

**Evaluación de riesgos sobre la calidad del agua en el Acueducto Rural El Tobal,
Subachoque, Cundinamarca; en el marco del Plan de Seguridad del Agua.**

**Andrés Felipe Ballesteros Rodríguez
Juan Sebastián Hernández Gamboa**

Proyecto de grado para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Ambiental
Bogotá D.C.
2016.

**Evaluación de riesgos sobre la calidad del agua en el Acueducto Rural El Tobal,
Subachoque, Cundinamarca; en el marco del Plan de Seguridad del Agua.**

**Andrés Felipe Ballesteros Rodríguez
Juan Sebastián Hernández Gamboa**

**Director:
Andrés Felipe Martínez Urrego
Ingeniero Químico
Magíster en Educación**

**Codirector
Ángela Jaramillo.
Bióloga marina.
Ph.D. ing. Hidráulica y Medio Ambiente**

**Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Ambiental
Bogotá D.C.
2016.**

Dedicatoria:

*Agradezco a Dios por haber iluminado mi largo camino para alcanzar una de mis tantas metas. A mis Padres y hermana por su apoyo incondicional en cada momento que lo necesité, a cada una de las personas que creyeron que este sueño era posible materializarlo sin dudar un solo instante y hoy les puedo decir cumplí.
Juan Sebastián Hernández Gamboa.*

Dedicatoria.

Dedico este proyecto de tesis a mi familia, encontrando en ellos el refugio, apoyo, amor, cariño, sabiduría e inteligencia como me lo han querido transmitir cada uno de ellos.

A mis profesores que en el día a día me estuvieron guiando por el sendero de la investigación, desarrollo intelectual y humano para entender el proceso de la vida. A mis compañeros por su compañía en cada instante de este paso a paso para culminar mi meta. A todos y cada uno de los integrantes de este plantel educativo quien en diferentes formas aportaron para mi crecimiento personal y profesional.

Andrés Felipe Ballesteros Rodríguez.

Resumen.

En el presente estudio se realizó una evaluación de los riesgos potenciales sobre la calidad del agua de la fuente de abastecimiento del acueducto rural El Tobal, bajo los lineamientos propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la elaboración de Planes de Seguridad del Agua.

Para realizar la evaluación se siguió un método semicuantitativo basado en matrices de riesgo (*De Deere, 2001*) adoptado por la OMS, para el cual se determinaron primero todos los peligros de tipo biológico, físico y microbiológico asociados con la captación que están afectando a la seguridad del agua; luego se determinaron todos los eventos peligrosos que pueden contaminar el agua, comprometer su seguridad o interrumpir el abastecimiento; y posteriormente se evaluaron los riesgos asociados a dichos eventos. Se pudo determinar que los dos eventos peligrosos¹ con mayor clasificación de riesgo fueron ganadería y agricultura al ser los que mayor probabilidad de ocurrencia y efectos adversos sobre la salud humana tienen.

Para la estimación de la calidad del agua de la Quebrada El Salitre se tomaron tres puntos de muestreo, a lo largo de su cauce, con el fin de realizar un análisis de las características físico-químicas y microbiológicas, observando incumplimiento en 4 de los parámetros medidos en sus valores máximos permisibles (turbiedad, Coliformes totales, E. Coli, hierro), de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007; así mismo se tuvieron en cuenta parámetros sugeridos por las guías de calidad del agua de la OMS [1].

Como herramienta para la toma de decisiones por parte de la entidad prestadora del servicio se diseñó un mapa por cada evento peligroso en donde, se localizaron los predios con su respectiva clasificación de riesgo de acuerdo a lo encontrado en la implementación de las fichas prediales y visitas de inspección.

Palabras clave: calidad del agua, riesgo, evento peligroso, peligro, plan de seguridad.

¹Entendidos como situaciones que introducen peligros en el sistema de abastecimiento de agua

Abstract.

In the present study, an assessment was made of the potential risks to the water quality of the supply source of the El Tobal rural aqueduct, under the guidelines proposed by the World Health Organization (WHO) for the elaboration of Water.

A semiquantitative approach based on risk matrices (De Deere, 2001) adopted by WHO was followed to assess the biological, physical and microbiological hazards associated with the uptake that are affecting the Water safety; Then determined all the dangerous events that can contaminate the water, compromise its security or interrupt the supply; And subsequently assessed the risks associated with such events. It was possible to determine that the two dangerous events with the highest risk classification were livestock and agriculture as the ones that are most likely to occur and have adverse effects on human health.

For the estimation of the water quality of the El Salitre Gully, three sampling points were taken, along its course, in order to perform an analysis of the physical-chemical and microbiological characteristics, observing non-compliance in 4 of the parameters Measured at maximum permissible values (turbidity, total coliforms, E. coli, iron), according to Resolution 2115 of 2007; As well as parameters suggested by the WHO water quality guidelines [1].

As a tool for decision-making by the entity providing the service, a map was designed for each dangerous event where the properties were located with their respective risk classification according to what was found in the implementation of the property files and visits Of inspection.

Key words: Water quality, risk, dangerous event, danger, safety plan.

TABLA DE CONTENIDO.

LISTA DE TABLAS.....	9
LISTA DE IMÁGENES.....	10
LISTA DE ANEXOS.....	11
Introducción.....	1
1. Objetivos.....	2
1.1. Objetivo General.....	2
1.2. Objetivos Específicos.....	2
2. Marco teórico.....	3
2.1. Elementos de la teoría.....	3
2.1.1. Planes de seguridad del agua.....	3
2.1.2. Calidad del agua.....	4
2.2. Características geoespaciales.....	6
2.3. Marco legal.....	7
3. Metodología.....	8
3.1. Fase 1.....	8
3.1.1. Revisión y análisis de información.....	8
3.1.2. Visita previa.....	8
3.1.3. Procesamiento de información Cartográfica.....	8
3.2. Fase 2.....	8
3.2.1. Caracterización de actividades en la zona.....	8

3.2.2. Identificación de peligros y evaluación de riesgos en la fuente de abastecimiento.	9
3.3. Fase 3.	14
3.3.1. Selección de puntos de muestreo.	14
3.3.2 Toma de muestras.	15
3.3.4. Evaluación de riesgos en la Quebrada El Salitre.	17
4.Desarrollo central.	19
4.1 Valoración y clasificación de eventos peligrosos y riegos.	19
4.2 Análisis de resultados de laboratorio.	20
4.4 Elaboración de mapa de puntos críticos ambientales.	24
4.4.1 Descripción de predios.	24
4.4.2 Mapas de puntos críticos.	26
5. Impacto Social.	45
6. Conclusiones.	46
7. Recomendaciones.	47
8. Anexos.	48
9.Bibliografía	61

LISTA DE MAPAS.

Mapa 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio	6
Mapa 2. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo sobre la Quebrada el salitre	15
Mapa 3. Mapa general de riesgo en la zona de estudio.	26
Mapa 4. Mapa de valoración del riesgo generado por ganadería	29
Mapa 5. Mapa de valoración del riesgo generado por agricultura	31
Mapa 6. Mapa de valoración del riesgo generado por deforestación	33
Mapa 7. Mapa de valoración del riesgo generado por disposición final de envases y empaques de productos químicos.	35
Mapa 8. Mapa de valoración del riesgo generado por transporte.	37
Mapa 9. Mapa de valoración del riesgo generado por remoción de cobertura vegetal.	39
Mapa 10. Mapa de valoración del riesgo generado por afluyente de agua de escorrentía. .	41
Mapa 11. Mapa de valoración del riesgo generado por acceso no protegido.	43

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Marco legal.....	7
Tabla 2. Relación de eventos peligrosos y peligros asociados en el área de estudio.	13
Tabla 3. Puntos seleccionados para muestras de agua cruda.	14
Tabla 4. Parámetros y métodos de medición seleccionados.....	16
Tabla 5. Matriz para la evaluación de riesgos.....	17
Tabla 6. Escala de valoración del riesgo.....	18
Tabla 7. Puntaje de la probabilidad y gravedad de los peligros.	19
Tabla 8. Clasificación de los riegos en la zona de estudio.	19
Tabla 9. Resultados del análisis de laboratorio.....	20
Tabla 10. Descripción de predios	24

LISTA DE IMÁGENES.

Imagen 1. Metodología pormenorizada del desarrollo y aplicación de un Plan de Seguridad del Agua.	3
Imagen 2. Disposición final de residuos.	10
Imagen 3. Almacenamiento de envases de agroquímicos.	10
Imagen 4. Zona de cultivo de papa.	11
Imagen 5. Medios de carga y transporte.	11
Imagen 6. Carretera rural	12
Imagen 7. Ganadería.	13

LISTA DE ANEXOS.

Anexo 1. Matrices para la valoración de eventos peligrosos.	48
Anexo 2. Fotos.....	58
Anexo 3. Fichas prediales..	60
Anexo 4. Informe de resultados entregado por el laboratorio Daphnia.....	60

INTRODUCCIÓN

Este proyecto se enfoca en el desarrollo científico aplicado, determinando los principales riesgos generados a la fuente de agua que abastece el acueducto veredal El Tobal del cual se alimentan los diferentes usuarios de la vereda. Se desarrolló este proyecto con el propósito de beneficiar a la comunidad afectada por las diferentes actividades económicas generadas por la comunidad. Se pretende con este proyecto mejorar la calidad de vida de la población, mediante una metodología usada por la OMS sobre los planes de seguridad del agua desarrollado para la quebrada de estudio El Salitre, determinándolo por etapas, teniendo un pre-visualización de la zona para iniciar con los diferentes eventos peligrosos que podrían estar ingresando un peligro latente y un riesgo a la calidad del agua, se inicia con una propuesta encaminada por una entidad internacional (OMS) identificando todos los puntos que están afectando de forma directa e indirecta la calidad del agua aguas arriba de la bocatoma, determinados estos puntos se realiza un censo predial que determina cada una de las actividades desarrolladas en la vereda para realizar su estudio del evento peligroso, el peligro generado, se maneja un matriz de riesgo para poder cuantificar, de forma tangible, cada uno de estos puntos críticos y así poder evaluar el daño generado a la fuente de agua.

De lo anterior surgen herramientas de toma de decisiones como el mapa de puntos críticos, mapa de riesgo por evento y mapa general de riesgos con su respectiva matriz de valoración. Todo esto para generar una valoración objetiva y tangible, donde se pueda determinar las afectaciones prioritarias para la calidad del agua que abastece el acueducto veredal El Tobal. Este compilado de actividades se entrega por medio de un documento escrito a cada una de las entidades adscritas al proyecto, como es el acueducto El Tobal, la junta de acción comunal, la Alcaldía y la Universidad Santo Tomas en su pleno desarrollo de ciencia aplicada y como derecho de este mismo.

1. OBJETIVOS.

1.1. Objetivo General.

Evaluar los riesgos sobre la calidad del agua de la fuente de abastecimiento del Acueducto rural “El Tobal” en el marco del plan de seguridad del agua.

1.2. Objetivos Específicos.

- Identificar los peligros y eventos peligrosos sobre la fuente de abastecimiento (Quebrada El Salitre) del acueducto rural el Tobal.
- Determinar las actividades económicas desarrolladas en la zona de estudio que puedan alterar la calidad del agua de la Quebrada El Salitre.
- Identificar los puntos críticos sanitarios de la Quebrada El Salitre como instrumento de gestión del riesgo para el Acueducto rural “El Tobal”

2. MARCO TEÓRICO.

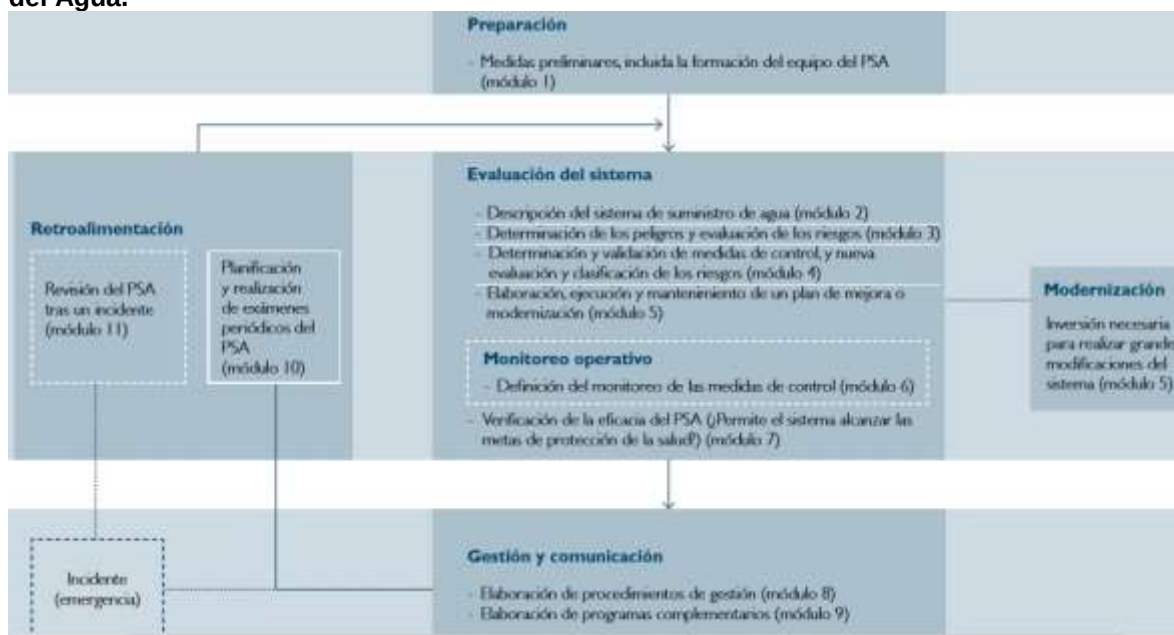
2.1. Elementos de la teoría.

2.1.1. Planes de seguridad del agua.

Los Planes de Seguridad del Agua surgen como respuesta a la preocupación de la OMS (Organización Mundial de la Salud) por las enfermedades relacionadas con la falta de agua o calidad inadecuada que ocasiona la muerte anual de 5 millones de personas en el mundo[2]

El plan de seguridad del agua (PSA) es un sinónimo de inocuidad que asegura la calidad sanitaria del agua, ayudando a evitar que peligros físicos, químicos, microbianos y organolépticos pongan en riesgo la salud del consumidor o el rechazo del agua a través de sistemas de control orientados a la prevención en lugar de solo un análisis del producto final, lo que configura un propósito muy específico vinculado a proteger la salud de la población [3]. Para la realización de este trabajo se tuvo como base el manual para el desarrollo de PSA otorgado por la organización mundial de la salud resumiendo sus módulos en la imagen N°1.

Imagen 1. Metodología pormenorizada del desarrollo y aplicación de un Plan de Seguridad del Agua.



Fuente:[4].

Como se puede observar en la imagen N°1 el desarrollo de un plan de seguridad del agua implica la realización de 11 módulos, sin embargo, este trabajo se basa en el desarrollo del módulo número N° 3 dado que este nos permite poner en práctica el ejercicio académico desarrollado en este trabajo de grado, el cual consiste en la determinación de los peligros y evaluación de los riesgos sobre la calidad del agua. La determinación como la evaluación de peligros y riesgos respectivamente se debe desarrollar en el marco de la gestión del riesgo, el cual es *“un proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre,*

así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible”[5].

Para la determinación de los peligros es necesario tener muy claro que un evento peligroso es una situación o situaciones que introducen peligros o impiden su eliminación en el sistema de abastecimiento de agua [6]; mientras que un peligro se define como agentes físicos, químicos, biológicos o radiológicos que pueden dañar la salud pública [6].

El riesgo de cada peligro se puede definir como: daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano, no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos [6].

En Colombia existe una reglamentación asociada a la seguridad del agua que fue adoptada por medio del decreto 1575 del 2007 donde se agrupan los requerimientos para la implementación de los planes de seguridad del agua (PSA); este decreto tiene como fin *“prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo”[7].* Formalmente, esto se ha venido aplicando a través del decreto 4716 del 2010, que tiene como finalidad establecer *“las condiciones, recursos, y obligaciones que deben cumplir las autoridades sanitaria departamental, distrital y municipal para elaborar los mapas de riesgo de la calidad del agua para consumo humano”[8], “aunque la normatividad asociada a la protección y control de la calidad del agua para consumo humano considera de forma aislada los objetivos de los PSA, formulados por la OMS, se armoniza con los requerimientos para su implementación”[2].*

2.1.2. Calidad del agua.

“El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria. Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar” [9].

Los impactos ambientales y sanitarios en la calidad del agua en las fuentes de abastecimiento, tienen una gran repercusión en la salud de las personas, por ello las medidas de control destinadas a mejorar la calidad del agua de consumo proporcionan beneficios significativos en la disminución de enfermedades. Todos los esfuerzos que se realicen por mejorar los sistemas de suministro en su captación, tratamiento y distribución tienen como objetivo que la inocuidad del agua para consumo sea la mayor posible[1].

Por lo general, la calidad del agua se determina a través de los parámetros físicos, químicos y biológicos. Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua, se consideran importantes las siguientes: turbiedad, sólidos solubles e insolubles, color, olor, sabor y temperatura[9]. Los parámetros químicos están relacionados con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias, entre las que se pueden mencionar, los sólidos disueltos totales, alcalinidad, dureza, fluoruros y metales son los de mayor importancia, ya que los componentes químicos pueden producir efectos adversos sobre la salud tras periodos de exposición prolongados, pocos componentes químicos del agua pueden ocasionar problemas de salud como resultado de una exposición única[1]. En el caso de los parámetros biológicos *“Las aguas crudas pueden tener una gran variedad de microorganismos. Los*

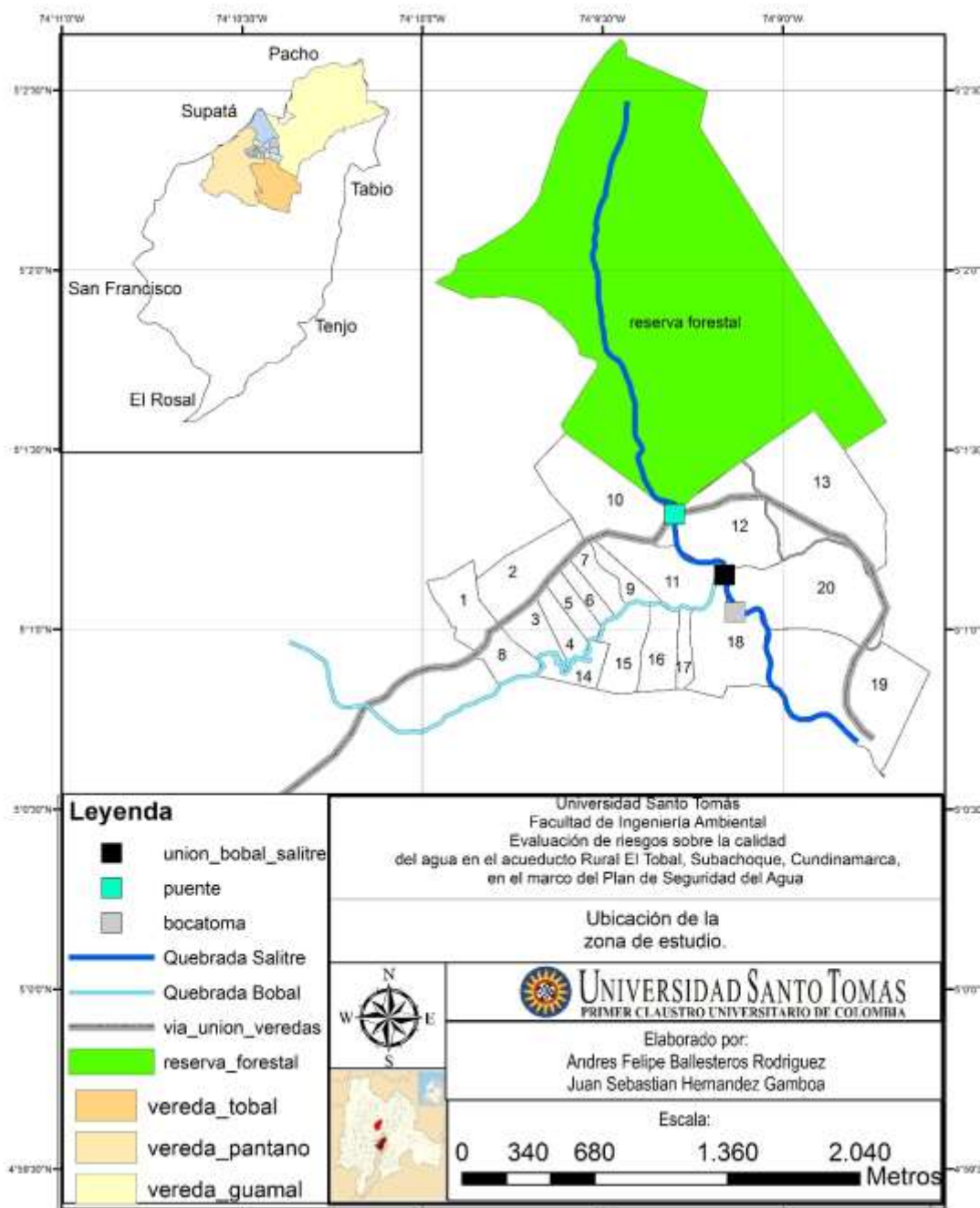
microorganismos en el agua pueden ser patógenos o no patógenos. Por patógenos se entienden aquellos organismos que causan enfermedad a los seres vivos mientras que por no patógenos se entiende lo contrario”[10].

Los microorganismos más importantes que se encuentran en el agua y pueden producir enfermedades son las bacterias, los virus, las algas, los hongos y algunos protozoos [10], en este trabajo se decidió medir E coli y Coliformes totales, se toman estos dos parámetros para su análisis ya que esenciales en la calidad del agua, debido a su alto puntaje en la norma 2115/07, con un rango de 0 UFC/100 cm³, se debe dar su cumplimiento total, para evitar aumentar su clasificación del nivel de riesgo en salud, según el IRCA.

2.2. Características geoespaciales.

El área de estudio se encuentra localizada en la región central de Colombia, en la Vereda El Tobal del municipio de Subachoque, Cundinamarca (ver mapa N°1).

Mapa 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio



Fuente:[12] adaptado por autores.

El Municipio posee una extensión aproximada de 21,153 kilómetros cuadrados; limita al Norte con el municipio de Zipaquirá; al Oriente con Tabio y Tenjo; al Sur con Madrid y El Rosal; al Occidente con San Francisco, Pacho y Supatá, como se puede observar en el mapa N° 1. Se encuentra a una altitud de 2663 msnm y una temperatura entre los 7° y 13° centígrados [11].

La Quebrada El Salitre fuente abastecedora del Acueducto Rural El Tobal, nace al noroeste de la sub-cuenca Rio Balsillas, perteneciendo a la cuenca alta del Rio Bogotá. Esta fuente de abastecimiento se localiza en el sector rural al noroeste del municipio de Subachoque entre las veredas Pantano de Arce, El Tobal y Guamal; el principal afluente de la Quebrada El Salitre es la Quebrada el Bobal, teniendo como punto de unión las coordenadas (5° 1'9.22"N, 74° 9'9.66"O), por lo cual se incluirá dentro del estudio al considerarla como una fuente aportante de carga contaminante.

2.3. Marco legal.

En la tabla N°1 se describe brevemente la normatividad consultada; la cual está basada en las políticas ambientales, sanitarias y gestión del riesgo, las cuales se tuvieron en cuenta para el desarrollo de este trabajo.

Tabla 1. Marco legal.

Norma	Objetivo
Ley 9 de 1979 Estatuto Sanitario.	Establece las normas generales que serán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana y ambiente [13].
Decreto 1575 de 2007 Ministerio de Protección Social.	<i>“Establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada” [7].</i>
Resolución 2115 de 2007 Ministerio de la Protección Social; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	<i>“Se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”[14].</i>
Resolución 4716 Ministerio de la Protección Social; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	<i>“Señala que el mapa de riesgos de calidad de agua es el instrumento que define las acciones de inspección, vigilancia y control de riesgo asociado a las condiciones de calidad de las cuencas abastecedoras de sistemas de suministro de agua para consumo humano”[8].</i>
Resolución 1615 de 2015 Ministerio de Salud y Protección Social.	<i>“Establece que los análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano, deben ser efectuados solo por laboratorios autorizados por el Ministerio de Salud y Protección social” [15]</i>
Ley 1252 de 2008 Congreso de la Republica.	<i>“Minimizar la generación de RESPEL mediante la implementación de planes integrales de residuos peligrosos, ejercer una política de PML, se deberá atender la clasificación de sustancias propuesta por la organización de las naciones unidas, y se reglamenta la responsabilidad del generador, fabricante, importador y/o</i>

	<i>exportador y la subsistencia de la responsabilidad” [16].</i>
Ley 1523 de 2012 Poder público- Rama legislativa	<i>“Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones”[17]</i>
Decreto 1076 de 2015	<i>“Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.[18]”</i>

Fuente: [3, 4, 12, 13, 14, 15, 16, 17]

3. METODOLOGÍA.

El proyecto se desarrolló de acuerdo con lo establecido en el módulo “3” del manual para la elaboración de planes de seguridad del agua de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la determinación de peligros y eventos peligrosos, y evaluación de riesgos sobre la calidad del agua [4] .

3.1. Fase 1.

3.1.1. Revisión bibliográfica.

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica de información pertinente sobre la temática de fuentes de abastecimiento, gestión del riesgo, sistemas de protección y control de la calidad de agua, mapas de riesgo de calidad de agua, y cartografía de la zona de estudio, consultando la normatividad y entidades como: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Salud y Protección Social, INS, Instituto geográfico Agustín Codazzi, Alcaldía de Subachoque (secretaría de planeación), acueducto rural El Tobal entre otras.

3.1.2. Visitas previas.

Las visitas previas a la Vereda El Tobal se realizaron con el fin de reconocer la zona, recolectar datos primarios sobre la fuente de abastecimiento, detectar medios de transporte para las visitas y obtener los permisos que fueron necesarios para el paso por predios privados hacia la Quebrada El Salitre y establecer un contacto con las personas encargadas del funcionamiento del acueducto veredal y líderes de las juntas de acción comunal.

3.1.3. Procesamiento de información Cartográfica.

Se recopiló información geográfica del municipio y la fuente de abastecimiento a través de los planos cartográficos suministrados por las entidades competentes, con el fin de reconocer la zona de estudio y elaborar un mapa que permitió la ubicación de los puntos críticos ambientales. Los planos cartográficos que se utilizaron para la elaboración del mapa de puntos críticos ambientales fueron: plano hidrográfico, uso de suelo rural, predial y uso potencial del suelo de Subachoque.

3.2. Fase 2.

3.2.1. Caracterización de actividades en la zona.

El desarrollo de las actividades de identificación y caracterización se realizaron en el cauce de las Quebradas Bobal y Salitre, esta última sirve como fuente de abastecimiento del acueducto Rural El Tobal, para determinar si existen factores de riesgo que afectan la

calidad del agua. Para ello se diseñó una herramienta denominada Ficha Predial basada en el censo predial utilizado por la Encuesta Nacional Agropecuaria [20].

La aplicación de esta ficha por medio de encuestas permitió levantar información económica relevante por cada uno de los predios que hacen parte de la ronda hídrica de la Quebrada [19]. Los datos tomados son los considerados relevantes en el proyecto tales como el actual uso del suelo, el consumo de productos agroquímicos y la información demográfica que hacen parte de cada predio [19]. Esta ficha fue aplicada en los predios aguas arriba de la bocatoma y los predios ubicados sobre la ronda de la Quebrada El Bobal.

3.2.2. Identificación de peligros y eventos peligrosos y evaluación de riesgos en la fuente de abastecimiento.

La OMS ha planteado un manual para la determinación de riesgos en la fuente abastecedora llamado Planes de Seguridad del Agua (PSA) [4]. Se realizó una caracterización de las actividades económicas desarrolladas alrededor de la Quebrada El Salitre y Quebrada Bobal, identificando y evaluando los riesgos que pueden estar presentando sobre la calidad del agua que abastece a la población de la Vereda El Tobal.

– Identificación de eventos peligrosos y peligros en la zona de influencia.

Es importante determinar los eventos peligrosos y peligros sobre la zona de influencia para tener en cuenta los aspectos más significativos que representen factores de riesgo, siguiendo una recopilación de eventos históricos, climáticos y de estudios previos con análisis de parámetros físico-químicos que pueden ser factores importantes de riesgo en la calidad del agua [19]. Estos informes técnicos y detallados brindaron, información de las características de la fuente de abastecimiento, la descripción de las fuentes de contaminación que son un peligro y las medidas de protección del recurso hídrico [19].

Es importante afirmar que para la identificación de la contaminación del agua cruda que abastece al acueducto de la vereda El Tobal, no solo se tuvieron en cuenta las actividades antrópicas que son una fuente de contaminación importante, ya sea por las descargas puntuales (aguas residuales municipales e industrias) o por las no puntuales (agua de escorrentía agrícola, ganado o uso recreativo) [19]; sino algunos procesos naturales que alteran la calidad del cuerpo de agua objeto de estudio.

De acuerdo a las visitas realizadas y la aplicación de las fichas prediales se detectaron los principales eventos peligrosos y peligros asociados en la zona de estudio, los cuales se describen a continuación:

- a) Disposición inadecuada de los envases y empaques de los productos químicos: estos son usados en los cultivos que se desarrollan en la parte alta de la Vereda Pantano de Arce, como se puede apreciar tanto en la imagen 2 y 3, los envases son acumulados en costales para ser dejados al lado de las viviendas durante algunos días, luego son incinerados en huecos profundos, a la intemperie, causando posiblemente precipitaciones de los elementos químicos que se percolan en el suelo y subsuelo, llegando a las fuentes subterráneas de agua; o en su defecto estos envases son arrojados al cauce de la Quebrada el Bobal, la cual vierte sus aguas a la Quebrada el Salitre, creando o aumentando la probabilidad de encontrar concentraciones de sustancias propias de los agroquímicos usados en los cultivos de papa y arveja.

Imagen 2. Disposición final de residuos.



Fuente: autores.

Imagen 3. Almacenamiento de envases de agroquímicos.



Fuente: autores.

- b) Actividades agrícolas: el cultivo predominante en la zona es el de la papa, el cual abarca grandes extensiones de tierra al ser la actividad económica más importante del municipio de Subachoque, en condiciones de relativa normalidad se llevan a cabo dos ciclos marcados de establecimiento de cultivos el primero entre los meses de enero a marzo y una segunda época entre los meses de junio y agosto [21]. La Vereda Pantano de Arce al encontrarse entre los 2500 y 3000 msnm es considerada una zona de producción óptima [21].

Para el desarrollo de los cultivos es necesario realizar una preparación del terreno, se lleva a cabo mediante la utilización de maquinaria agrícola pesada como arado de tracción mecánica, en aquellos terrenos con pendientes inferiores al 25% y en terrenos con pendientes superiores se usa el arado de tracción animal y en algunos casos con la utilización de herramientas manuales como el azadón [21]; estos movimientos de tierra pueden generar un aumento de sólidos suspendidos en las fuentes hídricas y aumento de los procesos erosivos del suelo.

Como se observa en la imagen No. 4 el cambio de uso del suelo es muy fuerte ya que es necesario retirar la cobertura vegetal para poder cultivar la papa dejando el suelo descubierto a la intemperie y el área de cultivo es bastante amplia considerando que son muchos los cultivos que se desarrollan en la vereda durante

el año; en la imagen No. 5 se observa que para la fecha en que se realizó una de las visitas en uno de los predios se encontraba en la época de cosecha y extracción de la papa lo que conlleva a que por las difíciles condiciones climatológicas de ese día (lluvia durante todo el día) y las condiciones topográficas del terreno los bultos deban ser llevados a un lugar en donde el camión de carga pueda llegar con facilidad, para llevarlos al mencionado lugar es necesario usar la tracción animal para su carga y transporte según comentaron los trabajadores. Pero, así como en algunos lotes se realizaba la extracción de papa en algunos otros hasta ahora se empiezan labores de siembra o de adecuación del terreno para su posterior siembra, por lo que se puede analizar que en la zona se desarrollan los cultivos de manera alterna para tener producción durante la mayor parte del año.

Imagen 4. Zona de cultivo de papa.



Fuente: autores.

Imagen 5. Medios de carga y transporte



Fuente: autores.

- c) Ganadería: esta actividad es la segunda actividad económica tanto en la Vereda Pantano de Arce como en la Vereda Guamal, aunque en menor número de predios con relación a los utilizados para los cultivos de papa, la ganadería es uno de los eventos peligrosos detectados en la zona de estudio porque los predios en donde existe ganadería están más cercanos tanto a la Quebrada el Bobal como a

la vereda El Tobal (ver imagen N° 6), lo que puede generar contaminación microbiológica por la materia fecal producida por los animales ya que en muchos lotes no existen barreras o “cercas” permitiendo que los animales tengan libre acceso a las fuentes de agua aumentando la probabilidad de contaminación debido a la intromisión y erosión del suelo. Otro de los peligros potenciales de la ganadería, es la compactación del suelo y desplazamiento de las rocas y piedras pendiente abajo, además que este tipo de animales consumen y destruyen la capa vegetal del suelo desencadenando el aumento de los procesos erosivos del suelo.

Imagen 6. Ganadería



Fuente: autores.

- d) Transporte: A la Vereda Pantano de Arce y Guamal las comunica una carretera sin pavimentar transitable por vehículos hasta el punto denominado la escuela de la Vereda Pantano y de ahí en adelante por las difíciles características solo pueden ser transitada por motos, caballos o tránsito peatonal como se observa en la imagen N°7. Claro esta que esta vía también es usada para la práctica de deportes extremos a motor como lo son, motociclismo en la modalidad de enduro, cross y trail. Esta carretera pasa por la Quebrada el Tobal en el punto “puente”, el cual también fue uno de los puntos de muestreo seleccionado para el desarrollo de este proyecto; los peligros asociados sobre la calidad del agua por el tránsito por la carretera son aumento de sólidos suspendidos por arrastre de la carretera destapada, derrame de productos (aceites, grasas) que modifiquen las características físicas y químicas del agua, contaminación microbiológica por la materia fecal y orina de los animales que transitan.

Imagen 7. Carretera rural



Fuente: autores.

Después de realizar el análisis de la información recopilada a través de las herramientas aplicadas en el trabajo de campo se resumen los 8 eventos peligrosos encontrados en la zona de estudio con una breve descripción de los peligros en la siguiente tabla 2

Tabla 2. Relación de eventos peligrosos y peligros asociados en el área de estudio.

Eventos peligrosos	Suceso peligroso
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	Contaminación microbiológica por la materia fecal producida por los animales y compactación del suelo por el pastoreo.
Agricultura: cultivos de papa y arveja	Contaminación por el uso de plaguicidas; fertilizantes; fungicidas; actividades que se realizan cerca fuente de abastecimiento
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	Contaminación por material suspendido y aumento de procesos erosivos del suelo.
Transporte: carretera veredal “tráfico de automotores y tracción animal”	Derrame de productos (aceites, grasas) que modifican las características físicas y químicas del agua, contaminación microbiológica por la materia fecal y orina de los animales que transitan.
Disposición final inadecuada de los envases, empaques de los productos químicos.	Aumento de la posibilidad que sean arrojados al cauce de las quebradas aumentando la contaminación química y física.
Remoción de cobertura vegetal "arado" para el desarrollo de cultivos".	Puede generar un aumento de sólidos suspendidos en las fuentes hídricas y aumento de los procesos erosivos del suelo
Afluente de agua de escorrentía.	Aumento de concentración de sólidos suspendidos y de metales provenientes del suelo (aluminio, zinc, entre otros) [22].
Acceso no protegido	Contaminación inesperada por actividades no estipuladas dentro del desarrollo agrícola, como lo son actividades paisajísticas, deportivas, ecoturísticas.

Fuente: [4, 22]; modificado por autores.

3.3. Fase 3.

3.3.1. Selección de puntos de muestreo.

Los puntos de muestreo escogidos en la fuente de abastecimiento fueron seleccionados de manera que las muestras fueran representativas con respecto a las condiciones más desfavorables que se puedan estar presentando en la zona de estudio y modifiquen la calidad del agua de acuerdo a los eventos peligrosos detectados durante las visitas mediante la observación y descritos arriba de manera detallada. Es así como durante los recorridos realizados a la fuente de abastecimiento de agua potable se establecieron los siguientes puntos de muestreo:

- El primer punto de muestreo “Puente” se encuentra ubicado 2200 metros aguas abajo del nacedero de la Quebrada El Salitre. Este punto fue seleccionado debido a que sobre esta zona se encuentra ubicada una reserva forestal de carácter privado, razón por la que se considera que las características fisicoquímicas y microbiológicas se mantienen muy parecidas a las que tiene en el nacimiento, para su posterior comparación de los resultados obtenidos de los dos otros puntos de muestreo y así poder determinar los cambios sufridos sobre la calidad del agua.
- El segundo punto de muestreo seleccionado “Unión Bobal Salitre”, está ubicado 4 metros abajo del punto de desembocadura de la Quebrada El Bobal en la Quebrada El Salitre, además este punto se encuentra 200 metros aguas arriba del primer punto seleccionado, se escogió este punto porque se quiso determinar la alteración que causa la Quebrada El Bobal sobre la calidad del agua en la Quebrada El Salitre, ya que sobre la ronda de la Quebrada Bobal es donde se encuentran mayores eventos peligrosos debido a sus actividades económicas.
- El tercer punto seleccionado “Bocatoma”, es donde se encuentra la bocatoma que abastece el acueducto Rural El Tobal, considerando que uno de los principales objetivos de este trabajo es determinar qué tipo de factores de riesgo están afectando la calidad del agua para su posterior consumo en esta vereda.

Las coordenadas de los tres puntos de toma de muestras seleccionados se encuentran en la tabla N°3.

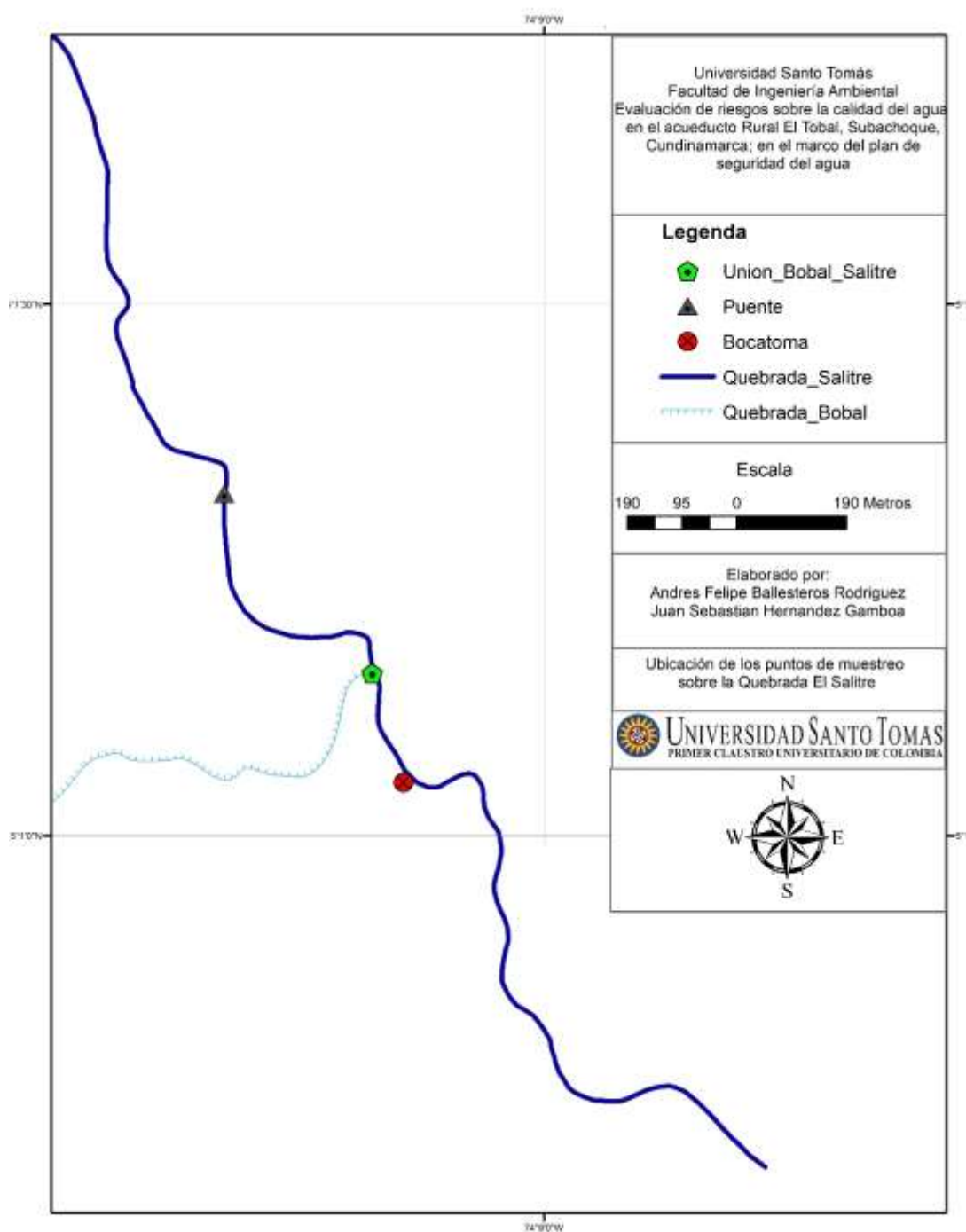
Tabla 3. Puntos seleccionados para muestras de agua cruda.

Puntos	Latitud	Longitud
Puente	5° 1'19.30"N	74° 9'18.00"O
Unión	5° 1'9.22"N	74° 9'9.66"O
Bocatoma	5° 1'3.00"N	74° 9'7.90"

Fuente: autores

De acuerdo a las coordenadas anteriormente indicadas, se muestran expresadas gráficamente en el mapa 2.

Mapa 2. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo sobre la Quebrada el salitre



Fuente: [12] adaptado por autores.

3.3.2 Toma de muestras.

El muestreo que se realizó en la zona de estudio, Quebrada El Salitre, se hizo de forma manual, en los puntos denominados “Bocatoma, Unión Bobal con Salitre, Punto” en las coordenadas que se muestran en la tabla N°4 teniendo en cuenta tanto las recomendaciones indicadas por el laboratorio químico seleccionado para la valoración de

las mismas como el protocolo publicado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para la toma de muestras de agua superficial[23].

Se realizó un muestreo simple por cada uno de los puntos seleccionados, los parámetros sujetos a medición fueron aquellos que tienen un reconocido efecto adverso sobre la salud humana y algunos exigidos en la resolución 2115 de 2007 [14] (ver tabla N°4), el criterio para la selección de los parámetros se basó en la información recolectada mediante la aplicación de las fichas prediales (en los predios 4, 6, 7, 8, 9, 12, 16, 20) y la evaluación técnica realizada por parte de los autores (en los predios 1, 2, 3, 5, 10, 11, 13, 14, 15,17,18,19), sobre los diferentes eventos peligrosos presentes en la zona.

Tabla 4. Parámetros y métodos de medición seleccionados.

Parámetro	Método	Parámetro	Método
Acidez total	S.M 2310 B	Demanda química de oxígeno (DQO)	S.M 5220 C
Alcalinidad	S.M 2320 B	Dureza total	S.M 2340 C
Aluminio	S.M 3111-D	E coli y coliformes totales	S.M 9222 B y D
Calcio	S.M 3111-B	Hierro	S.M 311 –B
Color aparente	S.M 2120 B	Fosfatos	S.M 4500-P E
Carbono orgánico total	S.M 5220 C- Calcu	Magnesio	S.M 3111 B
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	S.M 5210B Mod-SM	Molibdeno	S.M 3111 D
Nitritos	S.M 4500-NO2 B	Nitratos	S.M 4500 NO3- B
Pesticidas organoclorados	S.M 6630 B/ 6630	Pesticidas organofosforados	S.M 6630
Sulfatos	S.M 4500-SO4 E	Zinc	S.M 311 B
Temperatura	Insitu	pH	Insitu
Turbiedad	Insitu	Oxígeno disuelto	Insitu
Porcentaje de saturación de oxígeno	Insitu		

Fuente: Autores.

Para mantener las condiciones físico-químicas y microbiológicas de las muestras en el periodo transcurrido de la toma de la muestra hasta el análisis en laboratorio, se aplicaron los parámetros establecidos por el IDEAM para la preservación de muestras de agua cruda adaptados del Standard Methods for Examination of Water and Wastewater [24]; para algunos parámetros fue necesario medirlos en campo con ayuda de la sonda multi-parámetro (HI 982° de HANNA instruments) para lo cual fue necesario realizar la calibración insitu, adicionalmente las muestras se entregaron al laboratorio Daphnia, que se escogió por recomendación del director de tesis, por previos trabajos realizados con la universidad y por descarte económico ante otros laboratorios, para que realizara el análisis de las muestras, ubicado en la carrera 4 No. 57-08 en la ciudad de Bogotá al día siguiente de la aplicación de la toma de muestras.

3.3.4. Evaluación de riesgos en la Quebrada El Salitre.

Una vez identificados los eventos peligrosos y peligros en la zona, con sus fuentes de suministro, se compararon los factores de peligro con los riesgos asociados, describiendo cual puede ser su probabilidad de ocurrencia, determinando su gravedad y las consecuencias asociadas a la calidad del agua (peligrosidad). Se diferenciaron entre los riesgos más significativos y los de menor significancia, definiéndolo en una matriz de riesgo por medio de una puntuación, de esta manera se evaluaron cada uno de los factores teniendo en cuenta la magnitud de los riesgos [4]. En el proceso de evaluación se implementó un método semicuantitativo, que comprende la estimación de la probabilidad o frecuencia y la gravedad de la consecuencia por medio de una puntuación como se muestra en la tabla N°5[4].

Tabla 5. Matriz para la evaluación de riesgos.

		Gravedad de la consecuencia				
		Insignificante Clasificación: 1	Leve Clasificación: 2	Moderado Clasificación: 3	Grave Clasificación: 4	Catastrófico Clasificación: 5
Probabilidad	Casi siempre Clasificación: 5	5	10	15	20	25
	Probable Clasificación: 4	4	8	12	16	20
	Moderada Clasificación: 3	3	6	9	12	15
	Improbable Clasificación: 2	2	4	6	8	10
	Excepcional Clasificación: 1	1	2	3	4	5

Fuente: [4].

Cada fuente de peligro tiene un nivel de riesgo asociado que conlleva a una probabilidad de ocurrencia y la afectación de la calidad del agua en la zona de la bocatoma, según el nivel de riesgo de cada peligro se formularon medidas de control ambiental y sanitario. La puntuación del riesgo es el producto de la multiplicación del valor de la probabilidad por el valor de la gravedad, una vez obtenida esta puntuación se decide elegir el tipo de riesgo como indica la tabla No.6.

Tabla 6. Escala de valoración del riesgo.

Caracterización o Valorización del riesgo	Puntaje	Escala de colores
Riesgo Muy Alto	≥ 20	
Riesgo Alto	15 – 19	
Riesgo Medio	10 – 14	
Riesgo Bajo	5 – 9	
Sin Riesgo	0 - 4	

Fuente: [4].

4. DESARROLLO CENTRAL.

4.1 Valoración y clasificación de eventos peligrosos y riegos.

Para poder calcular el riesgo de cada uno de los eventos peligrosos primero se dio un valor a la probabilidad de ocurrencia y a la gravedad de cero a cinco respectivamente a cada uno de los 8 eventos peligrosos identificados, tal como se muestra en la tabla N°7, estos puntajes fueron asignados según la información recopilada durante las diferentes visitas realizadas a la zona de estudio y la aplicación de las fichas prediales.

Tabla 7. Puntaje de la probabilidad y gravedad de los peligros.

Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	4	5
Agricultura: cultivos de papa y arveja	4	5
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	2	3
Transporte: carretera veredal	5	2
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	4	4
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	3	4
Afluente de agua de escorrentía.	3	3
Acceso no protegido	3	3

Fuente: [25].

La puntuación del riesgo, es el producto de la multiplicación del valor de la probabilidad por el valor de la gravedad, valores asignados anteriormente en la tabla N°7, una vez realizada dicha multiplicación se obtiene el valor de riesgo. Estos valores se muestran en la tabla N°8 con su respectiva clasificación.

Tabla 8. Clasificación de los riegos en la zona de estudio.

Evento peligroso (fuente de peligro)	Puntuación	Clasificación
Ganadería y otras especies (equinos, caprinos, ovinos)	20	Muy alto
Agricultura: cultivos de papa y arveja	20	Muy alto
Disposición final de los envases y empaques de los productos químicos	16	Alto
Remoción de cobertura vegetal (arado para el desarrollo de cultivos)	12	Medio

Transporte: carretera veredal	10	Medio
Afluente de agua escorrentía	9	Bajo
Acceso no protegido	9	Bajo
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de las Quebradas Salitre y Bobal	6	Bajo

Fuente:[4].

4.2 Análisis de resultados de laboratorio.

Para cada punto de muestreo se realizó la medición de 25 parámetros físico-químicos y biológicos, con el fin de evaluar la calidad del agua de la Quebrada El Salitre, fuente de suministro de agua del acueducto veredal El Tobal, se tuvieron en cuenta tres puntos de muestreo en el recorrido de la Quebrada, la tabla N°9 muestra los valores entregados por el laboratorio Daphnia de cada uno de los parámetros.

Tabla 9. Resultados del análisis de laboratorio.

Fecha de toma de muestra	Parámetros	Normas (2115/07)	Unión	Puente	Bocatoma
jueves-04-08-2016	color	4	<5	<5	<5
	Temperatura		10,37 °C	9,14	10,17
	Turbiedad	2 (UNT)	2,8	10,3	3,1
	pH	6,5-9	6,18	6,47	6,4
	Oxígeno disuelto		7,24 ppm OD	6,39	6,76
	porcentaje de saturación		95,20%	81,90%	88,2
	Acidez total		14,7	12	7,6
	Alcalinidad	200mg/L(CaCO3)	10,25	10,76	12,81
	Aluminio	0,2mg/L (Al)	<0,20	<0,20	<0,20
	Calcio total	60 mg/L (Ca)	1,2	7,83	<0,20
	Carbono orgánico total	5,0 mg/L (COT)	<5	<0,5	<5
	Nitritos	0,1 mg/L (NO2)	<0,007	<0,07	<0,007
	Pesticidas organoclorados		<0,01	<0,01	<0,01
	Sulfatos	250mg/L(SO4)	<10	<10	<10
	Dureza total	300mg/L(CaCO3)	7,8	6,3	11,5
	Hierro	0,3 mg/L(Fe)	0,35	0,23	0,27
	Fosfatos	0,5mg/L(PO4)	<0,12	<0,12	<0,12
	Magnesio		0,54	1,01	0,43
	Molibdeno	0,07 mg/L (Mo)	<0,01	<0,01	<0,01
	Nitratos	10 mg/L(NO3)	<1,5	<1,5	<1,5

Pesticidas orgafoforados		<0,01	<0,01	<0,01
Zinc	3 mg/L (Zn)	<0,05	0,42	<0,05
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)		<3	<3	<3
Demanda química de oxígeno (DQO)		<10	<10	<10
Coliformes totales	0 UFC/100 cm³	740	210	930
E coli	0 UFC/100 cm³	30	10	80

Fuente: [26].

Análisis:

El primer punto de muestreo “Puente”, podía ser el que menor alteración en los parámetros físico-químicos y biológicos tuviera pero al compararlo con los límites permisibles estipulados por la resolución 2115 de 2007 [14] para agua potable se encontró que el valor de turbiedad sobrepasa el valor máximo permisible en 0,8 UNT esto puede estar siendo ocasionado por los sedimentos [10] que caen al cauce de la Quebrada provenientes de la carretera que pasa por este punto y los que caen del puente para el paso sobre la Quebrada.

La concentración de Coliformes totales y E.coli también sobrepasan los límites máximos permisibles, la presencia de Coliformes totales indica que el cuerpo de agua ha sido o está contaminado con materia orgánica de origen fecal, ya sea por humanos o animales [10]; para este caso específico se considera que es causada por la materia orgánica fecal de los caballos (medio de carga) que cruzan por la carretera que comunica la vereda el Guamal con la vereda Pantano de Arce, ya que no se observaron puntos de descarga de pozos sépticos sobre este punto y algunos metros aguas arriba.

Para el punto de muestreo dos denominado “Unión”, en este caso los movimientos de tierra realizados dentro de las labores de preparación del terreno para su posterior siembra en los lotes cercanos a la ronda de las Quebradas Salitre y Bobal, pueden estar siendo las causas de que se presente un nivel alto de turbiedad, puesto que este punto no se encuentra cerca de la zona de reserva forestal sino que por el contrario está expuesta a la intervención de las actividades antropogénicas de la zona (agricultura y ganadería).

Asimismo la contaminación por E. coli y Coliformes totales, podrían estar siendo generadas por la heces del ganado criado cerca a este punto de muestreo, teniendo en cuenta que muchos de estos lotes no cuentan con un sistema de “cercas” que obstaculice el paso del ganado hacia estos dos cuerpos hídricos, aumentando el porcentaje de probabilidad que sea este evento peligroso el causante de la contaminación por materia fecal, aunque podría existir la posibilidad que se estén haciendo vertimientos de aguas residuales domésticas, puesto que en esta zona si hay casas muy cercanas a los cuerpos de agua, pero los encuestados en su totalidad ninguno manifestó que su sistema de disposición de estas aguas residuales domesticas fueran vertidas en las Quebradas, por lo tanto seguimos infiriendo que la causante principal de estos resultados de laboratorio

adversos en estos dos parámetros evaluados es la presencia de ganadería sin restricción de movimiento alrededor de la quebrada El Bobal.

La concentración de hierro en el punto dos “Puente” fue la más alta de los tres puntos de muestreo, sobrepasando los 0,3 mg/l de la norma, esta situación se podría estar presentando por la disolución de rocas y minerales, cuando las corrientes de aguas superficiales, pluviales o subterráneas entran en contacto con los suelos[27]de acuerdo a la cinética de los contaminantes, estos se percolan por los poros del suelo llegando a las aguas confinadas o acuíferos, que luego entran en contacto con las quebradas superficiales alimentándolas y cambiando sus características físico-químicas.

En el punto de muestreo tres “Bocatoma” (Toma de suministro de agua), se tiene aprovechamiento del suelo por parte del sector ganadero, manteniéndose con unos niveles altos de turbiedad, Coliformes fecales y E. coli; adicionalmente se presenta un proceso de deforestación en la zona provocando que caigan sedimentos que impiden el paso de la luz por el agua aumentando de manera directa la turbiedad, este punto de muestreo es el de mayor interés puesto que de ahí es captada el agua, llevada al desarenador y conducida a los tanques de almacenamiento en donde no se le está aplicando ningún tipo de tratamiento de potabilización por las precarias condiciones en que se encuentra la planta de tratamiento. Se considera que este es el punto más crítico del análisis, ya que los resultados obtenidos del laboratorio indican la mala calidad del agua y las graves condiciones en que los usuarios están consumiendo la misma debido a su contenido con altas concentraciones de E.coli y Coliformes totales exponiéndolos fácilmente a enfermedades asociadas a este tipo de microorganismos.

4.3 Porcentaje de Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) para consumo humano.

Siendo un instrumento de control de la calidad del agua para consumo humano, se desarrollan los IRCA's por muestra para cada punto (Bocatoma, Unión, Puente)[14], frente a un eventual consumo.

Se decide realizar el cálculo del IRCA, porque para el desarrollo central de este proyecto se consideró necesario, ya que al agua en el acueducto no se le realiza ningún tratamiento posterior a la captación (la planta de tratamiento no se encuentra en operación). El agua llega a los tanques de almacenamiento y posteriormente es conducida por las redes de distribución hacia cada uno de los usuarios, motivo por el cual se considera que los valores encontrados de coliformes totales y E. coli son altos con respecto a la norma considerando que no se hace ningún tratamiento de potabilización.

Ecuación IRCA

$$IRCA = \frac{\Sigma \text{Puntaje de riesgo asignado a las características NO ACEPTADAS}}{\Sigma \text{Puntaje de riesgo asignado a todas las características analizadas}} \times 100\%$$

Fuente: [14]

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80.1 -100	INVIABLE SANITARIA MENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35.1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 – 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

Fuente: [14]

Punto Bocatoma

$$IRCA_{Bocatoma} = \left(\frac{55}{82} \right) \times 100\%$$

$$IRCA_{Bocatoma} = 67\% \cong 67,07\%$$

Análisis. Se observa que el porcentaje obtenido del cálculo del IRCA para el punto Bocatoma, se tiene un elevado porcentaje ya que se sobrepasan los parámetros de turbiedad 1.1 UNT, Coliformes totales 930 UFC/100 cm³ y E. Coli 80 UFC/100 cm³, según se compara con la norma 2115/07. Estos valores podrían tener una relación directa con los eventos peligrosos encontrados en la zona de estudio como lo fue la ganadería, aumentando los procesos erosivos en el suelo, siendo más propenso el deslizamiento de sedimentos hacia la Quebrada El Salitre aumentando potencialmente el valor de turbiedad. Así mismo la materia fecal llega por medio del tránsito de animales por esta zona de la Quebrada, incrementando los niveles de Coliformes totales y E. Coli, también se puede suponer que este evento es consecuente del acceso no restringido alrededor de la zona de estudio. Según la legislación vigente se da un nivel de riesgo ALTO.

Punto Unión

$$IRCA_{Unión} = \left(\frac{56,5}{82} \right) \times 100\%$$

$$IRCA_{Unión} = 68\% \cong 68,90\%$$

Análisis. Como se observa el desarrollo del IRCA en este punto de muestreo se obtuvo un porcentaje elevado, sobrepasando los límites máximos permisibles con concentraciones en los parámetros de Turbiedad 0,8 UNT, Hierro 0,05 mg/l (Fe), Coliformes fecales 740 UFC/100 cm³ y E. Coli 30 UFC/100 cm³. Cerca a este punto de muestreo se tienen algunos eventos peligrosos como lo son ganadería extensiva con

acceso no restringido, cultivos agrícolas (papa) alrededor de la Quebrada El Bobal. Según la clasificación de la resolución 2115 se obtuvo un nivel ALTO de riesgo.

Punto Puente

$$IRCA_{Punto} = \left(\frac{55}{82} \right) \times 100\%$$

$$IRCA_{Punto} = 67\% \cong 67,07\%$$

Análisis. Como se observa el porcentaje determinado para el punto Puente (Nacimiento) se obtiene un elevado porcentaje el cual sobrepasa los límites establecidos por la legislación vigente con concentraciones de turbiedad 8,3 UNT, Coliformes Fecales 210 UFC/100 cm³ y E. Coli 10 UFC/100 cm³ como se expone anteriormente debido a cada uno de los eventos peligrosos. Según la clasificación de la resolución 2115 este se entiende como un nivel ALTO de riesgo.

4.4 Elaboración de mapa de puntos críticos ambientales.

Como resultado final del proyecto y utilizando el Software Arcgis el cual es un sistema que contiene información geográfica permitiendo la administración de la misma y funcionando como una infraestructura para elaborar mapas, herramienta tecnológica ampliamente utilizada, recomendada y orientada desde la Universidad Santo Tomas, se elaboraron los mapas de la ubicación de los puntos críticos sanitarios de la Quebrada El Salitre, en el cual se ubican los puntos críticos a lo largo del cauce. Estos mapas constituyen la herramienta que se le entrega a la junta de acueducto veredal con el propósito de facilitar el análisis para la toma de decisiones y su posterior gestión para el mejoramiento de la calidad de agua de consumo.

4.4.1 Descripción de predios.

Se hizo un análisis de los predios aledaños a las quebradas El Salitre y Bobal para establecer los puntos críticos que se consideran están generando las causas más probables de contaminación de acuerdo a los parámetros físico-químicos presentados en cada uno de los puntos de muestreo y los eventos peligrosos y peligros establecidos previamente analizados alrededor de los puntos de muestreo. Para ello fue necesario hacer un reconocimiento de la zona y caracterizar cada uno de los predios de acuerdo a lo establecido en los PSA, características que se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Descripción de predios

Número de predio	Características
1	En este predio solo se observó el desarrollo de pastos, no se observa ninguna actividad agrícola o pecuaria, está ubicado sobre la carretera y cerca de él no se encuentra ningún cuerpo de agua.
2	En este predio se observó durante la visita que se realizaban labores de tala de árboles para su aprovechamiento, ya que por encontrarse sobre la carretera es más fácil transportar la madera.
3	Sobre este predio se pudo observar que no se ha hecho ninguna intervención por parte del hombre más allá del proceso de cercado para delimitarlo, se encuentra entre la carretera Veredal y la Quebrada el Bobal.
4	En este predio se removió la cobertura vegetal para darle paso al cultivo de papa, en el cual se aplican agroquímicos como lorban y clorpirifos con

Número de predio	Características
	una frecuencia de aplicación de 15 a 20 días según lo dicho por las personas que estaban trabajando en este predio el día de la aplicación de la ficha predial; este predio se encuentra sobre la zona de ronda de la Quebrada el Bobal. Cabe resaltar que, en la zona colindante con la Quebrada, el predio N°4 cuenta con un sistema deficiente de cercado. Los residuos generados por las actividades en este predio son apilados en un costado cercano a la Quebrada.
5	En este predio solo se observó el desarrollo de pastos, no se observa ninguna actividad agrícola o pecuaria, se encuentra entre la Quebrada el Bobal y la carretera veredal.
6	Este predio se encuentra en la zona de ronda de la Quebrada el Bobal, en el cual desarrollan cultivos de papa y arveja, se manejan de manera alterna, por lo cual constantemente se realizan actividades de preparación del terreno como lo son el arado, lo que implica una remoción de la cobertura vegetal, arado y otros. En este predio se observó el desarrollo de procesos erosivos y no existe un manejo para los residuos generados por estas actividades. Se aplican agroquímicos como monitor y engeo con una frecuencia entre los 10 y 25 días.
7	Este predio se encuentra en la zona de ronda de la Quebrada el salitre, en el cual desarrollan cultivos de papa. Se realizan actividades de preparación del terreno como lo son el arado lo que implica una remoción de la cobertura vegetal, arado y otros. En este predio se observó el desarrollo de procesos erosivos y no hiciste un manejo para los residuos generados por estas actividades. Se aplica agroquímicos como triple 15 una sola aplicación y monitor cada 12 días.
8	En este predio se realiza la actividad pecuaria de la ganadería extensiva con un total de 18 bovinos y también 4 cabras. Debido al pastoreo continuo se empiezan a evidenciar procesos erosivos; cuenta con un sistema de cercado eléctrico lo que impide el acceso de estos animales hacia la Quebrada el Bobal. Este predio se encuentra en la zona de ronda mencionada Quebrada y también colinda con la carretera veredal.
9	En este predio se desarrollan cultivos de papa, se encuentra en la zona de ronda de la Quebrada el Bobal, para este predio en especial el día de la visita se estaba cosechando la papa, apilándola en “bultos” en un costado cercano a la carretera en donde era cargada por caballos para su posterior transporte en camiones. Como se estaba sacando la papa se evidencio una gran remoción de tierra y consigo la poca cobertura vegetal que quedaba; los agroquímicos usados en este cultivo fueron tamaron, latigo y manzate con una frecuencia de uso de 8 a 20 días. Se observó que los empaques y envases de los agroquímicos son dejados en cualquier lugar del predio.
10	Es un predio con un porcentaje alto de pendiente lo que facilita que se genere deslizamientos de tierra hacia la parte baja la cual colinda con la Quebrada el Salitre. Cuenta con una amplia cobertura vegetal característica del ecosistema de paramo la cual está siendo removida para darle espacio a un cultivo de papa.

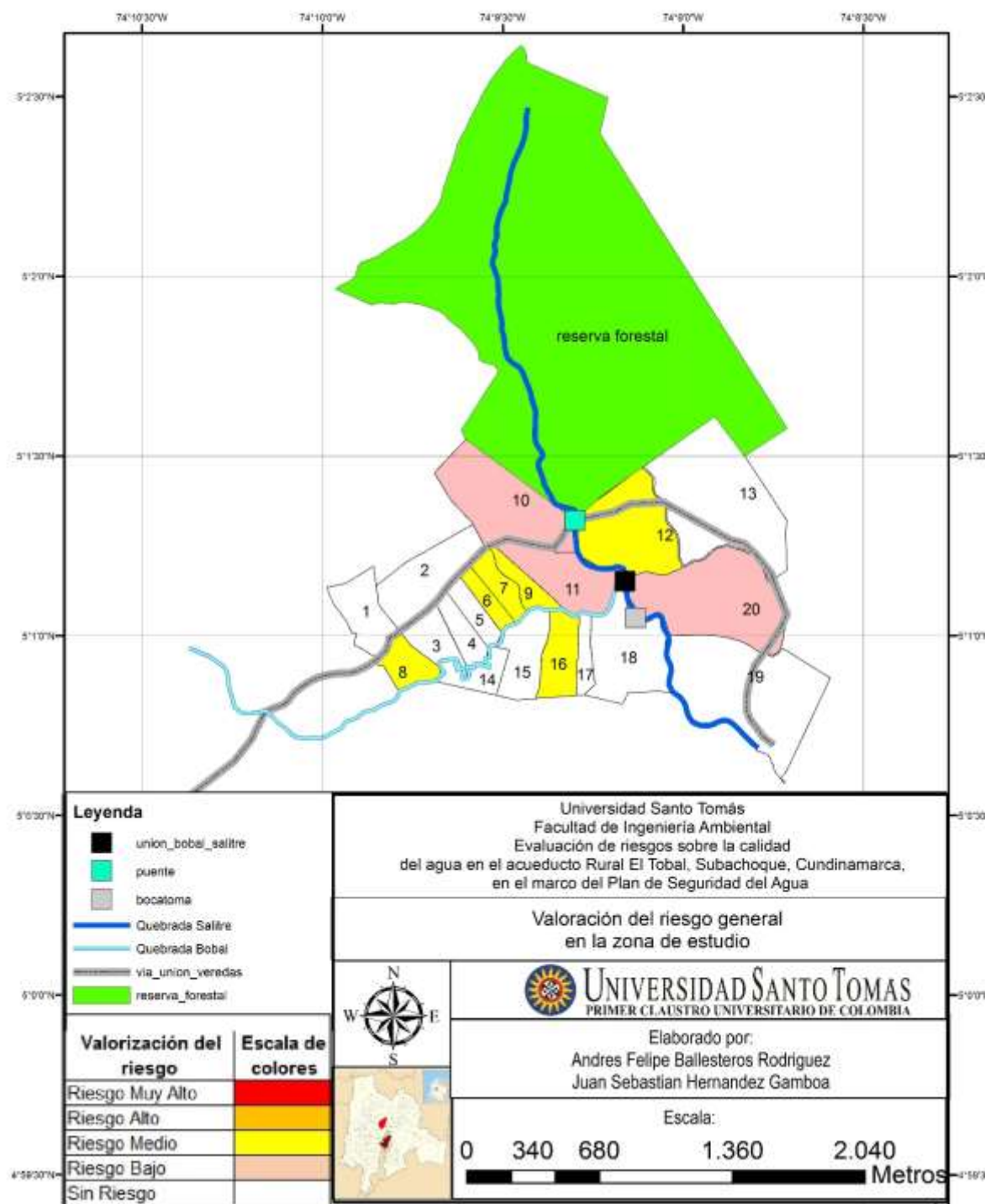
Número de predio	Características
11	En este predio se desarrollan cultivos de papa, se encuentra en la zona de ronda de la Quebrada el Bobal y la Quebrada. En este predio no se pudo aplicar la ficha predial debido a que no se encontró alguien que pudiera contestarla, el cultivo de papa había sido sembrado en sistema de surcos los cuales estaban sin retirar la maleza.
12	En este predio se desarrollan cultivos de papa en la pendiente colindante con la zona de reserva forestal y en la parte plana tienen un galpón en donde cuidan 20 gallinas. Se usan agroquímicos como curacron y manzate con una frecuencia de aplicación de 8 a 20 días, los residuos de estos productos son depositados en “costales” y posteriormente dejados al borde de la carretera. En el costado oriental del predio se tiene una pendiente muy alta por lo que se presentan deslizamientos hacia la Quebrada el Salitre, adicionalmente en este sector del lote se presenta un elevado proceso de erosión.
13	Es el predio más alejado de cualquiera de las dos Quebradas, en el cual se está haciendo un gran aprovechamiento forestal.
14	Este predio colinda con la Quebrada Bobal, sobre este predio se estaba empezando a remover parte de la vegetación.
15	Este predio colinda con la Quebrada Bobal, sobre este predio se estaba empezando a remover parte de la vegetación.
16	Sobre este predio se desarrolla la ganadería extensiva con un total de 15 bovinos, los cuales aumentan el proceso de compactación del suelo y remueven la cobertura vegetal disponible. El cercado existente es bastante viejo y gran parte de él se encuentra caído. Al encontrarse sobre la zona de ronda de la Quebrada el Bobal se aumenta la posibilidad que los animales puedan entrar sin ninguna obstrucción al cuerpo de agua.
17	En este predio se desarrollan cultivos de papa bastante pequeños comparado con los demás cultivos de la zona de estudio, se encuentra en la zona de ronda de la Quebrada el Bobal.
18	En este predio se observó durante la visita que se realizaban labores de tala de árboles para su aprovechamiento, es un predio con un gran porcentaje de pendiente.
19	Es un predio con una pendiente baja, sobre él no se desarrollan actividades económicas.
20	En este predio se desarrolla la ganadería extensiva con un total de 10 bovinos, los cuales aumentan el proceso de compactación del suelo y remueven la cobertura vegetal disponible, se encuentra ubicado sobre la zona de ronda de la Quebrada el Salitre.

Fuente: autores.

4.4.2 Mapas de puntos críticos.

De acuerdo a los análisis de los predios anteriormente presentados, se elabora un mapa general de riesgo (mapa 3) el cual consolida toda la información de eventos peligrosos y peligros con su respectivo riesgo asociado, evidenciando de forma gráfica los puntos críticos de la zona que afectan gravemente la calidad del agua de abastecimiento.

Mapa 3. Mapa general de riesgo en la zona de estudio.



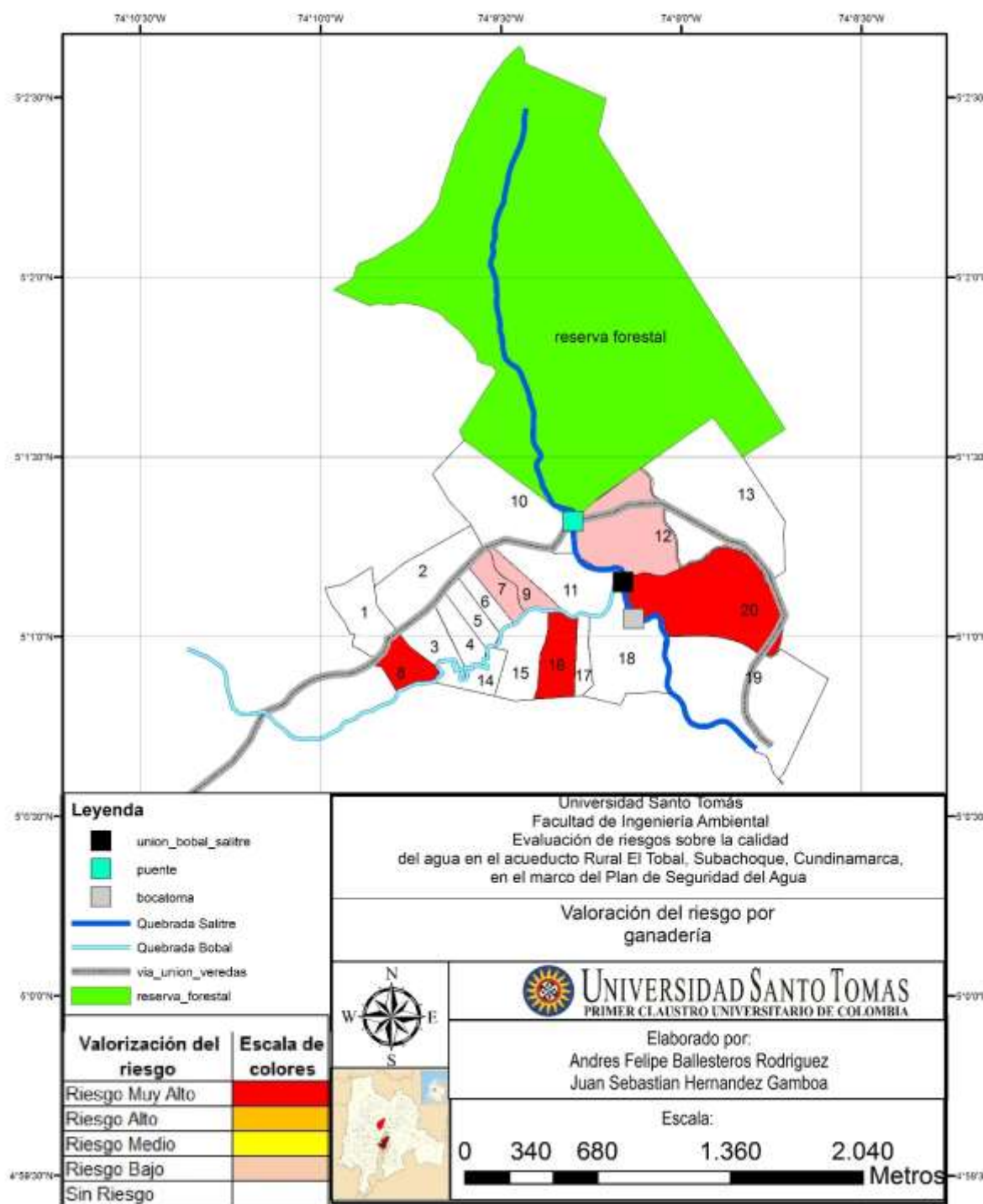
Fuente: autores.

Para la elaboración del mapa N° 3 se tuvo en cuenta el promedio ponderado para calcular el riesgo general para cada uno de los predios de la zona de estudio, dicho riesgo se estimó a partir de las fichas prediales aplicadas a los habitantes de los lotes (ver anexo

N°1) y en otros por medio de visitas de inspección. Los predios 6,7,8,9,12 y 16 son los que en general tienen mayor porcentaje de riesgo (riesgo medio) sobre la calidad del agua de la Quebrada El Salitre, debido a que en los predios 6,7, 9 y 12 se desarrollan actividades agrícolas como lo son el cultivo de papa y arveja; mientras que en los predios 9 y 16 se desarrolla la ganadería, cabe resaltar que tanto la agricultura (cultivos de papa y arveja) y la ganadería fueron los dos eventos que mayor valoración de peligro se obtuvieron en la zona de estudio. Posteriormente se muestran los mapas por cada uno de los eventos peligrosos encontrados en la zona de estudio.

En el mapa 4 se observa el valor de riesgo generado a la ganadería, esto de acuerdo a la recopilación de información tomada de esta actividad económica.

Mapa 4. Mapa de valoración del riesgo generado por ganadería



Fuente: autores.

En el mapa N° 4 se ilustran los diferentes niveles de riesgo generados por la ganadería sobre cada uno de los predios de la zona de estudio, se encontró que los predios 8, 16,

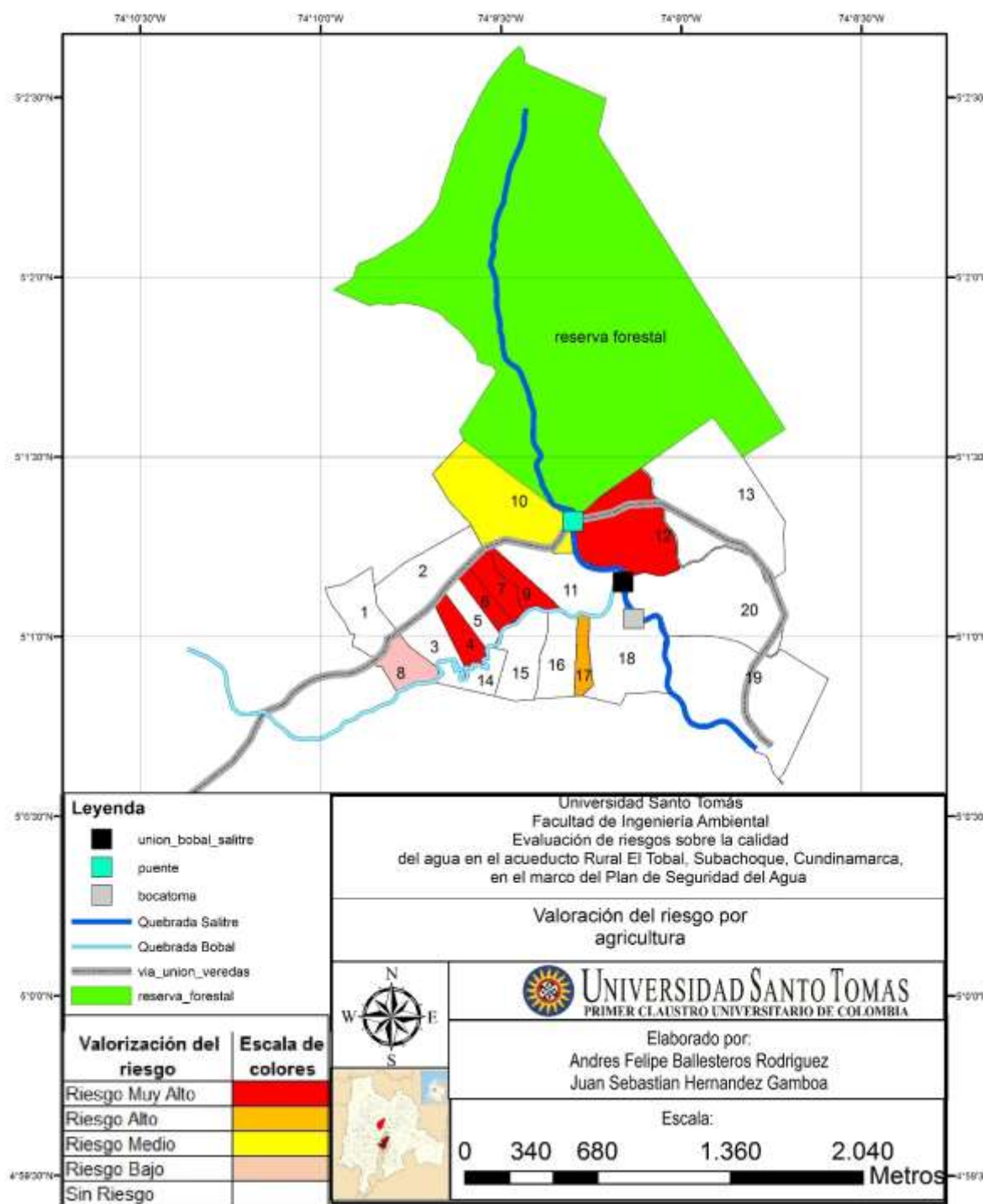
20 tienen un nivel de riesgo muy alto, ya que en estos predios se desarrolla las actividades de ganadería y cuidado de caprinos.

En los predios 7,9 y 12, se encontró un riesgo bajo por que el número de animales comparado con los predios 8, 16, 20 es mucho menor. En el predio 9 no se encontraron bovinos, aunque ocasionalmente los bovinos del predio 16 se pasan porque el sistema de cercado es bastante deficiente y al ser predios vecinos a los cuales los separa la Quebrada el Bobal en cualquier época del año se pueden pasar de un predio a otra, situación similar sucede con el predio 7; para el caso del predio 12 este predio es vecino con el predio 20 y la cerca que los divide en algunos tramos está bastante deteriorada.

En el caso particular del predio 8, cuenta con 18 reses y 4 cabras siendo el predio que mayor número de animales tiene, para el caso del predio 16 cuenta con 15 reses, pero a esto se le suma que cuenta con un sistema de cercado muy viejo el cual en su gran mayoría se encuentra caído facilitando la entrada de estos animales a la Quebrada el Bobal y en el predio 20 se registraron 10 reses; debido a lo mencionado anteriormente tanto la Quebrada Bobal como Salitre se encuentra sometidas una alta exposición a nitritos, nitratos y material fecal, generada por estos animales.

En el mapa 5 se ilustra el valor del riesgo generado por la agricultura el cual es una actividad económica del sector.

Mapa 5. Mapa de valoración del riesgo generado por agricultura



Fuente: autores.

En el mapa N° 5 se ilustran los diferentes niveles de riesgo generados por la agricultura sobre cada uno de los predios de la zona de estudio, se encontró que los predios 4, 6, 7,

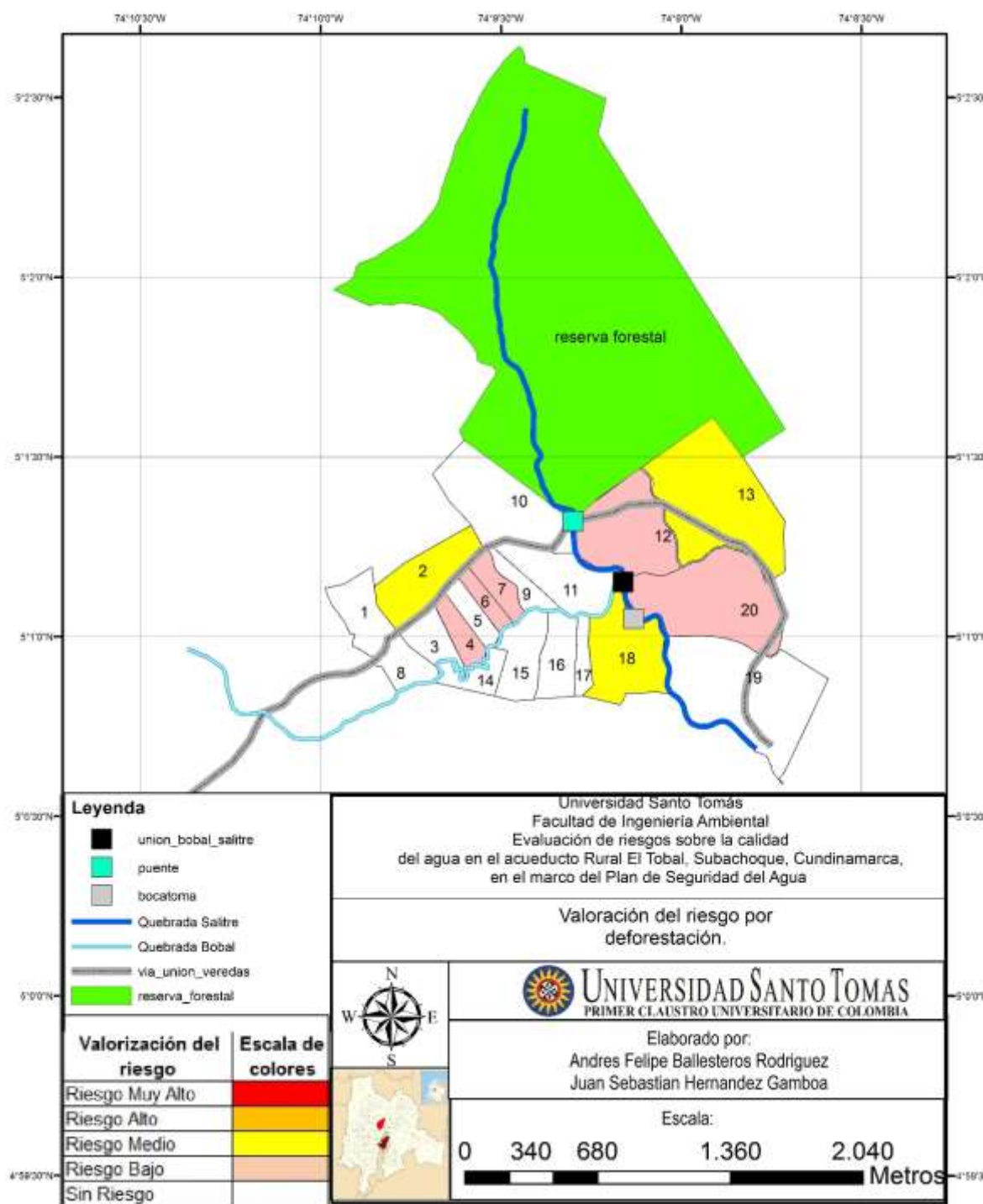
9 y 17 que tienen riesgo muy alto (color rojo), debido a que en ellos se desarrollan actividades agrícolas relacionadas con el cultivo de papa y arveja, estos predios se encuentran ubicados en la zona de ronda de la Quebrada el Bobal y el predio 12 también tiene un riesgo muy alto, pero este predio se encuentra en la zona de ronda de la Quebrada el Salitre, al igual los predios 17, 10 y 8 tienen unos riesgos alto, medio y bajo respectivamente.

El riesgo generado por la agricultura en los predios anteriores es alto debido a la gran cantidad de elementos o insumos suministrados al suelo, que probablemente por la cinética de los contaminantes pueden llegar a los cuerpos de agua cercanos; es prioritario recordar que en estos predios se tiene una producción durante todo el año por eso la probabilidad de ocurrencia es la más alta, ya que son cultivos que necesitan de labores de preparación del terreno lo que implica remover la capa vegetal del suelo, hacer movimientos de tierra, fumigar, abonar, deshierbar entre otra serie de actividades que podrían generar cambios en la características físico-químicas del agua.

Pero el riesgo también es alto, debido a los porcentajes de pendientes, son mayores o iguales al 25%, que presentan los predios, facilitando el deslizamiento de materiales que para este caso aumentan la turbiedad del agua según lo reflejado en el muestreo realizado (2.8, 10.3, 3.1 UNT en los puntos de muestreo unión, puente y bocatoma respectivamente), estos valores comparados con la resolución 2115 de 2007, la cual fija un valor máximo permisible de 2 UNT, (se usó esta norma como referencia por que se pueden presentar consumos no previstos o captaciones aguas arriba de la bocatoma de la planta de tratamiento, se sobre pasan en su rango, tomándose como un evento propicio para aumentar la contaminación del área de estudio), sobrepasando los niveles permisibles considerándose un incumplimiento a la norma y poniendo en riesgo la calidad del agua.

En el mapa 6 se enseña el valor de riesgo generado por deforestación debido al cambio de uso de suelo por el desarrollo de las actividades económicas del sector.

Mapa 6. Mapa de valoración del riesgo generado por deforestación



Fuente: Autores.

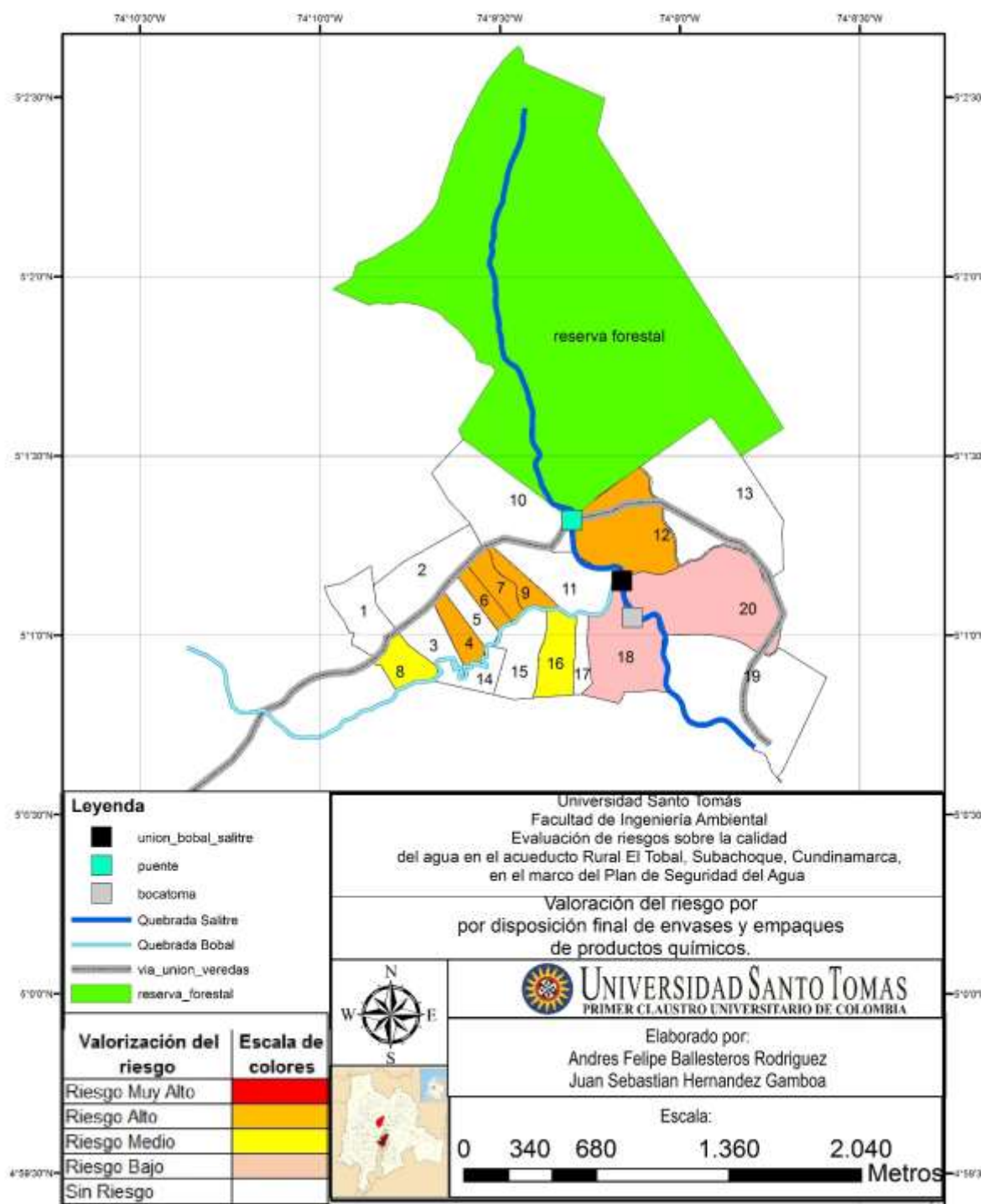
En el mapa N° 6 se ilustran los diferentes niveles de riesgo generados por la deforestación sobre cada uno de los predios de la zona de estudio, se observa que en los

predios 2, 13 y 18 se tiene un riesgo medio debido a que se están realizando labores de aprovechamiento forestal, siendo predios con una alta tasa de árboles y para el caso particular del predio 2 se facilita su explotación dada su cercanía a la carretera veredal lo que facilita su transporte para su posterior venta.

En los predios 4, 6, 7, 12 y 20 se presenta un riesgo bajo debido a que se han talado los árboles en menor cantidad que en los predios en los que se tiene un riesgo medio, además no se hace por un beneficio económico derivado de la explotación forestal, sino que se hace para darle paso a los cultivos de papa o arveja que son los predominantes en la zona.

En el mapa 7 se muestra el valor de riesgo generado por la mala disposición de los envases de productos químicos agrícolas (PQA's) como insumo de la actividad económica agrícola.

Mapa 7. Mapa de valoración del riesgo generado por disposición final de envases y empaques de PQA's.



Fuente: autores.

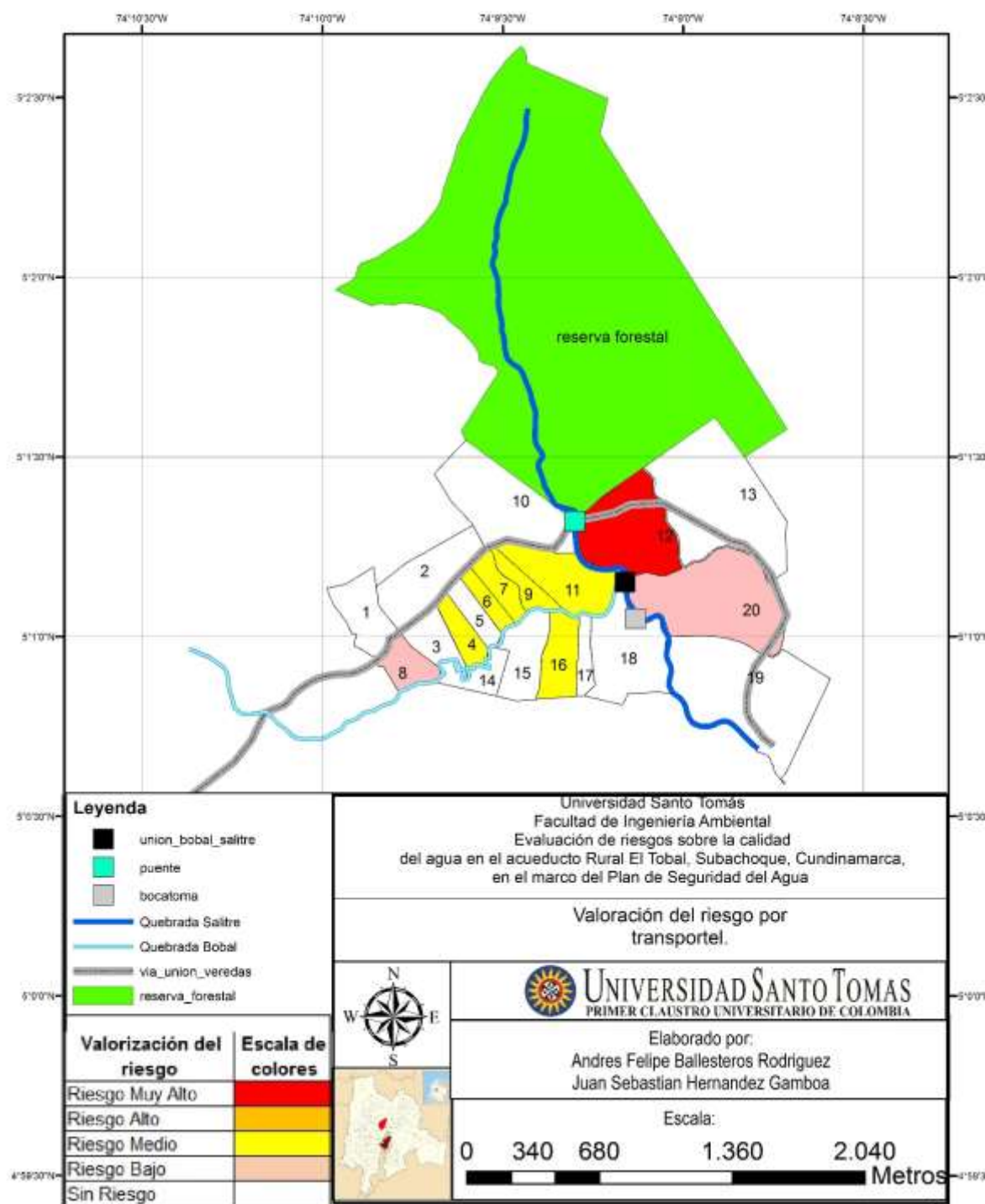
Como se observa en el mapa N° 7 se tiene el riesgo por la disposición final de los envases y empaques de productos químicos, en los predios que se genera un riesgo alto son 4, 6, 7, 9 y 12, debido a que son predios en los cuales se desarrollan cultivos de papa durante todo el año, en los cuales es necesario aplicar una serie de agroquímicos (lorban, clorpirifos, monitor, engeo, triple 15, tamaron, latigo, manzate) para evitar plagas y enfermedades, con una frecuencia que va de cada 8 a 20 días, al no existir una gestión integral de este tipo de residuos peligrosos el mecanismo adoptado por los campesinos de la zona ha sido empacarlos en “costales” para apilarlos ya sea el borde de la carretera o arrojarlos al cauce de las Quebradas Bobal y Salitre.

Los predios 8 y 16 tienen una clasificación de riesgo medio ya que en estos predios se desarrollan actividades relacionadas con la ganadería en los cuales los residuos generados son los empaques de los concentrados, bolsas de melaza y frascos de creolina, su frecuencia de uso es de una vez cada tres meses en el caso de los concentrados y melaza, para la creolina se usa una vez por año, por lo que la probabilidad que generen un riesgo es mucho menor.

En los predios 18 y 20 se tiene una clasificación de riesgo bajo, porque en ellos se desarrollan actividades de deforestación (aprovechamiento forestal) los residuos generados son los envases en los que llevan gasolina y aceite para las motosierras, dichos envases no son desechados, sino que por el contrario son reaprovechados.

En el mapa 8 se indica el valor de riesgo generado por transporte como uso de los diferentes mecanismos motor o tracción animal para el desplazamiento de las personas que trabajan en estos predios.

Mapa 8. Mapa de valoración del riesgo generado por transporte.



Fuente: autores.

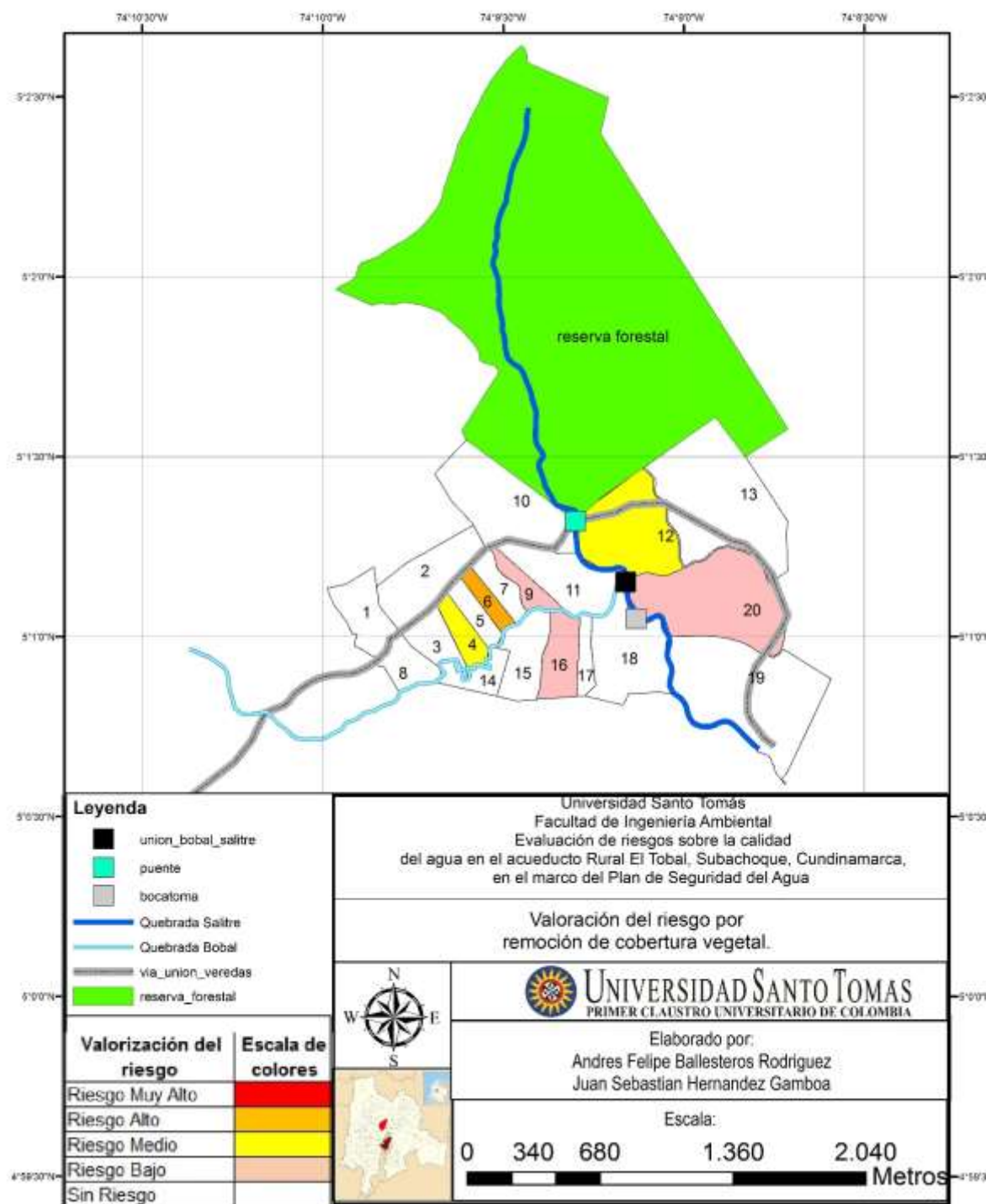
Como se observa en el mapa N° 8 los riesgos generados por el transporte, se encontró para el predio 12 un riesgo alto debido a que, por este predio se pasa de una vereda a otra por medio de la carretera veredal por la que transitan motocicletas, caballos y ganado, algunas veces por el puente existente el cual se encuentra en deplorables condiciones ya que es un puente bastante artesanal elaborado con trocos y muchas veces prefieren pasar por el cauce de la Quebrada el Salitre cuando su caudal es bajo, adicionalmente se podrían presentar derrames de gasolina o aceite de las motocicletas usadas para la práctica de deportes extremos.

Los predios 4, 6, 7, 9, 11 y 16, se clasificaron en un riesgo medio, ya que son predios que se encuentran entre la Quebrada el Bobal y la carretera veredal motivo por el cual el riesgo es menor ya que la distancia entre la carretera entre la Quebrada es mucho mayor, reduciendo la posibilidad que se puedan presentar derrames de gasolina o aceites, o que aumente la concentración de solidos suspendidos en el cuerpo de agua provenientes de la carretera destapa.

En el predio 20 se determinó un riesgo bajo debido a las difíciles características del terreno lo que implica que sea poco transitada y la única manera de hacerlo es a pie.

En el mapa 9 se muestra el valor de riesgo generado por remoción de cobertura vegetal como evento de cambio del uso del suelo por actividades económicas desarrolladas en este sector.

Mapa 9. Mapa de valoración del riesgo generado por remoción de cobertura vegetal.



Fuente: autores.

Se observa en el mapa N° 9 la clasificación del riesgo generado por remoción de la cobertura vegetal, se da debido al arado necesario para preparar el suelo para un próximo cultivo, encontrando que se pierde el material vegetal, deteriorando los minerales del

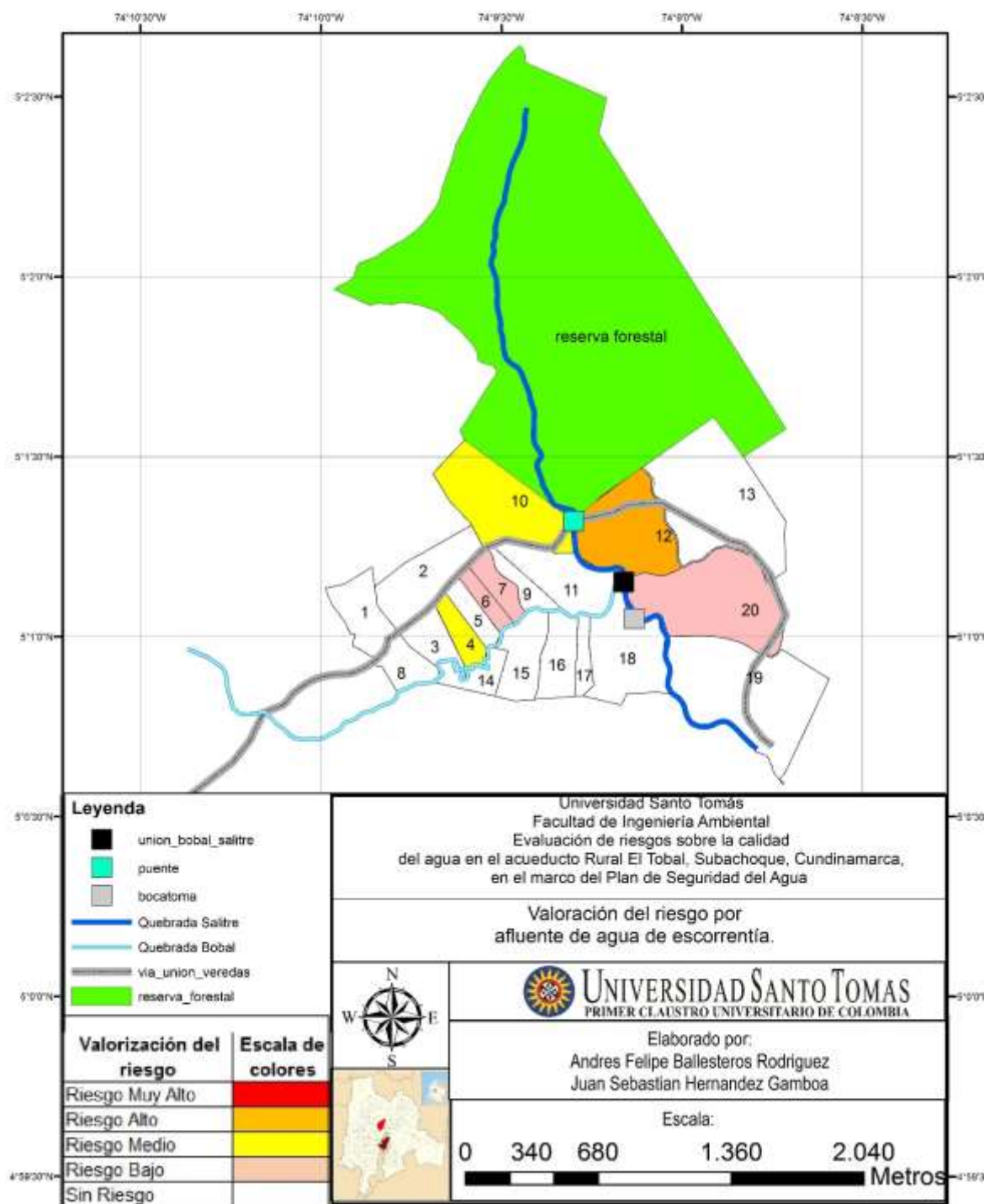
suelo, volviendo el suelo infértil, utilizando fertilizantes y otro tipo de aditivos para preparar el suelo, lo anteriormente mencionado genera un riesgo alto en el predio 12 el cual no solo se cultiva papa sino también arveja de manera simultánea durante todo el año, así se está aprovechando el 100% del terreno disponible; la cercanía existente entre este predio y la Quebrada el Bobal es un factor agravante del riesgo.

Los predios 4 y 12 tienen una clasificación de riesgo medio, aunque en ellos también se desarrollan cultivos de papa, se hace en menor proporción en lo que a área de terreno se refiere ya que no se remueve toda la cobertura vegetal, pero son predios con alto porcentaje de pendiente lo que incide en que sea mayor la probabilidad que se presenten deslizamientos de tierra y que estos puedan llegar a los cuerpos de agua alterando las características físico-químicas y microbiológicas.

En los predios 9, 16 y 20 se determinó una clasificación de riesgo bajo, para el caso del predio 9 en él que se desarrollan cultivos de papa, pero el terreno al no tener un alto porcentaje de pendiente dificulta que se generen movimientos de tierra hacia el cauce de la Quebrada el Bobal de esta manera se disminuye la probabilidad que se produzca un riesgo generado por la remoción de la cobertura vegetal. En los predios 18 y 20 la remoción de cobertura vegetal se da por el consumo hecho por los bovinos lo que implica que se remueva menor cantidad de cobertura vegetal que en predios donde se desarrollan cultivo por lo que la gravedad es menor.

En el mapa 10 se demuestra el valor de riesgo generado por afluente de agua de escorrentía.

Mapa 10. Mapa de valoración del riesgo generado por afluente de agua de escorrentía.

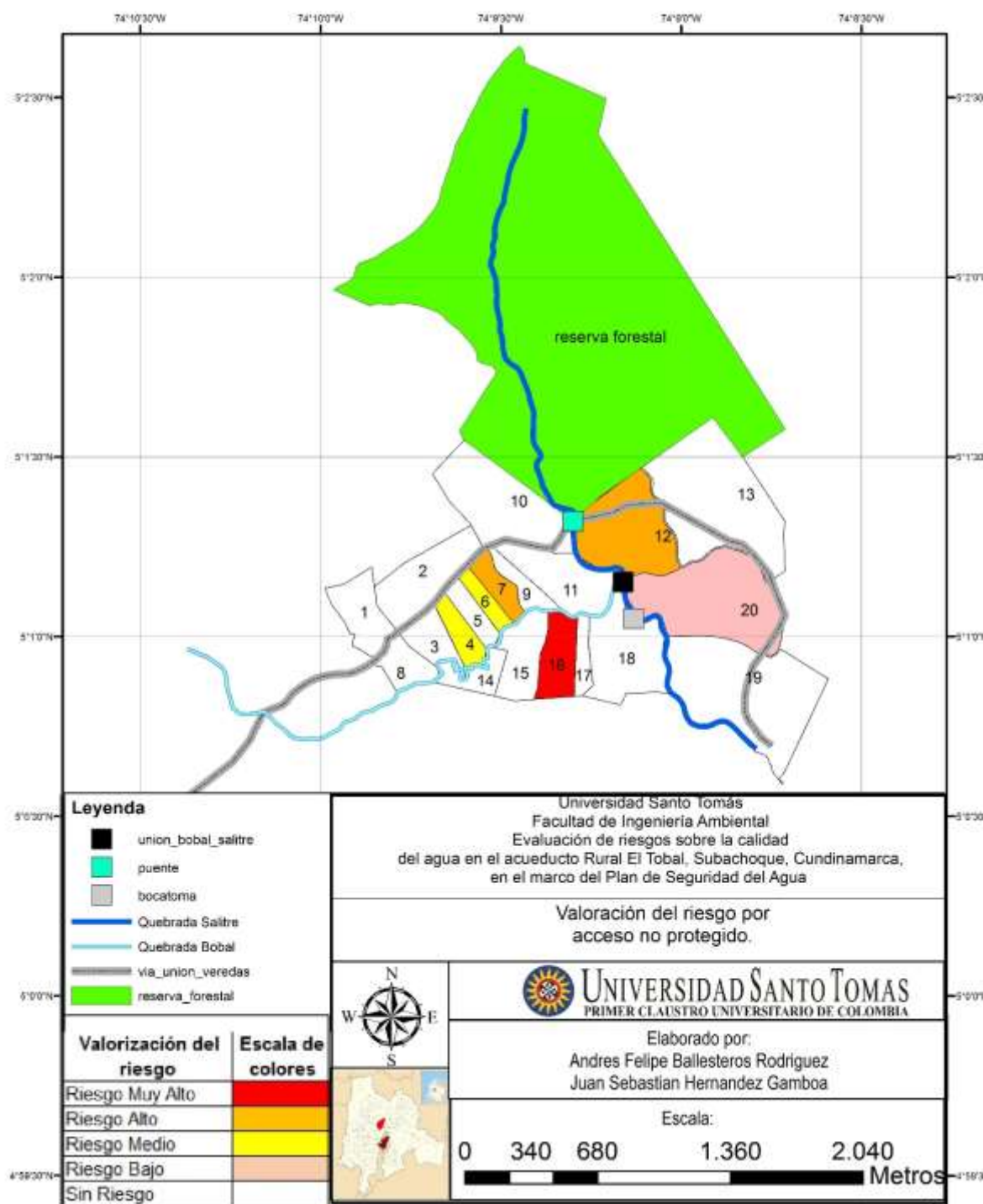


Fuente: autores.

Se Observa en el mapa N° 10 que los predios de estudio se encuentran interviniendo en el transcurso de toda la quebrada El Salitre, generando un riesgo asociado por afluente de agua de escorrentía. Debido a la aplicación de los diferentes insumos y elementos químicos para mejorar la calidad del suelo, en producción, convirtiéndose en un elemento contaminante debido a su transporte de sedimentos superficialmente por el paso del agua y porcentaje de pendiente como sucede en el predio 12 el cual tiene una valoración de riesgo alto, además de que al presentar procesos erosivos se pueden estar incrementando las concentraciones de metales en el agua provenientes del suelo.

Para el predio 10 se determinó un riesgo medio debido a que es mejor el desarrollo de cultivos comparado con el predio 12 y cuenta con menor porcentaje de pendiente; en los predios 6,7 y 20 no se desarrollan actividades agrícolas sino pecuarias y tienen una pendiente muy baja por lo que se considera un riesgo bajo.

Mapa 11. Mapa de valoración del riesgo generado por acceso no protegido.



Fuente: autores.

Se observa en el mapa N° 11 la clasificación del riesgo generado por acceso no protegido, determinado por los puntos donde se encuentra o no una cerca y en qué

estado se encuentra la misma, para evitar el paso de los diferentes agentes externos como lo son: animales, personas, vehículos etc. a las Quebradas Bobal y Salitre.

El caso del predio 16 es el que mayor clasificación de riesgo tiene (muy alto) debido a que este predio cuenta con un sistema de cercado muy viejo en donde los postes de madera están caídos, y los alambres están caídos o reventados lo que facilita el paso de las reses (todas están sueltas) de este predio hacia la Quebrada el Bobal. En los predios 7 y 12 se encontró un riesgo alto, en el predio 7 se da porque aunque se tiene un sistema de cercado, este solo tiene una hebra de alambre, la cual es saltada por los obreros para lavar sus herramientas de labrar la tierra, llevar a hidratar los caballos y arrojar residuos; en el predio 12 se da debido a el paso obligado de las personas por este punto (Puente) para poder atravesar la Quebrada el Salitre, ya que se debe pasar por el cauce de la Quebrada ya sea a pie, en caballo, en motocicletas y también se pasa con ganado.

En el predio 20 se tiene una clasificación de riesgo baja, porque si bien el predio tiene un sistema de cercado en donde están cambiando los postes de madera por postes de cemento, en algunos tramos aun cuentan con postes de madera y algunos alambres están reventados lo que facilita el acceso de los bovinos a la Quebrada el Salitre.

5. IMPACTO SOCIAL.

El proyecto brindó herramientas de carácter técnico, como es mapas prediales, mapas de eventos peligroso, matrices de riesgo, censo predial y mapa de puntos críticos para la toma de decisiones por parte de la junta directiva del acueducto Rural El Tobal, dichas decisiones podrán repercutir de manera directa en: preparación para responder ante un evento o amenaza que pueda incrementar la vulnerabilidad del sistema tanto en aspectos estructurales como operacionales, la disminución del riesgo del brote de enfermedades en la comunidad servida por parte del acueducto Veredal, tendrán información disponible en casos de emergencia sobre los peligros y riesgos a que está expuesto su sistema con tan solo consultar el documento entregado a la junta directiva, en última instancia se ayudara al prestador del servicio a cumplir las disposiciones legales vigentes en lo referente a la calidad del agua para consumo humano y a promover la participación de la comunidad en el mejoramiento del sistema de agua.

Como finalidad, el proyecto desea mejorar la calidad de vida de la población que se encuentra ubicada en las zonas rurales, teniendo la posibilidad de realizar réplicas de este trabajo en las diferentes veredas de la región debido a que esta herramienta puede ser un medio útil para la socialización por parte de los miembros de la junta directiva y entidades a las cuales se le entregara este proyecto para la intervención temprana y oportuna de los riesgos asociados con la contaminación de las aguas que abastecen los acueductos rurales.

6. CONCLUSIONES.

- El desarrollo de este ejercicio académico el cual se enmarca en la aplicación de los PSA en Colombia, en la vereda El Tobal, muestra que la fuente de estudio, la Quebrada El Salitre, se encuentra en un nivel de riesgo medio de contaminación como se observa en el mapa general de riesgo (mapa 3), sin embargo según el alto porcentaje indicado por el IRCA, se podría afirmar que la fuente de abastecimiento tiene un riesgo alto de contaminación principalmente por E.coli, Coliformes totales y turbiedad.
- Como resultado de la identificación de los eventos peligrosos en la zona de estudio se encontró que son 8 los eventos que alteran la calidad del agua tanto de la Quebrada Salitre y Bobal, pero los que mayor valor de riesgo tiene sobre la calidad del agua de la Quebrada el Salitre son la agricultura y la ganadería debido a necesitan una serie de actividades complementarias en su desarrollo las estarían aumentando las concentraciones E.coli y Coliformes totales, también aumentando el valor de la turbiedad.
- Como se pudo observar en el análisis de los mapas por predio, la mayoría de los predios presentan riesgo sobre la calidad del agua evidenciando que dos de ellos (16 y 12, predios más cercanos a la bocatoma y punto de mezcla de las quebradas.) se encuentran en un nivel alto, donde cada uno contiene dos eventos asociados. El predio 16 cuenta con los eventos de actividad pecuaria (ganadería), el cual está muy ligado al segundo evento de acceso no restringido, ya que sin barreras perimetrales que puedan impedir el paso de los animales de levante, se contará con una alta probabilidad de contaminación por intromisión a las fuentes hídricas. En el predio 12 se cuenta con la actividad agrícola, que se encuentran muy ligado al transporte, debido a que se tienen varios tipos de transporte para ingresar a los diferentes predios, sacar los productos, llevar insumos, así como la movilidad de los trabajadores, teniendo un nivel de riesgo alto con alta probabilidad de contaminación por arrastre de sólidos suspendidos incrementando la turbiedad.

7. RECOMENDACIONES.

- Verificar por parte de la entidad prestadora de servicio, la existencia de cerco en las zonas de ronda y captación del agua en el punto de la bocatoma por considerarse de más alto riesgo de contaminación por los diferentes factores analizados durante el desarrollo de este trabajo. Esto permitirá mantener todo el ganado y cualquier otro evento inesperado alejado de este punto.
- Se recomienda que se realice un mayor seguimiento al uso actual del suelo en las inmediaciones de la fuente de abastecimiento, realizando una comparación con el esquema de ordenamiento territorial (EOT) municipal, con el fin de comprobar si se están respetando las rondas de protección hídrica y de este modo disminuir o evitar que los cultivos puedan generar contaminación por el uso de agroquímicos, además determinar si las zonas en donde se están realizando los cultivos son áreas de protección, evitando la expansión de la frontera agrícola hacia la zona de reserva forestal que protege la zona de nacimiento de la Quebrada el Salitre.
- Se recomienda el diseño de un plan de monitoreo periódico teniendo como puntos de muestreo la entrada a la planta de tratamiento, salida de planta y en red de distribución para así poder determinar si los tratamientos aplicados en la planta son eficaces en la reducción de la carga de E.coli y Coliformes totales.
- Se recomienda la entidad prestadora de servicio documentarse y aplicar claramente de que medidas de control faltan para poder así atenuar los peligros y riesgos existentes sobre la calidad del agua suministrada a la comunidad de la Vereda el Tobal.
- Como mecanismo para garantizar la protección de la fuente de abastecimiento, Quebrada El Salitre, se recomienda al municipio evaluar la posibilidad de comprar los predios aledaños a la quebrada en la zona de bocatoma. Este proceso debe ser concertado con los pobladores usando como mecanismo de sensibilización los resultados obtenidos en este trabajo y los que se puedan obtener con la aplicación de la tercera recomendación con el propósito de garantizar agua de calidad para su consumo.

8. ANEXOS.

Anexo 1. Matrices para la valoración de eventos peligrosos.

PREDIO 1			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	4	4
Agricultura: cultivos de papa y arveja	1	4	4
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	1	3	3
Transporte: carretera veredal	5	1	5
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	1	3	3
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	1	3	3
Afluente de agua de escorrentía.	1	4	4
Acceso no protegido	1	4	4

Fuente: Autores.

PREDIO 2			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	4	4
Agricultura: cultivos de papa y arveja	1	4	4
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	4	3	12
Transporte: carretera veredal	5	1	5
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	1	3	3
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	1	3	3
Afluente de agua de escorrentía.	1	4	4
Acceso no protegido	1	4	4

Fuente: autores.

PREDIO 3			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	4	4
Agricultura: cultivos de papa y arveja	1	4	4
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	1	3	3
Transporte: carretera veredal	4	1	4
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	1	3	3
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	1	3	3
Afluente de agua de escorrentía.	1	4	4
Acceso no protegido	1	4	4

Fuente: autores.

PREDIO 4			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	4	4
Agricultura: cultivos de papa y arveja	5	4	20
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	2	3	6
Transporte: carretera veredal	5	2	10
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	4	4	16
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	4	3	12
Afluente de agua de escorrentía.	2	1	2
Acceso no protegido	4	3	12

Fuente: autores.

PREDIO 5			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	4	4
Agricultura: cultivos de papa y arveja	1	4	4
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	1	3	3
Transporte: carretera veredal	4	1	4
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	1	3	3
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	1	3	3
Afluente de agua de escorrentía.	1	4	4
Acceso no protegido	1	4	4

Fuente: autores.

PREDIO 6			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	4	4
Agricultura: cultivos de papa y arveja	5	4	20
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	3	3	9
Transporte: carretera veredal	5	2	10
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	4	4	16
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	4	4	16
Afluente de agua de escorrentía.	3	3	9
Acceso no protegido	3	4	12

Fuente: autores.

PREDIO 7			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	5	5
Agricultura: cultivos de papa y arveja	5	5	25
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	2	3	6
Transporte: carretera veredal	5	2	10
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	4	4	16
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	3	4	12
Afluente de agua de escorrentía.	3	3	9
Acceso no protegido	5	3	15

Fuente: autores

PREDIO 8			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	5	5	25
Agricultura: cultivos de papa y arveja	2	4	8
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	2	2	4
Transporte: carretera veredal	5	1	5
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	3	4	12
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	1	3	3
Afluente de agua de escorrentía.	2	1	2
Acceso no protegido	1	1	1

Fuente: Autores.

PREDIO 9			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	5	5
Agricultura: cultivos de papa y arveja	5	5	25
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	1	3	3
Transporte: carretera veredal	5	2	10
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	4	4	16
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	3	4	12
Afluente de agua de escorrentía.	1	3	3
Acceso no protegido	1	3	3

Fuente: autores.

PREDIO 10			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	4	4
Agricultura: cultivos de papa y arveja	3	4	12
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	2	2	4
Transporte: carretera veredal	4	1	4
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	1	3	3
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	1	3	3
Afluente de agua de escorrentía.	4	3	12
Acceso no protegido	1	4	4

Fuente: autores.

PREDIO 11			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	5	5
Agricultura: cultivos de papa y arveja	5	5	25
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	2	2	4
Transporte: carretera veredal	5	2	10
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	1	4	4
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	1	4	4
Afluente de agua de escorrentía.	1	4	4
Acceso no protegido	1	4	4

Fuente: autores.

PREDIO 12			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	5	5
Agricultura: cultivos de papa y arveja	5	5	25
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	2	3	6
Transporte: carretera veredal	5	3	15
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	4	4	16
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	4	3	12
Afluente de agua de escorrentía.	4	4	16
Acceso no protegido	1	4	4

Fuente: autores.

PREDIO 13			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	4	4
Agricultura: cultivos de papa y arveja	1	4	4
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	5	2	10
Transporte: carretera veredal	1	3	3
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	1	4	4
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	1	4	4
Afluente de agua de escorrentía.	1	4	4
Acceso no protegido	1	4	4

Fuente: autores.

PREDIO 14			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	4	4
Agricultura: cultivos de papa y arveja	1	4	4
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	2	2	4
Transporte: carretera veredal	1	2	2
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	1	4	4
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	1	4	4
Afluente de agua de escorrentía.	1	3	3
Acceso no protegido	1	4	4

Fuente: autores.

PREDIO 15			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	4	4
Agricultura: cultivos de papa y arveja	1	4	4
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	2	2	4
Transporte: carretera veredal	1	2	2
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	1	4	4
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	1	4	4
Afluente de agua de escorrentía.	1	3	3
Acceso no protegido	1	4	4

Fuente: autores.

PREDIO 16			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	5	5	25
Agricultura: cultivos de papa y arveja	1	4	4
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	2	2	4
Transporte: carretera veredal	5	1	5
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	3	4	12
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	2	3	6
Afluente de agua de escorrentía.	2	1	2
Acceso no protegido	5	4	20

Fuente: autores.

PREDIO 17			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	4	4
Agricultura: cultivos de papa y arveja	5	4	20
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	2	2	4
Transporte: carretera veredal	1	2	2
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	1	4	4
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	1	4	4
Afluente de agua de escorrentía.	1	3	3
Acceso no protegido	1	4	4

Fuente: autores.

PREDIO 18			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	4	4
Agricultura: cultivos de papa y arveja	1	4	4
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	4	3	12
Transporte: carretera veredal	1	2	2
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	1	5	5
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	1	4	4
Afluente de agua de escorrentía.	1	3	3
Acceso no protegido	1	4	4

Fuente: autores.

PREDIO 19			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	1	4	4
Agricultura: cultivos de papa y arveja	1	4	4
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	1	3	3
Transporte: carretera veredal	1	2	2
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	1	5	5
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	1	4	4
Afluente de agua de escorrentía.	1	3	3
Acceso no protegido	1	4	4

Fuente: autores.

PREDIO 20			
Fuente de peligro	Probabilidad	Gravedad	Puntuación
Ganadería y otras especies (caballos, asnos, ovejas)	4	5	20
Agricultura: cultivos de papa y arveja	1	4	4
Deforestación: tala de árboles sobre la parte media de la Quebrada el Salitre	2	3	6
Transporte: carretera veredal	5	1	5
Disposición final de los envases, empaques de los productos químicos.	3	3	9
Remoción de cobertura vegetal "arado para el desarrollo de cultivos".	3	3	9
Afluente de agua de escorrentía.	2	4	8
Acceso no protegido	2	4	8

Fuente: autores.

Anexo 2. Fotos.
Transporte de muestras.



Fuente: autores.
Cambios en las condiciones de los predios.



Fuente:autores.

Transporte de papa cosechada.



Fuente: autores.

Diligenciamiento de planillas de campo.



Fuente: autores.

Envases y compuestos para la preservación de muestras.



Fuente: autores.

Anexo 3. Fichas prediales. Se anexa un documento formato pdf el cual contiene las fichas prediales escaneadas se adjuntan 32 folios.

Anexo 4. Informe de resultados entregado por el laboratorio Daphnia.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización Mundial de la Salud, Guías para la calidad del agua potable, 2006.
- [2] Pérez Vidal, Andrea; Torres Lozada , Patricia; Cruz Vélez , Camilo Hernán;, «Planes de seguridad del agua. Fundamentos y perspectivas de implementación en Colombia,» *Revista ingeniería e investigación*, vol. 29, nº 3, pp. 79-85, 2009.
- [3] Torres, Ricardo, «Importancia de los planes de seguridad del agua,» 2006.
- [4] Organización Mundial de la Salud, «Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo.,» Ginebra, Suiza, 2009.
- [5] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (NGRD), [En línea].
Available:
http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Glosario_Terminos_Gestion_del_Riesgo.aspx. [Último acceso: 28 07 2016].
- [6] Ministerio de Protección Social, «Manual para el Desarrollo de Planes de Seguridad del Agua (PSA) en el Sector Rural y Urbano Marginal de Colombia,» Bogotá, 2011.
- [7] *Ministerio de la protección social Decreto 1575*, 2007.
- [8] *Ministerio de la protección social; Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorialDecreto 4716*, 2010.
- [9] Barrenechea Martel, Ada, «ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA».

- [10] Sierra Ramírez, Carlos Alberto, «Calidad del agua evaluación y diagnóstico,» Ediciones de la U, Medellín, Antioquia, 2011.
- [11] ALCALDÍA MUNICIPAL DE SUBACHOQUE , «PLAN TERRITORIAL DE SALUD 2008-2011,» Subachoque, Cundinamarca, 2008.
- [12] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, [En línea]. Available: <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=15740>. [Último acceso: 16 agosto 2016].
- [13] *Estatuto sanitario Ley 9*, 1979.
- [14] MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, «RESOLUCIÓN NÚMERO 2115,» Bogotá, D. C., 2007.
- [15] *Ministerio de Salud y Protección Social; Resolución 1615*, 2015.
- [16] *Congreso de la Republica; Ley 1252*, 2008.
- [17] *Poder público- Rama legislativa; Ley 1523*, 2012.
- [18] *Decreto 1076*, 2015.
- [19] Taborda Zuñiga, Diego Fernando. Vanegas Zambrano, Wilmer Yair., «Elaboración del mapa de riesgos de calidad del agua para consumo humano de la quebrada La Hoya en el municipio de Zipaquirá Cundinamarca,» Univerisda Santo Tomas, Bogotá D.C., 2015.
- [20] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, [En línea]. Available: <http://www.dane.gov.co/index.php/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria>.

[Último acceso: 30 05 2016].

- [21] Monroy Cubides, Omar Mauricio, «CARACTERIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS ASOCIADAS CON EL USO Y MANEJO DE PLAGUICIDAS EN CULTIVOS DE PAPA. CASO VEREDA MATA DE MORA, EN EL PÁRAMO DE MERCHÁN, SABOYA, BOYACÁ.,» PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA, Bogotá D.C, 2009.
- [22] Herrera Núñez, Jacqueline; Rodríguez Corrales, José ;, «Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro,» Universidad Nacional de Costa Rica, San Jose, Costa Rica, 2012.
- [23] Instituto de Hidrología. Metereología y Estudios Ambientales (IDEAM), «Guía para el monitoreo de Vertimientos Aguas Superficiales y Subterráneas,» IDEAM, Bogotá D.C, Colombia, 2002.
- [24] Molina, Francisco José; Sierra, Jorge Humberto; Acevedo, Sandra Liliana; Maya, Gabriel Jaime; Toro, María Victoria; Giraldo, William Alonso; Alvarez, Carlos Arturo; Uribe, Juan Guillermo;, «Manual de Caracterización de Aguas Residuales Industriales,» Impreso en Ideas Graficas, Medellín; Colombia, 1997.
- [25] Organización mundial de la Salud, «Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo.,» Ginebra, Zuiza, 2009.
- [26] Daphnia LTDA, *Informe de laboratorio 35444*, Bogotá, 2016.
- [27] Da Mota, Piri;, «Hierro y Manganeseo en Aguas Superficiales y Subterránea de la Provincia de Misiones,» Universidad Nacional de Misiones, Argentina.

[28] Programa de Servicios Agrícolas provinciales, Manual de Calidad de agua,
Tucuman.