surgimiento de la planeación prospectiva estratégica y los modelos de geoespacio del conocimiento para el desarrollo de América Latina. En: Teorías, metodologías y buenas prácticas en América Latina Universidad Nacional Autónoma de México.

12. Blandón et al. (2016). Plan de Negocios para la Creación de una Agencia Operadora de Turismo Experiencial con Énfasis en Artesanías en Pereira Risaralda. Universidad Tecnológica de Pereira. 122p.
13. Carmona, J. (2011). Determinación de los conceptos técnico operativos para el Plan de Manejo de Aguas Subterráneas de la Isla de San Andrés. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: http://www.bdigital.unal.edu.co/3747/1/98772859_2011.pdf.
14. CARDER (Corporación Autónoma Regional de Risaralda). (2007). Estadísticas Ambientales Municipales Municipio de Pereira. Recuperado de: <http://siae.carder.gov.co/pereira-datos-generales.pdf>.
15. CARDER (Corporación Autónoma Regional de Risaralda). (2007). Plan de manejo integrado de aguas subterráneas en Pereira.
16. DANE. (2008). Proyecciones Municipales 2006-2020. Proyecciones de Población. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Recuperado de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/MProyeccionesMunicipalesedadsexo.pdf.
17. Duarte, C. Vargas, M. (2013). Modelo de Ciudad en Colombia. Gubernamentalidad, regiones transfronterizas y acumulación flexible en el modelo de la ciudad empresarial. Recuperado de: <https://ciudadencolombia.wordpress.com/>.
18. Erazo, F. Thompson, C. (2013). Estudio Técnico: Aplicación del método DRASTIC para la Evaluación de la Vulnerabilidad de las Aguas Subterráneas en la Sub cuenca del Rio Guacerique, evaluando el potencial de riesgo a contaminación por Nitritos y Nitratos. Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Recuperado de: <https://acchonduras.files.wordpress.com/2014/08/contaminacion-de-acuas-subterranas-aplicando-el-metodo-drastic.pdf>.
19. Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. S.F. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Inventario de Plaguicidas. Departamento de Desarrollo Sostenible. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s09.htm>.
20. Foster, S. Chilton, P. Stuart, M. (1991). Mechanisms of groundwater pollution by pesticides. *Journal of Institution of Water & Environmental Management* 5. In: https://www.researchgate.net/publication/229786226_Mechanisms_of_groundwater_pollution_by_pesticides.
21. Foster, S. Hirata, R. (1991). Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodología basada en datos existentes. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2a ed.
22. Foster, S. Adams, B. Morales, M. Tenjo, S. (1993). Groundwater protection strategies: a guide towards implementation. UK ODA, CPR, WHO/PAHO-HPE. Technical Manual. Lima, Perú. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/muwww/fulltext/repind46/towards/towards.html>.

23. Foster, S. Hirata, R. Gomes, D. D'Elia, M. Paris, M. (2002). Protección de la calidad del agua subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Banco Mundial. Washington, D.C.
24. Giraldo, E. Osorio, L. Tobón, M. (2013). Propuesta de planificación ambiental territorial del suelo suburbano del municipio de Pereira Risaralda Estudio de Caso. Universidad Autónoma de Manizales. Maestría en Desarrollo Regional y Planificación del Territorio. Colombia.
25. Godet, M. Monti, R. Meunier, F. Roubelat, F. (2000). La caja de herramientas de la prospective estratégica. Cuaderno No. 5. Laboratoire d'Investigation Prospective et Stratégique. España.
26. González, J. (2006). Caracterización socio espacial actual del hábitat en la periferia urbana de Manizales. Revista de arquitectura El Cable. No 6.
27. HURTADO, Jacqueline. Metodología de la investigación holística. 2000. Instituto universitario de Tecnología Caripito. Tercera edición. Caracas. 632p.
28. IDEAM. (2009). Formulario Único Nacional para el Inventario de Puntos de Agua Subterránea. Recuperado de: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/15028/INSTRUCTIVO_formulario_inventario+Agua+Subterr%C3%A1nea.pdf/a7c5f0df-e963-418f-b33d-685a9c01dfa0
29. Jaramillo, M. Aristizábal, H. (2006). Aplicación metodológica para la estimación de la recarga potencial por precipitación en la zona centro del departamento del Valle del Cauca.
30. Kabbour B; Zouhri L; Mania J; Colbeaux J. (2004). Assessing groundwater contamination risk using the DASTI/IDRISI GIS method: coastal system of western Mamora, Morocco. Bull. Eng. Geol. Environ. In: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10064-004-0265-2>.
31. Lavell, A. (2003). La gestión local del riesgo: Nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica.
32. Leff, E. (2004) Racionalidad ambiental. La reapropiación social de la naturaleza. Editores S.A de c.v.
33. Ley 388 de 1997. Ley General de Desarrollo Territorial. Colombia. 18 de junio de 1997. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=339>.
34. Li R. and Merchant J. W. (2013). Modeling vulnerability of groundwater to pollution under future scenarios of climate change and biofuels-related land use change: A case study in North Dakota, USA. In: <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1369&context=natrespapers>.
35. Martínez, M. Delgado, P. Fabregat, V. (1998). Aplicación del método DRASTIC para la evaluación del riesgo de afección a las aguas subterráneas por una obra lineal. Instituto Tecnológico Geominero de España.

36. Marulanda, J. (2014). Aproximación a la instrumentación de un modelo de intervención y ordenamiento territorial para el suelo suburbano en el Municipio de Pereira. Universidad Nacional de Colombia. Escuela de arquitectura y urbanismo. Manizales. Colombia.
37. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2014. Guía Metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos. Bogotá Colombia. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/acuiferos/Guia-metodologica-para-la-formulacion-de-planes-de-manejo-ambienta-de-acuiferos.pdf>. pp 16.
38. MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). (2010). Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación. Viceministerio de Ambiente. Grupo de Recurso Hídrico. Contrato No. 1021. Bogotá, D.C.
39. Miliarium Aureum. S.F. Ingeniería Civil, Construcción y el Medio Ambiente. Vulnerabilidad de acuíferos. Recuperado de: <http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Aguas/VulnerabilidadAcuiferos.htm#AVI>
40. Ministerio de Minas y Energía. (2014). Pozos de Agua mejoran la calidad de vida de comunidades en 4 departamentos. Recuperado de: <https://www.minminas.gov.co/historico-de-noticias?idNoticia=669678>.
41. Narváez, L, Lavell, A, Pérez G. (2009). La gestión del riesgo de desastres. Un enfoque basado en procesos. Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina – PREDECAN. Lima.
42. Paredes, D. Zuleta, D. Gómez, M. Lasso, J. Vélez, M. Otálvaro, D. Osorio, L. Flórez, Y. (2012). Identificación de impactos sobre los recursos hídricos subterráneos, por procesos urbanísticos en la zona de expansión occidental de Pereira, y definición alternativas para prevenirlos, mitigarlos o restaurarlos fase I. Corporación Autónoma Regional de Risaralda. Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento. Universidad Tecnológica de Pereira.
43. Paredes, D. Zuleta, D. Restrepo, A. Lasso, J. Osorio, L. Moncada, A. Flórez, Y. (2014). Apoyo técnico para la implementación del Plan de manejo de aguas subterráneas formulado para Pereira, fase II. Corporación Autónoma Regional de Risaralda. Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento. Universidad Tecnológica de Pereira.
44. Pérez, G. Valencia, F. González, B. Cardona, J. (2014). Contexto actual y perspectivas. Documentos de trabajo sobre economía regional. Banco de la república de Colombia. Recuperado de: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/dtser_208.pdf.
45. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Risaralda – POMCA. (2016). Hidrogeología.
46. Presidencia de la Republica. 2000. Decreto 302: Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y

- alcantarillado. Recuperado de:
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4636>
47. Quezada, C. (2006). Darcy y su contribución a la hidráulica. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Departamento de suelos y recursos naturales, Chillan, Chile.
 48. Rahman A. (2008). A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. In: http://users.clas.ufl.edu/jmjaeger/6932_GIS/EX10/DRASTIC_GIS.pdf.
 49. Ríos, L y Vélez, M. (2008). Vulnerabilidad a la contaminación, zona sur acuífero del Valle del Cauca, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/9241/11134>.
 50. Rojas, L (2006). Análisis de metodologías para estimar la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación, caso de estudio: zona sur del Valle del Cauca. Trabajo de Investigación Maestría. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
 51. Romaña, J. (2014). Los límites de la ley de Darcy. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/45359/1/200722150.2014.pdf>.
 52. Sánchez, J. Contaminación del Agua Subterránea. Universidad de Salamanca.
 53. Sánchez, D. Villegas, A. (2008). Propuesta de gestión ambiental para áreas de expansión e interfases rur-urbanas: áreas de manejo especial Canceles, Jardín Botánico Universidad Tecnológica de Pereira y Salado de Consotá. Tesis de pregrado. Universidad Tecnológica de Pereira.
 54. Sahuquillo, A. (2009). La Importancia De Las Aguas Subterráneas. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Vol. 103, Nº. 1.
 55. Secretaría de Planeación de Pereira Acuerdo 18 del 19 de mayo de 2000. Plan de Ordenamiento Territorial.
 56. Secretaría de Planeación de Pereira. Acuerdo 028 de 2015. Plan de Ordenamiento Territorial. Municipio de Pereira. Revisión de largo plazo 2015-2027. Componente general.
 57. Secretaría de Planeación de Pereira Acuerdo 028 de 2015. Plan de Ordenamiento Territorial. Municipio de Pereira. Revisión de largo plazo 2015-2027. Documento de soporte técnico - Componente Urbano.
 58. Secretaría de Planeación de Pereira. Acuerdo 035 de 2016. Plan de Ordenamiento Territorial. Municipio de Pereira. Revisión de largo plazo 2016-2027. Documento de soporte técnico – Componente Urbano.
 59. Sigler, A. Bauder J. (S.F). Educación en el agua de pozo. Universidad Estatal de Montana Programa de Extensión en Calidad del Agua Departamento de Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales. Recuperado de: http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Iron%202012-11-15-SP.pdf.

60. Snyder D.T. (2008). Estimated depth to ground water and configuration of the water table in the Portland, Oregon area: U.S. Geological Survey Scientific Investigations. In: <https://pubs.usgs.gov/sir/2008/5059/section4.html>.
61. Tucker (2009). Sedimentos siliciclásticos: areniscas, conglomerados y brechas. Recuperado de: <http://www.geoaprendo.com/2014/12/resumen-sedimentos-siliciclasticos-i.html>.
62. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastre – Colombia. Sistema Nacional de Gestión del Riesgo. 2015. Plan nacional de gestión del riesgo de desastres. Recuperado de: <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/PNGRD-2015-2025-Version-Preliminar.pdf>. PP. 14.
63. Universidad de Castilla-La Mancha. S.F. Rocas y yacimientos sedimentarios detríticos. Recuperado de: <https://previa.uclm.es/users/higuera/yymm/YM6.html>.
64. Universidad Nacional de Colombia. Agencia de Noticias UN. (2014). Suelo suburbano de Pereira carece de regulación. Recuperado de: (<http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/suelo-suburbano-de-pereira-carece-de-regulacion.html>).

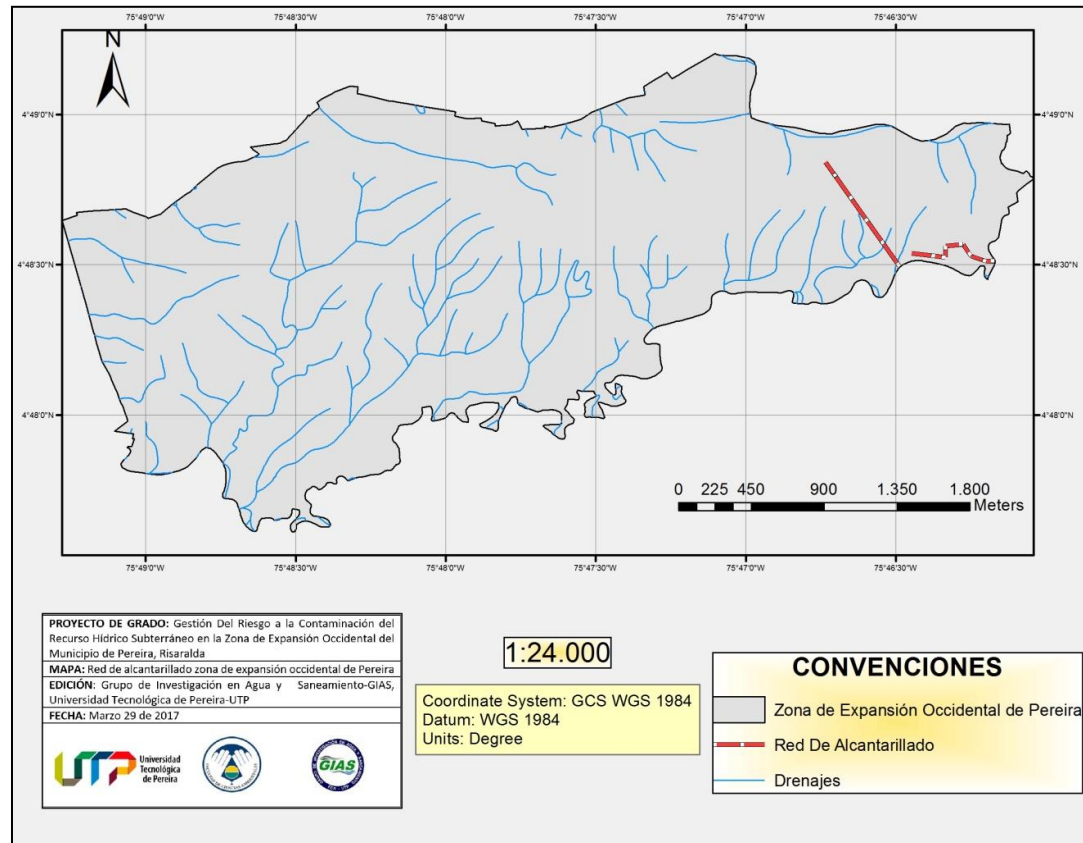
17. ANEXOS

Anexo A. Cronograma de trabajo

Objetivo específico	Actividades	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9
Realizar el anteproyecto	Recopilación y clasificación de información a para la realización del anteproyecto	█	█	█	█	█				
Identificar las amenazas socio-naturales y antrópicas; y la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero en la zona de estudio	Clasificación de información secundaria relacionada con el modelo de ocupación del territorio			█						
	Clasificación de información secundaria relacionada con las características hidrogeológicas del acuífero			█						
	Clasificación de información secundaria relacionada con las amenazas			█						
	Realización de mapas temáticos, con las variables del DRASTIC			█	█					
	Realización de mapa final de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero				█					
	Recolección de información primaria relacionada con las amenazas				█	█	█			
	Contraste entre la información primaria y secundaria (amenazas)						█			
Realización de mapas temáticos de los diferentes tipos de amenaza						█	█	█		
Analizar los escenarios de riesgo potencial de contaminación en la zona de estudio	Determinación del riesgo actual de contaminación del acuífero							█		
	Determinación de las causas de fondo del riesgo actual de contaminación							█		
	Determinación del riesgo futuro de contaminación del acuífero								█	
Formular estrategias para la gestión del riesgo de contaminación	Identificación de las divergencias y convergencias de los actores más influyentes en el sistema								█	
	Construcción del escenario apuesta								█	
	Formulación de estrategias para la intervención del riesgo de contaminación del acuífero en la zona de estudio									█

Fuente: Propia

Anexo B. Cobertura del sistema de alcantarillado



Fuente: Secretaría de Planeación, 2016.

Anexo C. Comparación entre los métodos de superposición más utilizados

Métodos	Descripción	Factores	Índice de Vulnerabilidad	Ventajas	Desventajas	Acceso a la información	Autor /Año
AVI (Acuífer Vulnerability Index)	Cuantifica la vulnerabilidad en función del espesor de las capas homogéneas por encima del acuífero y de la permeabilidad de cada capa	C: Resistencia hidráulica (años) Indica el tiempo aproximado de flujo vertical de agua por unidad de gradiente de carga que atraviesa la zona no saturada	$C = \sum bi/Ki$ bi: espesor de la capa homogénea "i" (encima de la zona saturada) Ki: Conductividad hidráulica vertical de la capa homogénea "i"	Es uno de los métodos más sencillos pues cuantifica la vulnerabilidad mediante un parámetro	Considera que el contaminante avanza sólo de forma vertical y no se consideran las recargas	Fácil	Van Stempvoort, 1992
BGR	Evalúa una serie de factores que determinan el tiempo de residencia del agua que se está infiltrando a través de la capa no saturada suprayacente al acuífero	Espesor de la zona no saturada. Conductividad hidráulica del suelo agrícola y de la zona no saturada. Tasa de percolación	$PT = W \cdot S + [W \cdot \sum (R \cdot E)] + Q + HP$ W: recarga. S: capacidad de campo R: tipo de roca – Litología. T: espesor de la capa Q: acuíferos colgados HP: condiciones de presión hidráulica	Es un método desarrollado en Alemania pero adaptado para Latinoamérica en Chile	En la mayoría de los casos, no se encuentra disponible toda la información requerida.	Difícil	Holting, et al, 1995
DRASTIC	Utiliza 7 parámetros que dependen del clima, el suelo, el sustrato superficial y el subterráneo	D: Profundidad del agua subterránea R: Recarga neta A: Litología del acuífero S: Tipo de suelo T: Topografía I: Impacto en el acuífero (Naturaleza de la zona no saturada) C: Conductividad hidráulica del acuífero	$iV = (Dr \times Dw) + (Rr \times Rw) + (Ar \times Aw) + (Sr \times Sw) + (Tr \times Tw) + (Ir \times Iw) + (Cr \times Cw)$ r: Factor de clasificación o valoración w: Factor de ponderación	Es la más aceptada para trabajos de investigación, por considerar mayor número de variables, lo que hace que los resultados obtenidos sean más confiables.	Mayor cantidad de variables puede transformarse en un inconveniente, cuando no se dispone de los valores de todas	En algunos casos la información requerida no está disponible	Desarrollado por Aller et al (1987) para la EPA.
EKv	Considera que la vulnerabilidad es cualitativa y que representa el grado de	E: profundidad de la zona saturada. Kv: permeabilidad vertical de la zona	$E_{kv} = E + K_v$	Fácil aplicación Se aplica en acuíferos libres	Considera sólo dos variables	Fácil	Auge, 1995

Métodos	Descripción	Factores	Índice de Vulnerabilidad	Ventajas	Desventajas	Acceso a la información	Autor /Año
	protección natural de un acuífero frente a la contaminación.	saturada					
EPIK	Es un método desarrollado por Doerfliger y Zwahlen (1997) para estimar la vulnerabilidad de acuíferos kársticos	E: Zona de intensa karstificación. P: Cobertura de protección I: Condiciones de infiltración K: Red kárstica.	$iV = (a \times E) + (b \times P) + (g \times I) + (d \times K)$ iV: factor de protección E, P, I, K: puntuaciones de los parámetros a, b, g, d: factores de ponderación	Es el método más utilizado para determinar vulnerabilidad en acuíferos kársticos	Apunta a definir factor de protección del acuífero en lugar de vulnerabilidad.	Medio	Doerfliger y Zwahlen, 1997
GOD	Considera el grado de inaccesibilidad hidráulica de la zona saturada y la capacidad de atenuación de los estratos suprayacentes a la zona saturada del acuífero	G: Grado de confinamiento hidráulico (tipo de acuífero) O: Litología de la zona no saturada. D: Profundidad del agua subterránea o del techo del acuífero confinado.	$iV = G \times O \times D$ Los parámetros G y O, pueden considerarse estables a lo largo del tiempo, mientras que el parámetro "D" es variable.	Sencillo, aplicable a áreas con escasez de información o incertidumbre de la misma	No tiene en cuenta el tipo de suelo, la infiltración efectiva ni la dispersión/dilución de contaminantes dentro del acuífero	Fácil	Foster e Hirata, 1988
PATHS	Es un método diseñado para la evaluación de la vulnerabilidad natural de los acuíferos cubanos	W: Factor de ponderación P: Profundidad del agua Pp: Precipitación A: Litología del Acuífero T: Tectónica PT: Pendiente Topográfica HS: Resistencia Hidráulica del Suelo	$\text{Índice de vulnerabilidad} = WP + WPP + WA + WT + WPT + WHS$	Es el único método desarrollado en el siglo XX y que nace desde Latinoamérica.	Requiere información que puede no ser de fácil acceso	Variable, puede encontrarse o no según la zona de estudio.	Valcarce y Rodríguez, 2004

Fuente: Adaptado de Foster et al (2002); Rojas (2006); Ríos y Vélez (2008); MAVDT (2010); Carmona (2011) y Restrepo (2014)

Anexo D. Clasificación variable “D”

Profundidad (m)	Valoración D _r
0-1,5	10
1,5-4,6	9
4,6-9,1	7
9,1-15,2	5
15,2-22,9	3
22,9-30,5	2
> 30,5	1

Fuente: MAVDT (2010)

Anexo E. Clasificación variable “R”

Recarga (mm)	Valoración R _r
0-50	1
50-103	3
103-178	6
178-254	8
> 254	9

Fuente: MAVDT (2010)

Anexo F. Clasificación variable “A”

Litología del acuífero	Valoración A _r	Valor típico A _r
Lutita masiva	1-3	2
Metamórfica/Ígnea	2-5	3
Metamórfica/Ígnea meteorizada	3-5	4
Till glacial	4-6	5
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	5-9	6
Arenisca masiva	4-9	6
Caliza masiva	4-9	6
Arena o grava	4-9	8
Basaltos	2-10	9
Caliza kárstica	9-10	10

Fuente: MAVDT (2010)

Anexo G. Clasificación de la variable “S”

Tipo de suelo	Valoración S _r
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol-cieno	2
Arcilla no compactada y no agregada	1

Fuente: MAVDT (2010)

Anexo H. Clasificación de la variable “T”

Pendiente (%)	Valoración T _r
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
> 18	1

Anexo I. Clasificación de la variable “I”

Naturaleza de la zona no saturada	Valoración I _r	Valor típico I _r
Capa confinante	1	1
Cieno-arcilla	2-6	3
Lutita	2-5	3
Caliza	2-7	6
Arenisca	4-8	6
Secuencias de arenisca, caliza y lutita	4-8	6
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo	4-8	6
Metamórfica/Ígnea	2-8	4
Grava y arena	6-9	8
Basalto	2-10	9
Caliza kárstica	8-10	10

Fuente: MAVDT (2010)

Anexo J. Clasificación de la variable “C”

Conductividad hidráulica		Valoración C _r
m/día	cm/s	
0,04-4,08	$4,6 \cdot 10^{-5}$ - $4,7 \cdot 10^{-3}$	1
4,08-12,22	$4,7 \cdot 10^{-3}$ - $1,4 \cdot 10^{-2}$	2
12,22-28,55	$1,4 \cdot 10^{-2}$ - $3,4 \cdot 10^{-2}$	3
28,55-40,75	$3,4 \cdot 10^{-5}$ - $4,7 \cdot 10^{-2}$	6
40,75-81,49	$4,7 \cdot 10^{-2}$ - $9,5 \cdot 10^{-2}$	8
> 81,49	$> 9,5 \cdot 10^{-2}$	10

Fuente: MAVDT (2010)

Anexo K. Información utilizada para las variables del DRASTIC modificado (DRATIC)

VARIABLE	FUENTES	PROCESO	OBSERVACIONES
"D" Profundidad del agua	Bases de datos de la CARDER (Monitoreo del acuífero de La Formación Pereira del 2006 al 2015)	Se utilizaron los datos del mes de diciembre del 2015. Una vez espacializados los datos de profundidades, se interpoló la información mediante kriging. Para la minimización de la incertidumbre se utilizaron los datos de todo el acuífero y una vez terminado el proceso se hizo una extracción de los datos correspondientes a la zona de estudio; esto se hizo para todas las variables	Las estimaciones de la elevación de la capa freática se ven afectadas por una serie de variables, incluyendo los tiempos, así como los efectos debidos al método de interpolación (Snyder, 2008); por lo tanto, los mapas resultantes, son aproximaciones y tienen una incertidumbre asociada
"R" Recarga del acuífero	Base de Datos de la Alcaldía de Pereira (Acuerdo 035 de 2016)	Los datos fueron seleccionados de esta fuente por ser los más actualizados. A partir de la capa de recarga del acuífero se aplicó la herramienta kriging para crear el raster. Posteriormente, se reclasificaron los valores dados en el kriging a partir de la clasificación del DRASTIC. Finalmente se hizo una extracción de los datos correspondientes a la zona de estudio	Los datos de recarga dependen de la precipitación, temperatura, desarrollo urbanístico y características del suelo; por lo tanto, los mapas resultantes, son aproximaciones y tienen una incertidumbre asociada.
"A" Litología del acuífero	Expedientes CARDER	Se seleccionaron los expedientes que cumplieran con tres criterios: coordenadas, prueba de bombeo y columna litológica; con el fin de poderlos espacializar, seleccionar la zona saturada y no saturada y aplicar la reclasificación de esta variable (tabla 18). Posteriormente se aplicó la herramienta kriging, la cual dio como resultado el raster	Los expedientes corresponden a 11 usuarios de Puntos de Agua Subterránea –PAS- con información de columnas litológicas asociadas a la perforación de pozos y aljibes realizadas por empresas como

VARIABLE	FUENTES	PROCESO	OBSERVACIONES
		(reclasificado con la herramienta reclass), obteniendo finalmente los valores totales de los cuales solo fueron extraídos los correspondientes a la zona de estudio.	GEOSUB.
"T" Topografía	Base de datos de USGS (United States Geological Survey) a través de la plataforma Earth Explorer.	Se descargó el DEM (Digital Elevation Model) con expansión de 10 km a partir de los límites de la zona de estudio, con el fin de tener mayor información al momento de realizar el análisis. Posteriormente se sacaron las curvas de nivel con la herramienta Contour con una distancia entre curvas de 25 m debido a que la zona de estudio no tiene altas pendientes. Se creó un TIN a partir de las curvas de nivel y se realizó la transformación del TIN a raster. Seguidamente, se aplicó la herramienta slope y se reclasificó con base en los rangos establecidos en el DRASTIC. Finalmente se extrajo el área correspondiente a la zona de estudio.	El desarrollo del DEM se basa en imágenes satelitales, por lo tanto, la actualización de esta información se encuentra sujeta a cambios por las actualizaciones de las imágenes satelitales usadas por la plataforma.
"I" Naturaleza de la zona no saturada	Expedientes CARDER	El procedimiento es el mismo realizado para la variable A, sólo que se tuvieron en cuenta los datos que están por encima del nivel freático (zona no saturada).	En la tabla 18 se encuentra la reclasificación de las variables A e I.
"C" Conductividad hidráulica	Acuífer Test y Base de datos de la CARDER	Los datos de conductividad hidráulica se desarrollaron con el software Acuífer Test (versión de prueba), a partir de los datos de pruebas de bombeo de pozos y aljibes consultados en los expedientes de la CARDER; el método utilizado fue el Theis Jacob. Una vez espacializados los datos en ArcGis 10.2.1 se realizó la aplicación de la herramienta raster, con una extensión a la zona de estudio, para obtener mayor amplitud en los datos. Posteriormente se aplicó la herramienta kriging y se realizó la reclasificación de los datos obtenidos a partir de la clasificación del DRASTIC. Finalmente se hizo la extracción de los datos de la zona de estudio.	El Acuífer Test permite estimar las propiedades hidráulicas de los acuíferos, tales como la transmisividad, la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento. Las pruebas de bombeo debían incluir como mínimos los datos de coordenadas, profundidad, diámetro del PAS, nivel estático y caudal

Fuente: Propia

Anexo L. Actividades antrópicas contaminantes para el agua subterránea

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA CONTAMINANTE		
TIPO DE ACTIVIDAD	Categoría de distribución	Principales tipos de contaminante
I. Desarrollo urbano		
Saneamiento in situ	Puntual-Difusa	Compuestos de nutrientes, patógenos fecales, carga orgánica general, micro-organismos tóxicos
Tuberías de agua residual con fugas	Puntual-Lineal	
Lagunas de oxidación de aguas residuales	Puntual	
Descarga de aguas residuales en el suelo	Puntual-Difusa	Compuestos de nutrientes, salinidad, carga orgánica general, patógenos fecales, micro-organismos tóxicos
Aguas residuales en ríos efluentes	Puntual-Lineal	Compuestos de nutrientes, carga orgánica general, patógenos fecales, micro-organismos tóxicos
Lixiviación de rellenos/volcaderos de basura	Puntual	Carga orgánica general, salinidad, metales pesados, microorganismos tóxicos

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA CONTAMINANTE		
TIPO DE ACTIVIDAD	Categoría de distribución	Principales tipos de contaminante
Tanques de almacenamiento de combustible	Puntual-Difusa	Micro-organismos tóxicos
Sumideros de drenaje de las carreteras	Puntual-Difusa	Salinidad, micro-organismos tóxicos
Residuos sólidos	Puntual	Amonio; salinidad; hidrocarburos halogenados; metales pesados
Disposición de lodos residuales domésticos	Puntual	Nitratos; hidrocarburos halogenados; plomo; cinc
<u>2. Producción industrial</u>		
Tanques/tuberías con fugas	Puntual-Difusa	Micro-organismos tóxicos, metales pesados
Derrames accidentales	Puntual-Difusa	
Aguas de proceso/lagunas de efluentes	Puntual	Micro-organismos tóxicos, carga orgánica general, metales pesados, salinidad
Descarga de efluentes en el suelo	Puntual-Difusa	
Descargas hacia ríos influentes	Puntual-Lineal	
Volcaderos de residuos con lixiviación	Puntual	Carga orgánica general, metales pesados, salinidad, micro-organismos tóxicos
Sumideros de drenaje	Puntual	Micro-organismos tóxicos, metales pesados
Precipitación aérea de sustancias	Difusa	Salinidad, micro-organismos tóxicos
<u>3. Producción agrícola</u>		
3.1. Cultivo		
-Con agroquímicos	Difusa	Compuestos de nutrientes, micro-organismos tóxicos
-Con irrigación	Difusa	Compuestos de nutrientes, micro-organismos tóxicos, salinidad
-Con lodo/lodo proveniente de agua residual	Difusa	Compuestos de nutrientes, micro-organismos tóxicos, salinidad, carga orgánica general
-Bajo riego con aguas residuales	Difusa	Compuestos de nutrientes, micro-organismos tóxicos, salinidad, carga orgánica general, patógenos fecales
3.2. Procesos de cosecha		
-Lagunas de efluentes	Puntual	Patógenos fecales, carga orgánica general, compuestos de nutrientes, micro-organismos tóxicos
-Descarga de efluentes en el suelo	Puntual-Difusa	Compuestos de nutrientes, salinidad, carga orgánica general, patógenos fecales, micro-organismos tóxicos
-Descarga hacia ríos influentes	Puntual-Lineal	Carga orgánica general, compuestos de nutrientes, patógenos fecales, micro-organismos tóxicos

Fuente: Modificado de Foster e Hirata (1991) y Foster *et al* (2002)



Anexo M. Puntos visitados

ID	NOMBRE
1	Aljibe - Alimentadero Hacienda Pavas
2	Aljibe - Cabisuar S.A.
3	Aljibe - Ecohotel Teocalli
4	Aljibe - EDS Santa Bárbara
5	Aljibe - Finca Apopori
6	Aljibe - Finca Lukatan
7	Aljibe - Finca Malasia
8	Aljibe - Finca Talara
9	Aljibe - Kioskos Y Empajados El Paisa
10	Aljibe - Pesebrera Cuatro Vientos
11	Aljibe - Sellado
12	Aljibe - Ukumarí
13	Aljibe - Vivero Las Gitanas
14	Aljibe 1 - Vivero Pavas
15	Aljibe 2 - Vivero Pavas
16	Aljibe 3 - Vivero Pavas
17	Aljibe 4 - Vivero Pavas
18	Aljibe Domestico
19	Aljibe Y PTAR - Sazagua
20	Aljibe Y STAR - Club Campestre Internacional De Pereira
21	Aljibe Y STAR - Hogar Del Anciano
22	Aljibe Y STAR - La Comelona Del Toro
23	Aljibes - Andrea's Steak House
24	Aljibes - Parque Consotá
25	Cámara De Vertimientos Domésticos - Ukumarí
26	Club Del Comercio (Sede Campestre)
27	Colegio Sant Drews
28	Condominio Makaira
29	EDS - Don Ernesto
30	Finca Jauja
31	Finca Malasia
32	Humedal - Ukumarí

ID	NOMBRE
33	Humedal Afectado Por Laguna de Oxidación - Ukumarí
34	Humedal Quebrada Larga - Ukumarí
35	Humedal Receptor De Quebrada Larga - Ukumarí
36	Laguna De Oxidación - Portal Del Campo
37	Planta De Almacenamiento De Residuos Sólidos - Ukumarí
38	Planta Ecopetrol
39	Pozo séptico - Andrea's Style House
40	Pozo séptico - Industria Marmolera De Colombia
41	PTAR - Biomax Planta Pereira
42	PTAR - Clínica Y Nutrición De Ukumarí
43	PTAR - Cuarentena De Ukumarí
44	PTAR - Principal De Ukumarí
45	Restaurante - Asados El Paisa
46	Restaurante - Mirador Paisa
47	STAR
48	STAR - Jaulas De Ukumarí
49	STAR Pizzas Picollo
50	STAR - Sonesta Hotel
51	STAR Restaurantes
52	Terpel
53	Urbanización - Galicia Del Parque
54	Urbanización - Mukava Del Viento
55	Urbanización - Piedras Blancas
56	Urbanización - Portal Del Campo
57	Urbanización - Portal Del Campo Ii
58	Urbanización - Senderos Del Campo
59	Finca Villa Ángel
60	Vertimiento De Lixiviados - Vehículo Recolector De Rs
61	Vertimiento Domestico De La Carrilera - Ukumarí
62	Vertimiento Domestico La Carrilera - Ukumarí
63	Vivero Don Matías
64	Vivero San Cayetano

Fuente: Propia

Anexo N. Formato base para entrevistas semi-estructuradas

FORMULARIO DE ACTUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE USUARIOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA ZONA DE EXPANSIÓN OCCIDENTAL DE PEREIRA						
 Universidad Tecnológica de Pereira		 Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento				
1. INFORMACIÓN GENERAL						
1.1. Nombre del establecimiento y/o actividad:		1.3. Coordenadas:		1.5. Fecha:		
1.2. Fuente de información:		1.4. Teléfono y/o email:				
2. INFORMACIÓN DEL PUNTO						
2.1. ¿El punto está legalizado?		Resolución No:		Fecha de expedición:		Vencimiento:
2.2. Tipo de punto y descripción		Pozo		Aljibe		Otro ¿Cuál?
2.3. Condiciones del punto		Productivo		Reserva		Abandonado
2.4. Uso del agua		Doméstico		Agrícola		Pecuario
		Fuente principal de abastecimiento:		Fuente secundaria de abastecimiento:		
3. DIAGNÓSTICO SANITARIO DE LA CAPTACIÓN						
3.1. Condiciones sanitarias de la captación		Distancia (m)		3.2. Condición del punto		Si o No
Existe una letrina				Cubierta adecuada		
Charco de agua estancada				Sello sanitario		
Basura, criaderos o estiércol de ganado a su alrededor				Piso de cemento alrededor del PAS		
Borde o grieta que permita el ingreso de agua superficial al mismo				Cercos adecuados alrededor del PAS		
				3.3. Fuentes puntuales de contaminación		Distancia (m)
				Cementerio		
				Estación de servicio		
				Lavadero de carros y motos		
				Pozo abandonado		
				Campo de infiltración		
				Otro ¿Cuál?		
4. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL PAS						
4.1. Apariencia		4.2. Olor		4.3. Color		4.4. ¿Hay presencia de animales?
						¿Hay presencia de residuos sólidos?
5. MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS						
4.1. Origen:		Doméstico		Industrial		Agrícola
4.2. Disposición:		Recolección pública		Incineración		Botadero a cielo abierto
						Residuos especiales
						Compostaje
						Reciclaje
						Otro ¿Cuál?
6. MANEJO DEL AGUA RESIDUAL						
6.1. Disposición del agua residual:		Pozo séptico		Acantarillado		STARD individual
6.2. Descripción:						¿Otro? ¿Cuál?
6. COMPONENTE CULTURAL						
5.1. ¿Tiene conocimiento acerca del agua subterránea en la zona?						
5.2. ¿Cuál considera usted que puede ser una fuente potencial de contaminación del agua subterránea en la zona?						
5.3. ¿Considera usted que el agua subterránea es importante para el desarrollo de la zona?						
7. OBSERVACIONES GENERALES						
Diligenciado por:						

Fuente: Modificado del IDEAM (2009)

Anexo O. Perfil de los actores entrevistado

Entidad tipo	Perfil asociado al proyecto	# de actores
Centros recreacionales	Manejan una gran cantidad de población flotante, por lo tanto sus Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales -STAR- deben ser acordes con la actividad, además pueden además ser un gran consumidor de agua subterránea y manejar altos volúmenes de residuos sólidos	4
Restaurantes	Debido a la cantidad de clientes manejados puede ser un gran consumidor de agua subterránea y generador de vertimientos de agua residual, asociados a la descarga de sanitarios y lavado de loza	3
Hoteles	Manejan una gran cantidad de población flotante, por lo tanto sus Sistemas de Tratamiento de	3

Entidad tipo	Perfil asociado al proyecto	# de actores
	Aguas Residuales -STAR- deben ser acordes con la actividad, además pueden además ser un gran consumidor de agua subterránea y manejar altos volúmenes de residuos sólidos	
Instituciones	Manejan una gran cantidad de estudiantes, por lo tanto pueden ser grandes consumidores de agua subterránea; además son generadores de vertimientos de agua residual, asociados a la descarga de sanitarios	5
Industrias	Dependiendo del tipo de industria puede generar residuos o sustancias contaminantes; además pueden ser un gran consumidor de agua subterránea si esta se utiliza en el proceso productivo	3
Viveros	Pueden ser grandes consumidores de agua subterránea para el riego de las plantas; además dependiendo del vivero, pueden almacenar agroquímicos, los cuales pueden derramarse	4
Estaciones de Servicios –E.D.S	Manejan tanques subterráneos para el almacenamiento de combustible con pozos de monitoreo, esto puede representar una amenaza por derrame de hidrocarburos; además los vertimientos generados requieren sistemas de tratamiento eficientes	4
Empresas prestadoras del servicio de acueducto	Pueden ser grandes consumidores de agua subterránea. Como ESP su responsabilidad además del servicio de abastecimiento debe también estar enfocada hacia la gestión integral del recurso hídrico. La cobertura de su servicio está directamente relacionada con la necesidad de utilizar el agua subterránea	2
Empresas prestadoras del servicio de aseo	La cobertura de su servicio está directamente relacionada con posibles focos de contaminación por residuos sólidos	1
Condominios y/o fincas	Pueden ser grandes consumidores de agua subterránea para el riego de cultivos, consumo humano y animal o para el consumo de población flotante en caso de ser alquilados; además pueden ser generadores de grandes volúmenes de agua residual y utilizar agroquímicos	7
Planes parciales	Según el POT de Pereira (2015-2027), los planes parciales que se vayan a desarrollar en el área de expansión occidental, se supeditarán a lo establecido por la Autoridad Ambiental en el proceso de concertación de los instrumentos que lo desarrollen de acuerdo a lo establecido por el PSMV. Durante el periodo 2000-2013 se aprobaron en la zona de drenajes del río Consota 16 planes parciales, con igual número de soluciones de tratamiento de agua residuales, las cuales deben entrar a ser operadas por Aguas y Aguas de Pereira	1
Centros poblados	Anteriormente se abastecían de agua subterránea pero Viva Cerritos y Aguas y Aguas han expandido su servicio hasta estas zonas. Poseen sistema de alcantarillado.	2
TOTAL		39

Fuente: Propia

Anexo P. Contaminantes asociados a industrias tipo 3

Fuente de Contaminación	Tipo de Contaminante
Gasolineras y garajes	Hidrocarburos aromáticos; benceno; fenoles; hidrocarburos halogenados
Industrias metalúrgicas	Tricloroetileno; tetracloroetileno; hidrocarburos halogenados; fenoles; metales pesados; cianuro
Pinturas y esmaltes	Alcalobenceno; hidrocarburos halogenados; metales; hidrocarburos aromáticos; tetracloroetileno
Industria maderera	Pentaclorofenol; hidrocarburos aromáticos; hidrocarburos halogenados
Tintorerías	Tricloroetileno; tetracloroetileno
Manufactura de pesticidas	Hidrocarburos halogenados; fenoles; arsénico
Curtidurías	Cromo; hidrocarburos halogenados; fenoles
Explotación/extracción de gas y petróleo	Salinidad (cloruro de sodio); hidrocarburos aromáticos
Almacenamiento y manipulación de hidrocarburos	hidrocarburos aromáticos (grupo BTEX), plomo

Fuente: Modificado de Foster e Hirata (2002)

Anexo Q. Cultivos y agroquímicos asociados a los usos del suelo en la zona de estudio

Nombre del agroquímico	Tipo de agroquímico	Dosis	Forma de aplicación	Categoría de toxicología	Cultivos asociados	Observación
Ametrina	Herbicida	De 2.5 a 5.1 Kg./Ha	Sobre el suelo	Franja azul: 1	Piña, caña de azúcar, banano y plátano	
Atrazina	Herbicida	2.8 Kg/Ha 3.3 Kg/Ha (Caña de azúcar)	Sobre el suelo	Categoría III	Piña, caña de azúcar, naranja y mandarina	
Bencimidazol	Fungicida	De 375 a 500 ml/Ha	Sobre el follaje	Toxicidad acuática aguda	Piña y mango	Extrema persistencia en el suelo. Movilidad ligera en el suelo
Bromacilo	Herbicida	De 2 a 7 Kg/Ha	Sobre el suelo	Franja azul: 2 Franja roja: 1	Piña, naranja y mandarina	
Captafol	Fungicida	4 g/l	Sobre el follaje	Tipo toxicológico IV	Piña, aguacate, pastizales	Movilidad baja en el suelo
Carbaril	Insecticida	2 Kg/Ha	Sobre el follaje	Grupo: II	Naranja y pasto	
Dicloroprop	Herbicida	100 L/Ha	Sobre el suelo	Categoría III	Naranja y pasto	
Diezinon	Insecticida	2 l/mz	Sobre el follaje	Tipo toxicológico: III	Piña	No se une fuertemente a las partículas y por ello puede lixiviarse hasta las aguas subterráneas
Diurón	Herbicida	2 g/l	Sobre el suelo	Categoría III	Caña de azúcar, banano, plátano y pasto	Efectos cancerígenos
Etoprofos	Nematicida	30 a 40 kg/Ha (Piña) 26 a 33 kg/Ha (Caña de azúcar) 26 g/cepa (Banano y plátano)	Sobre el suelo	Franja azul: 3 Grupo: II	Piña, caña de azúcar, banano y plátano	Efectos cancerígenos
Fosfato Diamónico	Fertilizante	30 g/Hl	Sobre el suelo	Franja azul: 2 Franja amarilla: 1	Café	
Furadan 5-G	Nematicida	1.5 g/planta	Sobre el suelo	Franja azul: 4 Tipo toxicológico II	Piña	En el suelo es moderadamente persistente. Se considera un peligro significativo de contaminación para las aguas subterráneas
Hexazinone	Herbicida	De 2 a 8 l/Ha	Sobre el suelo	Franja azul: 2 Franja roja: 1	Piña y caña de azúcar	Fácil lixiviación a través del suelo
Nemacur	Nematicida	25 l/Ha (Piña) 60 ml/10 L de agua	Sobre el suelo	Tipo toxicológico: 1	Piña y plátano	En el suelo su movilidad varía de baja a moderada, dependiendo del

Nombre del agroquímico	Tipo de agroquímico	Dosis	Forma de aplicación	Categoría de toxicología	Cultivos asociados	Observación
		(Plátano)				contenido de arcilla o materia orgánica
Nitrato de potasio	Fertilizante	100 a 200 g/20 litros de agua	Sobre el suelo o sobre el follaje	Franja azul: 1	Piña	
Oxamilo	Nematicida	30 a 60 L/Ha	Sobre el suelo	Tipo toxicológico: 1 Grupo: Ib	Piña	Poco persistente en el suelo
Permetrina	Insecticida	50 ml/l	Sobre el follaje	Tipo toxicológico: 3	Piña	Poca lixiviación. No se considera un riesgo significativo de contaminación para las aguas subterráneas
Simazina	Herbicida	3 a 10 l/Ha	Sobre el follaje o el suelo	Clase: IV	Naranja y mandarina	
Sulfato de magnesio	Fertilizante	5 g/planta	Sobre el suelo	Sin toxicidad	Café	
Tebutiuron	Herbicida	2 L/Ha	Sobre el suelo	Clasificación III	Caña de azúcar y pastizales	Extrema persistencia en el suelo. Alta solubilidad en agua. Alto potencial para contaminar aguas subterráneas
Terbacil	Herbicida	2 a 4 Kg/Ha	Sobre el suelo	Clase: III	Naranja y mandarina	
Terbutizalina	Herbicida	2.5 Kg/Ha	Sobre el suelo	Sin datos	Aguacate	
Triademefon	Fungicida	1.5 l/Ha	Sobre el follaje	Grupo IV	Café	
Triclorfon	Insecticida	1.2 Kg/Ha	Sobre el follaje y el suelo	Tipo toxicológico: III	Aguacate	Movilidad alta en suelos con diferentes texturas y contenidos de materia orgánica. Representa un riesgo de contaminación para las aguas subterráneas
Urea	Fertilizante	30 g/planta	Sobre el suelo	Franja azul: 1	Café	

Fuente: Modificado de FAO, S.F

Anexo R. Listado de actores, rol y tipo de estrategias a desarrollar

ACTORES EXTERNOS		
Nombre	Función dentro de la zona de estudio	Influencia en el desarrollo de las estrategias
CARDER	Autoridad ambiental, encargada de monitorear las fuentes de agua, calidad del aire, protección de zonas de importancia ecológica y ejercer control sobre los vertimientos; también desarrolla proyectos con enfoque social enmarcados en la educación ambiental.	Es uno de los actores con mayor influencia dentro de la zona de estudio, debido a que es una autoridad y las población respeta esta figura institucional, adoptando medidas de control sugeridas por esta entidad.
Alcaldía (Secretaría de planeación)	Veeduría en el desarrollo de proyectos urbanísticos y toda la dinámica de crecimiento del territorio.	Actor clave en la expedición de decretos y actos administrativos que influyan en el desarrollo sostenible de la zona de expansión de la ciudad.
ESP (aguas y aguas)	Actor institucional encargado del desarrollo del sistema de alcantarillado y abastecimiento del recurso hídrico a través del sistema de acueducto, ejercen control a través de la solicitud de caracterización de Aguas Residuales a cada uno de sus usuarios, con el fin de velar por la protección de la calidad del recurso hídrico.	Actores claves en el desarrollo de estrategias de mediano y largo plazo, enfocadas a la protección de las fuentes receptoras del sistema de alcantarillado y el desarrollo de proyectos conducentes a la mitigación, prevención o disminución del impacto ambiental
ESP (ATESA de Occidente)	Se encarga de prestar el servicio de Aseo, velando por la protección de la imagen de la ciudad en cuanto a la disposición de residuos sólidos no peligrosos, velando por la protección de ecosistemas estratégicos en la zona de estudio y que se puedan ver afectados por inadecuada disposición de residuos sólidos.	Su importancia se centra en el desarrollo de estrategias inmediatas, de mediano y largo plazo, que aseguren la recolección de residuos sólidos no peligrosos en el área de estudio y permitan posteriormente el desarrollo de proyectos artísticos que contribuyan a la sensibilización de la población sobre la adecuada disposición de residuos sólidos
Universidades	Desarrollan proyectos de investigación con énfasis en conocer la situación actual del recurso hídrico en la zona estudio, además de interrelacionar las diferentes dinámicas presentes en la zona de estudio para desarrollar estrategias y lineamientos que permitan orientar las decisiones de las autoridades territoriales.	Actor clave en el desarrollo de estrategias de mediano y largo plazo enfocadas a determinar las dinámicas del territorio y el desarrollo de proyectos que incentiven el conocimiento del recurso hídrico y la sensibilización a la población acerca de la importancia del agua subterránea.
Ministerio de Medio Ambiente	El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores.	
Intituto Colombiano Agropecuario	Entidad reguladora de las prácticas de manejo de cultivos y producción pecuaria a nivel nacional, dentro de sus programas se encuentra la implementación de las Buenas Prácticas agrícolas que define las acciones que deben realizar los productores agrícolas en el marco de la protección de la calidad del medio ambiente.	
IDEAM	Institución del orden nacional que se enfoca en el desarrollo de estudios ambientales buscando la pertinencia de estos estudios con las dinámicas ambientales que se dan en el territorio nacional actualmente.	
Servicio Geológico Colombiano - IGC	Se encarga de desarrollar estudios del suelo y subsuelo a nivel nacional, se hace estratégica su participación en la zona de estudio, para la actualización de la litología del acuífero.	

ACTORES INTERNOS		
Nombre	funcion dentro de la zona de estudio	Influencia en el desarrollo de las estrategias
Poblacion sin PAS	Usuarios del recurso hidrico que no tienen mucho acercamiento con el agua subterranea, pero aun asi son usuarios de alguna empresa prestadora de servicio de acueducto y alcantarillado, en caso de no tener alcantarillado, cuentan con pozos septicos o algun sistema de disposición de ARD	Estos actores son importantes al momento de desarrollar programas de educacion ambiental, para brindarles conocimiento acerca de la riqueza hidrica de la zona y el impacto que pueden generar los vertimientos que no sean dispuestos de manera adecuada
Poblacion con PAS	Usuarios del recurso hidrico subterraneo, cuyo acercamiento al agua subterranea es mayor, debido a que dependieron o dependen de este recurso para realizar alguna actividad de importancia	son los actores mas importantes en el desarrollo de estrategias conducentes a la proteccion de los PAS, debido a que son los que tienen el cuidado de la zona de a
Estaciones de Servicio (EDS)	Almacenamiento y distribucion de hidrocarburos, en algunas estaciones se realiza mantenimiento de vehiculos y se generan vertimientos de grasas, aceites e hidrocarburos, tambien son usuarios de la empresa prestadora del servicio de acueducto aguas y aguas.	Son actores involucrados directamente en el desarrollo de las estrategias conducentes a la prevencion o mitigacion de afectaciones al recurso hidrico subterraneo por contingencias.
Centros Recreacionales	Su actividad es clave con respecto al aprovechamiento del recurso hidrico, para el caso de la zona de estudio, todos dependen de manera directa del agua subterranea.	Desarrollo de estrategias a mediano y largo plazo de educacion ambiental dentro del ocio y la recreacion, incentivando la proteccion del recurso hidrico
Hoteles	Albergan gran cantidad de personas, que tienen diferentes practicas culturales con respecto al recurso hidrico.	Implementacion de buenas practicas ambientales enfocadas a la proteccion del recurso hidrico y adaptandolo a la mitigacion o disminucion de impactos ambientales negativos al agua subterranea
Instituciones educativas	Cumplir con la enseñanza de la protección del ambiente y los recursos naturales. Las instituciones educativas no cuentan con PAS pero si son generadores de Aguas Residuales y Residuos Solidos	Son actores clave dentro de la zona de estudio, debido a la inclusión social dentro de los proyectos ambientales escolares (PRAE's).
Industrias	Desarrollan actividades productivas de bienes y/o servicios, usando en algunos casos sustancias que pueden ser nocivas para el medio ambiente y produciendo residuos solidos de especial atención.	Implementacion de estrategias de mediano y corto plazo evidenciadas en el desarrollo de la politica ambiental dependiendo de la naturaleza de la actividad productiva y en sincronia con la politica de proteccion del recurso hidrico, incorporando elementos de calidad de los vertimientos.
Viveros	Desarrollan actividades de siembra, mantenimiento y comercio de plantas, tienen contacto directo con el agua subterranea, utilizada principalmente para labores de riego, lo que representa mezcla de productos quimicos.	Desarrollo de estrategias enfocadas a las buenas practicas agricolas y proteccion del recurso hidrico como fuente de abastecimiento para la actividad productiva
E.S.P. (Viva cerritos)	Empresa prestadora del servicio de acueducto en la zona de estudio, ha disminuido la cantidad de usuarios y utilizan el agua de dos pozos profundos que hacen parte del acuífero de la zona de estudio.	Actor clave en el levantamiento de informacion del acuífero y las dinamicas de aprovechamiento del agua para futuros estudios, ademas, sensibilizacion de la poblacion acerca del recurso hidrico.
Inspecciones de Policía	Se encargan de controlar eventos de contaminacion o afectacion al recurso hidrico, para que la autoridad ambiental proceda debidamente una vez informado el evento.	Pueden ejercer el control sobre quemas, movilización ilegal de recursos naturales y tala indiscriminada de bosques. La policia ambiental se encarga de realizar campañas de sensibilización a la poblacion acerca de la importancia de proteger recurso de flora y fauna estrategicos para la dinamica ambiental del territorio.

Fuente: Propia

Anexo S. Matriz de influencias directas (MID)

Variables	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1 : Características Hidrogeológicas del acuífero	0	2	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0
2 : Manejo de los PAS	3	0	1	0	3	3	3	3	0	1	3	3	3	0	3	0	0
3 : Manejo de los Residuos Sólidos	0	2	0	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 : Estado de las Fuentes de Agua Superficial	2	3	0	0	2	3	2	3	0	2	2	3	3	3	3	0	0
5 : Manejo de Hidrocarburos y Sustancias Tóxicas	0	3	3	2	0	3	2	3	0	2	0	3	2	0	3	0	0
6 : Manejo del Agua Residual	3	3	1	3	3	0	2	3	0	3	3	3	3	2	3	0	0
7 : Producción Agrícola	3	2	1	2	3	2	0	3	0	0	0	3	0	0	3	0	1
8 : Explotación del Agua Subterránea	3	3	1	0	3	3	3	0	0	3	3	3	3	1	3	0	0
9 : Ubicación	3	2	0	3	3	3	1	3	0	3	3	3	3	3	3	3	0
10 : Industria y Comercio	0	3	2	3	3	3	1	3	0	0	1	0	3	3	0	3	2
11 : Zonas Residenciales	0	3	2	2	2	3	0	3	0	3	0	0	2	2	3	2	2
12 : Percepción del Agua Subterránea	0	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	3	3	3	2	0
13 : Expansión urbana	3	3	0	3	3	3	0	3	0	3	3	3	0	3	3	3	2
14 : Servicio de Alcantarillado	3	3	0	3	3	3	0	3	0	3	3	3	3	0	3	0	0
15 : Servicio de Abastecimiento de Agua Potable	2	3	0	2	0	3	0	3	0	2	2	3	3	0	0	1	0
16 : Población Flotante	0	3	2	3	1	3	0	3	0	3	0	0	3	0	3	0	0
17 : Servicio de Recolección de Residuos Sólidos	0	0	2	3	3	0	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0

Fuente: Propia