

**EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES HIDROLÓGICOS Y DE USOS DEL
SUELO DE LA ZONA ALTA DE LA CUENCA DEL RIO ALGODONAL EN EL
MUNICIPIO DE ABREGO, NORTE DE SANTANDER.**

Astrid Carolina Álvarez Pacheco

Universidad de Pamplona

Facultad de ingenierías y arquitectura

Programa de ingeniería ambiental

Pamplona

2020

**EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES HIDROLÓGICOS Y DE USOS DEL
SUELO DE LA ZONA ALTA DE LA CUENCA DEL RIO ALGODONAL EN EL
MUNICIPIO DE ABREGO, NORTE DE SANTANDER.**

Astrid Carolina Álvarez Pacheco

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de ingeniera
ambiental.**

Director

Maria Esther rivera

Phd. hidrología & lic. matemáticas y física

Codirector

Jesús Ramón Delgado Rodríguez

Geólogo ms. geotecnia.

Universidad de pamplona

Facultad de ingenierías y arquitectura

Programa de ingeniería ambiental

Pamplona

2020

Copyright © 2020 por Astrid Carolina Álvarez Pacheco Todos los derechos reservados.

Dedicatoria

A Dios por brindarme la oportunidad de finalizar esta etapa de mi vida, a mis padres y hermanas por tener la fortuna de tenerlos a mi lado siempre y ser mi apoyo incondicional ante cualquier situación o adversidad, por ser mi motivación de cada día.

Agradecimientos

A mi directora María Esther Rivera, por su apoyo, acompañamiento y consejos, quien con su dedicación y amor por la enseñanza me ha impulsado a ser mejor como persona y como profesional, al codirector Jesús Ramón Delgado por su orientación y ayuda.

A la corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental, por su permitirme formar parte de su grupo de pasantes.

A la comunidad por su amabilidad y disposición para brindarme información e inquietudes respecto al tema ambiental relevante para el desarrollo del proyecto.

A mis compañeros y amigos, Walter Fernando Oviedo Anaya y Ricardo Andrés Flórez Matute por brindarme su comprensión, su ayuda, su apoyo y por estar cerca de mí en uno de los momentos más difíciles de mi vida, porque gracias a ellos hoy puedo culminar esta etapa de mi vida.

Al profesor Héctor Uriel Rivera por su enseñanza, apoyo y orientación como profesional.

TABLA DE CONTENIDO

1. Planteamiento Del Problema	15
2. Justificación	17
3. Objetivos.....	18
3.1 Objetivo general	18
3.2 Objetivos Específicos	18
4. Marco Referencial	19
4.1 Marco Contextual	19
4.2. Antecedentes	21
4.3 Marco Teórico	25
4.3.1 Hidrología.....	25
4.3.3 Oferta, Demanda Hídrica y Calidad de Agua.....	27
4.3.4 Evaluación de Impacto Ambiental	45
4.4 Marco Legal.....	52
5. Metodología.....	54
6. Resultados y Discusión.....	61
6.1 Diagnóstico Del Estado Actual De La Zona De Estudio.....	61
6.2 Calidad, Oferta y Demanda Hídrica.....	86
6.3 Evaluación Ambiental.....	100
6.4 Programas Ambientales	108
Conclusiones.....	118
RECOMENDACIONES	120
Referencias Bibliográficas.....	121

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Escorrentía para los complejos suelo - cobertura (CN).....	31
Tabla 2. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA.....	34
Tabla 3. Unidades de Clasificación de las coberturas de la tierra según la metodología CORINE Land Cover.	44
Tabla 4. Atributos asignados a cada polígono.....	56
Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos de la zona de estudio.	86
Tabla 6. Objetivos de calidad 2017	89
Tabla 7. Índice de calidad del agua	90
Tabla 8. Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)	90
Tabla 9. Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS)	90
Tabla 10. Precipitación total y efectiva media mensual multianual.	95

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Laguna de oxidación.....	64
Fotografía 2. Presencia de musgos en el canal de riego ASUDRA.....	65
Fotografía 3. Contaminación del cauce del río.....	66
Fotografía 4. Extracción de material de forma artesanal.....	67
Fotografía 5. Extracción de material con maquinaria pesada.....	68
Fotografía 6. Sitio de acopio de material.....	68
Fotografía 7. Depósitos aluviales encontrados en el cauce del Rio Algodonal.....	73
Fotografía 8. Depósitos de Terraza.	74
Fotografía 9. Drenaje Quebrada Hato Viejo (A) y Quebrada El Molino (B).....	77
Fotografía 10. Identificación del límite del cauce con la llanura de inundación.....	77
Fotografía 11. Límite del cauce del Rio Algodonal y una barrera puntual.	78
Fotografía 14. Suelos del orden Entisol.....	81
Fotografía 15. Suelos del orden Vertisol.....	82

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Cálculo de la escorrentía directa.	28
Ecuación 2. Relación del potencial máximo de escorrentía.	
Ecuación 3 Cálculo de la precipitación efectiva.	28
Ecuación 4 Corrección de CN para las condiciones de humedad antecedente CNI.....	32
Ecuación 5 Corrección de CN para las condiciones de humedad antecedente CNIII.....	32
Ecuación 6 Cálculo del índice de calidad del agua (ICA).....	33
Ecuación 7 Cálculo del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).....	35
Ecuación 8 Cálculo del índice de contaminación por solidos (ICOSUS)	35
Ecuación 9 Cálculo de la demanda hídrica.....	36
Ecuación 10 Cálculo de la demanda hídrica para el sector agrícola	36
Ecuación 11 Cálculo del coeficiente Kc de desarrollo	37
Ecuación 12 Cálculo del coeficiente Kr	39
Ecuación 13 Cálculo de la demanda hídrica para el sector pecuario.	40
Ecuación 14 Cálculo de la demanda hídrica para el sector doméstico	40
Ecuación 15 Obtención de la calificación ambiental (Ca)	51

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Ubicación geográfica de la Cuenca del Río Algodonal.....	19
Mapa 2. Localización de la zona de estudio.....	20
Mapa 3. Drenajes afluentes del rio Algodonal.	71
Mapa 4. Litología.	72
Mapa 5. Mapa de pendientes	75
Mapa 6.. Tipos de suelo.....	80
Mapa 7. Cobertura vegetal.....	84
Mapa 8. Mapa Grupos hidrológicos del suelo.....	91
Mapa 9. Número de curva	93

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1. Precipitación media anual 1971-2020.	94
Gráfico 2. Demanda hídrica en el sector agrícola	98
Gráfico 3. Demanda hídrica en el sector doméstico.	99
Gráfico 4. Demanda hídrica en el sector pecuario.....	100
Gráfico 5. Evaluación de impactos ambientales para minería artesanal	101
Gráfico 6. Impactos ambientales asociados a la actividad agrícola.	104

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Información general sobre los habitantes de la zona de estudio.....	127
ANEXO 2. Cálculos para la obtención de la evapotranspiración del cultivo de referencia en el software Cropwat V. 8.0.....	132
ANEXO 3. Cálculos para la determinación de la demanda hídrica para el sector agrícola.	132
ANEXO 4. Cálculos para la determinación de la demanda hídrica en el sector doméstico.	133
ANEXO 5. Cálculos para la determinación de la demanda hídrica en el sector pecuario.	134
ANEXO 6. Matrices de evaluación de impactos para la actividad de minería artesanal.	134
ANEXO 7. Matrices de evaluación de impactos para la actividad agrícola.....	1

Resumen

Evaluar el estado del río Algodonal constituye una herramienta que enmarca las problemáticas ambientales y sociales a las que está expuesta la población y la manera en que éstas aumentarán si no se realiza una intervención en pro de la mejora de la calidad ambiental. Así mismo, a partir de este estudio se analizaron y articularon las características y problemáticas reales de la zona de estudio con el fin de generar conocimiento que sirva de apoyo para la formulación y ejecución de un plan de acción ambiental. En el presente proyecto se realizó la evaluación de un área de 2 km² del río Algodonal, en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental sectorial Ocaña (CORPONOR). Para ello, se realizó el diagnóstico del estado actual del área de estudio, identificando y generando información sobre las características sociales, hidrológicas, geomorfológicas, litológicas, de suelos y coberturas vegetales mediante visitas de campo e implementación de la herramienta ArcGIS. Posteriormente se determinó la oferta hídrica estimada en 1,387584 millones de m³/año por medio del método lluvia- escorrentía descrito en la resolución 0865 de 2004, así mismo, la demanda hídrica se calculó mediante información primaria e implementación del método descrito por la FAO (2006) obteniendo un estimado de 0,109956 millones de m³/año. Además, se realizó el seguimiento a los vertimientos presentes en la zona de estudio desde el año 2017-2020 en donde se encontraron valores de DBO, SST y coliformes fecales y totales fuera del límite permisible estipulado por la resolución 0631 de 2015 y un alto grado de contaminación en el año 2020. Por otra parte, se identificaron y evaluaron los impactos ambientales sujetos a las actividades de minería artesanal y prácticas de agricultura intensiva dentro del área de estudio por medio de la metodología Arboleda identificando al recurso hídrico y suelo como el principal afectado. Finalmente se elaboraron programas enfocados a la educación ambiental de los habitantes de la zona de estudio y al control y seguimiento de los vertimientos y de las actividades extractivas dentro del área con el fin de dar solución a las afectaciones que aquejan a los habitantes y mejorar las condiciones ambientales de la zona estudiada.

Palabras claves: Contaminación, impacto ambiental, suelos, hidrología, programas ambientales.

Introducción

En las tres últimas décadas ha despertado en la comunidad internacional una preocupación creciente por la escasez y la calidad de los recursos naturales, especialmente por el recurso hídrico, ya que el incremento de la población, el desarrollo de actividades agrícolas y la industrialización tienen un efecto directo sobre su oferta, demanda y calidad (Aliseda, 2016).

El agua es, junto al suelo, uno de los elementos claves para la vida, sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos, la vida humana y sus actividades están estrechamente relacionadas con la disponibilidad de recursos. Así, el crecimiento de la población de los últimos 50 años triplicó la extracción de agua para mantener el rápido aumento de los sistemas de riego, así mismo, se extendió la demanda del recurso suelo estimulado por una gran búsqueda de alimentos en los años 70 y por el continuo crecimiento de economías basadas en el sector primario como lo asegura Aliseda, (2016).

Desde entonces y hasta la actualidad, el crecimiento demográfico, los procesos industriales y la demanda de recursos naturales siguen incrementando. Con el desarrollo del presente estudio se busca monitorear las actividades que generan alteración especialmente del recurso hídrico y del suelo, con el fin de generar información de apoyo a la toma de acciones en pro de la mejora ambiental y el desarrollo sustentable.

1. Planteamiento Del Problema

Colombia es un país con un número de fuentes hídricas de gran calidad que son capaces de suplir las necesidades de toda la población colombiana, sin embargo, el mal manejo del recurso y el ambiente ha generado una disminución acelerada de éste. Según el Estudio Nacional de Agua (ENA) en 2018 el índice de disponibilidad per cápita de agua clasifica a Colombia, ya no como una de las potencias hídricas del mundo, sino como el país número 24 en una lista de 182 naciones.

Según, el ENA (2018), se encontró que el índice de calidad del agua en Colombia varía entre aceptable y muy malo. Además, en ninguna estación de monitoreo se encontró el recurso dentro de la categoría “buena”. Sumado a esto, José Luis Acero, viceministro de Agua Potable y Saneamiento Básico del Ministerio de Vivienda, reveló que 350 de los municipios en Colombia (32 %) no tienen acceso a agua potable de calidad, mientras que 450 sufren por la discontinuidad del líquido en sus casas y la brecha entre la cobertura a nivel urbano y rural sigue siendo muy grande.

Las fuentes que contribuyen al deterioro del agua y al incremento constante de la contaminación en el país son diferentes, siendo los sectores agropecuario, industrial y doméstico los principales responsables, ya que en conjunto generan cerca de 9 mil toneladas de materia orgánica contaminante, alrededor del 70%-75% de la contaminación marina global es producto de las actividades humanas que tienen lugar en la superficie terrestre (CEPAL, 2018)

Dentro del marco local la cuenca del Rio Algodonal está siendo afectada en su zona alta por el desarrollo de actividades agrícolas intensivas, minería artesanal y vertimientos directos de agua residual de origen doméstico, agrícola e industrial, lo que ha ocasionado

una disminución de la calidad del agua bastante elevada en los últimos años, además de una reducción significativa en el caudal del río ocasionando a su vez que a la población del municipio de Ocaña se le deba hacer racionamiento de agua, ya que este río es una de las principales fuentes de su acueducto municipal.

A partir de la problemática mencionada, con este estudio se pretende resolver los siguientes interrogantes:

¿Cuál es el nivel de contaminación e intervención en la zona alta de la cuenca y cuáles son las afectaciones ambientales y sociales que han ocasionado?

¿De qué manera se puede mejorar la calidad del agua del Río Algodonal?

¿Qué beneficios traerá al medio ambiente y a la sociedad realizar un estudio de la cuenca?

2. Justificación

La calidad del agua del Río Algodonal es fundamental para mejorar las condiciones de vida de la población, especialmente del municipio de Ocaña, con este estudio se realiza una evaluación del estado actual de la cuenca enfocada en su componente hidrológico y de suelos, determinando así que tan buena es la calidad de este recurso, así como determinar la manera en que se ve afectada por los usos del suelo y por los vertimientos presentes dentro de la zona de estudio, realizando un seguimiento a las actividades que afectan la calidad ambiental.

A partir de este estudio la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental sectorial Ocaña como ente de protección, seguimiento y control ambiental puede tomar las medidas pertinentes para la mejora del medio ambiente y de la calidad de vida de la población que está siendo afectada por dichas problemáticas. Así mismo, a partir de la formulación de programas ambientales se busca mejorar la educación ambiental. De igual manera la información generada y recolectada sirve como insumo para la formulación un plan de acción ambiental en pro de la mejora del Río Algodonal.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar la evaluación ambiental de los componentes hidrológicos y de usos del suelo en la zona alta de la cuenca del río Algodonal en el municipio de Abrego- Norte de Santander.

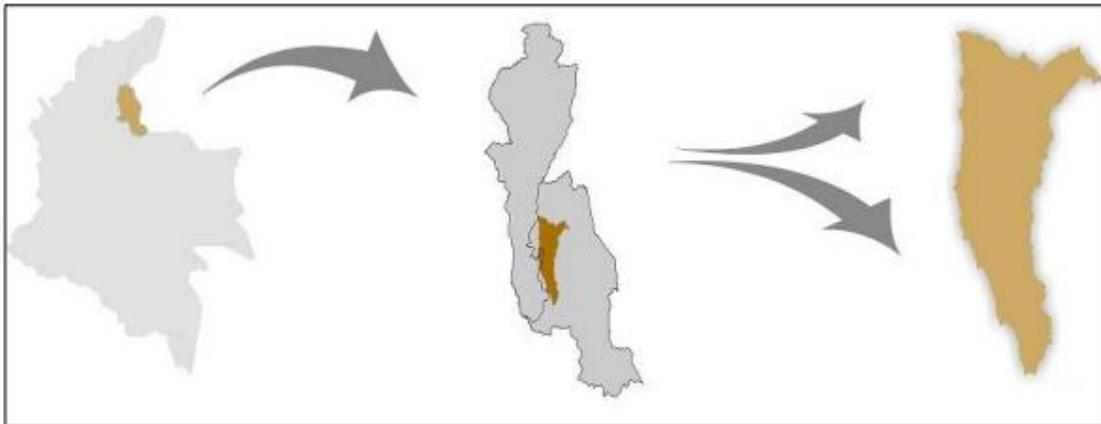
3.2 Objetivos Específicos

- ❖ Realizar un diagnóstico del estado actual en la zona de estudio.
- ❖ Estudiar las características de calidad y cantidad del agua dentro del área estudiada.
- ❖ Realizar una evaluación de los impactos ambientales asociados a las actividades antrópicas desarrolladas en el área.
- ❖ Proponer medidas de manejo para el mejoramiento de la calidad ambiental.

4. Marco Referencial

4.1 Marco Contextual

Según el reporte presentado por el Consorcio Algodonal (2016), la subzona hidrográfica del Río Algodonal se encuentra dentro la zona hidrográfica del Catatumbo, que a su vez se ubica dentro de la Microcuenca Caribe. En el mapa 1 se muestra la ubicación de la cuenca respecto a Colombia y al Departamento de Norte de Santander.

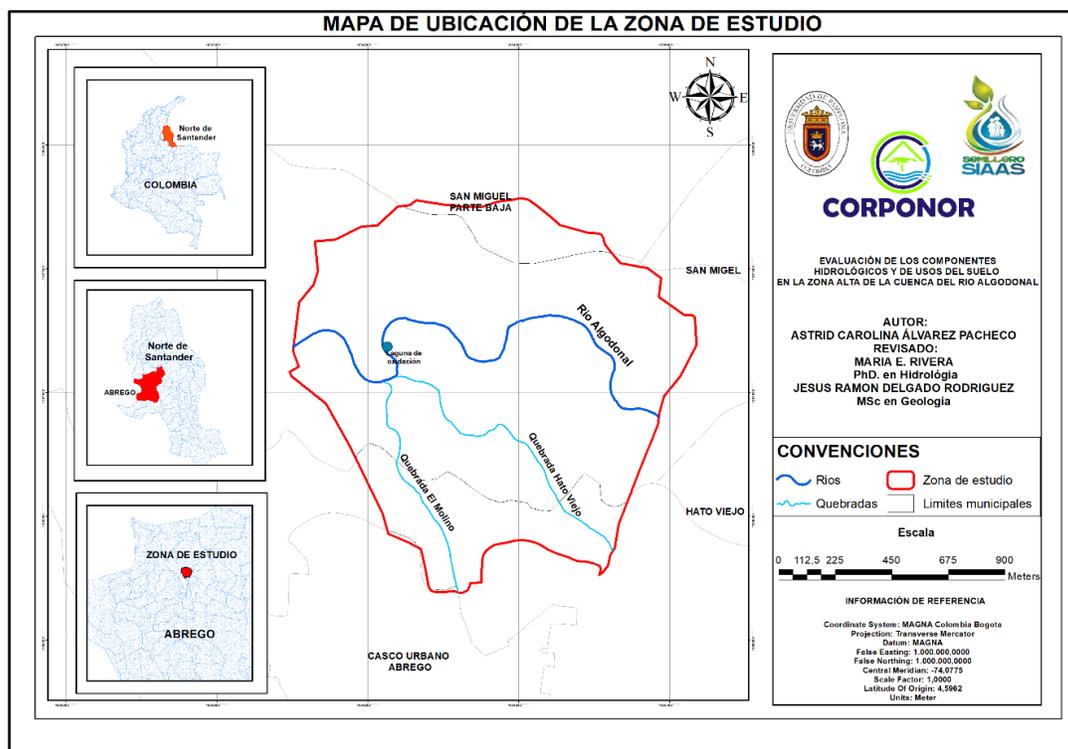


Mapa 1. Ubicación geográfica de la Cuenca del Río Algodonal

Fuente: Consorcio Algodonal año, 2015

De acuerdo con el Consorcio Algodonal (2016), el área de la cuenca del Río Algodonal (subzona hidrográfica) es de 2344,14 km², de los cuales 2219,19 km² son de jurisdicción de CORPONOR en el departamento de Norte de Santander en los municipios de: Ábrego, Ocaña, San Calixto, Convención, Teorama, El Carmen, El Tarra y Hacarí, y 124,94 km² en la jurisdicción de CORPOCESAR en el departamento del Cesar.

En el mapa 2 se muestra la localización de la zona de estudio, la cual está ubicada en la zona alta de la cuenca al Norte del municipio de Abrego, dentro de su área rural entre de las coordenadas $8^{\circ} 5'17.24''N$ y $73^{\circ}12'52.16''O$. El área que comprende es de 2 Km^2 y limitada al norte con la vereda San Miguel parte alta, al sur limita con el casco urbano del municipio de Abrego correspondiente a los barrios Villa Celmira y Villa del Rosario, al este limita con la vereda San Miguel y al oeste con la vereda El Molino. Además, el área que comprende está conformada por las veredas de San Miguel parte baja, El Molino y Hato viejo. Así mismo, dentro del área se encuentra localizada la laguna de oxidación de Abrego y el tramo del río Algodonal que comprende una longitud aproximada de 2.5 km, al cual llegan los aportes de las quebradas Hato Viejo y el Molino.



Mapa 2. Localización de la zona de estudio

Fuente: Modificado de ArcGIS por Álvarez, 2020.

4.2. Antecedentes

A nivel mundial la escasez y la mala calidad del recurso hídrico ha generado un estado de alarma para los entes de protección ambiental, en este sentido, cada vez son más países los que llevan a cabo estudios de investigación sobre el estado hidrológico de las cuencas hidrográficas que tienen como objetivo el mejoramiento continuo de este recurso. Algunos ejemplos de ello se presentan a continuación:

Sandoval y Oyarzun (2004) muestran que a partir de modelos matemáticas es posible analizar, proyectar y estudiar diferentes enfoques en el área ambiental, tal es el caso de los modelos de proyección sobre el cambio en el uso del suelo, en donde se proyectan los potenciales impactos ambientales y socioeconómicos derivados de los cambios en el uso del suelo. Así mismo, modelos como el determinístico-estocástico Lutz Schulz, utilizado por Huamán Francisco (2017) permite evaluar la disponibilidad hídrica de una cuenca tomando en cuenta la precipitación pluvial y parámetros físicos de la cuenca.

Según Ávalos y Rosita (2007), en la evaluación hidrológica de las subcuencas Parabién y Pueblo Viejo en Guatemala, México se evaluaron las problemáticas asociadas al recurso hídrico y se identificaron los puntos críticos y vulnerables de un ecosistema y en qué medida afectan la calidad de vida de la población.

En referencia a lo expuesto por Yun Zen (2009) y por Hernández Claudia (2016), sobre la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua se puede afirmar que una de las principales razones de contaminación hídrica se debe a la falta de educación ambiental y se enfatiza en la importancia de formular planes de acción para la gestión del recurso hídrico en donde se concientiza sobre la problemática y se motiva a la implementación y ejecución de programas ambientales que minimicen los impactos ambientales a este recurso.

Según la tesis desarrollada por Báez Napoleón y Yaguachi Melissa (2013), para el diagnóstico adecuado de los recursos hídricos de una cuenca, es necesario realizar estudios sobre balance hídrico, características morfométricas de la cuenca, ciclo hidrológico y geoquímica ambiental. Así mismo, García Esteban (2015), reitera este enfoque indicando a su vez la importancia del análisis de series de datos meteorológicos con un amplio rango de años y el estudio de las variables climatológicas de precipitación, temperatura (media, máxima y mínima) y evapotranspiración consideradas como las más influyentes con la cantidad del agua.

Por otra parte, Sinisterra Gabriela y Gaspar Fernanda (2014), muestran como la dinámica hídrica superficial se ve influenciada por los cambios en la cobertura del suelo y la importancia de su estudio al proporcionar la base para conocer las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada.

Algunos de los métodos más usados para el cálculo de la escorrentía superficial son el método de número de curva y método racional, los cuales pueden ser calculados a partir de la aplicación del software ArcGIS como lo explica Barbero Inés, (2014) en su estudio sobre comportamiento hidrológico de una cuenca forestal en España.

En Colombia se han desarrollado investigaciones sobre el tema en estudio, por ejemplo, la Corporación Autónoma Regional (CAR, 2006) llevó a cabo el diagnóstico y evaluación socio ambiental de la cuenca río Minero en el departamento de Boyacá, teniendo en cuenta las variables del ciclo hidrológico y su influencia en la calidad del agua. Además, Torres, *et al.*, (2009), indicaron que la evaluación de la calidad del agua permite

tomar acciones de control y mitigación del mismo, garantizando el suministro de agua segura.

El monitoreo periódico de los cuerpos de agua es una actividad que permite una gestión adecuada del recurso hídrico, ya que a partir de ella se realiza la detección temprana de los cambios en la calidad de agua. Con el fin de obtener información relevante sobre el recurso hídrico se han creado diferentes indicadores que permiten evaluar la calidad del agua analizando diferentes parámetros como los físicos, químicos, microbiológicos, hidromorfológicos, entre otros.

Galeana, Corona y Ordóñez (2009), desarrollaron un Análisis dimensional de la cobertura vegetal y uso del suelo en la Cuenca del Río Magdalena, los cuales generaron una matriz de las variables ambientales mediante el cruce de información geográfica y con las variables de cobertura vegetal, temperatura, precipitación, altitud, edafología y orientación de la zona de estudio realizaron un análisis preciso de los componentes principales.

De acuerdo con Jiménez, Mena y Wong (2011), el diagnóstico de la cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del río California, se obtuvo con la aplicación de estudios de índices florísticos e interpretación de imágenes satelitales Landsat, mediante unidades de campo de 400 m² dentro de la zona de influencia teniendo en cuenta la altura, el ancho de copa, se cuantificó la regeneración y los índices de ABUNDANCIA, IVI, IVF, SHANNON y JACCARD.

Suescún y Alarcón (2018), mediante la implementación de la herramienta ArcGIS y el programa HEC RAS desarrollan un estudio sobre evaluación hidrológica en donde determinan la oferta y la demanda hídrica y el índice de escasez de la quebrada Mascota, en

el departamento San Salvador, información que permite reflexionar sobre el uso del recurso hídrico mediante el análisis de su comportamiento.

A nivel regional en el estudio realizado por Leal (2016), en la quebrada el Bobo, en Norte de Santander se muestra la importancia de la modelación hidrológica por medio de la implementación del software MIKE para el análisis hidrológico de cuerpos hídricos basándose en la morfología del cauce, registros de caudal y lámina de agua y rugosidad.

Dentro de las actividades que afectan la condición hidrológica de una cuenca se encuentran las extracciones de material de arrastre que como lo explica Martínez (2017), conllevan una serie de impactos negativos a los cuales se les debe brindar la oportuna intervención e importancia para equilibrar los procesos hidrológicos que se estén afectando.

Gómez (2018), desarrollo la evaluación hidrológica y de calidad del agua de la microcuenca La Lejía por medio de la caracterización físico-morfométrica a partir del software ArcGIS, la estimación del balance hídrico aplicando diferentes metodologías de cálculo y el análisis de extensas series de datos que permiten obtener resultados veraces sobre las características y condiciones de la microcuenca.

Por otra parte, Romero (2019), describe otra metodología de análisis hidrológico en su trabajo entendiendo que el comportamiento del recurso hídrico y sus componentes varían de acuerdo a la zona en donde se encuentre. En este trabajo se describe el método de lluvia-escorrentía para el cálculo de oferta hídrica, sin embargo, implementa herramientas similares a los trabajos expuestos anteriormente como, por ejemplo, la utilización de ArcGIS para describir las características actuales de la zona de estudio.

Dentro de los estudios realizados a la cuenca del río Algodonal se encuentra el desarrollado por Criado (2012), en donde se realizó la modelación hidrológica de la cuenca

obteniendo como resultado que la zona de estudio presentaba condiciones ambientales críticas y se recomendaba la acción inmediata por parte de las Autoridades Ambientales. Así mismo Jiménez y Quintero (2012), obtuvieron resultados similares al realizar caracterizaciones del suelo y evaluar su incidencia en la calidad del agua del río Algodonal.

La formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Algodonal (POMCA) en jurisdicción de CORPONOR y CORPOCESAR, (2015).

Posteriormente, el Consorcio Algodonal (2018), realizó el ajuste del POMCA en el marco del proyecto “Incorporación del Componente de Gestión del Riesgo como Determinante Ambiental del Ordenamiento Territorial en los Procesos de Formulación y/o Actualización de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas Afectadas por el Fenómeno de la Niña 2010-2011”.

4.3 Marco Teórico

La evaluación hidrológica es un proceso de valoración de los componentes naturales físicos, químicos y biológicos, así como de las interrelaciones que se presentan con el entorno social. A continuación, se definen y explican algunos conceptos fundamentales para el desarrollo del presente estudio.

4.3.1 Hidrología

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), define la hidrología como la ciencia que se encarga del estudio del agua terrestre, incluyendo su origen, movimiento, distribución, propiedades físicas y químicas, su interacción con el medio en que se encuentra y su repercusión en las actividades humanas.

Cuenca Hidrográfica

De acuerdo con Martínez, Navarro y Heva (1997), se denomina cuenca hidrográfica o vertiente una zona de la superficie terrestre de la cual el agua procedente de la precipitación caída sobre ella se dirige hacia un mismo punto de salida. De igual manera, el decreto 1640 de 2012 establece que es el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.

4.3.2 Diagnóstico ambiental

El Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (INVEMAR, 2005) define los diagnósticos ambientales como una serie de caracterizaciones puntuales del medio físico, químico o biótico, tendientes a establecer el estado actual de un sistema impactado con relación a patrones nacionales o internacionales vigentes.

El diagnóstico descriptivo de una cuenca hidrográfica debe abordar un conjunto de temas interdependientes que son indispensables conocer y poder comprender como en su interacción conjunta determinan el estado o situación de la cuenca hidrográfica. Los contenidos de caracterización territorial a examinar, ya sean agrupados por dimensiones de análisis territorial, o bien como temas individualizados son los siguientes, (CEPAL,2013).

- a) Caracterizar la cuenca desde la dimensión físico geográfico, excluidas las amenazas naturales.
- b) Caracterizar la cuenca desde una perspectiva histórico-geográfica facilita comprender el proceso de asimilación del territorio de la cuenca en diferentes estadios temporales.

- c) Delimitar y caracterizar los principales cursos y cuerpos de agua de la cuenca.
- d) Inventariar y caracterizar los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la cuenca.
- e) Caracterizar la cuenca desde la perspectiva del balance hídrico.
- f) Inventariar y caracterizar el uso y la tenencia del agua.
- g) En el uso del Territorio de la cuenca hidrográfica.

4.3.3 *Oferta, Demanda Hídrica y Calidad de Agua*

 **Oferta hídrica.** De acuerdo con los hidrólogos, la oferta hídrica es la escorrentía superficial y su cuantificación conforma el elemento principal de medición en las redes de seguimiento hidrológico existentes en los distintos países. Por otra parte, la resolución 865 (2004) considera que la oferta hídrica de una cuenca, corresponde al volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre; el conocimiento del caudal del río, su confiabilidad y extensión de la serie del registro histórico son variables que pueden influir en la estimación de la oferta hídrica superficial; cuando existe información histórica confiable de los caudales con series extensas, el caudal medio anual del río es la oferta hídrica de esa cuenca.

Método lluvia – escorrentía para la estimación de la oferta hídrica. Según lo descrito en la resolución 0865 (2004), el método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de suelos de Estados Unidos (SCS) para el cálculo de las abstracciones iniciales de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración denominada número de curva de escorrentía.

La escorrentía es el agua que aparece en las fuentes superficiales y es uno de los procesos del ciclo hidrológico que más atención requiere debido a sus efectos en la conservación y degradación de los recursos naturales. (Almánzar, 2011).

En los años 50, el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS) desarrolló un método (Ecuación 1) para estimar la escorrentía directa generada por un evento de lluvia con el siguiente modelo empírico. (Mockus, 1964).

$$Q = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{P + 0,8 * S} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde, la escorrentía (Q) es una función de la precipitación efectiva, es decir, la porción de la lluvia que produce escorrentía superficial (P) y el potencial máximo de retención o bien la cantidad máxima de lluvia que la cuenca puede retener. (S).

La metodología relaciona el número de curva y el potencial máximo de retención (Ecuación 2).

$$NC = \frac{25400}{S + 254} \quad \text{Ec. 2}$$

Así mismo, El SCS desarrollo un método para el cálculo de la precipitación neta o precipitación efectiva (Mockus, V 1964, citado en la resolución 0865 de 2004) basado en el cálculo del umbral de escorrentía (P_o) o número de curva (CN), según lo descrito por la ecuación 3.

$$P = \frac{P - CN}{P + CN} \quad \text{Ec. 3}$$

Número curva. El número de curva (CN) es un parámetro empírico que toma en cuenta las condiciones de humedad antecedente (AMC) del suelo (seco, normal y húmedo) determinada a partir de la precipitación total en los cinco días previos, permeabilidad o grupo hidrológico de Suelo: Tipología de suelo y su capacidad de infiltración y uso de suelo o tipo de cubierta vegetal. Se representa mediante un número adimensional, en curvas estandarizadas, las que varían entre 0 y 100; donde un área con $CN = 0$ no tiene escurrimiento y otra con $CN = 100$ es impermeable y toda la precipitación genera escorrentía. (Havrylenko, Damiano y Pizarro 2006).

De acuerdo con la resolución 0865 de 2004 la condición superficial en la cuenca hidrográfica se refleja en el uso del suelo y las clases de tratamiento. El uso del suelo está asociado a las coberturas forestales y vegetales de la cuenca como son el tipo de vegetación, los usos agrícolas, tierras en descanso, superficies impermeables y áreas urbanas. El tratamiento del suelo se aplica a las prácticas mecánicas como perfilado de curva de nivel propias del uso agrícola, y prácticas de manejo como controles de pastoreo y rotación de cultivos.

Según Ibáñez, et al., (2010), un aspecto primordial en la producción de escorrentía es la misma naturaleza del suelo, su mayor o menor permeabilidad. Bajo el nombre de “grupo hidrológico del suelo” situamos los tipos de suelos en una de las 4 clases de permeabilidad en atención a la profundidad y textura: elevada (Grupo A), moderada (Grupo B), escasa (Grupo C) y nula o prácticamente nula (Grupo D).

Grupo A: Incluye los suelos con un potencial de escurrimiento bajo que presentan mayor permeabilidad, incluso cuando están saturados. Comprenden terrenos profundos con

predominio de arena y grava y con muy poco limo y arcilla (arenosos, arenosos-limosos, loes, etc.).

Grupo B: Incluye los suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados comprendiendo los terrenos arenosos menos profundos que los del grupo A, de textura franca o franco-arenosa de mediana profundidad y los francos profundos.

Grupo C: Suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados por presentar estratos impermeables que dificultan la infiltración o porque en conjunto, su textura es franco arcillosa o arcillosa.

Grupo D: Suelos con capacidades de infiltración muy bajas, ofreciendo mayor escorrentía. Incluye los suelos de textura muy arcillosa y profundos con alto grado de tumefacción, los suelos que presentan en la superficie o muy cerca de ella una capa de arcilla muy impermeable y aquellos otros con subsuelo muy impermeable próximo a la superficie.

La respuesta del suelo frente a una lluvia dependerá en gran medida de su estado previo de humedad; si ha producido una precipitación previa el suelo aceptará menos cantidad de agua y la escorrentía será en consecuencia mayor; suelos muy secos generarán menores escorrentías Ibáñez Sara, et al., (2010). El método de número de curva contempla tres posibles condiciones de humedad antecedente, las cuales se clasifican en CMI, que corresponde al menor potencial de escorrentía (Condiciones secas), CMII, cuyo potencial de escorrentía es medio (Condiciones normales) y CMIII, con un mayor potencial de escorrentía (Condiciones Húmedas). (resolución 0865, 2004). En la tabla 1 se presentan los valores de CNII para condiciones normales de acuerdo a la hidrológica del suelo.

Tabla 1.

Escorrentía para los complejos suelo - cobertura (CN).

Uso de la tierra	Cobertura, tratamiento o práctica	Condición Hidrológica	Grupo de suelos			
			A	B	C	D
			Número de Curva			
1. Rastrojo	Hileras rectas	---	77	86	91	94
2. Cultivos en hilera	Hileras rectas	Mala	71	81	88	91
	Hileras rectas	Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
	Curvas de nivel	Buena	65	75	82	86
	Cur/Niv y Terrazas	Mala	66	74	80	82
	Cur/Niv y Terrazas	Buena	62	71	78	81
3. Cultivos en hileras estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	86
	Hileras rectas	Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
	Curvas de nivel	Buena	61	73	81	84
	Cur/Niv y Terrazas	Mala	61	72	79	82
	Cur/Niv y Terrazas	Buena	59	70	78	81
4. Leguminosas en hileras estrechas o forraje en rotación	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
	Hileras rectas	Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
	Curvas de nivel	Buena	55	69	78	83
	Cur/Niv y Terrazas	Mala	63	73	80	83
	Cur/Niv y Terrazas	Buena	51	67	76	80
5. Pastos de pastoreo		Mala	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	Mala	47	87	81	88
	Curvas de nivel	Regular	25	59	75	83
	Curvas de nivel	Buena	6	35	70	79
6. Pastos de corte		Buena	30	58	71	78
7. Bosque		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
8. Patios		---	59	74	82	86
9. Caminos de tierra		---	72	82	87	89
10. Pavimentos		---	74	84	90	92

Fuente: Resolución 0865, 2004.

Se han encontrado relaciones a partir de las condiciones normales que se pueden usar para calcular los números de curva para AMCI y AMCII, según las ecuaciones 4 y 5.

$$CNI = \frac{CNII}{2,3 - 0,013 CNII} \quad \text{Ec. 4}$$

$$CNIII = \frac{CNII}{0,43 + 0,0057CNII} \quad \text{Ec. 5}$$

Así mismo, la resolución establece que a la oferta neta disponible se le debe reducir un porcentaje de acuerdo al caudal ecológico y a la calidad de agua de la fuente con el fin de garantizar un desarrollo sustentable.

Calidad del Agua

Según la OMS (2006), la calidad del agua se define en función de un conjunto de características variables fisicoquímicas o microbiológicas, así como sus valores de aceptación o rechazo. La calidad físico química del agua se basa en la determinación de sustancias químicas específicas que pueden afectar a la salud, tras cortos o largos periodos de exposición. Mientras que la microbiológica, se basa en la determinación de microorganismos que puedan afectar directamente al ser humano o que, por su presencia puedan señalar la posible existencia de otros, tal y como sucede con los coliformes fecales, *Escherichia coli* y *salmonella* (Ministerio de salud, Ambiente y energía, 2005).

El IDEAM, (2011) desarrolló el "Sistema de Indicadores Hídricos", con el fin de monitorear la calidad y cantidad del recurso hídrico. La hoja metodológica presenta el procedimiento paso a paso para el cálculo del indicador Índice de calidad del agua (Versión

1,00) desarrollada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (IDEAM, 2013).

Índice de calidad de agua (ICA). El ICA es un número (entre 0 y 1) que señala el grado de calidad de un cuerpo de agua en términos del bienestar humano independiente de su uso. El indicador refleja las condiciones fisicoquímicas generales de la calidad de una corriente de agua, considerándose como el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t . El IDEAM propone la metodología de cálculo según la ecuación 6.

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt} \right) \quad \text{Ec. 6}$$

Donde, ICA_{njt} es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t , evaluado con base en n variables; W_i es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad; I_{ikjt} es el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j , registrado durante la medición realizada en el trimestre k , del período de tiempo t ; n es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5, o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

Los valores optativos que puede llegar a tomar el indicador han sido clasificados en categorías, de acuerdo a ellos se califica la calidad del agua de las corrientes superficiales,

al cual se le ha asociado un color como señal de alerta. En la tabla 2 se registra la relación entre valores y calificación:

Tabla 2

Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA.

Categorías de valores que puede tomar el indicado.	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0.00-0.25	Muy Mala	Muy mala
0.26-0.50	Mala	Mala
0.51-0.70	Regular	Regular
0.71-0.90	Aceptable	Aceptable
0.91-1.00	Buena	Buena

Fuente: IDEAM,2013.

Así mismo, Ramírez, et al., (1997), proponen la estimación de los índices ICOMO e ICOSUS entre otros, como un método para evaluar y cuantificar la contaminación presente en un cuerpo de agua determinado basándose en una serie de fórmulas que permiten relacionar parámetros físico químicos y biológicos del agua.

Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO). Este índice relaciona la demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y el porcentaje de saturación del oxígeno. Éstos en su conjunto recogen efectos distintos de contaminación orgánica en fuentes hídricas superficiales (Torres, 2008). Se define entre un rango de 0 a 1 donde el

aumento desde el valor más bajo se relaciona con el aumento de contaminación en el cuerpo del agua y se obtiene por medio de la ecuación 7 (Ramírez, et al.,1997).

$$ICOMO = \frac{1}{3} (IDBO + ICFT + IOxígeno\%) \quad \text{Ec. 7}$$

Donde, *IDBO* es el subíndice para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (IDBO); *ICFT*, es el subíndice para coliformes fecales y *IOxígeno%*, es el porcentaje de saturación de oxígeno

Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS). Este índice trabaja con la concentración de sólidos suspendidos que se definen como partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución (Arias, 2010). De igual manera, este índice toma valores de 0 a 1 como otros indicadores de contaminación, en los que valores cercanos a 0 señalan baja contaminación, tal como lo proponen Ramírez, et al., (1997) de acuerdo a la ecuación 8.

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 * SST \quad \text{Ec. 8}$$

Si $SST > 340g/m^3$, entonces $ICOSUS = 1$

Si $SST < 10g/m^3$, entonces $ICOSUS = 0$

Demanda Hídrica

El IDEAM (2011), la define como la demanda de agua estimada corresponde a la cantidad o volumen de agua usado por los sectores económicos y la población. Considera el volumen de agua extraído o que se almacena de los sistemas hídricos y que limita otros

usos; contempla el volumen utilizado como materia prima, como insumo y el retornado a los sistemas hídricos.

De acuerdo a la resolución 0865 (2004), la estimación del volumen de agua demandada en millones de metros cúbicos corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales como se muestra en la ecuación 9 y se basa en el volumen de producción sectorial y un factor de consumo de agua por tipo de bien.

$$DT = DUD + DUI + DUS + DUA + DUP \quad \text{Ec. 9}$$

Donde, DT es la Demanda Total de agua; DUD corresponde a la Demanda de Agua para Uso Doméstico; DUI es la Demanda de Agua para uso Industrial; DUS indica la Demanda de Agua para el Sector Servicios; DUA es la Demanda de agua para el Sector Agrícola y DUP corresponde a la Demanda de agua para Uso Pecuario.

Demanda Hídrica En El Sector Agrícola. El uso del agua en la producción agrícola está referido a la cantidad de agua y al momento de su aplicación, a fin de alcanzar un equilibrio entre la cantidad de agua requerida por el cultivo, en compensación por la pérdida por evapotranspiración, y la precipitación efectiva (González, Saldarriaga y Jaramillo, 2010). La FAO (2006), establece la ecuación 10 para la estimación de la demanda hídrica por tipo de cultivo.

$$Da = 10 \sum_{d=1}^{lp} \frac{(Kc * ETo) - \frac{(P * Ke)}{100}}{Kr} \times A \quad \text{Ec. 10}$$

Donde, Da es el requerimiento de agua del cultivo (m³/ha); el 10 es el factor de conversión a m³/ha; lp es la duración del periodo de crecimiento; Kc es el coeficiente del cultivo; ETo

es la evapotranspiración del cultivo de referencia; P es la precipitación en mm; K_e es el coeficiente de escorrentía; K_r es el coeficiente de riego y A es el área sembrada.

La variación del coeficiente K_c a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo. Para describir y construir la curva, es necesario conocer los valores de K_c , correspondientes a la etapa inicial ($K_{c\ ini}$), la etapa de mediados de temporada ($K_{c\ med}$) y la etapa final ($K_{c\ fin}$). La forma gráfica de la curva se aprecia en la ilustración 1. Así mismo, es necesario conocer los valores de K_c , correspondientes a la etapa de desarrollo ($K_{c\ des}$) según la ecuación 11.

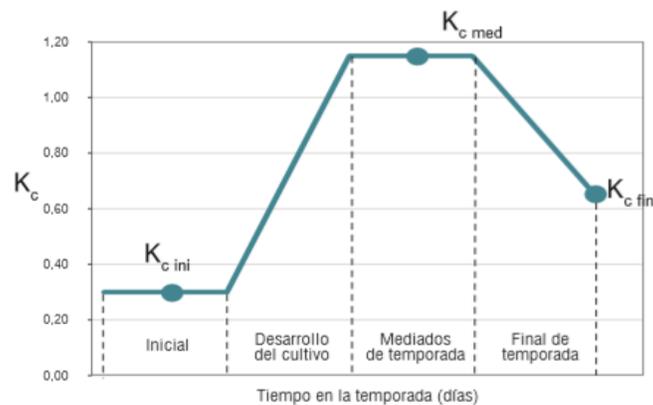


Ilustración 1. Etapas del cultivo en relación a los coeficientes K_c .

Fuente: FAO, 2006.

$$K_{C_{Des}} = K_{C_{inc}} + \left(\frac{i - (Linc)}{Letap} \right) (K_{C_{med}} - K_{C_{inc}})$$

Ec. 11

Donde, $K_{C_{Des}}$ es el coeficiente en la etapa de desarrollo; $K_{C_{inc}}$ es el coeficiente en la etapa inicial; i se refiere a los días del cultivo en la etapa media también llamado (L_p medio); $Linc$ se refiere a los días del cultivo en la etapa Inicial; $Letap$ se refiere a los días

del cultivo en la etapa de desarrollo; $Kc_{med} - Kc_{inc}$ es la diferencia entre el número de días del cultivo en la etapa media e inicial.

Una vez conocido el uso consuntivo, se establece la precipitación efectiva (precipitación disponible), que explica el valor de la precipitación final luego de que, al volumen precipitado, se le descuenta el valor de infiltración y evaporación. Matemáticamente, se obtiene multiplicando la precipitación (mm) y el coeficiente de escorrentía. El coeficiente de escorrentía se obtiene como el cociente entre la escorrentía y la precipitación (ENA 2018, FAO 2006).

En el cálculo del coeficiente de reducción de la evaporación del suelo (K_r), también llamado coeficiente de riego, se puede asumir que la evaporación que se presenta en la parte expuesta del suelo ocurre en dos etapas: una etapa limitada por la cantidad de energía disponible y una etapa donde la tasa de evaporación se reduce gradualmente (FAO, 2006). Durante la etapa 1, el valor de k_r se encuentra limitado por la energía disponible, es decir, al comienzo de un ciclo de secado, después de un evento importante de lluvia o riego, el contenido de humedad en la capa superficial del suelo corresponderá a capacidad de campo y la cantidad de agua agotada por evaporación, D_e , será igual a cero (FAO, 2006). La lámina acumulada de evaporación, D_e , al final de la etapa 1 de secado será igual a AFE (agua fácilmente evaporable), la cual representa la lámina máxima de agua que puede ser evaporada sin restricciones de la capa superficial del suelo durante la etapa 1. Esta lámina oscila normalmente entre los 5 a 12 mm, siendo en general mayor para suelos de textura media y fina. En la tabla 3 se presentan valores típicos de AFE (FAO, 2006).

Tabla 3

Características típicas de la humedad del suelo para diferentes tipos de suelo.

Tipo de Suelo (Clasificación de la textura del Suelo del USDA)	Características de la humedad del suelo			Parámetros de Evaporación	
	θ_{rc}	θ_{wp}	$(\theta_{rc} - \theta_{wp})$	Cantidad de agua que puede ser agotada a través de la evaporación	
	m^3/m^3	m^3/m^3	m^3/m^3	Etapa 1 AFE	Etapa 1 y 2 AET* ($Z_e = 0,10$ m)
	m^3/m^3	m^3/m^3	m^3/m^3	mm	mm
Arenoso	0,07 - 0,17	0,02 - 0,07	0,05 - 0,11	2 - 7	6 - 12
Arenoso Franco	0,11 - 0,19	0,03 - 0,10	0,06 - 0,12	4 - 8	9 - 14
Franco Arenoso	0,18 - 0,28	0,06 - 0,16	0,11 - 0,15	6 - 10	15 - 20
Franco	0,20 - 0,30	0,07 - 0,17	0,13 - 0,18	8 - 10	16 - 22
Franco Limoso	0,22 - 0,36	0,09 - 0,21	0,13 - 0,19	8 - 11	18 - 25
Limoso	0,28 - 0,36	0,12 - 0,22	0,16 - 0,20	8 - 11	22 - 26
Franco Arcillo Limoso	0,30 - 0,37	0,17 - 0,24	0,13 - 0,18	8 - 11	22 - 27
Arcillo Limoso	0,30 - 0,42	0,17 - 0,29	0,13 - 0,19	8 - 12	22 - 28
Arcilloso	0,32 - 0,40	0,20 - 0,24	0,12 - 0,20	8 - 12	22 - 29

*AET = $(\theta_{rc} - 0,5 \theta_{wp}) Z_e$

Fuente: FAO, 2006.

La segunda etapa (donde la tasa de evaporación se va reduciendo paulatinamente) es denominada «etapa de reducción de la tasa de evaporación», la cual se inicia cuando el valor de D_e supera a la AFE. En este punto, la superficie del suelo se encontrará visiblemente seca y la evaporación a partir de la porción expuesta del suelo se reducirá en proporción a la cantidad de agua remanente en la capa superficial del suelo. La FAO (2006), propone la ecuación 12 para el cálculo del coeficiente K_r .

$$K_r = \frac{AET - D_{e,i-1}}{AET - AFE} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde, K_r es el coeficiente adimensional de reducción de la evaporación, dependiente del agotamiento de la humedad (lámina acumulada de evaporación), en la parte superior del suelo; $D_{e,i-1}$ es la lámina acumulada de evaporación (agotamiento) en la capa superficial del suelo al final del día $i-1$ (el día anterior) [mm]; AET es la lámina acumulada máxima de

evaporación (agotamiento) en la capa superficial del suelo cuando $K_r = 0$ (AET = agua evaporable total) [mm] y AFE es la lámina acumulada de evaporación al final de la etapa 1 (AFE = agua fácilmente evaporable) [mm].

Demanda Hídrica En El Sector Pecuario (DUP). Según la resolución 0865 (2004) y FAO (2006), la demanda hídrica para uso pecuario se establece de acuerdo al número de animales reportado en los censos por predio, de esta manera, el resultado para calcular la demanda aproximada de producción pecuaria, se realiza por un factor de consumo promedio aproximado, este se encuentra diferenciado de acuerdo al tipo de animal, el tipo de producción y el consumo de materias seca y alimento requerido, en Bovinos, aves de corral, mascotas y porcinos, de acuerdo a la ecuación 23.

$$DUP = VPa * Fc \quad \text{Ec. 13}$$

Donde, DUP es la demanda de agua para uso pecuario; V_{pai} es el volumen de producción por tipo de animal industrial y F_c es el factor de consumo según la producción animal.

Demanda Hídrica Para El Sector Doméstico (DUD). La resolución 0865 (2004), la define como la cantidad de agua consumida por la población urbana y rural para suplir sus necesidades. El cálculo de la demanda de agua para consumo humano se realiza utilizando la ecuación 24.

$$DUD = \text{Demanda per cápita urbana} * \text{número de habitantes urbanos} \\ + \text{Demanda per cápita rural} * \text{número de habitantes rurales.} \quad \text{Ec. 14}$$

4.3.2 Suelo

El suelo es un componente vital del ambiente natural. Su disponibilidad es limitada y se encuentra constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro, meso y micro-organismos que desempeñan procesos fundamentales de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones indispensables para la sociedad y el planeta (Minambiente, 2016). Una gestión adecuada del suelo constituye un factor esencial en la agricultura sostenible y proporciona también un resorte valioso para regular el clima y salvaguardar los servicios ecosistémicos y la biodiversidad. Los suelos saludables son un requisito previo básico para satisfacer las diversas necesidades de alimentos, biomasa (energía), fibra, forraje y otros productos, y para garantizar la prestación de los servicios ecosistémicos esenciales en todas las regiones del mundo (FAO, 2015). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018.

El Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA, 2018), define la **Capacidad de Campo (CC)** como la cantidad de agua retenida en un suelo después que el excedente de agua se haya drenado y que la tasa de drenaje sea prácticamente nula, lo que se obtiene normalmente dos a tres días posteriores a una lluvia o riego en suelo permeable y textura uniforme.

El **Punto de Marchitez permanente (PMP)** de acuerdo a la FAO (2005) se refiere al contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo. En esas condiciones, el cultivo está permanentemente marchito y no puede revivir cuando se le coloca en un ambiente saturado de agua.

Dentro del estudio de suelos es importante analizar aspectos geológicos y de litología, entendiéndose como geología la ciencia que estudia la estructura interna de la Tierra y su composición, así como los cambios que ha sufrido a lo largo del tiempo geológico (Navea, 2010). En la actualidad, la Geología cuenta con una diversidad de ramas que le han permitido ampliar sus horizontes de aplicación, dirigidos hacia el estudio y búsqueda de minerales e hidrocarburos, la disponibilidad de aguas subterráneas, la posible prevención de fenómenos naturales como los terremotos, erupciones volcánicas, tsunamis y deslizamientos; la conservación de los ecosistemas previniendo factores de contaminación ambiental y cambio climático; los planes de ordenamiento territorial y la estabilidad de las grandes obras de Ingeniería Civil (Vallejo, 2014).

Litología. La Litología es la parte de la Geología que trata de las rocas: el tamaño de grano, de las partículas y sus características físicas y químicas. La litología es fundamental para entender cómo es el relieve, ya que dependiendo de la naturaleza de las rocas se comportarán de una manera concreta ante los empujes tectónicos, los agentes de erosión y transporte, y los diferentes climas de la Tierra (Santiago, 2007).

Desde el punto de vista litológico los materiales se clasifican de acuerdo a su génesis o formación (Abramson, 1996) diferenciándose dos grupos de materiales diversos que son: la roca y el suelo. Dentro de una misma cuenca hidrográfica los canales fluviales no se comportan de la misma manera. Así, el tipo de sustrato va a condicionar el comportamiento de los canales fluviales. El sustrato aluvial se suele encontrar en el sector final de las cuencas y está formado por rocas sedimentarias de tamaño fino (areniscas y arcilla) y en esta zona los ríos desarrollan canales relativamente estables, de gran caudal y anchura y con desarrollo de extensas terrazas fluviales. El sustrato rocoso, por el contrario,

se localiza en la zona inicial o zona de cabecera de la cuenca, donde los canales son de menor caudal, pero tienen mayor energía, siendo frecuente en la zona de cabecera los episodios de riadas. En este contexto los canales discurren directamente sobre la roca, dando lugar a formas fluviales erosivas como las marmitas de gigante y frecuentes depósitos de bolos y bloques (Cuevas, 2017).

El Departamento de agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales (USDA), publicó la décima segunda edición para la taxonomía de suelos en 2014 clasificando a los diferentes tipos de suelos dentro de 11 órdenes o categorías: Suelos de orden entisol, inceptis, vertisol, alfisol, molisol, ultisol, Oxisol, Andisol, Aridisol, Gelisol, Histosol, Spodisol.

En este sentido, cada orden de suelo contiene características específicas de acuerdo, especialmente a los contenidos orgánicos y minerales que se encuentren presentes. Casi todos los suelos contienen cantidades mayores a trazas de componentes minerales y orgánicos en algún horizonte, pero la mayoría de los suelos están dominados por uno u otro. Por ejemplo, los horizontes con menos de 20 % a 35% de materia orgánica, por peso, tienen propiedades que son más parecidas a las de los suelos minerales que a las de los orgánico (USDA, NRCS, 2014).

Uso Actual De Suelos En Colombia. La leyenda nacional de las coberturas de la tierra del país a escala 1:100.000 (2010), se enmarca como un nuevo paso en el proceso de consolidación de una propuesta metodológica para realizar la caracterización de las coberturas naturales y antropizadas presentes en el territorio colombiano. Ésta permite unificar los criterios, conceptos y métodos para conocer cómo está cubierto el país, a partir de la adaptación realizada de la metodología europea CORINE Land Cover a nuestro

entorno. En la tabla 8, se presentan las unidades de coberturas de la tierra para la leyenda nacional, escala 1:100.000, de acuerdo con la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia.

Tabla 4

Unidades de Clasificación de las coberturas de la tierra según la metodología CORINE Land Cover.

1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES
1.1. Zonas urbanizadas	3.1. Bosques
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.2. Bosque abierto
1.2.4. Aeropuertos	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	3.1.3. Bosque fragmentado
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.5. Plantación forestal
1.4.2. Instalaciones recreativa	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
	3.2.1.1. Herbazal denso
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.1. Cultivos transitorios	3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.1.2. Cereales	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
2.1.4. Hortalizas	3.2.1.1.2.3. Arracachal
2.1.5. Tubérculos	3.2.1.1.2.4. Helechal
2.2. Cultivos permanentes	3.2.1.2. Herbazal abierto
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
2.2.1.2. Caña	3.2.2.1. Arbustal denso
2.2.1.3. Plátano y banano	3.2.2.2. Arbustal abierto
2.2.1.4. Tabaco	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición

2.2.1.5. Papaya	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
2.2.1.6. Amapola	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.3.2. Afloramientos rocosos
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
2.2.2.2. Café	3.3.4. Zonas quemadas
2.2.2.3. Cacao	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
2.2.2.4. Viñedos	4. ÁREAS HÚMEDAS
2.2.2.5. Coca	4.1. Áreas húmedas continentales
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	4.1.1. Zonas Pantanosas
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	4.1.2. Turberas
2.2.3.2. Palma de aceite	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
2.2.3.3. Cítricos	4.2. Áreas húmedas costeras
2.2.3.4. Mango	4.2.1. Pantanos costeros
2.2.4. Cultivos agroforestales	4.2.2. Salitral
2.2.5. Cultivos confinados	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
2.3. Pastos	5. SUPERFICIES DE AGUA
2.3.1. Pastos limpios	5.1. Aguas continentales
2.3.2. Pastos arbolados	5.1.1. Ríos (50 m)
2.3.3. Pastos enmalezados	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	5.1.3. Canales
2.4.1. Mosaico de cultivos	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	5.2. Aguas marítimas
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5.2.1. Lagunas costeras
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5.2.2. Mares y océanos
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	5.2.3. Estanques para acuicultura marina

Fuente: Leyenda nacional de coberturas de la tierra- Colombia, 2010.

Contaminación Del Suelo. Como lo señala la FAO (2005), las prácticas agrícolas insostenibles reducen la materia orgánica del suelo y pueden facilitar la transferencia de contaminantes a la cadena alimentaria. Por ejemplo, el suelo contaminado puede liberar contaminantes en las aguas subterráneas que luego se acumulan en los tejidos de las plantas y pasan a los animales que pastan, a las aves y finalmente a los humanos que se alimentan de las plantas y los animales. En este sentido se hace necesario implementar medidas que garanticen la utilización sustentable para el uso de los suelos, por esta razón la FAO (2018), desarrollo la guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales.

4.3.4 Evaluación de Impacto Ambiental

Es necesario considerar los impactos ambientales que se presentan en una zona. Según Pérez (2010), el impacto ambiental es el efecto causado por una actividad humana sobre el medio ambiente, a su vez se entiende como el estudio entre la relación de los seres

vivos y su ambiente, se encarga de medir dicho impacto y de tratar de minimizarlo. Así mismo, este autor considera que la clasificación de los impactos ambientales se da de acuerdo al tiempo que dura su efecto en un lugar. Tomando ese criterio se pueden establecer cuatro tipos diferentes de impacto: A) Persistente. En este grupo se encuentran los que tienen una influencia a lo que sería largo plazo; B) Temporal. Como su propio nombre indica, es la clase de impacto ambiental que realmente no crea unas consecuencias grandes, lo que supone, por tanto, que el medio se pueda recuperar de manera relativamente rápida; C) Reversible. A consecuencia del mencionado impacto, el medio se puede recuperar de los daños sufridos, en un tiempo más o menos corto, pero puede ocurrir que quizás no llegue a estar del todo como se encontraba anteriormente a que tuvieran lugar los hechos; D) Irreversible. En este caso, como su nombre indica, es aquel impacto ambiental que tiene tanta trascendencia y gravedad que impide por completo que un escenario pueda recuperarse de los daños que él ha causado.

Para evaluar el tipo de impacto es importante y fundamental realizar la evaluación ambiental. En esta tarea, los expertos acometerán desde un análisis inicial hasta un estudio preliminar pasando por una concreta determinación de él. De esa forma, y tras posteriores y exhaustivas investigaciones, se podrá determinar el impacto, así como las medidas que necesariamente hay que tomar y también se dictaminará si se podrá recuperar del daño a corto, medio o largo plazo. (Porto y Merino. 2013).

Metodologías Para La Evaluación De Impactos Ambientales. Se han desarrollado diferentes metodologías para la evaluación de impactos ambientales (Ver tabla 4), dentro de las más importantes se encuentra la desarrollada por Conesa (1993) y la

desarrollada por la Unidad de Planeación de Recursos Naturales de las Empresas Públicas de Medellín, (1994).

Tabla 5

Metodologías para la evaluación de impactos ambientales.

Cuantitativas	Cualitativas
<p>Metodología Battelle-Columbus (Listas de chequeo): Es un tipo de lista de verificación con escalas de ponderación que contempla la descripción de los factores ambientales, la ponderación valórica de cada aspecto y la asignación de unidades de importancia. El sistema consta de cuatro niveles: General (categorías ambientales), intermedia (componentes ambientales), específica (parámetros ambientales) y muy específica (medidas ambientales) (Espinoza, 2007).</p>	<p>Leopold (matrices causa-efecto): Consiste en una matriz de doble entrada en la que se disponen en las filas, los factores ambientales que pueden ser afectados y en las columnas, las actividades que van a tener lugar en un proyecto. Considerando a estas últimas como la causa de los posibles impactos (Conesa, 2010).</p>
<p>Cuantitativas y cualitativas</p>	<p>Método del CNYRPAB (Departamento</p>
<p>Metodología de las Empresas Públicas de Medellín: La primera etapa consiste en</p>	<p>de Desarrollo y Planificación Regional del Estado de Nueva York): Método de</p>

<p>organizar las actividades del proyecto o intervención, de manera que se obtengan acciones agrupadas por características semejantes, La segunda etapa toma las acciones determinadas e identifica los impactos ambientales, a través de diagramas de redes o de flujo. (León, 2002).</p>	<p>identificación de impactos usando dos matrices. La primera, toma los indicadores base y los compara después de la ejecución del proyecto, la segunda, toma las interacciones y define los impactos a partir de ellas (Conesa, 2010).</p>
<p>Guías metodológicas del MOPU (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo): Estas guías metodológicas parten de una sólida base descriptiva de cada parámetro potencialmente afectable, así como de las acciones causantes de los posibles impactos, es decir, una descripción de la situación preoperacional a la que sigue una previsión de impactos, incluyendo criterios y metodologías de evaluación, en las que se incluyen varias alternativas que pueden ser utilizadas según convenga para el caso en cuestión. Se hace una evaluación cualitativa</p>	<p>Método Bereano: Se basa en una matriz para la evaluación de los impactos asociados a las estrategias tecnológicas alternativas. Se comparan alternativas tomando como base ciertos parámetros, seleccionados de manera que reflejen los efectos diferenciales que las distintas alternativas producirán sobre el Medio Ambiente (Citado por Villegas, 2015)</p> <p>Metodología del banco mundial: se realiza la identificación y medición de los efectos de los proyectos sobre el Medio Ambiente, indicando la información</p>

<p>(generalmente de tipo matricial) y cuantitativa (generalmente del tipo Batelle) del impacto, a la que sigue una relación de medidas preventivas y correctoras, los posibles impactos residuales y un programa de vigilancia y control (Ruberto, 2006).</p>	<p>precisa y el tipo de experiencia necesaria que se requieren para estudiar con profundidad los aspectos ambientales de los diferentes proyectos y proporcionando una estructura para la formulación de procedimientos y pautas para el examen y la consideración sistemática de los factores ambientales (Ruberto, 2006).</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Álvarez, 2020.

Método EPM o Arboleda. Esta es una propuesta metodológica, desarrollada por Arboleda (1994), que busca identificar y evaluar los impactos generados en diferentes proyectos, sobre las condiciones medioambientales que puedan resultar afectadas, ha sido empleada por las Empresas públicas de Medellín (EPM) en diversos proyectos, y ha sido aprobada por organismos tanto nacionales como internacionales, cuyas funciones se relacionan con el manejo y /o regulación del medio ambiente La metodología se desarrolla en tres fases, I. Desagregación del proyecto en componentes. II. Identificación de impactos. III. Evaluación de impactos (León, 2002).

Fase 1: Desagregación del proyecto en componentes. La primera actividad que se propone abordar, es la identificación de las diferentes actividades que tienen lugar en la ejecución de la obra o proyecto, dichas actividades y agrupan en componentes (León, 2002).

Fase 2: Identificación de impactos. Esta fase busca identificar cuáles son los impactos producidos para el ambiente, basándose en 3 elementos **acción, efecto e impacto** (León, 2002).

Fase 3: Evaluación de los impactos. De la anterior fase se obtuvo como resultado final, un listado de los impactos generados por cada uno de los componentes, ahora es pertinente su evaluación con base en su significancia. En este sentido y de acuerdo a lo citado por Arango y Peláez (2015), los factores empleados para la evaluación de los impactos se definen de la siguiente forma: **Clase (C):** sentido del cambio ambiental producido por una determinada acción del proyecto. Puede ser positiva (+) o negativa (-), dependiendo de si mejora o degrada respectivamente, el ambiente actual o futuro; **presencia (P),** como no se tiene certeza absoluta de que todos los impactos se presenten, la presencia califica la probabilidad de que el impacto pueda darse, se expresa entonces como un porcentaje de la probabilidad de ocurrencia; **duración (D),** evalúa el período de existencia activa del impacto. Se expresa en función del tiempo que permanece el impacto (muy larga, larga, corta, etc.); **evolución (E),** evalúa la velocidad de desarrollo del impacto, desde que aparece o se inicia hasta que se hace presente plenamente; se califica de acuerdo con la relación entre la magnitud máxima alcanzada por el impacto y la variable tiempo, y se expresa en unidades relacionadas con la velocidad con que se presenta el impacto (rápido, lento, etc.); **magnitud (M),** califica la dimensión o tamaño del cambio ambiental producido por una actividad o proceso constructivo u operativo. Los valores de magnitud absoluta cuantificados o inferidos se transforman en términos de magnitud relativa (Mr, en porcentaje) que es una expresión mucho más real del nivel de afectación del impacto.

Cada impacto se evalúa individualmente, mediante una expresión denominada “Calificación Ambiental”, obtenida como base en los cinco factores característicos de cada impacto mencionados anteriormente e incluidos en la ecuación 27 (Arboleda, 1994)

$$Ca = C(P[EM + D]) \quad \text{Ec. 15}$$

Donde, a y b son constantes de ponderación que equilibran los pesos; C se refiere a la clase; P es la presencia; E es la evolución; M es la magnitud y D es la duración.

4.3.5 Programas ambientales.

Según Trina y López (1998) los programas de manejo para una microcuenca deben ser concertados con la comunidad y los diferentes actores sociales de la región a través de talleres donde se identificaron los principales problemas. La comprensión de cómo estos afectan el medio y finalmente se plantean las posibles soluciones a la problemática identificada. Los programas de manejo ambiental constituyen una herramienta que permite formular acciones para prevenir, mitigar, corregir y compensar los daños al medio natural.

Según el ministerio del medio ambiente (2016) los programas propuestos para la formulación de un Plan de Manejo Ambiental, están dirigidos a promover un desarrollo económico y social de la comunidad, garantizando la oferta de bienes y servicios esenciales para el desarrollo de los habitantes de una microcuenca y la población urbana del municipio, a través del manejo y conservación de los recursos naturales del área de estudio con un criterio conservacionista y de uso racional de los recursos, orientado hacia el desarrollo sostenido de la cuenca.

4.4 Marco Legal

A continuación, se presenta la normativa ambiental que dicta los parámetros a seguir para la realización de este estudio:

Constitución Política De Colombia 1991. Según el artículo 80 donde se dicta la planificación y el manejo de los recursos naturales, con finalidad de garantizar su desarrollo, conservación y restauración. Deberá prevenir y controlar los elementos causantes del deterioro ambiental e imponer las respectivas sanciones legales y el artículo 79 en donde se obliga al estado a proteger la diversidad e integridad del ambiente y a conservar las áreas de importancia ecológica.

La Política Nacional en Gestión del Recurso Hídrico 2010. Establece objetivos y estrategias para el uso y aprovechamiento del recurso hídrico en el país, teniendo como objetivo principal garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente; así mismo, la política incluye como objetivos específicos conservar los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país.

Ley 99 del 1993, en su artículo 31 en donde, se habla de las funciones de las corporaciones autónomas regionales para coordinación de los procesos de preparación de programas medioambientales que deben formular entidades de sistema nacional ambiental.

Decreto Ley 1073 de 2015, capítulo 5, sección 1, en donde se articula el **decreto 1323 del 2007,** en su artículo 1 donde se crea el sistema de información del recurso hídrico (SIRH), encargado de registro, manejo, consulta de datos, protocolos que faciliten la

gestión integral del recurso hídrico y el **decreto 2667 de 2012**, capítulo 7, sección 1, por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.

Decreto 50 de 2018. En donde se modifica el artículo 2.2.3.3.5.3 del **Decreto 1076 de 2015**, donde se indican los parámetros para realizar la evaluación ambiental del vertimiento, la cual, deberá ser presentada por los generadores de vertimientos a cuerpos de aguas o al suelo que desarrollen actividades industriales, comerciales y/o de servicio.

Resolución 0631 de 2015, en su artículo III, donde se establecen los parámetros microbiológicos de análisis y reporte en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARND) a cuerpos de aguas superficiales y en su artículo V, en donde se establecen los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas, (ARD) de las actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las aguas residuales (ARD y ARND) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales.

5. Metodología

Para dar cumplimiento a los objetivos específicos se plantea el desarrollo de las siguientes actividades:

Actividad 1. Diagnóstico Del Estado Actual

Por medio de visitas de campo y observación, se identificaron y describieron las principales actividades que generan impactos sobre el medio ambiente. Así mismo, se realizó el reconociendo del área con el fin de corroborar la información consultada y la establecida en las imágenes satelitales, haciendo uso de recorridos definidos y estableciendo puntos de interés para el levantamiento de información y posterior descripción de los componentes ambientales como se explica a continuación.

Inicialmente se llevó a cabo la aplicación de encuestas de tipo descriptivo al 95% de la población abarcando todos los predios presentes dentro del área de estudio (Ver anexo 1), por medio de las cuales se recolectó información sobre las características sociales y las problemáticas ambientales actualmente presentes dentro del área.

De igual manera, con las salidas de campo e interpretación de la plancha No. 86 del municipio de Abrego, se llevó a cabo el reconocimiento las características geológicas y de litología. Luego, se elaboró el mapa de las unidades litológicas presentes en el área. Posteriormente, se realizó una interpretación geomorfológica a través del procesamiento en el software ArcGIS de imágenes satelitales y perfiles topográficos descargados de las plataformas Earth Explorer y Google Earth.

Para la clasificación de suelos se analizó la capa de Mapas de Suelos del Territorio Colombiano a escala 1:100.000 del departamento Norte de Santander, la cual fue descargada del geoportal del IGAC. De igual manera, se descargó el modelo de elevación

digital para la zona de interés de la plataforma Earth Explorer, a partir del cual se obtuvieron las curvas de nivel y las pendientes clasificadas según el método propuesto por el IGAC (2014).

Por otra parte, se identificaron las coberturas de la tierra y se clasificaron con la metodología Corine Land Cover. Para ello, el Servicio Geológico de EE. UU. (USGS) ofrece la producción a pedido de datos de reflectancia de superficie del sensor de infrarrojos térmicos (OLI / TIRS) Landsat 8 Operational Land Imagen a través de Earth Explorer. Las imágenes descargadas fueron del 23 de abril del 2020, lo que permitió obtener resultados veraces y actualizados del área en estudio, los cuales fueron verificados en campo.

Actividad 2. Obtención De La Oferta Hídrica y Calidad De Agua.

Calidad De Agua:

De acuerdo al informe de campo caracterización de vertimientos de aguas residuales domésticas y fuentes receptoras del municipio de Abrego Norte de Santander (2017, 2018 y 2019), proporcionado por la Alcaldía municipal, se realizó un seguimiento y análisis de los parámetros físico químicos y microbiológicos reportados por ECOSAM S.A.S (laboratorio y consultoría ambiental). Posteriormente, se aplicó la metodología descrita por el IDEAM, 2013 para el cálculo de indicadores de calidad del agua. Por otra parte, para el año 2020 se realizó un análisis cualitativo de las causas actuales de contaminación hídrica y de los posibles impactos que se pueden generar dentro de la zona de estudio.

Oferta Hídrica:

Se determinó por el método relación lluvia-escorrentía establecido en la Resolución 0865 del 22 julio del 2004. Para ello, se calculó el número de curva, basado en información de cobertura vegetal y tipos de suelo analizada en la fase de diagnóstico, a partir de la cual se identificó la condición hidrológica del suelo según la clasificación del SCS. Además de ello, se determinó que la condición de humedad antecedente para el mes de abril del año en estudio es de II, es decir, que las precipitaciones se encuentran dentro del régimen normal según los datos pluviométricos diarios proporcionados por el IDEAM, por esta razón se concluyó que no es necesario realizar la transformación de AMC para el número de curva (CN). Posteriormente, para el cálculo del CN ponderado se le asignó a cada tipo de cobertura del suelo un valor de CN de acuerdo a la tabla 2 (Escorrentía para los complejos suelo-cobertura), la cual se procesó junto con los grupos hidrológicos del suelo en ArcGIS, obteniendo 5 polígonos con atributos diferentes, mostrados en la Tabla 7.

Tabla 6

Atributos asignados a cada polígono.

COBERTURA	GRUPO HIDROLÓGICO	NUMERO DE CURVA
Mosaico de cultivos y espacios naturales	B	86
Mosaico de cultivos y espacios naturales	D	57

Mosaico de pastos y espacios naturales	B	70
Mosaico de pastos y espacios naturales	D	92
Mosaico de cultivos	D	65

Fuente: Álvarez, 2020.

De igual manera, debido a que la cantidad de escorrentía producida se ve incidida por las precipitaciones caídas, se descargaron los datos de precipitación de la estación Abrego con serie histórica 1971-2019 de la plataforma SIGOT. El análisis estadístico de los datos se realizó en el software de estadística SPSS v. 22, y para la imputación de los datos faltantes se utilizó el método de regresión lineal perfeccionado por Gauss. Posteriormente, se obtuvo la precipitación efectiva (P) por medio del programa Cropwat, en donde se relaciona la precipitación media anual y el número de curva ponderado (CN). Así mismo, mediante la aplicación de la ecuación 2 se obtuvo el valor del potencial de escorrentía (S), el cual se reemplazó junto con la precipitación efectiva en la ecuación 1 obteniendo de esta manera el valor de oferta hídrica total.

Como la oferta hídrica se ve incidida por la calidad de agua y caudal ecológico, se tuvieron en cuenta los criterios establecidos por el IDEAM en la resolución 865 del 2004. De esta manera, se estableció un factor de reducción del 50% ($Fr=0,5$) obteniendo la oferta hídrica neta disponible en la zona de estudio.

Demanda Hídrica

Por medio de la aplicación de encuestas en la zona en estudio (ver anexo 1), se recolectó información sobre el tipo de aprovechamiento que se le da al recurso hídrico en los 38 predios dentro del área de estudio, identificando usos para el sector agrícola, el sector doméstico y el sector pecuario. De igual manera, se obtuvo información sobre el número de habitantes y sus condiciones de vida, los tipos de cultivos presentes en la zona de estudio y variables como: etapa de los cultivos, duración en días de cada etapa, tipo de riego, textura del suelo, tiempo de cosecha y uso de agroquímicos.

La demanda hídrica para el sector agrícola se ve incidida por múltiples factores relacionados en la ecuación 10. Para su estimación, inicialmente se descargaron los datos de las variables hidrometeorológicas precipitación, velocidad del viento, radiación solar y temperatura máxima y mínima de la estación Abrego durante el periodo de 1971-2020. El análisis estadístico de los datos se realizó en el software de estadística SPSS v. 22, y para la imputación de los datos faltantes se utilizó el método de regresión lineal perfeccionado por Gauss. Posteriormente los datos se procesaron en el software Cropwat versión 8.0 permitiendo obtener el valor de la evapotranspiración de referencia (ET_o) (Ver anexo 2).

Los valores del coeficiente k_c ini, k_c medio y k_c final, se obtuvieron del cuadro 12 del estudio de la FAO 56 riego y drenaje, los valores de k_c desarrollo se calcularon mediante la aplicación de la ecuación 11. Para la estimación del coeficiente de riego se tuvo en cuenta la información recolectada y generada sobre la textura de los suelos, las características de humedad del suelo y los parámetros de evapotranspiración relacionados en la ecuación 12.

Para determinar el consumo de agua total para el sector agrícola, fue necesario realizar el cálculo para cada tipo de cultivo de acuerdo a sus etapas y tiempo de cosecha (Ver anexo 3).

Así mismo, por medio de las encuestas se obtuvo información sobre el número y tipo de animales presentes en el área de estudio, información que, junto con los módulos de consumo proporcionados por el ENA, 2018 permitieron el cálculo de la demanda hídrica en el sector pecuario mediante la aplicación de la ecuación 13. De igual manera, mediante la ecuación 14 se obtuvo la demanda hídrica en el sector doméstico teniendo en cuenta el número de habitantes presentes en cada predio de la zona de estudio y al consumo per cápita (L/hab.día) establecido por el ENA, 2018.

Actividad 3. Evaluación Ambiental.

Con la información obtenida previamente sobre las condiciones ambientales de la zona de estudio e identificación y descripción de las actividades para la extracción de material dentro del cauce y la llanura de inundación del río, se conformó de acuerdo a la metodología de Arboleda con algunas modificaciones y mediante Excel la matriz causa-efecto desagregando los componentes ambientales de acuerdo a las actividades que se llevan a cabo, posteriormente se realizó una cuantificación de los impactos de acuerdo a su clase (C), presencia (P), evolución (E), magnitud (M) y duración (D), obteniendo una calificación ambiental para cada impacto evaluado. Finalmente se obtuvo la sumatoria de los impactos relativos y absolutos para cada tipo de impacto de acuerdo al componente afectado (Ver anexo 4).

De igual manera, siguiendo la metodología descrita para la actividad anterior se obtuvo la evaluación de los impactos para la actividad agrícola que se realiza dentro de la zona de estudio, el procedimiento y resultados previos se pueden apreciar en el anexo 5.

Actividad 4. Formulación De Programas De Manejo Ambiental

Después de obtener los resultados de las actividades anteriormente mencionadas, se plantearán propuestas que permitan de acuerdo a las principales problemáticas analizadas formular programas de manejo para mitigar, controlar, compensar y corregir las posibles afectaciones o impactos presentes dentro de la zona de estudio.

6. Resultados y Discusión

6.1 Diagnóstico Del Estado Actual De La Zona De Estudio

Según las 30 encuestas aplicadas, la población está distribuida como se muestra en la gráfica 1 dentro de los 38 predios existentes donde se encuentran un total de 151 habitantes y 45 viviendas, así mismo, se identificó que dentro del área predominan los adultos abarcando el 53% de la población, seguido de un 30% de jóvenes, un 10% de niños y un 7% adultos mayores (Ver gráfico 2). Además, se identificó que la principal actividad económica en el sector se basa en la ganadería y la agricultura.

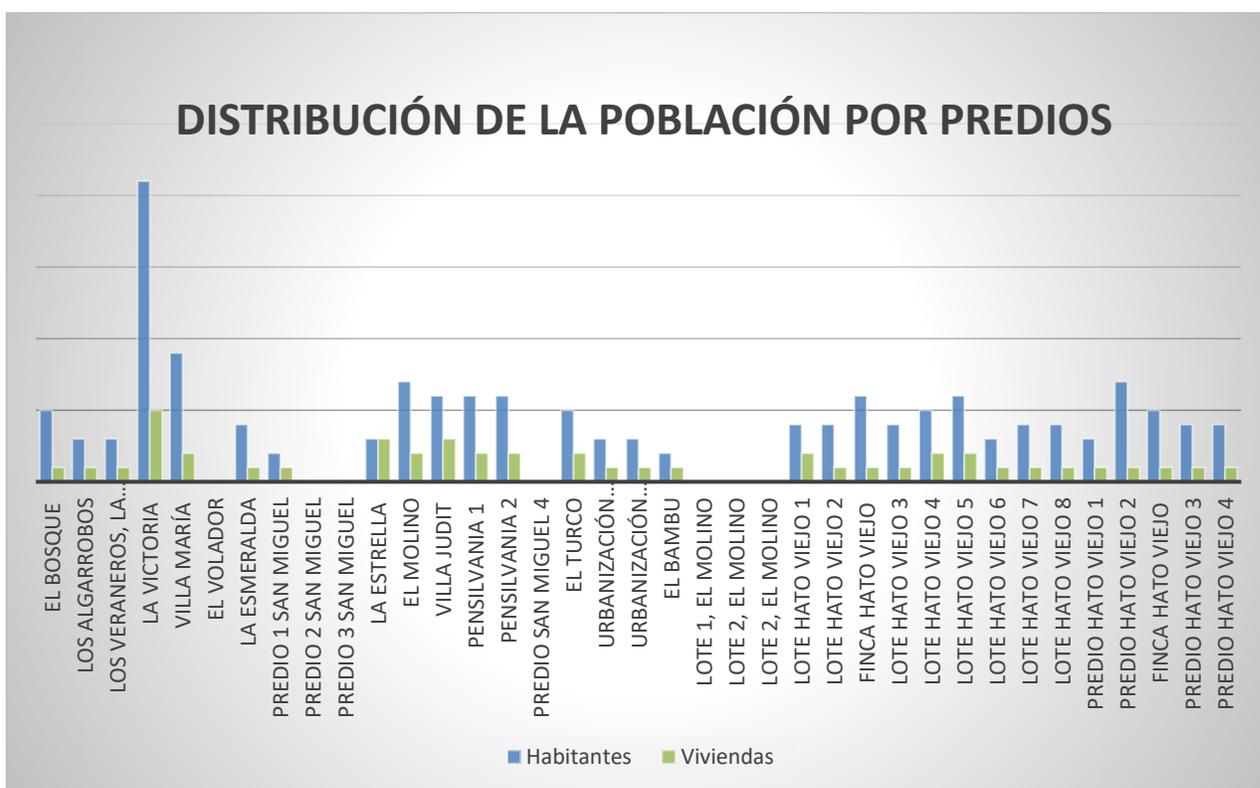


Gráfico 1. Distribución de la población.

Fuente: Álvarez, 2020.

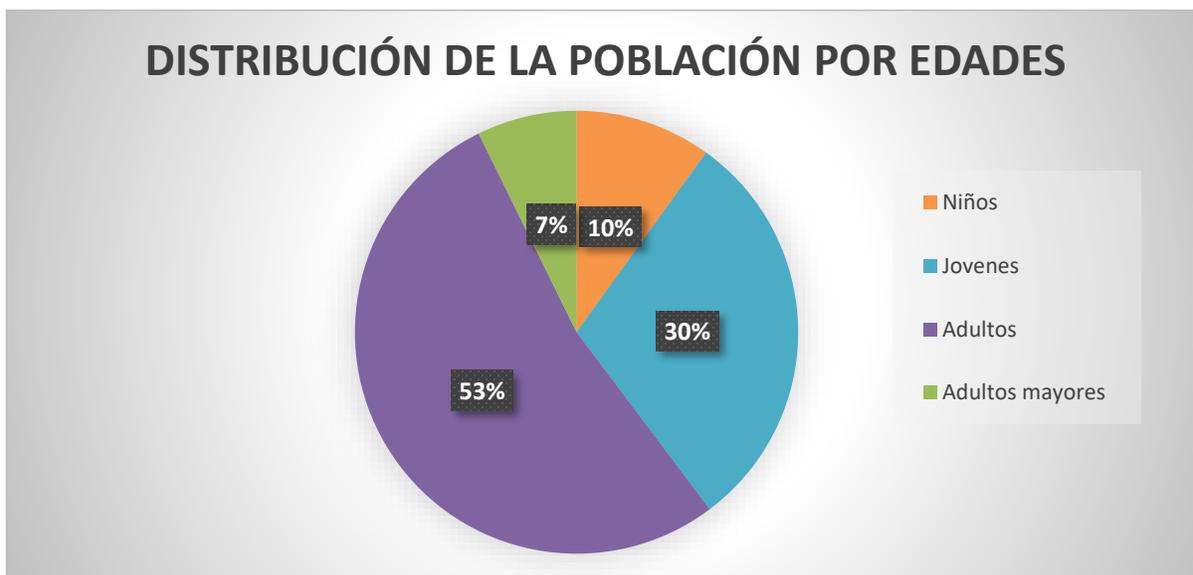


Gráfico 2. Distribución de la población por edades.

Fuente: Álvarez, 2020.

Como muchas otras comunidades rurales, la población de este sector no cuenta con todos los servicios de saneamiento básico, solo un 33,77% de los habitantes cuentan con servicios de acueducto y alcantarillado, sin embargo, presentan problemas frecuentes de intermitencia en el servicio de agua potable y sobrecosto en las facturas. El 66,22% de la población restante satisface las necesidades de agua potable mediante captaciones a la quebrada Los Venadillos, que según los habitantes presenta propiedades fisicoquímicas “buenas”, sin embargo, el caudal de esta fuente es insuficiente, por esta razón en algunos predios se crearon pozos subterráneos para satisfacer sus necesidades, desafortunadamente según los habitantes este sistema no pudo ser implementado debido a que los niveles de contaminación del agua subterránea son muy elevados para consumo humano, este hecho se asocia a los agroquímicos utilizados en los campos de cultivos y a la utilización de un sistema de “pozos” como alternativa para evacuar las aguas residuales domésticas, que

según sus características estructurales no ofrecen ningún tipo de tratamiento al agua residual, ya que, no cuentan con una tubería de salida, sino que el afluente recolectado por la estructura se infiltra en el suelo.

Por otra parte, la calidad del agua dentro del área de estudio se incide por problemas estructurales en el sistema de tratamiento de aguas residuales del alcantarillado municipal de Abrego y del distrito de riego ASUDRA, en donde debido a la ruptura del canal de entrada a la laguna de oxidación desde el año 2019 se encuentra en un estado de abandono por parte de la administración (Ver fotografía 1). Así mismo, la calidad de vida de la población aledaña a este sector se ve afectada debido al desprendimiento de olores fétidos en la laguna ocasionado generalmente por bacterias sulfato-reductoras que producen H₂S (ácido sulfhídrico), principal resultante de la descomposición de materia orgánica.



Fotografía 1. Laguna de oxidación

Fuente: Álvarez, 2020.

Es importante mencionar que el canal de riego ASUDRA presenta altos niveles de contaminación evidenciados por el crecimiento de musgos o briófitos (plantas no vasculares) como se muestra en la fotografía 2, que como bio-indicadores de contaminación pueden arrojar datos sobre la presencia de metales pesados disueltos en el agua, especialmente fósforo, zinc, hierro, cobre y/o níquel, pues al concentrarlos en sus células crecen a altas tasas, siendo frecuente la obstrucción del canal de riego por su rápida proliferación.



Fotografía 2. Presencia de musgos en el canal de riego ASUDRA.

Fuente: Álvarez, 2020.

De esta manera, el agua residual que debía ser recolectada y tratada por la laguna de oxidación llega a la quebrada el molino que posteriormente desciende hacia el cauce del río (Ver fotografía 3), con grandes contenidos de sustancias que deterioran las redes tróficas de la zona, produciendo altos índices de contaminación y por tanto un desequilibrio ecológico, llegando a afectar negativamente las poblaciones de bacterias, algas, plantas, insectos, anfibios, peces y mamíferos. De igual manera la contaminación presente dentro del cauce se evidencia por la tonalidad gris del agua y por el desprendimiento de olores fétidos debido a la producción de H_2S .



Fotografía 3. Contaminación del cauce del río.

Fuente: Álvarez, 2020.

Por otra parte, se encontraron algunos sectores destinados a la extracción de materiales de arrastre como arenas y gravas, actividad que dentro del periodo de estudio no genera alteraciones significativas a las características geomorfológicas del cauce, sin embargo, generan alteraciones a la calidad del agua, del aire, del paisaje y a la población aledaña.

Por medio de salidas de campo, se identificaron 2 zonas destinadas a la extracción de material de forma manual sin ninguna tecnología ni diseño de laboreo minero siendo el verano su época de mayor extracción estimando un área aproximada de 3,55 ha, 1 zona destinada a la extracción con maquinaria y 1 dedicada al acopio de material de 1 ha aproximada (Ver fotografía 7). Así mismo, las actividades extractivas se llevan a cabo en varios puntos fuera de la zona de estudio estimando aproximadamente 20 áreas dispuestas para esta actividad, con características similares a las expuestas en el presente proyecto

Según la información obtenida de los habitantes de la zona, se extrae material de forma periódica, durante todo el año, esta actividad se desarrolla aproximadamente desde hace 30 años, en donde acceden generalmente 5 volquetas diarias a la zona de estudio para extraer material de forma artesanal (Zonas 1 y 2 fotografía 7), es decir, las excavaciones se realizan de forma similar a dársenas o piscinas de acuerdo al ancho y profundidad del río. Posteriormente los vehículos se cargan por dos o tres personas llamadas “paleros”, utilizando herramientas como palas, picos y barras, hasta completar la capacidad del vehículo de carga (5-8m³), (Ver fotografía 4).



Fotografía 4. Extracción de material de forma artesanal.

Fuente: Álvarez, 2020.

De igual manera, aproximadamente 3 veces por semana accede una retroexcavadora sacando material de la zona 3 referenciada en la ilustración 7, así mismo, se puede observar la maquinaria trabajando dentro del cauce del río en la fotografía 5. El material que se

extrae es cargado a las volquetas que posteriormente lo llevan a un sitio de acopio (Zona 4 ilustración 7) como se muestra en la fotografía 6.



Fotografía 5. Extracción de material con maquinaria pesada.

Fuente: Álvarez, 2020.



Fotografía 6. Sitio de acopio de material.

Fuente: Álvarez, 2020.



Fotografía 7. Zonas destinadas a la extracción de material.

Fuente: Modificado de Google earth, 2020.

La agricultura tradicional de manera intensiva es una de las actividades que más afecta el recurso hídrico y del suelo, como se verá más adelante se estima que más del 50 % del terreno está conformado por campos de cultivos, en donde se según la información suministrada por los cultivadores de la zona de estudio y según Jiménez (2015) a nivel general en la agricultura se desarrollan las siguientes actividades:

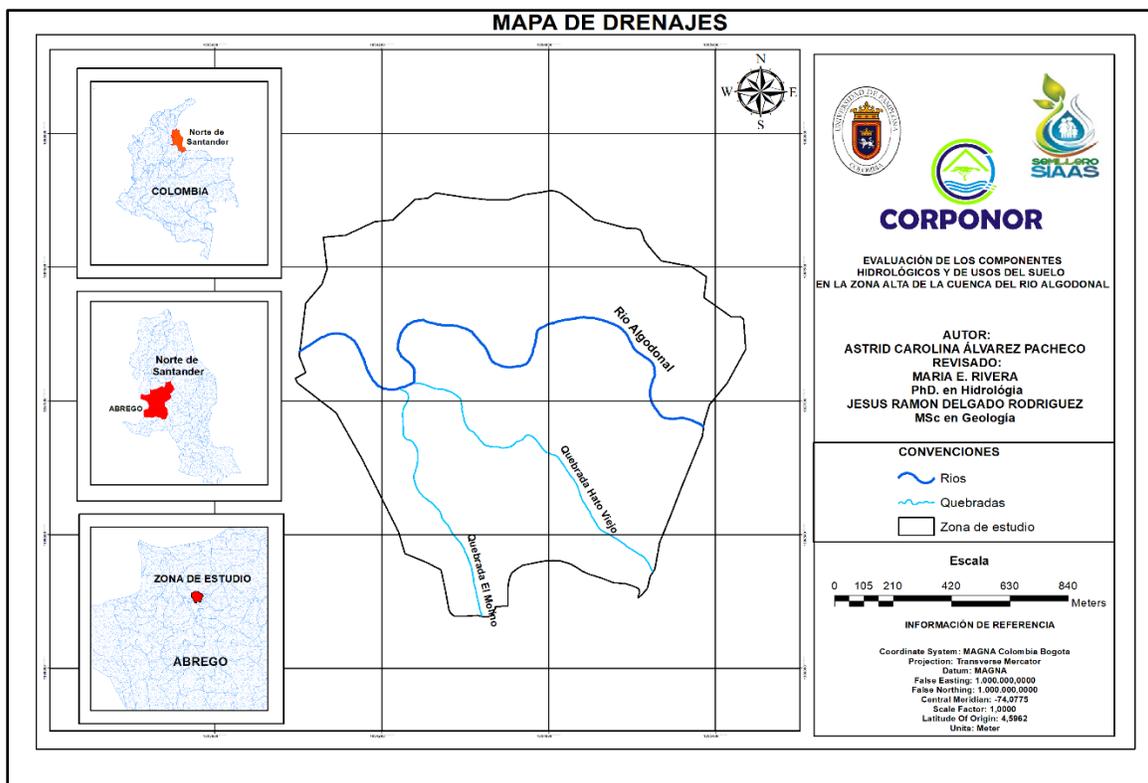
A) Adaptación del terreno: Dentro de esta actividad se incluye la limpieza de malezas y hierbas que nacen naturalmente dentro del terreno, para ello se utilizan métodos manuales a partir de la implementación de herramientas como picos, azadones, palas, etc. De igual manera, se pueden utilizar herbicidas para eliminar su crecimiento o en su defecto quemar

de toda la parcela destinada al cultivo; **B) aireación y oxigenación del terreno:** Con el objetivo de mejorar las condiciones del suelo y prepararlo para la siembra, se remueven las capas de la tierra para oxigenarlas y conseguir las condiciones adecuadas para que las raíces se desarrollen de forma adecuada. El método más utilizado es el arado del terreno por medio de un tractor; **C) fertilización del campo:** En esta etapa los campos se fertilizan empleando abono orgánico, mineral, organismos vivos, compost o fertilizantes químicos, para conseguir un sustrato rico que pueda alimentar a las raíces para que germinen en buenas condiciones; **D) siembra del cultivo:** Por medio de este proceso se inserta la semilla en el terreno, teniendo en cuenta una adecuada profundidad para la efectiva germinación de la semilla; **D) riego:** El sistema de riego utilizado depende del tipo de cultivo, el suelo y las condiciones climáticas. Dentro de los tipos de riego encontrados en la zona de estudio se encuentran los sistemas de microaspersión, goteo y manguera; **E) manejo integrado de plagas y enfermedades:** Esta actividad se centra en mantener las condiciones óptimas de humedad y evitar que las malezas, hierbas y plagas proliferen, para ello generalmente se utilizan métodos naturales o de pesticidas, herbicidas y otras sustancias tóxicas que eliminan las especies vegetales y animales indeseadas; **F) cosecha:** Una vez alcanzado el estado de maduración de los frutos, se procede a su recolección, que en el caso de la zona estudiada se realiza de forma manual.

Hidrología

El Rio Algodonal nace de la confluencia dentro del Valle de Abrego del rio Oroque y rio Frio, que más adelante recibe nombre de Río Catatumbo y cuyas aguas son servidas al lago de Maracaibo en la República Bolivariana de Venezuela (POMCA, 2015).

Morfológicamente el drenaje del río Algodonal se considera meandriforme dentro de la región plana, de un único canal, con alta sinuosidad avanzando hacia la orilla en la parte convexa y disminuyendo en su parte cóncava. El tramo de río estudiado comprende una longitud de 2.5 km, cuya pendiente media del cauce es suave (1,62 %), con poca profundidad y de baja torrencialidad, cuyas inundaciones son leves y de corta duración y no representan riesgos para los cultivos dentro de la llanura aluvial, su corriente fluvial recibe el aporte de tres drenajes sencillos con un patrón subparelo formando el cauce principal, cuya profundidad y pendiente es baja (Ver mapa 1).



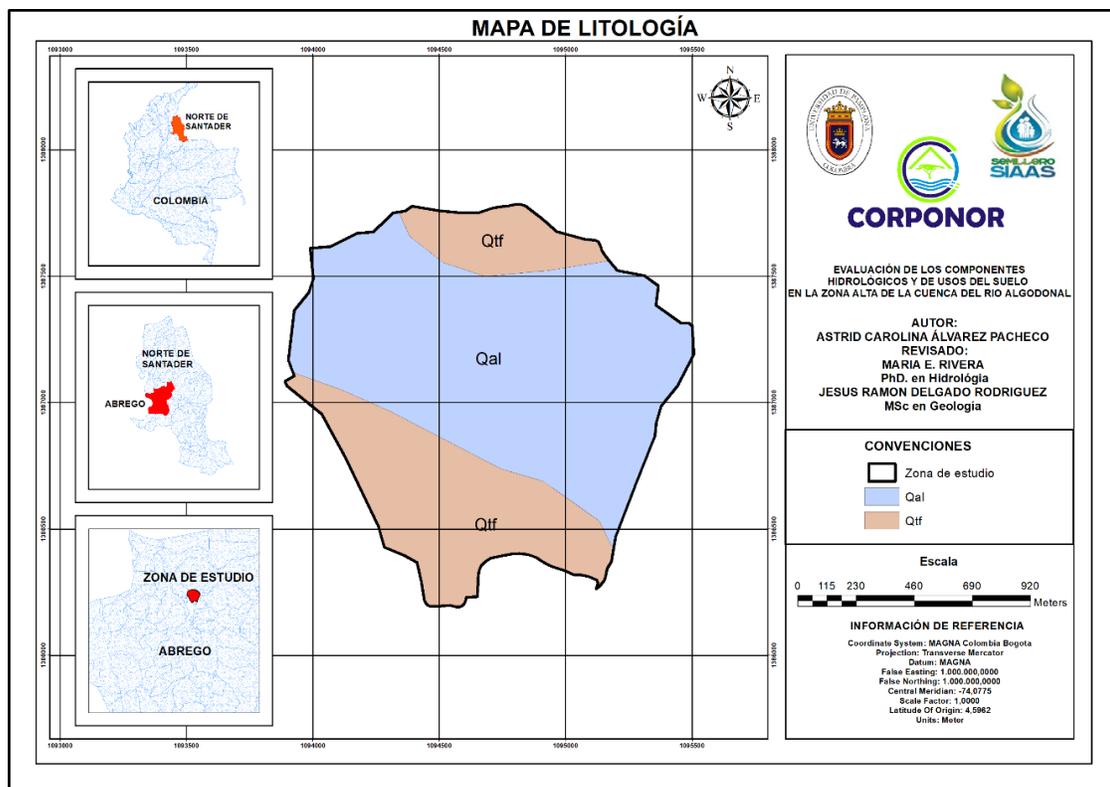
Mapa 3. Drenajes afluentes del río Algodonal.

Fuente: Modificado de ArcGIS, 2020

Geomorfología

Litología

En el departamento de Norte de Santander, los depósitos cuaternarios son muy variados en su origen y se encuentran ampliamente distribuidos a lo largo de los valles de los principales ríos y quebradas (Afanador, 2015). Entre los depósitos de mayor extensión se diferencian y representan a la escala del mapa geológico, dos unidades predominantes según la plancha geológica número 86 del municipio de Abrego. (ver mapa).



Mapa 4. Litología.

Fuente: Modificado por Álvarez, 2020.

Depósitos Aluviales Qal: Se observan a lo largo de la corriente principal en terrazas bajas formadas de una matriz arcillo-arenosa dentro del amplio y plano valle denominado planicie aluvial. Es una unidad joven, que sedimenta depósitos compuestos por sedimentos aluviales y coluviales con tamaños de arenas de lodo, arena y gravas. Esta llanura se caracteriza por presentar sedimentación aluvial originada a partir de complejos de rocas ígneas volcánicas del Cretácico, metamórficas del Paleozoico y sedimentarias del Cretácico superior. (Ver Fotografía 8).



Fotografía 8. Depósitos aluviales encontrados al lado del cauce del Rio Algodonal.

Fuente: Álvarez, 2020.

Depósitos de Terrazas Qtf: Estos conforman los valles que limitan el cauce del Rio Algodonal, por lo que en el área de estudio abarcan a los extremos del Rio, es decir,

encontrados en la ladera convexa, parte más alejada del cauce del Rio Algodonal y sobre estas mismas terrazas, se encuentra el casco urbano del municipio de Abrego (Fotografía 9).

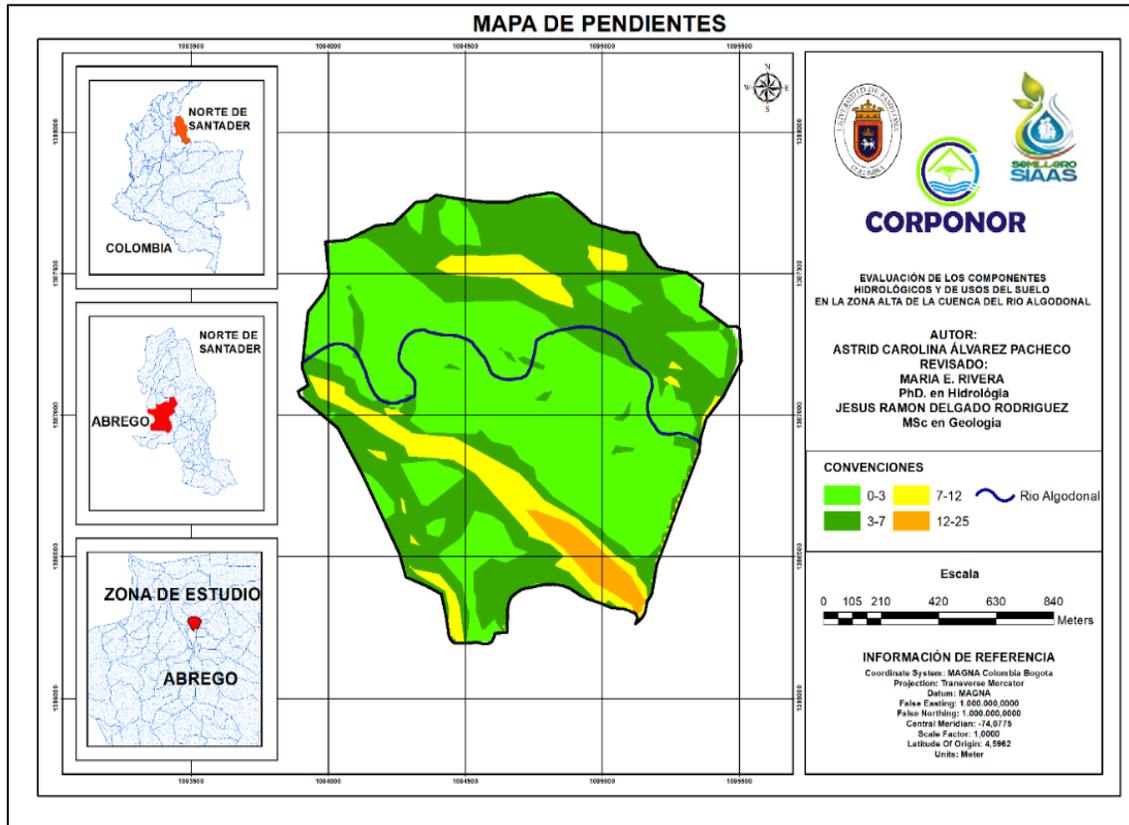


Fotografía 9. Depósitos de Terraza.

Fuente: Álvarez, 2020.

Geomorfología

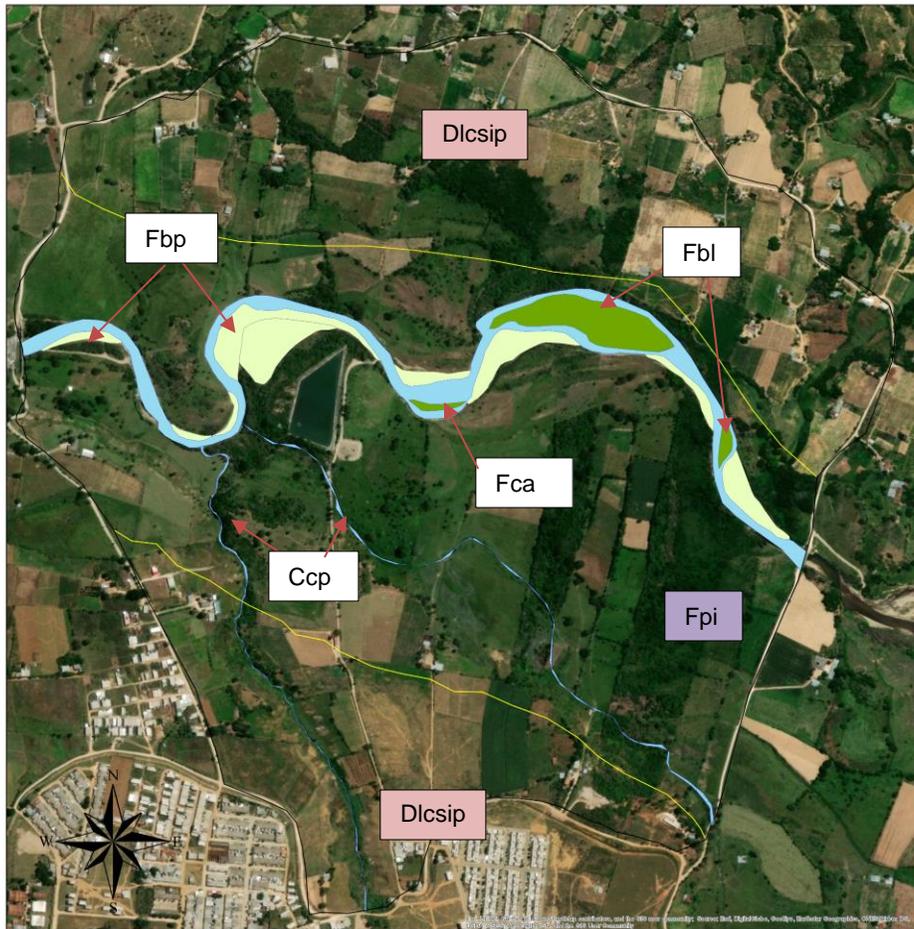
El área de estudio se caracteriza por mostrar una morfología de valle, en donde la mayor parte de la superficie es plana y ligeramente plana (0-7%) seguida de pendientes moderadamente inclinadas (7-12%) y una pequeña superficie presenta una inclinación fuerte (12-25%) según la clasificación propuesta por el IGAC, 2014 (Ver mapa 3) y su variabilidad altitudinal está comprendida por alturas entre los 1000 y 1400 msnm características de clima-seco.



Mapa 5. Mapa de pendientes

Fuente: Modificado por Álvarez, 2020.

En la zona de estudio se identificarse 6 elementos o componentes geomorfológicos de acuerdo al SGC 2013, los cuales fueron definidos en base a las características del relieve, topografía, estilo de los drenajes que las atraviesan y a su grado de incisión (fotografía 10).



Fotografía 10 Unidades geomorfológicas.

Fuente: Modificado por Álvarez, 2020.

Ladera Convexa Suavemente Inclinada Poco Incisada (Dicsipi): Este elemento se encuentra al NE y al SO de la zona de estudio presentando una morfología ondulada con índice de relieve muy bajo, con pendientes planas a suavemente inclinadas (0-7%) y la forma de la ladera es convexa. Además, presenta unos drenajes que la disectan en la zona NW.

Canal De Corriente Perenne (Ccp): Se identifican dos elementos geomorfológicos de este tipo, generados por la incisión de la quebrada en la superficie del

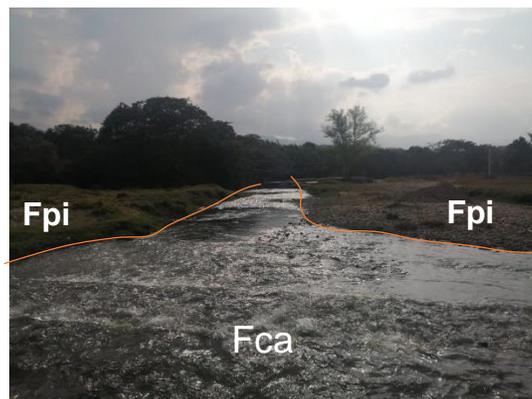
terreno del área de estudio, éstas quebradas genera un canal poco profundo con frecuencia de drenaje baja, su patrón es subparelo de textura fina (Fotografía 11).



Fotografía 11. Drenaje de la Quebrada Hato Viejo (A) y la Quebrada El Molino (B).

Fuente: Álvarez, 2020.

Plano o Llanura De Inundación (Fpi): Constituye una morfología plana, eventualmente inundable. Se localiza bordeando el cauce aluvial y se presenta como una superficie estrecha, alargada y profunda en algunos tramos. Su depósito está constituido por sedimentos finos, originados durante eventos de inundación fluvial (Fotografía 12).



Fotografía 12. Identificación del límite del cauce con la llanura de inundación.

Fuente: Álvarez, 2020.

Barra puntual (Fbp): Se presenta en forma de medialuna de morfología suave ondulada, compuesta de crestas y artesas curvas de poca altura. Este cuerpo se localiza en la parte cóncava de la curvatura de los meandros del río, como producto de la acumulación de sedimentos drenados en la parte convexa del cauce. Su depósito está constituido por sedimentos generalmente arenosos finos y materiales arcillosos en las artesas (Fotografía 13). Cuando se dan procesos de migración lateral del cauce, la acumulación de este tipo de barras, pueden conformar conjuntos sencillos o complejos de oríllales.



Fotografía 13. Límite del cauce del Río Algodonal y una barrera puntual.

Fuente: Álvarez, 2020.

Barra Longitudinal (Fbl): Se constituye como un cuerpo elongado, en forma romboidal convexo en planta y, en superficie de morfología suave ondulada, dispuesto paralelo al centro de los cauces fluviales mayores, con la punta más aguda en la dirección de la corriente. Según el IGAC (2014) Su origen es relacionado a la acumulación de sedimentos durante grandes inundaciones, que luego de disminuir el caudal, quedan como

remanentes que dividen la corriente. Su depósito está constituido principalmente por arenas y gravas finas (Fotografía 14).



Fotografía 14. identificación de barreras laterales o puntuales y longitudinales.

Fuente: IGAC, 2013.

Cauce aluvial (Fca): Se identifica como un canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Su cauce es de tipo meandrónico al correr en zonas planas a semiplanas, como producto del cambio súbito de la dirección del flujo. (Fotografía 15).

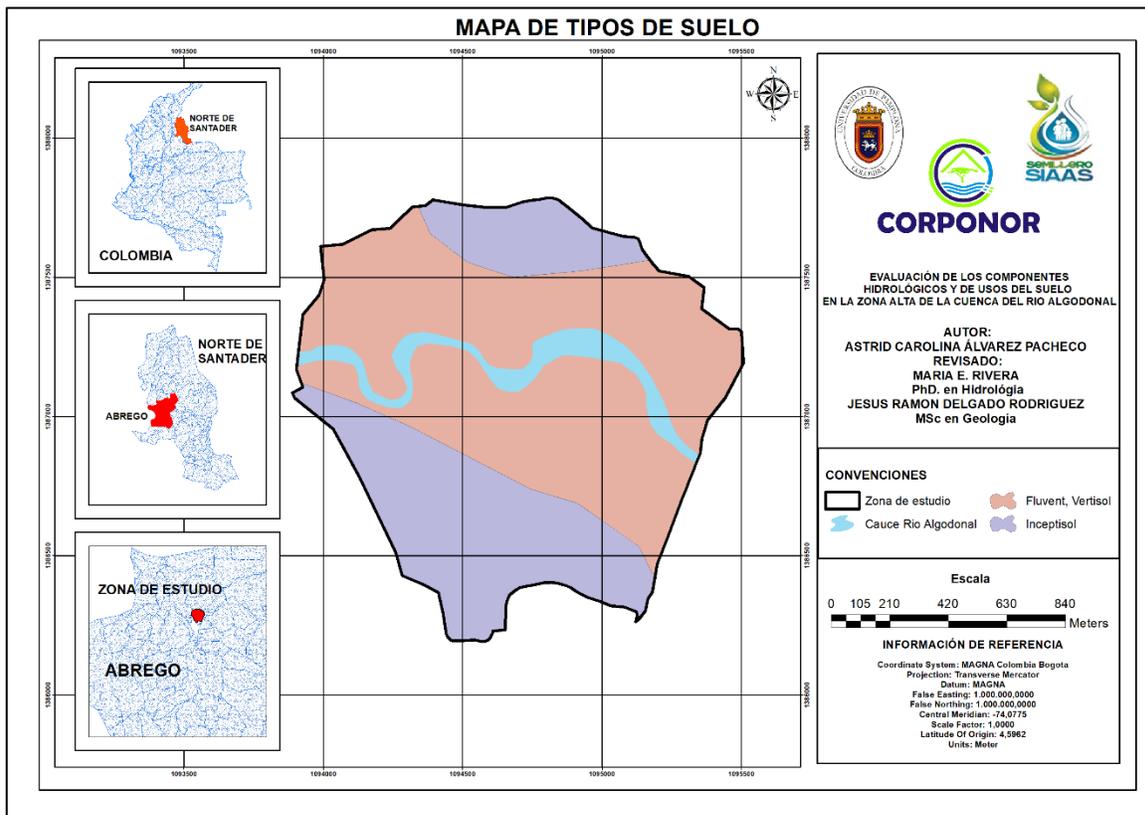


Fotografía 15. Cauce del Río Algodonal.

Fuente: Álvarez, 2020.

Clasificación De Suelos

En el área de estudio se identificaron 3 grupos edáficos, y en base a las características generales de los suelos han sido ubicados dentro de su respectivo orden (mapa 4). A continuación, se presenta la clasificación taxonómica de los suelos según Soil Science Division Staff (2017):



Mapa 6. Tipos de suelo.

Fuente: Modificado por Álvarez, 2020.

El primer grupo encontrado corresponde al orden entisol, característico por sus propiedades minerales derivados de materiales aluviónicos residuales, de textura moderadamente gruesa a fina (Ver fotografía 16), de topografía plana. Dentro de este orden

se ha reconocido el suborden Fluvent, formado sobre depósitos aluviónicos recientes dentro del cauce del río; en su mayoría tiene perfiles estratificados, y el contenido de materia orgánica varía en forma irregular a través del espesor del suelo. el suelo dentro del área presenta buenas características edáficas y topo fisiográficas aptos para la agricultura intensiva, permanente y de altos rendimientos.



Fotografía 16. Suelos del orden Entisol.

Fuente: Álvarez, 2020.

Dentro del segundo grupo se encuentran los suelos de orden Vertisol, formados de materiales sedimentarios compuestos por arcillas expansibles, que se tornan muy plásticas cuando están húmedas y muy duras cuando se secan, lo que da lugar a cuarteaduras y fisuras de tamaños y profundidades variables, llamadas grietas de desecación (Fotografía 15). Dentro de este orden se ha identificado el suborden Ustert que con un manejo especial son aptos para cultivos temporales.



Fotografía 17. Suelos del orden Vertisol

Fuente: Álvarez, 2020.

El tercer grupo está conformado por suelos del orden Inceptisol derivados tanto de depósitos fluviónicos como residuales, y están formados por materiales líticos de naturaleza sedimentaria. Son superficiales a moderadamente profundos y de topografía plana a poco incisada. Se encuentran en las laderas convexas de la zona de estudio Ustic Dystropepts, suelos excesivamente drenados, afectados por erosión moderada a severa, la morfología de este perfil muestra pendientes entre 3-12% y presenta texturas arcillosas. (Fotografía 18).

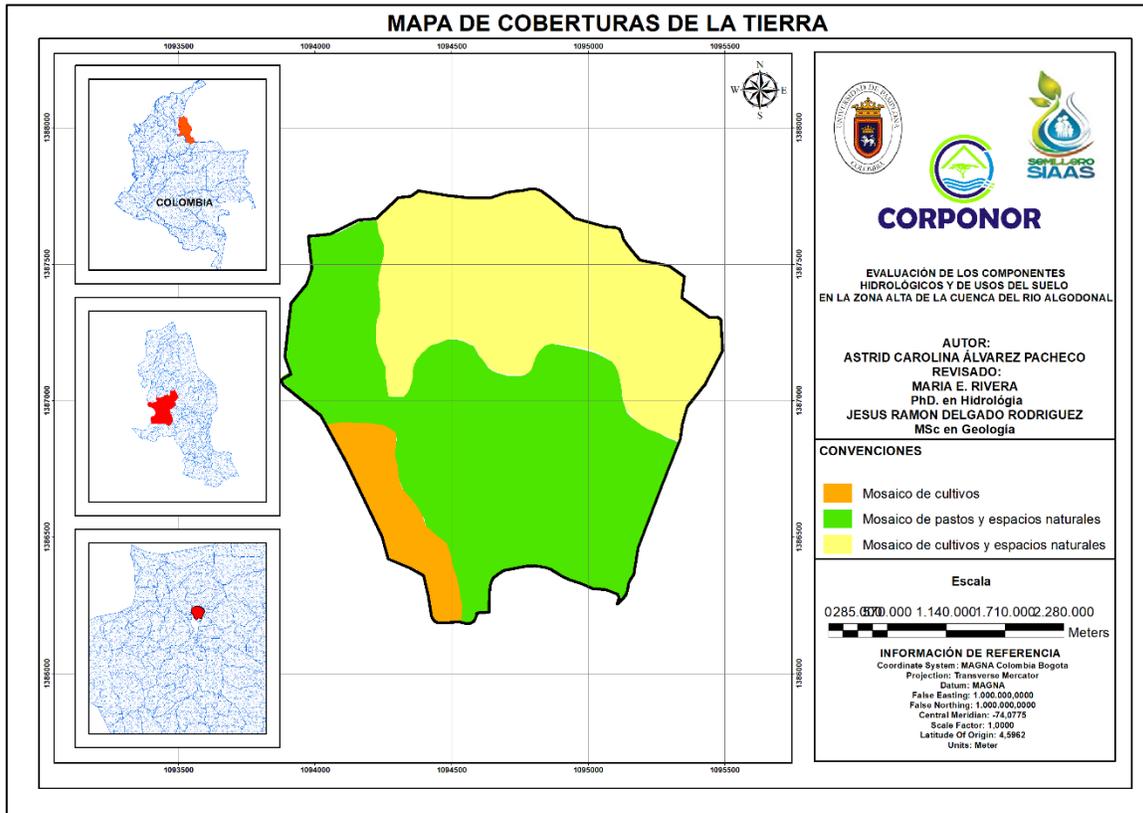


Fotografía 16. Suelos del orden Inceptisol.

Fuente: Álvarez, 2020.

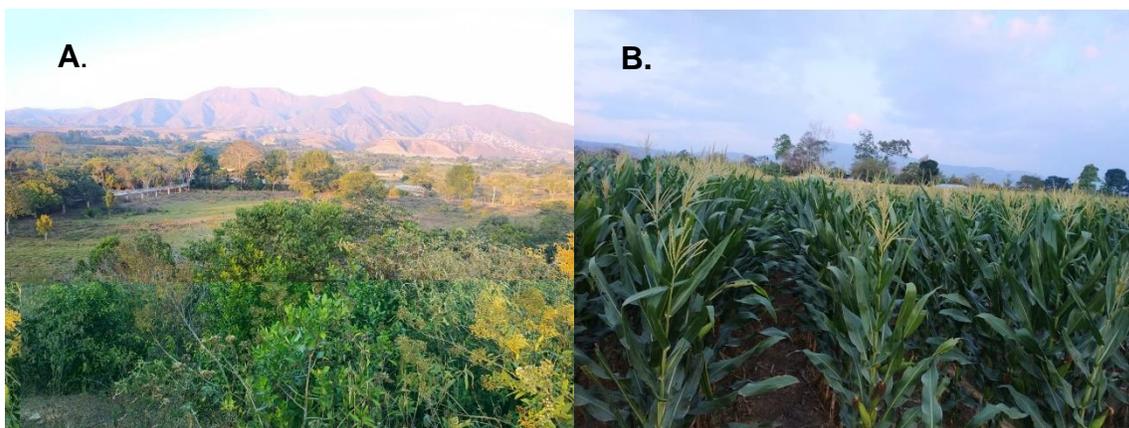
Cobertura Vegetal y Usos Del Suelo.

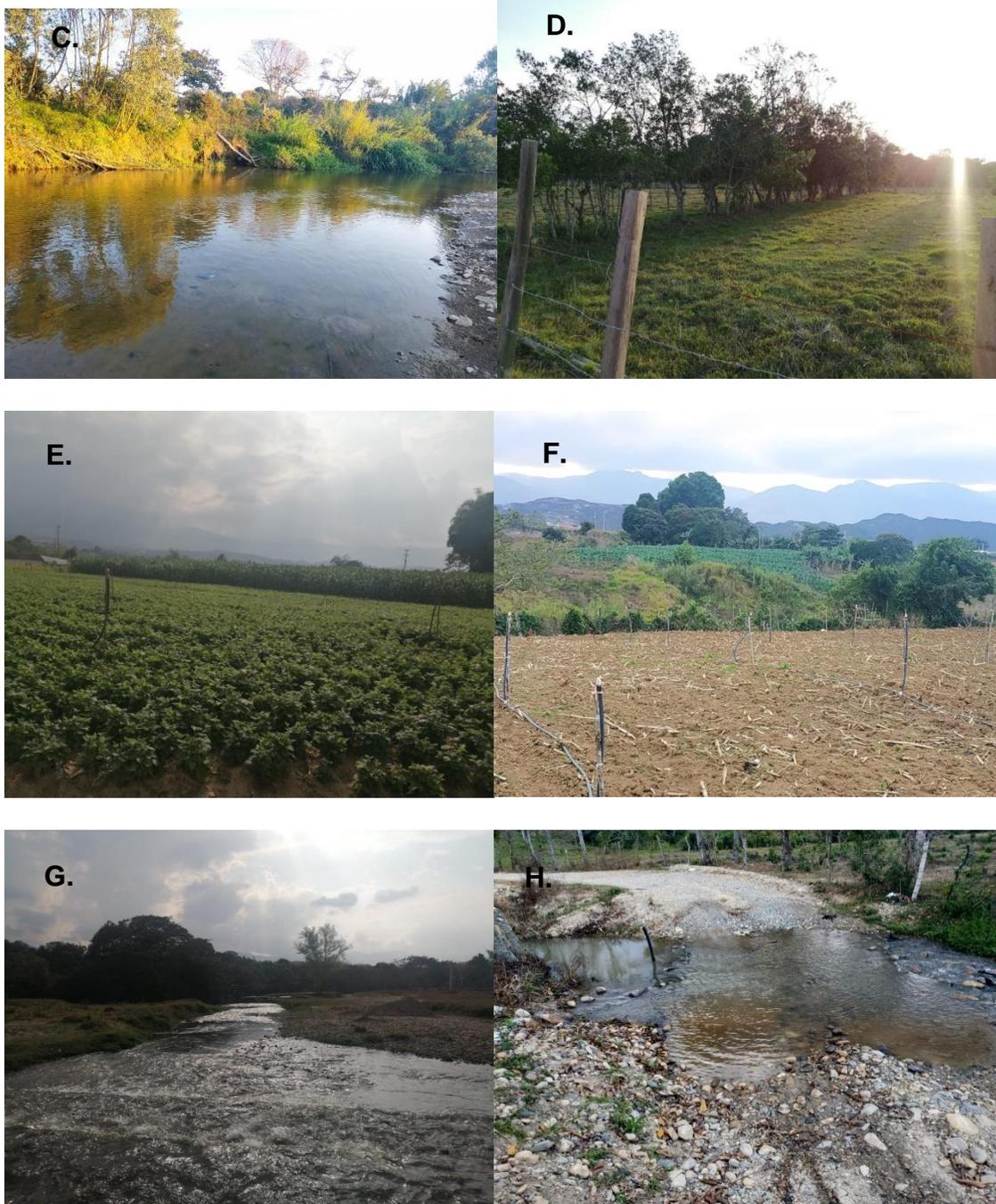
Según el mapa de coberturas vegetales (mapa 5) e identificación en campo aproximadamente el 40% de la superficie de la zona de estudio está cubierta por un mosaico de cultivos con espacios naturales, en donde se pueden identificar cultivos transitorios de cereales y tubérculos como maíz y yuca, además se encuentran cultivos de frijol, plátano, arveja y cultivos permanentes herbáceos y arbóreos, además de ello se encuentra un tramo del río Algodonal catalogado como espacio natural (Ver fotografía 17- A, B, C, D), el 10 % de la superficie está cubierto por un mosaico de cultivos, compuesto por cultivos transitorios como maíz, plátano y arveja bordeados con setos de árboles o arbustos (ver fotografía 17- E, F). De igual manera, dentro de los dos mosaicos mencionados se incluyen las viviendas rurales y las vías que comprenden un área inferior a 5 ha. En el 50% del área restante predomina un mosaico de pastos y espacios naturales en donde se incluyen parcelas de pasto, arbustales y un sector de la superficie de agua correspondiente al río Algodonal y a las quebradas Hato Viejo y El Molino (ver fotografía 17- G, H). Así mismo, en el reconocimiento de campo se identificó un alto grado de deterioro de las cubiertas vegetales asociadas a las prácticas agrícolas inapropiadas, sobrepastoreo y sequías.



Mapa 7. Cobertura vegetal.

Fuente: Modificado por Álvarez, 2020.





Fotografía 17. Coberturas vegetales.

Fuente: Álvarez, 2020.

6.2 Calidad, Oferta y Demanda Hídrica.

Calidad del agua

De acuerdo al capítulo V de la resolución 631 de 2015, en donde se reglamentan los valores máximos permisibles de los parámetros físico químicos en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas, (ARD) de las actividades industriales, comerciales o de servicios; (ARD) y de las aguas residuales (ARD y ARND) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales, las concentraciones de DBO y Sólidos suspendidos totales en el punto 1 de muestreo sobrepasan el límite máximo permisible en el año 2017, así mismo, las concentraciones de SST sobrepasan el límite en los puntos 2 y 3 en los años 2017, 2018 y 2019. Por otra parte, según el capítulo III, el cual indica que se debe realizar el análisis y reporte de los parámetros microbiológicos presentes en los vertimientos y en los cuerpos de agua receptores, las concentraciones de coliformes son relativamente altas para el cuerpo de agua receptor. (Ver tabla 11).

Tabla 7

Parámetros fisicoquímicos de la zona de estudio.

VERTIMIENTO LAGUNA DE OXIDACIÓN				
PARÁMETRO	2017	2018	2019	RES. 631/2015
PH	7,8	7,4	7,0	6,0 - 9,0
DQO (mg/l)	104,5	134,0	133,0	180

DBO (mg/l)	105,4	71,8	65,4	90
SST (mg/l)	99,5	34,2	41,6	90
Grasas y aceites (mg/l)	7,0	8,0	8,0	20
Hidrocarburos Totales (mg/l)	1,6	5,0	5,0	A Y R
Fosforo total (mg/l)	2,7	2,4	2,2	A Y R
Nitratos (mg/l)	0,1	0,2	0,2	A Y R
Nitritos (mg/l)	0,0	0,0	0,0	A Y R
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	11,9	5,9	5,3	A Y R
Nitrogeno total (mg/l)	16,9	6,3	8,9	A Y R
Oxigeno disuelto (mg/l)	3,7	7,1	3,2	A Y R
Coliformes fecales (NMP/100ml)	30100,0	10320,0	50,5	A Y R
Coliformes totales (NMP/100ml)	13235,0	13540,0	615,0	A Y R
100 M ANTES DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN				
PARÁMETRO	2017	2018	2019	RES. 631/2015
PH	7,23	7,29	7,27	6,0 - 9,0
DQO (mg/l)	19,2	10	20	180
DBO (mg/l)	2	1,5	1	90
SST (mg/l)	115,75	155	178	90
Oxigeno disuelto (mg/l)	5,905	7,22	7,29	A Y R
Coliformes fecales (NMP/100ml)	16750	3753	26	A Y R
Coliformes totales (NMP/100ml)	1987,5	11725	573	A Y R

100 M DESPUES DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN				
PARÁMETRO	2017	2018	2019	RES. 631/2015
PH	7,23	7,29	7,27	6,0 - 9,0
DQO (mg/l)	28	10	20	180
DBO (mg/l)	6	5.05	1	90
SST (mg/l)	45,325	155	178	90
Oxígeno disuelto (mg/l)	7,25	7,22	7,29	A Y R
Coliformes fecales (NMP/100ml)	28500	9775	34	A Y R
Coliformes totales (NMP/100ml)	12625	13300	1038	A Y R

Fuente: Álvarez, 2020.

En este sentido CORPONOR (2017), estableció objetivos de calidad para el tramo de la corriente de agua receptora del vertimiento, como se muestra en la tabla 12.

Tabla 8

Objetivos de calidad 2017

PARAMETRO	UNIDAD	OBJETIVO DE CALIDAD
OD	mg / l	≥ 4
PH	Unidades	5-9
TEMPERATURA	°C	2-3
DBO5	mg / l	$5 \leq 15$
SST	mg / l	0-10
COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	≤ 2000
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	≤ 20000
SUSTANCIAS DE INTERES SANITARIO	mg / l	Ausentes

Fuente: CORPONOR, 2017.

El índice ICA muestra una variación de calidad entre los años de estudio como se muestra en la tabla 13, indicando que para el año 2019 las condiciones fisicoquímicas de recurso hídrico habrían mejorado, en donde, se logra mejorar la eficiencia de la laguna de oxidación cumpliendo con los objetivos de calidad relacionados a coliformes totales y fecales, así mismo, las concentraciones de DBO₅ en los puntos de muestreo uno y dos cumplen con el objetivo y en el punto uno disminuye significativamente, hecho que se ratifica en el cálculo del índice ICOMO presentado en la tabla 14. De acuerdo a las concentraciones de sólidos suspendidos totales, se registra un aumento bastante alejado del objetivo de calidad propuesto, hecho que se asocia a las constantes actividades de extracción de material de arrastre y que de acuerdo al índice de calidad ICOSUS (ver tabla 15) disminuyen la calidad del recurso especialmente en el punto 2 de muestreo en donde se desarrollan la mayor parte de actividades de extracción

Tabla 9

Índice de calidad del agua

Índice de Calidad de Agua (ICA)						
Punto de muestreo	2017		2018		2019	
	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
Vertimiento laguna de oxidación	0,47903082	Mala	0,7712907	Aceptable	0,52784933	Regular
100 m antes del vertimiento L.O	0,82301829	Aceptable	0,80779149	Aceptable	0,7712907	Aceptable
100 m despues del vertimiento L.O	0,71513649	Aceptable	0,71420012	Aceptable	0,52784933	Regular

Fuente: Álvarez,2020.

Tabla 10

Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)

Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)						
Punto de muestreo	2017		2018		2019	
	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
Vertimiento laguna de oxidación	0,8111218	Contaminación Alta	0,69333548	Contaminación Alta	0,10388886	Contaminación Baja
100 m antes del vertimiento L.O	0,16747367	Contaminación Baja	0,34520107	Contaminación Baja	0,10388886	Contaminación Baja
100 m despues del vertimiento L.O	0,60989848	Contaminación media	0,50598696	Contaminación media	0,31659213	Contaminación media

Fuente: Álvarez,2020.

Tabla 11

Índice de Contaminación por Sólidos Suspendedos (ICOSUS)

Índice de Contaminación por Sólidos Suspendedos (ICOSUS)						
Punto de muestreo	2017		2018		2019	
	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
Vertimiento laguna de oxidación	0,27853	Contaminación Baja	0,0826	Contaminación Baja	0,1048	Contaminación Baja
100 m antes del vertimiento L.O	0,32725	Contaminación Baja	0,445	Contaminación media	0,514	Contaminación media
100 m despues del vertimiento L.O	0,115975	Contaminación Baja	0,445	Contaminación media	0,514	Contaminación Baja

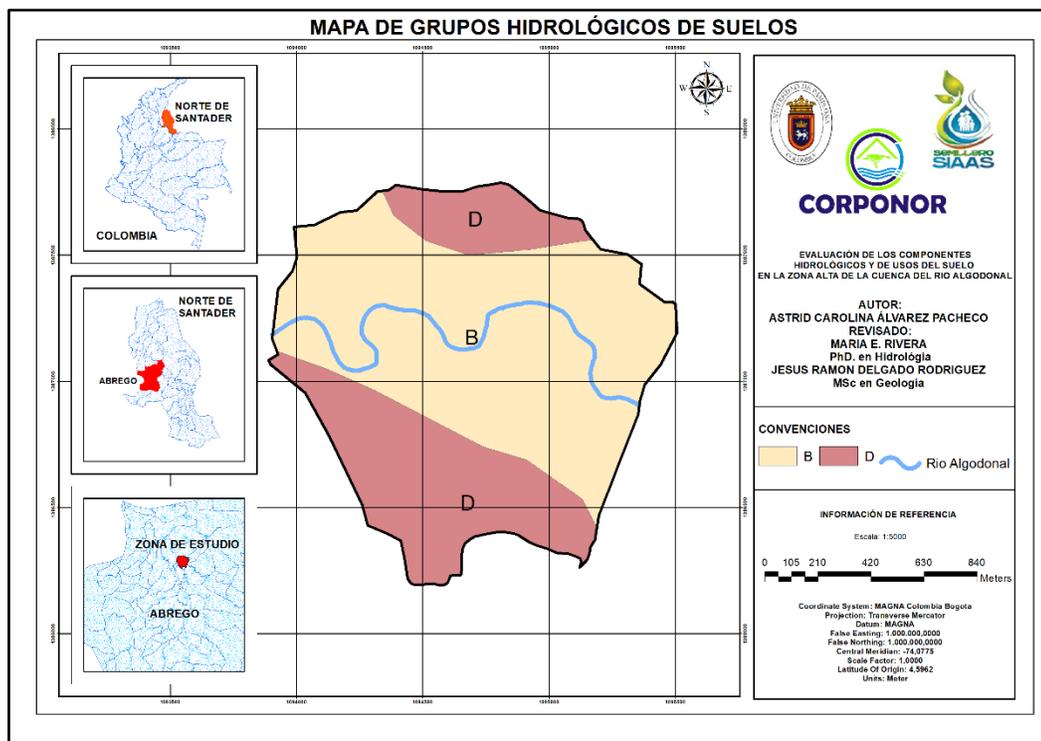
Fuente: Álvarez,2020.

En junio de 2019, la ruptura del canal de entrada a la laguna de oxidación ocasionó que los objetivos de calidad alcanzados se vieran truncados, hecho que hasta la fecha no se le ha

dado solución y que, como se describió anteriormente ocasionó un retroceso en el mantenimiento y mejora del recurso hídrico.

Oferta Hídrica

Número de curva. La esorrentía neta depende de la clasificación de coberturas de la tierra y de suelos descritos en el apartado anterior, así mismo, se tienen en cuenta los tipos hidrológicos del suelo. Dentro de la zona de estudio se identifican según su potencial hidrológico suelos del grupo B en un 51, 63 % y D en un 48,36% como se presentan en el mapa 6.



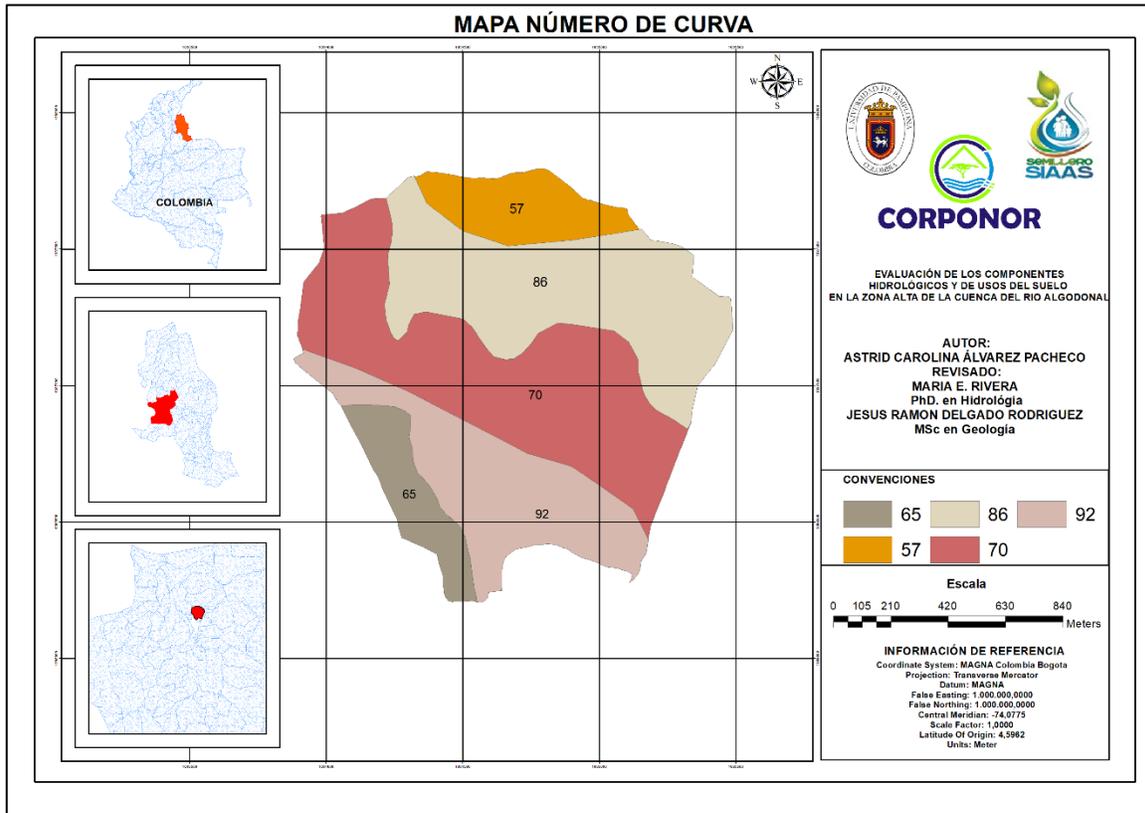
Mapa 8. Mapa Grupos hidrológicos del suelo.

Fuente: Modificado por Álvarez, 2020.

En el área de estudio predominan los suelos tipo B caracterizados por tener capacidades de infiltración moderadas, medianamente profundos y drenados, con textura franco arenosas y velocidades medias de transmisión de agua. Gómez-Sanz y Roldan (2013) señalan que los suelos de tipo B presentan una profundidad efectiva superior a 1 m y buena porosidad estructural resultante del elevado contenido de materia orgánica en los horizontes superficiales.

La zona con mayor potencial para generar escorrentía según sus propiedades hidráulicas se encuentra en las laderas, compuestas por texturas en su mayoría arcillosas correspondientes a suelos tipo D. La infiltración en esta clase de suelo se dificulta por la reducida macroporosidad en su horizonte más superficial o por su poca profundidad efectiva (< 25cm).

De acuerdo a la metodología lluvia- escorrentía se determinaron los números de curva mostrados en el mapa 7.



Mapa 9. Número de curva

Fuente: Modificado por Álvarez, 2020.

El número de curva (CN) promedio es de 64 el cual indica un potencial moderado de escurrimiento dentro de la zona de estudio, teniendo en cuenta que predomina el tipo de suelo B con propiedades de escurrimiento medio y en menor proporción los suelos de tipo D con mayor escurrimiento debido a su permeabilidad.

Por otra parte, la esorrentía generada se encuentra estrechamente relacionada con la precipitación caída. En este sentido, las precipitaciones en Abrego se comportan bajo un régimen bimodal como observa en la ilustración 16. Bajo condiciones normales, los periodos de lluvia marcados para la estación ubicada en el centro de Abrego muestran dos

picos de lluvia máxima para el mes de mayo y octubre con un 24,62% del total de lluvia caída, el periodo de estiaje se enmarca en los meses de junio y julio con un 18,16 % de la precipitación anual, así mismo se pueden observar periodos de transición de sequía-humedad y de humedad-sequía. En total se registran 1219 mm/año de precipitación dentro del área de Abrego, abarcando la zona de estudio.

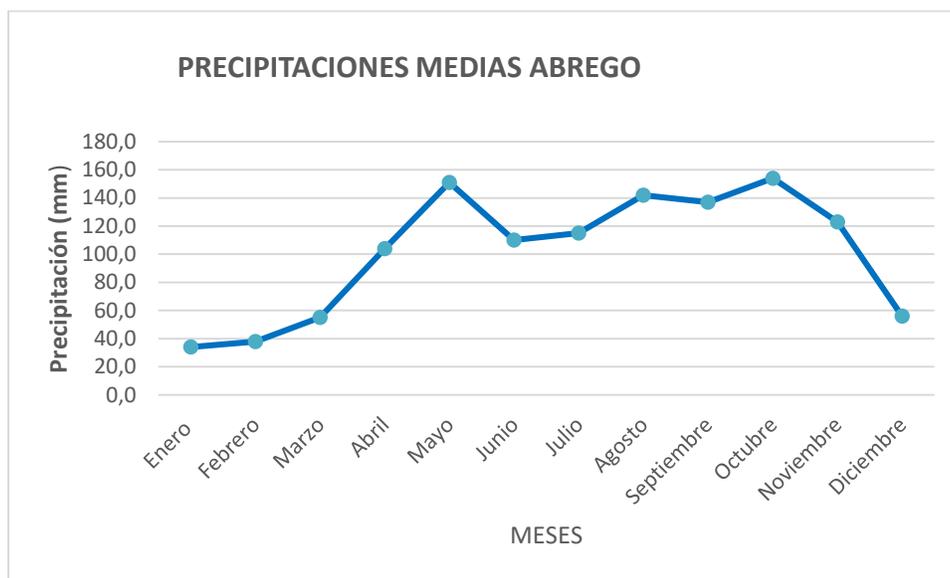


Gráfico 3. Precipitación media anual 1971-2020.

Fuente: Álvarez, 2020.

De acuerdo a los valores medios mensuales multianuales obtenidos de la estación Abrego, se calculó un valor de precipitación efectiva de 1011.5 mm como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12

Precipitación total y efectiva media mensual multianual.

Precipitación efectiva		
Método de la USDA		
mes	P (mm)	p. efectiva (mm)
Enero	34.0	32.2
Febrero	38.0	35.7
Marzo	55.0	50.2
Abril	104.0	86.7
Mayo	151.0	114.5
Junio	110.0	90.6
Julio	115.0	93.8
Agosto	142.0	109.7
Septiembre	137.0	107.0
Octubre	154.0	116.1
Noviembre	123.0	98.8
Diciembre	56.0	51.0
Total	1219.0	986.2

Fuente: Álvarez, 2020.

Según la metodología propuesta por el CSC explicada anteriormente se obtuvo un valor de 125,1 mm del potencial máximo de escorrentía. Así mismo, se obtuvo el valor de la

oferta hídrica total equivalente a 806,26 mm/año, finalmente a este valor se le aplicó una reducción por calidad de agua y caudal ecológico de 0,5 estimando la oferta hídrica neta disponible en 805,76 mm/año equivalente en unidades de caudal a $0,044\text{m}^3/\text{s}$ o a 1,387584 millones de $\text{m}^3/\text{año}$.

Demanda Hídrica

La demanda hídrica para el sector agrícola (DUA) comprende un consumo total de $0,00348669\text{ m}^3/\text{s}$, siendo éste el sector con mayor consumo con un 90% de la demanda total para una extensión de 55 ha cultivadas, seguido por el sector doméstico (DUD) equivalente al 6% con $0,00020399\text{ m}^3/\text{s}$ para un total de 151 habitantes y el sector pecuario (DUP) consume un total de $0,00014628\text{ m}^3/\text{s}$ equivalente al 4% para un total de $0,00348669\text{ m}^3/\text{s}$ equivalente a 0,109956 millones $\text{m}^3/\text{año}$ como se muestra en la gráfico 1.

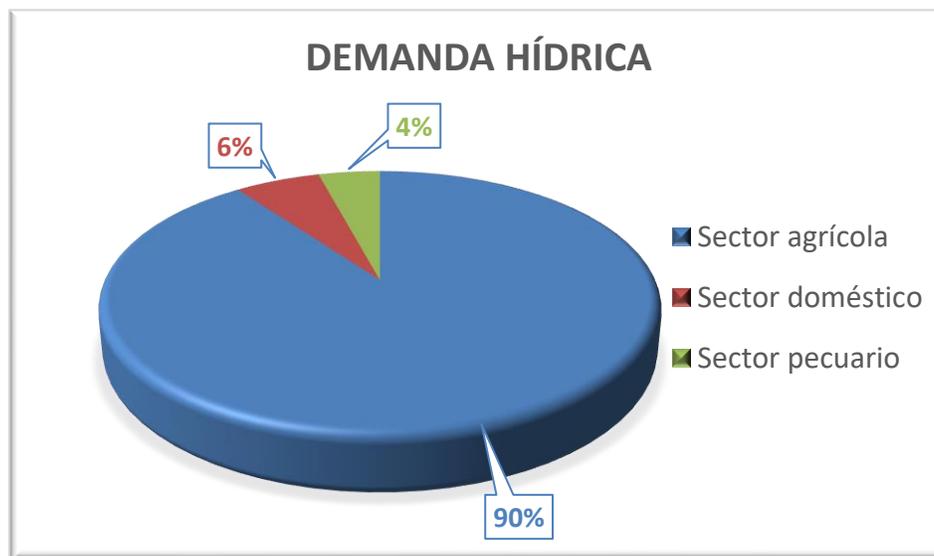


Gráfico 1 Demanda hídrica sectorial en m^3/s para la zona de estudio.

Fuente: Álvarez, 2020.

El alto consumo de la demanda de agua destinado al sector agrícola se relaciona con los largos tiempos de cosecha de los cultivos de plátano y de árboles cítricos alcanzando un 73% de la demanda total destinada a este sector, el 27% restante lo utilizan los cultivos de yuca, frijol, arveja y maíz como se muestra en el gráfico 2. Así mismo, la utilización de micro aspersores como método de riego en la mayor parte los predios representa pérdidas de agua significativas aumentando la demanda requerida por los cultivos, esto se debe a que este método presenta fallas en su sistema de distribución de agua. Por otra parte, todo el sector agrícola realiza captaciones al distrito de riego ASUDRA (Asociación de Usuarios Distrito De Riego Abrego), el cual satisface los requerimientos de agua de todo el sector agrícola del municipio de Abrego, sin embargo, aunque la cantidad de agua podría satisfacer completamente los requerimientos para los diferentes cultivos debido al inadecuado uso del agua y la falta de control y seguimiento por parte de la entidad se presentan conflictos por uso del agua en diferentes comunidades.

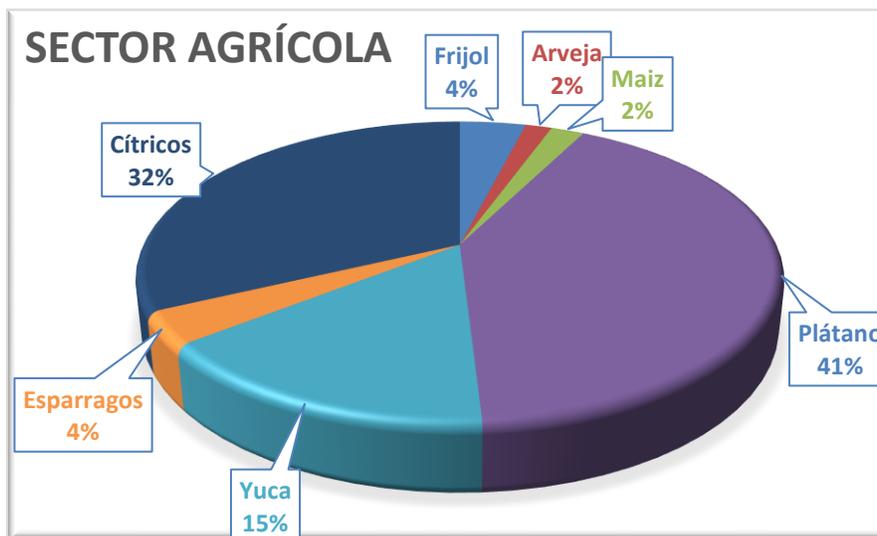


Gráfico 4. Demanda hídrica en el sector agrícola

Fuente: Álvarez, 2020.

Por otra parte, el acueducto municipal de Abrego no posee una cobertura total de la zona en estudio supliendo la necesidad de agua potable del 47% de la población, el 53 % de la población restante realiza captaciones a la quebrada “Los Veraneros” (Ver gráfico 3), sin embargo, esta fuente no cuenta con el caudal, ni los requerimientos de calidad necesarios para suplir esta necesidad básica.

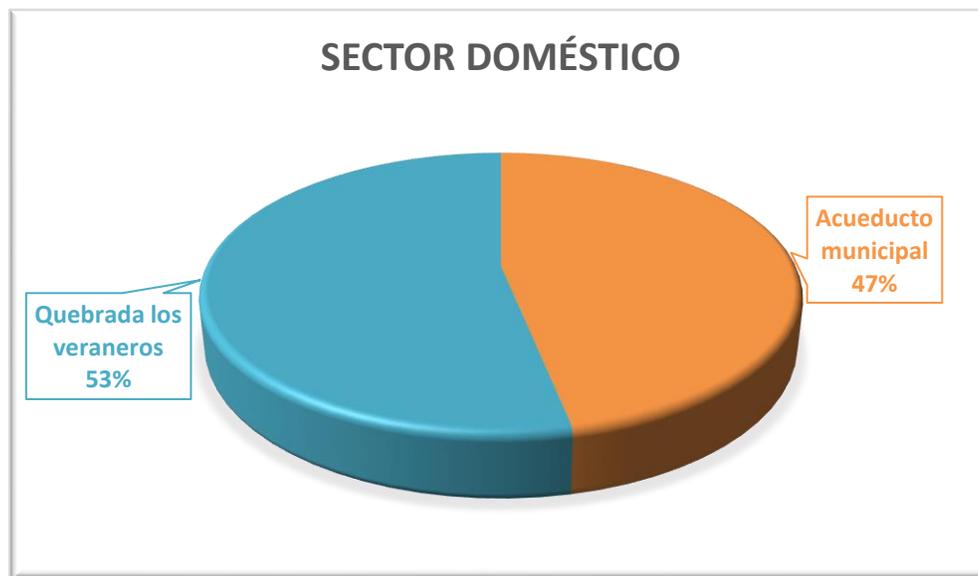


Gráfico 5. Demanda hídrica en el sector doméstico.

Fuente: Álvarez, 2020.

Como se muestra en la ilustración 20, el mayor consumo de agua para el sector pecuario corresponde a los bovinos con un 90% de la cantidad total destinada a este sector, con un total de 143 animales, ya que, gran parte del territorio está destinado al sector pecuario, seguido de algunos predios destinados a la producción de cerdos, en donde se estima un 6% del consumo de agua total, así mismo, el 4 % lo ocupan las mascotas y aves de corral. (Ver gráfico 4). Las necesidades hídricas para los bovinos y porcinos se satisfacen del agua destinada por el distrito de riego ASUDRA, el consumo de las mascotas y aves de corral es suplido por las mismas fuentes hídricas utilizadas por el sector doméstico.

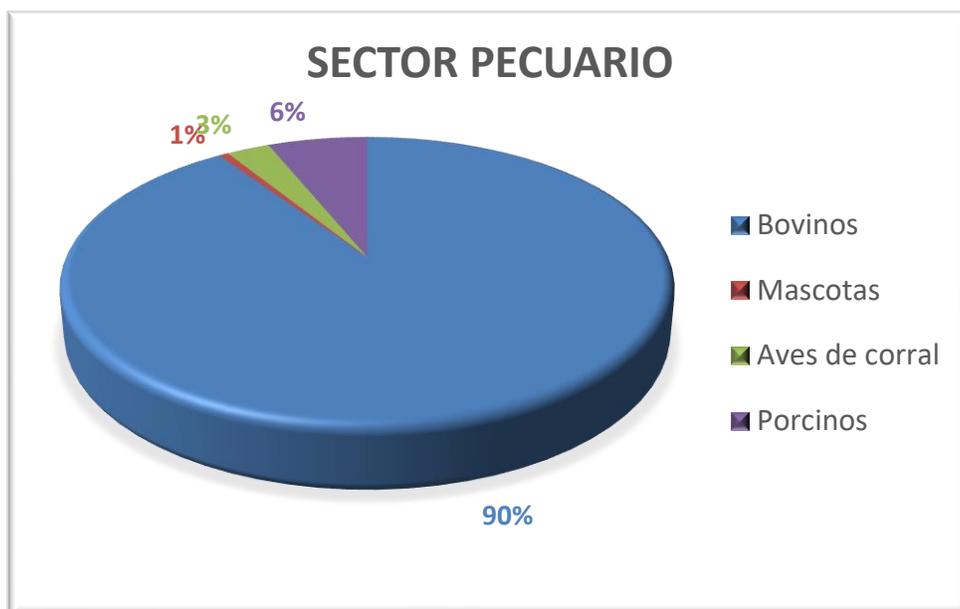


Gráfico 6. Demanda hídrica en el sector pecuario.

Fuente: Álvarez, 2020.

6.3 Evaluación Ambiental

Minería artesanal

Como se observa en el gráfico 7 y en el anexo 6 los resultados de la evaluación ambiental permiten establecer que, de los 13 impactos evaluados, solo uno de ellos corresponde a impactos positivos en el sector socio-económico, con un nivel de importancia significativo con un valor de 29,4 correspondiente a la generación de empleo dentro de todas las actividades que se llevan a cabo, así mismo, dentro de este sector se genera un posible aumento en las tarifas del recurso hídrico y una disminución de su calidad de vida estimando un grado de significancia alto con valores de -8.86 y -9.94 respectivamente.

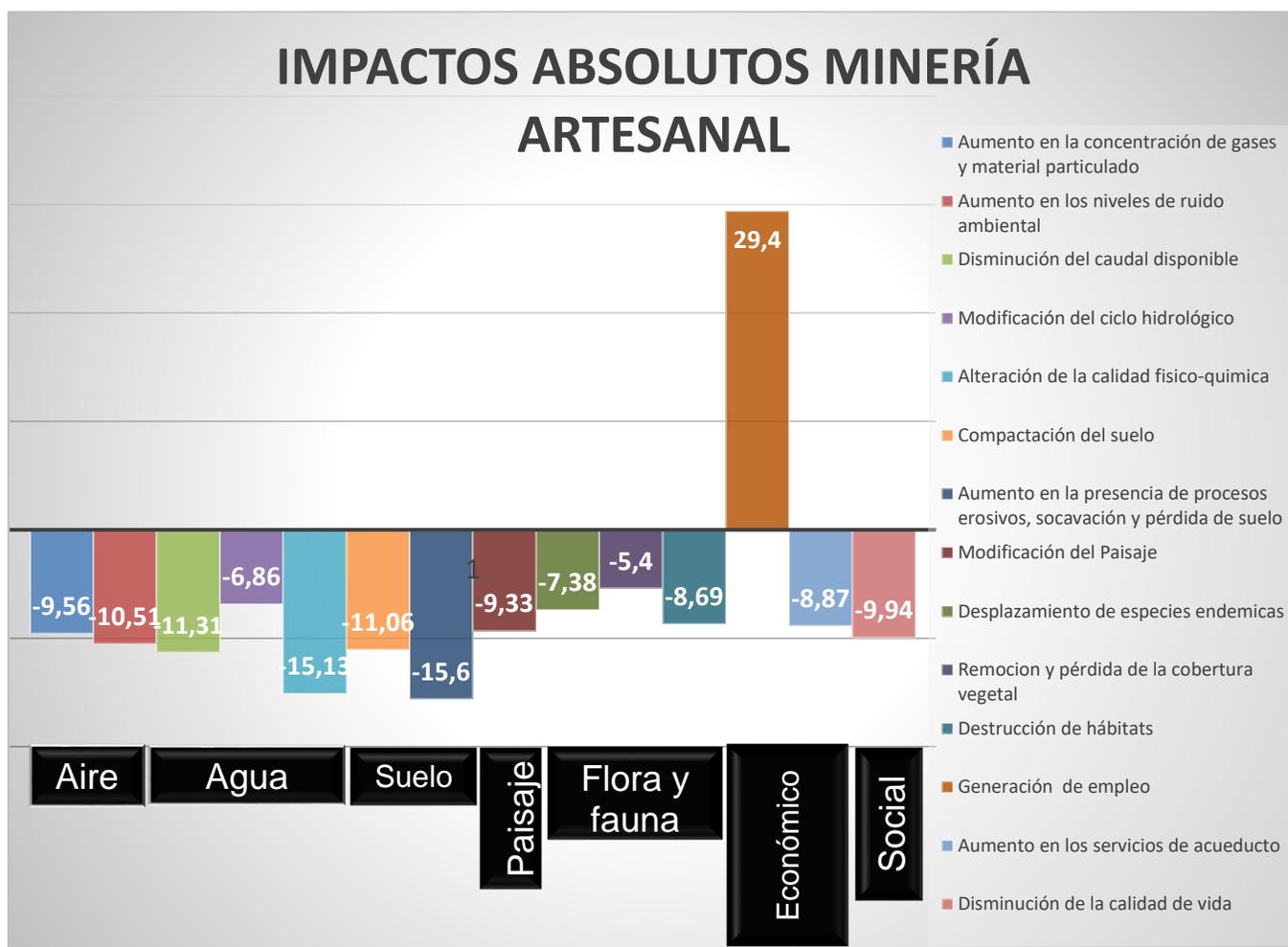


Gráfico 7. Evaluación de impactos ambientales para minería artesanal.

Fuente: Álvarez, 2020

Por otra parte, el aumento en los procesos erosivos, la socavación y pérdida del suelo son los principales efectos que genera la extracción de las capas texturales del cauce del río, ya sea por maquinaria o de forma manual tomando un valor de muy significativo estimado en -15,6, seguido de los procesos de compactación del suelo a causa de la formación de vías y el constante flujo de vehículos y maquinaria pesada con un valor de

importancia significativo de -5.4 constituyendo al recurso suelo como el principal afectado por dicha actividad.

Así mismo, las características físico- químicas del recurso hídrico se ve incididas con un grado de significancia alto con un valor de -15.13, esto se debe a los residuos generados como grasas y aceites de los vehículos destinados a la explotación y transporte de material y por el aumento en la cantidad de solidos suspendidos en el agua a causa de la socavación generada por la extracción con maquinaria dentro del cauce que a su vez aumenta los procesos de infiltración reduciendo el caudal de escorrentía disponible alterando el ciclo hidrológico y disminuyendo el recurso hídrico, dichos impactos se consideran como muy significativos tomando valores de -6.36 y -11.30 respectivamente.

Las modificaciones en el paisaje significativas con un valor de -9.33, a pesar de que la socavación del suelo con maquinaria (Formación de piscinas) se realiza dentro del cauce, en donde no se aprecian cambios que puedan verse a simple vista y las extracciones manuales que se realizan en la ribera del rio son restauradas naturalmente en la época de lluvias, sin embargo, las huellas de esta actividad se aprecian constantemente en el suelo y en el maltrato y perdida de la vegetación y cobertura vegetal con un valor de significancia de -5.40, este impacto es ocasionado en donde se encuentran las vías de acceso a los sitios de extracción. Además, el sector de fauna y flora se ve intervenido por el constante movimiento de vehículos ocasionando el desplazamiento de especies endémicas que viven o se alimentan cerca de las riberas del rio con un valor de significancia de -7.38, así mismo, a causa de las constantes remociones de suelo se generan pérdidas significativas de hábitats naturales de especies acuáticas, anfibios y especies que viven en la zona inundación del cauce catalogando este impacto como muy significativo con un valor de -8.69.

Por último, la constante y prolongada utilización de vehículos con alto consumo de ACPM aumentan las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmosfera con un nivel de significancia de -9.56 contribuyendo de esta manera al calentamiento global, así como también aumentan los niveles de contaminación por ruido ambiental generando molestias a la población aledaña, el cual se estima en un valor de -10,5.

Agricultura

De acuerdo a la evaluación de impactos realizada para las actividades agrícolas se encontraron 19 impactos ambientales como se observa en la gráfica 8, en donde el mayor grado de significancia se atribuyen a los impactos del sector suelo y agua con un 36,84% de los impactos totales, los sectores de aire, flora y fauna y paisaje son fuertemente intervenidos representando impactos significativos y moderadamente significativos abarcando un -31,57%, así mismo, el sector socio económico y cultural se ve influenciado de manera tanto positiva como negativa de gran significancia, reflejando el -21,05 % de los impactos encontrados. (Ver anexo 7, matriz de calificación ambiental).

El suelo es el principal componente afectado, esto se debe a las modificaciones de las características físicas y químicas durante todas las actividades realizadas en las actividades agrícolas alcanzando un máximo valor de -24,19 atribuido a los impactos negativos y en donde se incluye el aumento en el grado de compactación, el cambio y la remoción de las capas y texturas naturales y las alteraciones a la permeabilidad y porosidad del suelo; así mismo, debido a gran cantidad de sustancias químicas se altera la cantidad de nutrientes del suelo, la materia orgánica y el PH. De igual manera, el 65% de las actividades desarrolladas generan procesos de erosión, acidificación y contaminación del suelo con un valor de -

19.58, así mismo, las actividades como limpiezas y control integrado de plagas y enfermedades provocan residuos fitosanitarios, acumulación de fertilizantes y biomasa representando un menor grado de contaminación con un valor de 5,08.

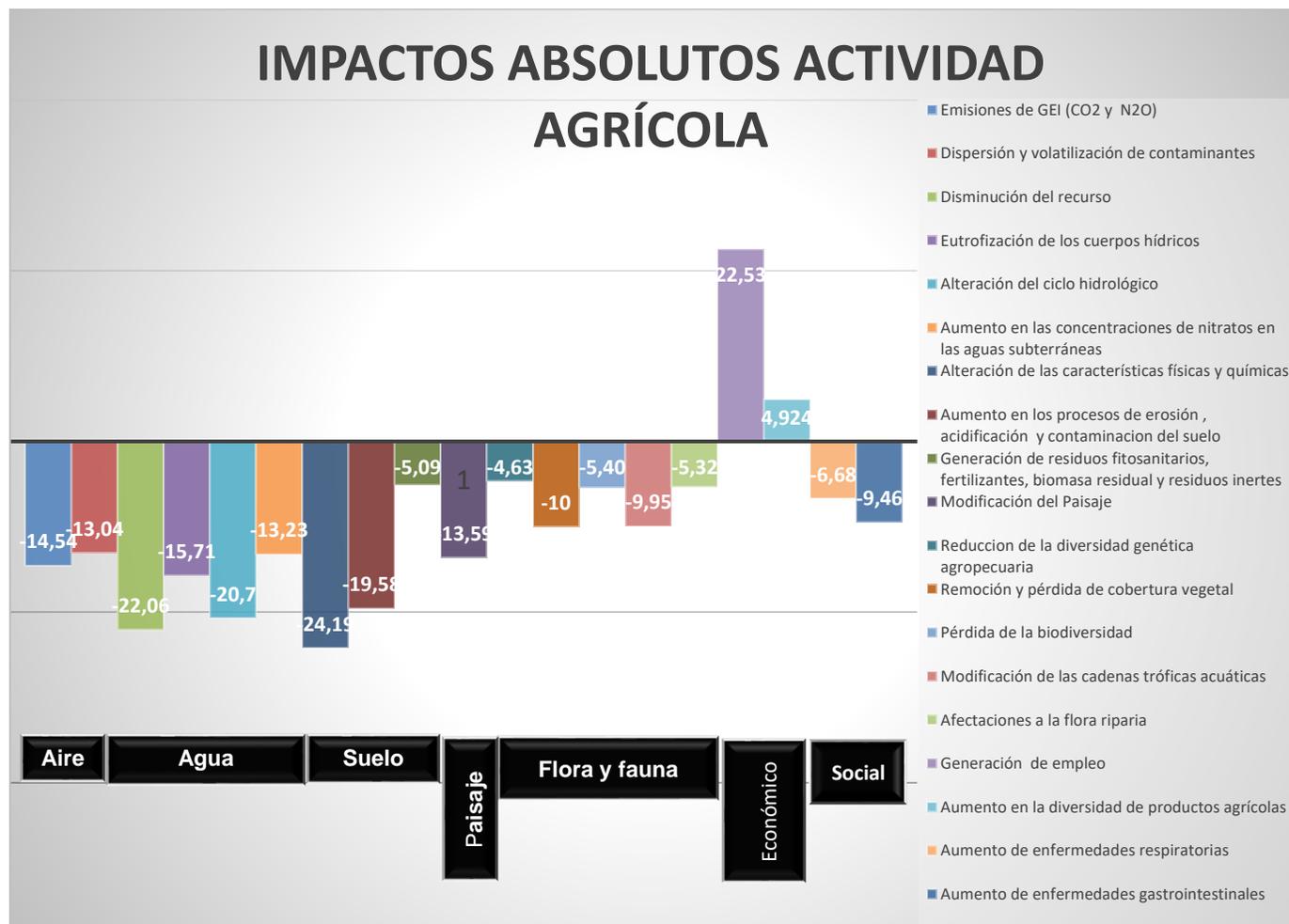


Gráfico 8. Impactos ambientales asociados a la actividad agrícola.

Fuente: Álvarez, 2020.

Por otra parte, la disminución del recurso hídrico se cataloga como el segundo impacto en nivel de importancia con un valor de -22.063, esto se debe a que se deben

mantener condiciones óptimas de humedad del suelo en todas las fases del cultivo. Los impactos asociados al aumento en los procesos de eutrofización y altos contenidos de nitrógeno en el agua subterránea representan un nivel de significancia similar con valores de -15,71 y -13,23 respectivamente, impactos que se deben a la gran cantidad de fungicidas, fertilizantes, plaguicidas, entre otros productos químicos. De igual manera, los cambios en el ciclo hidrológico toman un valor de significancia alta de -20,70 evidenciados por la generación de procesos erosivos, y la disminución en la capacidad de infiltración del suelo generando mayor cantidad de escorrentía.

Gran parte de la contaminación atmosférica es causada por las grandes extensiones de tierra utilizadas en el sector agrícola. Este hecho se debe a la gran cantidad de emisiones de N₂O a causa de la excesiva utilización de fertilizantes nitrogenados en la mayoría de los predios, así mismo, en los procesos de labranza, arado o utilización de maquinaria para la preparación del terreno antes de la siembra se remueven capas de cobertura vegetal y suelo con grandes cantidades de materia orgánica, la cual, al ser expuesta entra en contacto con el oxígeno y microbios dando como resultado grandes cantidades de emisiones de CO₂. Dentro de la evaluación realizada dichas emisiones se consideran con un grado de significancia alto con un valor de -14,54. En este sentido, los factores atmosféricos y climáticos contribuyen a la dispersión y volatilización de estos contaminantes por efectos del viento y el calor, considerando este impacto significativo con un valor de -13,038.

Por otra parte, el paisaje es un componente que se ve afectado de forma casi irrecuperable con un valor de -13,593. La remoción y pérdida de coberturas vegetales, como pastos, gramíneas e incluso árboles y a su vez de insectos y hiervas en los procesos de descapote

reducen las especies que sirven de alimento a aves y otros animales, generando a su vez la pérdida de biodiversidad y de fauna genética agropecuaria representando valores de -4,628 y -5,398 respectivamente.

Por último, los impactos positivos de esta actividad se generan dentro del componente económico a causa de que la producción agrícola es la principal fuente de empleo dentro del área estudio y dentro de la región en general, considerándose como un impacto muy significativo con un valor absoluto de -22,53. De igual manera, gracias a esta actividad se aumenta la diversidad de productos agrícolas disponible para la población cuyo valor es de 4.924, sin embargo dentro de este sector se ve afectado el sector social donde se incluye el posible aumento de enfermedades de tipo respiratorio y gastrointestinales a causa de la constante aplicación de productos químicos que la mayoría de los cultivos requieren, lo que conlleva a una disminución de la calidad de vida por contaminación hídrica, del suelo y el aire tomando valores de significancia ambiental altos de -6,682 y 9,464 respectivamente.

vertimientos

En la tabla 13 se muestran los impactos ambientales generados por los vertimientos mencionados anteriormente, en donde, se destaca el factor agua como el principal afectado debido al alto contenido de sustancias químicas con alto contenido de nitrógeno especialmente utilizadas en las actividades agrícolas lo que genera principalmente la eutrofización de los cuerpos de agua superficial y subterránea, alterando las cadenas tróficas acuáticas, a uno de los impactos más significativos en el sector social por el posible aumento de enfermedades de tipo respiratorio y gastrointestinales.

Tabla 13

Impactos ambientales por vertimientos

Componentes	Subcomponente	Factores	Impactos
FISICO	ABIOTICO	AIRE	Emisiones de H ₂ S y producción de olores fétidos
		AGUA	Eutrofización de los cuerpos hídricos
			Alteración del ciclo hidrológico
	BIÓTICO	FAUNA Y FLORA	Modificación de las características físico químicas y microbiológicas
			Afectación a las poblaciones de peces, algas, bacterias, plantas.
			Disminución de la biodiversidad acuática
SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	SOCIAL	SALUD	Modificación de las cadenas tróficas acuáticas
			Aumento en enfermedades gastrointestinales
			Molestias por la producción de olores

	Económico	COSTOS	Aumento en los costos de tratamiento de agua
--	-----------	--------	----------------------------------------------

Fuente: Álvarez, 2020.

6.4 Programas Ambientales

Con el objetivo de brindar soluciones a las problemáticas dentro del área de estudio se formulan los siguientes programas ambientales.

Programa de educación ambiental orientado a la importancia y el cuidado del recurso hídrico
Objetivo general
Mitigar los impactos generados por el mal manejo de aguas residuales y del recurso hídrico.
Objetivos específicos
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Concientizar y sensibilizar a la población sobre la importancia del recurso hídrico. ✚ Dar a conocer estrategias para un manejo adecuado de las aguas residuales domésticas. ✚ Promover medidas para la disminución de compuestos químicos en los cultivos.
Meta: Grupos sociales con mayor compromiso y responsabilidad ambiental
Justificación

<p>El alto grado de aplicación de compuestos químicos en las cosechas sumado a la existencia de pozos sépticos mal estructurados en más del 50% del área estudio, a causa de la falta de educación ambiental expone a la población a problemas de salud por contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos, así mismo, la escasez de agua es uno de los principales problemas que influye en la disminución de la calidad de vida de la población.</p>			
<p>Actividades generadoras del impacto</p> <ul style="list-style-type: none"> ✚ Aplicación de fertilizantes, fungicidas, herbicidas y pesticidas en los cultivos. ✚ Inadecuada implementación de pozos sépticos para el tratamiento de aguas residuales domésticas. 		<p>Impactos ambientales a manejar</p> <ul style="list-style-type: none"> ✚ Disminución del recurso. ✚ Eutrofización de los cuerpos hídricos. ✚ Alteración del ciclo hidrológico. ✚ Aumento en las concentraciones de nitratos, materia orgánica y coliformes en aguas subterráneas. 	
Prevenir	X	Corregir	X
Mitigar	x	Compensar	
Acciones a desarrollar			

<ul style="list-style-type: none"> ✚ Elaboración de estudios e informes sobre las condiciones del recurso hídrico para su posterior divulgación a los habitantes de la zona en estudio y demás personas interesadas. ✚ Realización de charlas con los productores agrícolas sobre la implementación de abonos orgánicos y biopesticidas. ✚ Dar a conocer por medio de la participación e integración de la comunidad los diferentes métodos que se pueden implementar para el tratamiento de aguas residuales domesticas para caudales bajos. 	
Población beneficiada	Responsable:
Comunidad de las veredas San Miguel, Hato Viejo y El Molino,	Alcaldía municipal de Abrego, CORPONOR.
Personal requerido	
Profesional o técnico en el área ambiental.	

Programa de seguimiento y control de las actividades de minería artesanal
Objetivo general
Controlar la cantidad de material que es extraído del cauce del rio Algodonal
Objetivos específicos

<ul style="list-style-type: none"> ✚ Identificar e inventariar todas las áreas destinadas a la extracción de material de arrastre. ✚ Evaluar las características legales de los responsables de las actividades de extracción. 			
Meta: Reducir los impactos ambientales ocasionados por las malas prácticas de minería artesanal.			
Justificación			
La disminución del recurso hídrico y la contaminación a causa de las actividades asociadas a la extracción de material de arrastre sin ninguna medida, control, ni preocupación por el medio ambiente.			
Actividades generadoras del impacto		Impactos ambientales a manejar	
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Extracción manual y con maquinaria de material de arrastre. ✚ Cargue y transporte de material. 		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Disminución del recurso hídrico y suelo. ✚ Alteración de las características físico químicas del agua y el suelo. ✚ Alteración del ciclo hidrológico. ✚ Desplazamiento de especies. ✚ Pérdida de especies acuáticas. 	
Prevenir	X	Corregir	X
Mitigar	X	Compensar	
Acciones a desarrollar			

<ul style="list-style-type: none"> ✚ Por medio de visitas de campo identificar todos los puntos destinados a la extracción de material. ✚ Imponer sanciones u otorgar permisos de minería de acuerdo a la normativa ambiental. ✚ Los entes encargados realizaran visitas de inspección a las áreas que cuenten con licencia ambiental para la extracción de material. 	
Población beneficiada	Responsable:
Población del municipio de Abrego y Ocaña, Norte de Santander.	Alcaldía municipal de Abrego, CORPONOR.
Personal requerido	
Profesional o técnico en el área ambiental, autoridades ambientales, coordinador de control y vigilancia de CORPONOR.	

Programa de seguimiento a los vertimientos realizados por el alcantarillado municipal de Abrego y el distrito de riego ASUDRA
Objetivo general
Reducir las concentraciones de contaminantes vertidos al cauce del río Algodonal.
Objetivos específicos
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Evaluar la calidad fisicoquímica, microbiológica e hidrobiológica del cuerpo de agua receptor de vertimientos. ✚ Tomar medidas respecto al no funcionamiento de la laguna de oxidación del municipio de Abrego.

Meta: Mejorar las condiciones de calidad del agua del río Algodonal.			
Justificación			
La contaminación hídrica del río Algodonal se ha incrementado en los últimos años a causa del inadecuado manejo de vertimientos y a la falta de control y seguimiento por parte de las autoridades competentes.			
Actividades generadoras del impacto		Impactos ambientales a manejar	
<ul style="list-style-type: none"> <li style="text-align: center;">✚ Vertimientos del canal de ASUDRA. <li style="text-align: center;">✚ Funcionamiento inadecuado de la laguna de oxidación de Abrego. 		<ul style="list-style-type: none"> <li style="text-align: center;">✚ Disminución del recurso hídrico. <li style="text-align: center;">✚ Alteración de las características físico químicas y microbiológicas del agua. <li style="text-align: center;">✚ Pérdida de especies acuáticas. <li style="text-align: center;">✚ Riesgos a la salud humana. <li style="text-align: center;">✚ Eutrofización del agua. 	
Prevenir	X	Corregir	X
Mitigar	X	Compensar	X
Acciones a desarrollar			
<ul style="list-style-type: none"> <li style="text-align: center;">✚ Campañas de monitoreo a los puntos de vertimiento y de interés dentro del cauce del río Algodonal. <li style="text-align: center;">✚ Imponer sanciones al organismo responsable del correcto funcionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del municipio de Abrego. 			

<p>✚ Seguimientos periódicos para corroborar que se tomen las medidas para la reducción de las concentraciones contaminantes al recurso hídrico.</p>	
<p>Población beneficiada</p> <p>Población del municipio de Abrego y Ocaña, Norte de Santander.</p>	<p>Responsable:</p> <p>CORPONOR.</p>
<p>Personal requerido</p>	
<p>Profesional o técnico en el área ambiental, personal asignado por CORPONOR.</p>	

<p>Programa de compensación de flora y fauna</p>
<p>Objetivo general</p>
<p>Compensar el efecto ocasionado por las actividades agrícolas y de minería artesanal.</p>
<p>Objetivos específicos</p>
<p>✚ Aumentar el número de especies nativas de flora.</p> <p>✚ Mejorar las condiciones de vida para las especies de fauna presentes dentro de la zona de estudio.</p>
<p>Meta: Proteger la biodiversidad de las especies nativas de flora y fauna.</p>
<p>Justificación</p>
<p>La pérdida de especies faunísticas principalmente por las actividades agrícolas ha generado un desequilibrio ecológico a afecta a su vez a las especies faunísticas presentes dentro del área.</p>

Actividades generadoras del impacto		Impactos ambientales a manejar	
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Descapote de cobertura vegetal. ✚ Cargue y transporte de material de arrastre. 		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Disminución de la biodiversidad en especies de flora y fauna. ✚ Desplazamiento de especies. ✚ Destrucción de hábitats. 	
Prevenir		Corregir	
Mitigar		Compensar	x
Acciones a desarrollar			
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Campañas de reforestación de especies nativas. ✚ Reducir y contralar la extracción de material de arrastre. 			
Población beneficiada		Responsable:	
Población de la zona de estudio.		CORPONOR y Alcaldía de Abrego.	
Personal requerido			
Población de la zona de estudio.			

Programa de manejo de impactos agrícolas			
Objetivo general			
Compensar el efecto ocasionado por las actividades agrícolas.			
Objetivos específicos			
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Mejorar las condiciones de calidad del recurso suelo y el recurso hídrico. ✚ Reducir los impactos ambientales que afectan a ambiente y a la sociedad. 			
Meta: Mejorar las condiciones de vida de la población de la zona de estudio y de la el municipio de Ocaña.			
Justificación			
La acumulación de sustancias químicas en el suelo y en los cuerpos de agua superficial y subterránea han disminuido la calidad de vida de la población, impidiendo que se pueda suplir la necesidad de escasez del recurso hídrico mediante la explotación de fuentes subterráneas.			
Actividades generadoras del impacto		Impactos ambientales a manejar	
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Aplicación de fertilizantes, pesticidas, fungicidas y herbicidas. 		<ul style="list-style-type: none"> ✚ Aumento en las concentraciones de compuestos nitrogenados en el suelo y el agua. ✚ Disminución de la calidad de vida de la población. ✚ Disminución del recurso hídrico. 	
Prevenir		Corregir	

Mitigar	X	Compensar	x
Acciones a desarrollar			
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Implementar medidas para mejorar los sistemas de riego empleados dentro del área de estudio. ✚ Promover campañas para la recolección de envases de sustancias químicas. ✚ Incentivar a la población para la utilización de agroquímicos biodegradables. 			
Población beneficiada		Responsable:	
Población de la zona de estudio.		Alcaldía de Abrego.	
Personal requerido			
Especialista en el área ambiental.			

Conclusiones

La zona de estudio se caracteriza por estar conformada por una gran variedad de cultivos dentro de la llanura de inundación del río Algodonal, gracias a las características texturales del suelo, al bajo riesgo de inundación y a su predominante morfología plana, lo que la convierten en una zona apta para la siembra de diferentes cultivos. Además, gracias a la recarga y restauración natural del río en las temporadas de lluvia, esta zona es rica en una gran cantidad de materiales como arena, grava y arcilla que se encuentran depositados a las orillas del cauce.

Por otra parte, la minería artesanal es una actividad económica de gran importancia para el sector de construcción, sin embargo, la extracción de materiales de arrastre sin ningún tipo de control ni respeto hacia el medio ambiente provoca en muchas ocasiones que el costo a la salud y el deterioro del recurso hídrico y la pérdida del suelo y de biodiversidad sea mayor al beneficio obtenido por esta actividad.

Es importante mencionar que los hallazgos de intervención antrópica asociados a esta actividad son bajos, esto se asocia a que el estudio se llevó a cabo en la época de lluvias y a causa de eventos de inundación las áreas en donde se evidenciaban impactos ambientales más significativos fueron restauradas por bancos de arenas y sedimentos propios de la zona, sin embargo, sumado a esto a causa de la emergencia sanitaria que se vive en el año 2020 las extracciones de material han disminuido, sin embargo, esta actividad se ha desarrollado desde hace varios años generando impactos a largo plazo como la disminución y contaminación del recurso hídrico.

Así mismo, los aportes de materia orgánica, coliformes, sustancias químicas, entre otros, provenientes de los vertimientos de aguas residuales domésticas y de origen agrícola han generado un problema de contaminación tan grave que el agua del río Algodonal no es captada por los habitantes de la zona de estudio, los cuales se bastecen de fuentes alternas.

Es posible afirmar que si se mejoran las condiciones de calidad del río Algodonal de manera que se puedan realizar captaciones, los requerimientos de agua de la población presente en la zona de estudio serian totalmente satisfechos, tomando en cuenta que la oferta hídrica de la zona se estima en $0,044 \text{ m}^3/\text{s}$ y la demanda hídrica es de tan solo $0,0034 \text{ m}^3/\text{s}$.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y tomando en cuenta las limitaciones presentadas se recomienda:

A CORPONOR y a la alcaldía municipal de Abrego tomar acciones inmediatas para mejorar las condiciones ambientales y sociales de la zona estudiada, así como también mejorar la calidad de vida de los habitantes del municipio de Ocaña, por medio de la revisión de los programas planteados en el presente proyecto.

Se recomienda para futuros estudios analizar muestras de suelo con el fin de identificar el grado y tipo de concentraciones de sustancias químicas presentes.

Por último, se recomienda reformular o actualizar el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos en donde se incluya la separación del alcantarillado pluvial del alcantarillado sanitario del municipio de Abrego.

Referencias

- Acosta, S. Damiano, F. & Pizarro, M. (2006). Estimación del número de curva en la cuenca del río arrecifes (provincia de buenos aires)
- Ávaros, A., & Rosito, J. (2007). Evaluación hidrológica de las subcuencas Pasabién y Pueblo Viejo. Recuperado el 07 de marzo del 2020, de <https://www.foresttrends.org/wpcontent/uploads/imported/Evaluacion%20hidrologica.pdf>
- Abramson, B. (1996). Clasificaciones de los materiales según su litología en cuencas hidrográficas.
- Almánzar, J. (2011), Análisis de sucesos productores de caudal en pequeñas cuencas mediterráneas como apoyo a la gestión integrada y sostenible del agua, en VII Congreso Ibérico Gestión y Planificación Agua, Talavera de la Reina, España,
- Arias, S. (2010). Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICOS) en cuerpos de agua. Recuperado el 25 de mayo del 2020, de <https://pdfs.semanticscholar.org/d01c/a24dd15be169f40406b3a3184b49d4098566.pdf>.
- CEPAL (2018). Estudio Económico de América Latina y el Caribe.
- CEPAL. (2013). Guía análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial.
- Conesa, V. (2006). guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Segunda edición, 1993. Madrid, España.
- Consorcio Algodonal (2016). Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río Algodonal,
- Consorcio Algodonal. (2018). Ajuste y actualización al Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Algodonal (POMCA).

CORPONOR & CORPOCESAR. (2015). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Algodonal (POMCA).

Corporación Autónoma Regional (CAR). (2006). Diagnóstico y evaluación socioambiental cuenca Río Minero.

Cuevas, A (2007). “Geomorfología”. Recuperado el 26 de marzo del 2020, de <https://geolodiaavila.com/2017/02/08/que-es-una-cuenca-hidrografica/>.

Decreto 1640. (2012). Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.

Galeana, P. Corona, R. & Ordóñez, D. (2009). Análisis dimensional de la cobertura vegetal y uso de suelo en la Cuenca del Río Magdalena.

Gómez, S. (2018). Evaluación hidrológica y calidad del agua de la microcuenca La Lejía (Toledo, Norte de Santander): implicaciones para su plan de manejo ambiental.

Hernández, C. (2016). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y propuesta de alternativas tendientes a su mejora, en la Comunidad de 4 Millas de Matina, Limón. Recuperado el 15 de abril del 2020, de <https://repositorio.una.ac>.

Huamán, F. (2017). Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río El Tuyo en el distrito de Catilluc, provincia de San Miguel, Cajamarca. Recuperado el 23 de mayo del 2020, de <http://repositorio.unc.edu>.

IDEAM (2018). Estudio Nacional del Agua.

IDEAM. (2014). Hidrología. Recuperado el 03 de marzo del 2020, de <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/hidrologia>.

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2013) Sistema de indicadores de calidad del agua superficial.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2013). Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM 12 p.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés - INVEMAR. (2005) “Diagnósticos ambientales”. Recuperado el 18 de marzo del 2020, de <http://www.invemar.org.co/diagnosticos-ambientales>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. (2012).
- Jiménez W. (2015). guía de capacitación en temas agrícolas para agricultores familiares. FAO
- Jiménez, R. Mena, A. & Wong, C. (2011). Diagnóstico de la cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del rio california.
- Leal, J. (2016). Microcuenca de la quebrada El Bobo: modelamiento hidrológico y opciones de manejo usando el software MIKE.
- León, (2002). Evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Pag. 49 – 50.
- Martínez, A. (2017). Impactos Ambientales por extracción de material de arrastre. Recuperado el 05 de mayo del 2020, de <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/1845/Jos%C3%A9%20Arturo%20Martinez%20O.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Martínez, Navarro & Heva. (1997). Evaluación hidrológica de las subcuencas Pasabién y Pueblo Viejo.

Mejía, G. (2016). Suspensión de las licencias ambientales para la extracción de material de arrastre en el río Algodonal.

Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Minambiente. (2016). Suelos.

Mockus, V. (1964). Estimation of direct runoff from storm rainfall”, en National Engineering Handbook Section 4 Hydrology, Soil Conservation Service.

Napoleón, B. & Yaguachi M. (2013). Diagnóstico Ambiental y desarrollo del Plan de Manejo y Conservación de la Subcuenca del río Chillayacu de la Cuenca Media del río Jubones en la provincia de El Oro. Repositorio digital, Universidad Central de Ecuador.

Navea, C. (2010). Geología general. Introducción a la geología. Recuperado el 09 de mayo del 2020, de <https://www.ceduc.cl/aula/cqbo/materiales/GM/GM161/B/Geologia%20General%20I%20Unidad.pdf>.

NRCS, USDA. (2004) Hydrologic soil-cover complexes, Hydrology National Engineering Handbook, Natural Resources Conservation Service, cap. 9, pp. 1-3.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2018). Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2015). Gestión de suelos.

Peláez J., Arango, J. (2015). Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental a partir de diferentes métodos específicos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. Volumen 52, Número 2, p. 565-597.

Porto, J & Merino, M. (2010). Actualizado: 2013. "Definición de impacto ambiental". Recuperado el 11 de mayo del 2020, de <https://definicion.de/impacto-ambiental/>.

Ramírez, A, 1988. "Lincamientos y estadísticas para estudios biológicos de impacto ambiental", Contrato 64/87 Inderena, Colombia, Pag 455.

Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (diciembre de 1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, Pag. 135-153.

Resolución 0865. (2004). Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones.

Róhr, P. (2003). "A Hydrological Study Concerning the Southern Slopes of Mt Kilimanjaro, Tanzania.

Romero, L. (2019). Análisis hidrológico de la quebrada Las Pavas, Mutiscua - Norte de Santander.

Sandoval, V., & Oyarzun, V. (2004). Modelamiento y prognosis espacial del cambio en el uso del suelo. *Revista Quebracho* 11: 9-21.

Santiago, A. (2007). Geología y litología. Recuperado el 11 de mayo del 2020, de <https://geografia.laguia2000.com/relieve/la-litologia>.

Senisterra, G. & Gaspari, F. (2014). Analysis of land use in the context of their temporary space dynamics in a rural basin serrana. Argentina. *Journal of Technology*, Volumen 13, Número 2, Págs. 53-60.

Suescún, L. & Alarcón, J. (2018). Estudio hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y la demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para un acueducto interveredal en Nunchía, Casana. Recuperado el 27 de abril del 2020, de <https://repository.ucatolica.edu.co>.

Torres, et al., (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. *Revista Scielo*.

Torres, S. (2008). Diagnóstico de la calidad del agua de la Microcuenca Sancotea Socorro – Santander. *Revista de investigación y tecnología*, Pag. 6.

Triana, M. & López, O. (1998). Plan para el manejo ambiental de la microcuenca "quebrada la resaca" municipio de Belén de los Andaquies Caqueta.

USDA, NRCS. (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos*. Décima segunda Edición.

Vallejo, C. (2014). *Manual de geología*. capítulo 1. el ciclo geológico.

Yun, Z. (2009). Calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

ANEXO 2. Cálculos para la obtención de la evapotranspiración del cultivo de referencia en el software Cropwat V. 8.0.

The screenshot shows the 'Eto Penman-Monteith Mensual' software window. The title bar reads 'Eto Penman-Monteith Mensual - D:\TRABAJO DE GRADO-CORPONOR\Cropwat\Eto.PEM'. The interface includes input fields for 'País' (Colombia), 'Estación' (Abrego), 'Altitud' (1430 m), 'Latitud' (8.00 °N), and 'Longitud' (73.00 °W). Below these is a table with 8 columns: Mes, Temp Min, Temp Max, Humedad, Viento, Insolación, Rad, and ETo. The rows represent months from Enero to Diciembre, plus a 'Promedio' row. The 'ETo' column values are highlighted in yellow.

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	16.0	26.0	78	138	6.6	17.6	3.46
Febrero	11.0	27.0	77	130	10.0	23.7	4.38
Marzo	13.0	27.0	78	112	9.1	23.4	4.35
Abril	15.0	27.0	80	225	8.2	22.1	4.37
Mayo	16.0	27.0	81	311	7.7	20.8	4.29
Junio	13.0	27.0	98	156	9.6	23.1	3.97
Julio	13.0	28.0	74	268	10.2	24.1	5.02
Agosto	11.0	27.0	77	190	10.6	25.4	4.78
Septiembre	15.0	27.0	79	242	8.2	21.9	4.37
Octubre	16.0	26.0	81	156	6.9	19.2	3.80
Noviembre	11.0	26.0	82	130	9.6	22.0	3.93
Diciembre	10.0	26.0	80	181	9.9	21.8	3.86
Promedio	13.3	26.8	80	186	8.9	22.1	4.22

ANEXO 3. Cálculos para la determinación de la demanda hídrica para el sector agrícola.

cultivo	tipo de cultivo	calendario	kc inicial	kc medio	Kc Desarrollo	kc final	kc (promedio)	Eto (mm/mes)	p (mm/mes)	kc
frijol	leguminosa	Febrero, marzo, abril	0,40	1,15	0,40	0,55	0,63	4,22	88,9416667	0,55
Arveja	leguminosa	Febrero, marzo, abril	0,40	1,15	0,40	0,55	0,63	4,22	88,9416667	0,55
Maíz	Cereal	Febrero, marzo, abril	0,30	0,15	0,25	0,40	0,28	4,22	88,9416667	0,55
Plátano	Frutas tropicales y arboles	Todo el año	1,00	1,20	1,00	1,10	1,08	4,22	88,9416667	0,55

Yuca	Raíces y Tubérculos	Todo el año	0,30	1,10	0,30	0,50	0,55	4,22	88,9416667	0,55
Espárragos	Hortalizas perennes	Febrero, marzo, abril	0,50	1,00	1,00	0,80	0,83	4,22	88,9416667	0,55
Cítricos	Árboles frutales	Todo el año	0,75	0,70	0,72	0,70	0,72	4,22	88,9416667	0,55

Continuación anexo 3

kr (coeficiente de riego)	área (ha)	inicial	desarrollo	media	final	total	INICIAL	DESARROLLO	MEDIA	FINAL	Da m ³ /mes*ha temporada
0,68	7	20	30	20	10	80	4423,01	6634,52	4423,01	2211,51	17692,05
0,97	4	20	20	20	20	80	1771,81	1771,81	1771,81	1771,81	7087,24
0,68	10	20	30	30	10	90	1974,47	2961,71	2961,71	987,24	8885,13
0,68	8	120	90	120	60	390	57138,65	42853,99	57138,65	28569,32	185700,60
0,68	7	90	120	90	65	365	16971,28	22628,38	16971,28	12257,04	68827,97
0,68	4	10	20	30	30	90	1760,19	3520,38	5280,57	5280,57	15841,70
0,97	15	60	90	120	95	365	23522,05	35283,07	47044,10	37243,24	143092,46
TOTAL											447127,1666

ANEXO 4. Cálculos para la determinación de la demanda hídrica en el sector doméstico.

CONSUMO HUMANO- Acueducto				
Número de habitantes.	Consumo per cápita l/hab*día	Consumo total (L/día)	Consumo total (m ³ /día)	Consumo total (m ³ /s)
66	125	8250	8,25	9,54861E-05
CONSUMO HUMANO- Q. Veraneros				
Número de habitantes.	Consumo per cápita l/hab*día	Consumo total (L/día)	Consumo total (m ³ /día)	Consumo total (m ³ /s)
75	125	9375	9,375	0,000108507

ANEXO 5. Cálculos para la determinación de la demanda hídrica en el sector pecuario.

DEMANDA PECUARIA			
Tipo de animal	Consumo L/animal*día	Cantidad de animales	m3/s
Bovinos	80	143	0,00013241
Mascotas	1	74	8,5648E-07
Aves de corral	1,2	284	3,9444E-06
Porcinos	8	98	9,0741E-06

ANEXO 6. Matrices de evaluación de impactos para la actividad de minería artesanal.

Matriz causa- efecto

Minería artesanal				ACCIONES				
				Trazado de rutas	Extracción con	Extracción manual	Cargue y transporte de	Acopio de material
ASPECTOS AMBIENTALES								
Componentes	Subcomponente	Factores	Impactos					
FISICO	ABIOTICO	AIRE	Aumento en la concentración de gases y material particulado	x	x	x	x	x
			Aumento en los niveles de ruido ambiental	x	x	x	x	x
		AGUA	Disminución del caudal disponible		x	x		
			Modificación del ciclo hidrológico	x	x		x	
			Alteración de la calidad fisico-química	x	x			
		SUELO	Compactación del suelo	x		x	x	x
			Aumento en la presencia de procesos erosivos, socavación y pérdida de suelo		x	x	x	
		PAISAJE	Modificación del Paisaje	x		x		x

	BIOTICO	FAUNA Y FLORA	Desplazamiento de especies endémicas	x	x	x		
			Remoción y pérdida de la cobertura vegetal	x				
			Destrucción de hábitats	x	x	x		
SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	Generación de empleo	x	x	x	x			
	Generación de molestias y conflictos de interés	x	x	x	x			
	tranquilidad pública	x	x	x	x			

Matriz de ponderación

MINERIA ARTESANAL

Componentes	Subcomponente	Factores	Impactos	PONDERACION	
FISICO	ABIOTICO	AIRE	Aumento en la concentración de gases y material particulado	10%	15%
			Aumento en los niveles de ruido ambiental	5%	
		AGUA	Disminución del caudal disponible	10%	25%
			Modificación del ciclo hidrológico	5%	
			Alteración de la calidad físico-química	10%	
		SUELO	Compactación del suelo	10%	25%
			Aumento en la presencia de procesos erosivos, socavación y pérdida de suelo	15%	
	PAISAJE	Modificación del Paisaje	5%	5%	
	BIOTICO	FAUNA Y FLORA	Desplazamiento de especies endémicas	2%	13%
			Remoción y pérdida de la cobertura vegetal	3%	
Destrucción de hábitats			8%		
SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	ECONÓMICO	EMPLEO	Generación de empleo	10%	17%
		CAPACIDAD DE PAGO	Aumento en los servicios de acueducto	2%	

	SOCIAL	NECESIDADES BÁSICAS	Disminución de la calidad de vida	5%	
Total				100%	100%

Matriz de calificación ambiental

FACTORES		CALIFICACIÓN AMBIENTAL						
		Trazado de rutas						
		Clase	Presen	Evolución	Magn	Durac	CA	Significancia ambiental
AIRE	Aumento en la concentración de gases y material particulado Generación de PM	-1,0	1,0	0,3	0,2	0,3	-1,3	Poco significativa
	Aumento en los niveles de ruido ambiental	-1,0	1,0	0,3	0,3	0,2	-1,2	Poco significativa
AGUA	Disminución del caudal disponible	-1,0	1,0	0,5	0,8	0,5	-4,3	Medianamente significativa
	Modificación del ciclo hidrológico	-1,0	0,7	0,5	0,6	0,4	-4,1	Medianamente significativa
	Alteración de la calidad físico-química	-1,0	1,0	0,6	0,8	0,4	-4,6	Medianamente significativa
SUELO	Compactación del suelo	-1,0	1,0	0,6	0,7	0,7	-5,0	Significativa
Paisaje	Modificación del Paisaje	-1,0	1,0	1,0	0,2	0,4	-0,0	Poco significativa
FAUNA Y FLORA	Desplazamiento de especies endémicas	-1,0	1,0	1,0	0,4	0,7	-4,9	Medianamente significativa
	Remoción y pérdida de la cobertura vegetal	1,0	1,0	1,0	0,6	0,4	-5,4	Significativa
	Dstrucción de hábitats	-1,0	1,0	0,4	0,7	0,4	-2,5	Poco significativa
EMPLEO	Generación de empleo	1,0	1,0	0,9	0,6	0,7	5,9	Significativa

CAPACIDAD DE PAGO	Aumento en los servicios de acueducto	-1,0	1,0	0,6	0,3	0,4	.2,5	Poco significativa
NECESIDADES BÁSICAS	Disminución de la calidad de vida	-1,0	1,0	0,8	0,3	0,4	-2,3	Poco significativa

FACTORES		CALIFICACIÓN AMBIENTAL						
		Extracción con maquinaria						
		Clase	Presen	Evolución	Magn	Durac	CA	Significancia ambiental
AIRE	Aumento en la concentración de gases y material particulado	-1,0	1,0	0,4	0,2	0,3	-1,5	Poco significativa
	Aumento en los niveles de ruido ambiental	-1,0	1,0	0,4	0,2	0,3	-1,5	Poco significativa
AGUA	Disminución del caudal disponible	-1,0	1,0	0,6	0,8	1,0	-6,4	Significativa
	Modificación del ciclo hidrológico	-1,0	1,0	0,5	0,7	0,7	--5,2	Significativa
	Alteración de la calidad físico-química	-1,0	1,0	0,7	0,7	1,0	-6,4	Significativa
SUELO	Aumento en la presencia de procesos erosivos, socavación y pérdida de suelo	-1,0	1,0	1,0	0,7	0,5	-6,4	Significativa
FLORA Y FAUNA	Destrucción de hábitats	-1,0	0,7	1,0	0,7	0,4	-4,3	Medianamente significativa
EMPLEO	Generación de empleo	1,0	1,0	0,9	0,6	0,7	5,9	Significativa

CAPACIDAD DE PAGO	Aumento en los servicios de acueducto	-1,0	1,0	0,3	0,3	0,4	-1,8	Poco significativa
NECESIDADES BÁSICAS	Disminución de la calidad de vida	-1,0	1,0	0,5	0,3	0,4	-2,3	Poco significativa

FACTORES		CALIFICACIÓN AMBIENTAL						
		Extracción manual						
		Clase	Presen	Evolución	Magn	Durac	CA	Significancia ambiental
AIRE	Aumento en la concentración de gases y material particulado	-1,0	1,0	0,5	0,3	0,3	-2,0	Poco significativa
	Aumento en los niveles de ruido ambiental	-1,0	1,0	0,4	0,3	0,3	-1,7	Poco significativa
AGUA	Disminución del caudal disponible	-1,0	0,4	0,2	0,3	0,4	-0,6	Poco significativa
SUELO	Compactación del suelo	-1,0	1,0	0,6	0,4	0,7	-0,0	Poco significativa
	Aumento en la presencia de procesos erosivos, socavación y pérdida de suelo	-1,0	1,0	0,6	0,8	1,0	-6,4	Significativa
Paisaje	Modificación del Paisaje	-1,0	1,0	1,0	0,3	0,4	-3,3	Medianamente significativa
FAUNA Y FLORA	Desplazamiento de especies endémicas	-1,0	0,4	1,0	0,4	0,7	-2,0	Poco significativa
	Destrucción de hábitats	-1,0	0,4	0,7	0,4	0,4	-1,3	Poco significativa
EMPLEO	Generación de empleo	1,0	1,0	0,9	0,6	0,7	5,9	Significativa

CAPACIDAD DE PAGO	Aumento en los servicios de acueducto	-1,0	1,0	0,6	0,3	0,2	-2,1	Poco significativa
NECESIDADES BÁSICAS	Disminución de la calidad de vida	-1,0	1,0	0,5	0,3	0,4	-2,3	Poco significativa

FACTORES		CALIFICACIÓN AMBIENTAL						
		Cargue y transporte de material						
		Clase	Presen	Evolución	Magn	Durac	CA	Significancia ambiental
AIRE	Aumento en la concentración de gases y material particulado	-1,0	1,0	0,5	0,3	0,3	-2,0	Poco significativa
	Aumento en los niveles de ruido ambiental	-1,0	1,0	0,4	0,2	0,3	-1,5	Poco significativa
	Modificación del ciclo hidrológico	-1,0	1,0	0,6	0,7	0,4	-4,1	
SUELO	Compactación del suelo	-1,0	1,0	0,7	0,8	0,7	-2,3	Poco significativa
	Aumento en la presencia de procesos erosivos, socavación y pérdida de suelo	-1,0	1,0	0,5	0,6	0,7	-4,2	Medianamente significativa
EMPLEO	Generación de empleo	1,0	1,0	0,9	0,6	0,7	5,9	Significativa
CAPACIDAD DE PAGO	Aumento en los servicios de acueducto	-1,0	1,0	0,4	0,3	0,4	-2,0	Poco significativa
NECESIDADES BÁSICAS	Disminución de la calidad de vida	-1,0	1,0	0,5	0,3	0,3	-2,0	Poco significativa

FACTORES		CALIFICACIÓN AMBIENTAL						
		Acopio de material						
		Clase	Presen	Evolución	Magn	Durac	total	Significancia ambiental

AIRE	Aumento en la concentración de gases y material particulado	-1,0	1,0	0,8	0,3	0,4	-2,9	Medianamente significativa
	Aumento en los niveles de ruido ambiental	-1,0	1,0	0,4	0,2	0,3	-1,5	Poco significativa
Paisaje	Modificación del Paisaje	-1,0	0,7	1,0	0,4	0,7	-3,4	Medianamente significativa
SUELO	Compactación del suelo	-1,0	1,0	0,6	0,7	0,7	-5,0	Significativa
FAUNA Y FLORA	Desplazamiento de especie endémicas	-1,0	0,3	0,6	0,2	0,3	-0,5	Poco significativa
	Generación de empleo	1,0	1,0	0,9	0,6	0,7	5,9	Significativa
	Generación de molestias y conflictos de interés	-1,0	0,3	0,5	0,3	0,4	-0,7	Poco significativa
	tranquilidad pública	-1,0	0,3	0,4	0,3	0,4	-0,6	Poco significativa

EXTRACCIÓN DE MATERIAL DE ARRASTRE				PONDERACIÓN	ACCIONES								Σ Imp Absoluto (-)	Σ Imp Relativo (-)	Σ Imp Absoluto (+)	Σ Imp Relativo (+)			
					Trazado de rutas		Extracción con maquinaria		Extracción manual		Cargue y transporte de material						Acopio de material		
COMPONENTES	SUBCOMPONENTES	FACTORES	IMPACTOS		I. Abs	I. Rel	I. Abs	I. Rel	I. Abs	I. Rel	I. Abs	I. Rel	I. Abs	I. Rel					
BIÓTICO	AIRE		Aumento en la concentración de GEI y material particulado	5%	-1,32	-0,066	-1,46	-0,073	-1,95	-0,0975	-1,95	-0,0975	-2,88	-0,144	-9,56	-0,478			
			Aumento en los niveles de ruido ambiental	5%	-1,23	-0,06	-6,36	-0,32			-1,46	-0,07	-1,46	-0,07	-10,51	-0,53			
	AGUA		Disminución del caudal disponible	10%	-4,30	-0,43	-6,36	-0,64	-0,65	-0,06					-11,308	-1,13			
			Modificación del ciclo hidrológico	5%	-2,31		-4,55									-6,86			
	SUELO		Alteración de la calidad físico-química	10%	-4,56	-0,46	-6,43	-0,64			-4,14	-0,41			-15,13	-1,51			
			Compactación del suelo	10%	-5,04	-0,50					-6,02	-0,60			-11,06	-1,11			
	FAUNA Y FLORA			Aumento en la presencia de procesos erosivos, socavación y pérdida de suelo	15%	-5,04	-0,76			-6,36	-0,95	-4,20	-0,63			-15,6	-2,34		
				Modificación del Paisaje	5%	-2,60	-0,13			-3,30	-0,17			-3,43	-0,17	-9,33	-0,47		
				Desplazamiento de especies endémicas	2%	-4,90	-0,10			-1,96	-0,04			-0,52	-0,01	-7,382	-0,15		
				Remoción y pérdida de la cobertura vegetal	3%	-5,40	-0,16									-5,4	-0,16		
SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL	Económico	EMPLEO	Destrucción de hábitats	8%	-3,16	-0,25	-4,27	-0,34	-1,26	-0,10					-8,694	-0,70			
			Generación de empleo	10%	5,88	0,59	5,88	0,59	5,88	0,59	5,88	0,59	5,88	0,59			29,40	2,94	
	Social	SALUD	Disminución de la calidad de vida	5%	-2,88	-0,14	-2,25	-0,11	-2,25	-0,11	-1,95	-0,10	-0,61	-0,03	-9,942	-0,50			
Total				95%	-39,32	-2,52	-27,63	-1,57	-13,71	-0,98	-15,88	-1,37	-3,70	0,14	-129,64	-9,24	29,40	2,94	

Matriz evaluación acumula

ANEXO 7. Matrices de evaluación de impactos para la actividad agrícola.

Matriz causa- efecto**CAUSA Y EFECTO**

				ACCIONES								
AGRICULTURA TRADICIONAL				Adaptación del terreno	Aireación y oxigenación del terreno	Fertilización del suelo	Siembra del cultivo	Regadío	Manejo integrado de plagas y enfermedades	Cosecha		
ASPECTOS AMBIENTALES												
Componentes	Subcomponente	Factores	Impactos									
FISICO	ABIOTICO	AIRE	Emisiones de GEI (CO ₂ , N ₂ O, metano)	x		x	x		x			
			Dispersión y volatilización de contaminantes	x		x	x		x			
		AGUA	Disminución del recurso				x	x	x	x	x	
			Eutrofización de los cuerpos hídricos				x		x	x		
			Alteración del ciclo hidrológico			x		x	x	x	x	
			Aumento en las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas					x		x	x	
		SUELO	Alteración de las características físicas y químicas			x	x	x	x	x	X	x
			Aumento en los procesos de			x	x	x			x	

			erosión , acidificación y contaminacion del suelo								
			Generación de residuos fitosanitarios, fertilizantes, biomasa residual y residuos inertes	x		x	x		x		
		PAISAJE		Modificación del Paisaje	x	x		x		x	
	BIÓTICO	FAUNA Y FLORA		Reduccion de la diversidad genética agropecuaria	x					x	
				Remoción y pérdida de cobertura vegetal	x						
				Pérdida de la biodiversidad	x					x	
				Modificación de las cadenas tróficas acuáticas			x		x	x	
				Afectaciones a la flora riparia			x			x	
	SOCIO- ECONÓMICO Y CULTURAL	Generación de empleo	x	x	x	x	x	x	x		
		Aumento en la diversidad de productos agrícolas				x			x		
Riesgos a la salud		x		x			x				
Detrimiento de la calidad de vida		x		x			x				

Matriz de ponderación

AGRICULTURA TRADICIONAL

Componentes	Subcomponente	Factores	Impactos	PONDERACION
-------------	---------------	----------	----------	-------------

FISICO	ABIOTICO	AIRE	Emisiones de GEI (CO2, N2O, metano)	3%	6%
			Dispersión y volatilización de contaminantes	3%	
		AGUA	Disminución del recurso	10%	25%
			Eutrofización de los cuerpos hídricos	5%	
			Alteración del ciclo hidrológico	5%	
			Aumento en las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas	5%	
		SUELO	Alteración de las características físicas y químicas	10%	17%
			Aumento en los procesos de erosión , acidificación y contaminación del suelo	5%	
			Generación de residuos fitosanitarios, fertilizantes, biomasa residual y residuos inertes	2%	
		PAISAJE	Modificación del Paisaje	5%	5%
	BIÓTICO	FAUNA Y FLORA	Reducción de la diversidad genética agropecuaria	5%	22%
			Remoción y pérdida de cobertura vegetal	5%	
			Pérdida de la biodiversidad	5%	
			Modificación de las cadenas tróficas acuáticas	2%	
			Afectaciones a la flora riparia	5%	

SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	Generación de empleo	10%	25%	
	Aumento en la diversidad de productos agrícolas	5%		
	Riesgos a la salud	5%		
	Detrimiento de la calidad de vida	5%		
Total			100%	100%

MATRICES DE CALIFICACIÓN AMBIENTAL

FACTORES		CALIFICACIÓN AMBIENTAL						
		Aireación y oxigenación del terreno						
		Clase	Presen	Evoluc	Magn	Durac	CA	Significancia del impacto
SUELO	Alteración de las características físicas y químicas	1,0	1,0	0,6	0,7	0,6	4,7	Medianamente significativa
	Aumento en los procesos de erosión, acidificación y contaminación del suelo	1,0	0,7	0,4	0,6	0,5	2,2	Poco significativa
PAISAJE	Modificación del Paisaje	1,0	0,4	0,4	0,3	0,4	0,8	Poco significativa
SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	Generación de empleo	1,0	1,0	0,5	0,3	0,4	2,3	Poco significativa

FACTORES		CALIFICACIÓN AMBIENTAL						
		Adaptación del terreno						
		Clase	Presen	Evoluc	Magn	Durac	CA	Significancia del impacto
AIRE	Emisiones de GEI (CO ₂ , N ₂ O, metano)	1	0,7	0,6	0,4	0,6	2,436	Poco significativa
	Dispersión y volatilización de contaminantes	1	0,7	0,6	0,5	0,6	2,73	Medianamente significativa

AGUA	Alteración del ciclo hidrológico	1	1,0	0,8	0,6	1,0	6,4	Significativa
SUELO	Alteración de las características físicas y químicas	1	1,0	0,7	0,6	1,0	5,9	Significativa
	Aumento en los procesos de erosión, acidificación y contaminación del suelo	1	1,0	0,7	0,4	1,0	5,0	Medianamente significativa
	Generación de residuos fitosanitarios, fertilizantes, biomasa residual y residuos inertes	1	1,0	0,4	0,4	0,4	2,3	Poco significativa
PAISAJE	Modificación del Paisaje	1	1,0	1,0	1,0	1,0	10,0	Muy significativa
FAUNA Y FLORA	Reducción de la diversidad genética agropecuaria	1	0,7	0,4	0,6	0,4	2,0	Poco significativa
	Remoción y pérdida de cobertura vegetal	1	1,0	0,7	0,6	0,4	4,1	Medianamente significativa
	Pérdida de la biodiversidad	1	1,0	0,4	0,7	0,6	3,8	Medianamente significativa
SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	Generación de empleo	1	1,0	0,8	0,6	0,7	5,5	Significativa
	Riesgos a la salud	1	0,7	0,3	0,4	0,4	1,4	Poco significativa
	Detrimiento de la calidad de vida	1	0,7	0,4	0,4	0,4	1,6	Poco significativa

FACTORES	CALIFICACIÓN AMBIENTAL
	Fertilización del suelo

		Clase	Presen	Evoluc	Magn	Durac	CA	Significancia del impacto
AIRE	Emisiones de GEI (CO ₂ , N ₂ O, metano)	1,0	1,0	0,6	0,5	0,6	3,9	Medianamente significativa
	Dispersión y volatilización de contaminantes	1,0	1,0	0,6	0,4	0,6	3,5	Medianamente significativa
AGUA	Disminución del recurso	1,0	0,4	0,8	0,3	1,0	1,9	Poco significativa
	Eutrofización de los cuerpos hídricos	1,0	1,0	0,7	0,4	1,0	5,0	Poco significativa
	Aumento en las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas	1,0	1,0	0,7	0,5	1,0	5,5	Medianamente significativa
SUELO	Alteración de las características físicas y químicas	1,0	1,0	0,4	0,4	0,4	2,3	Significativa
	Aumento en los procesos de erosión, acidificación y contaminación del suelo	1,0	0,7	1,0	0,3	1,0	3,6	Poco significativa
	Generación de residuos fitosanitarios, fertilizantes, biomasa residual y residuos inertes	1,0	0,7	0,4	0,5	0,4	1,8	Medianamente significativa
FLORA Y FAUNA	Modificación de las cadenas tróficas acuáticas	1,0	0,7	0,7	0,6	0,4	2,9	Poco significativa
	Afectaciones a la flora riparia	1,0	0,7	0,4	0,5	0,6	2,2	Medianamente significativa
	Generación de empleo	1,0	1,0	0,8	0,4	0,7	4,3	Poco significativa

SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	Riesgos a la salud	1,0	0,7	0,3	0,3	0,4	1,3	Medianamente significativa
	Detrimiento de la calidad de vida	1,0	1	0,4	0,5	0,4	2,6	

FACTORES		CALIFICACIÓN AMBIENTAL						
		Siembra del cultivo						
		Clase	Presen	Evoluc	Magn	Durac	CA	Significancia del impacto
AIRE	Emisiones de GEI (CO ₂ , N ₂ O, metano)	1	0,7	0,6	0,4	0,6	2,436	Poco significativa
	Dispersión y volatilización de contaminantes	1	0,6	0,6	0,4	0,6	2,088	Poco significativa
AGUA	Disminución del recurso	1	0,7	0,4	0,5	0,8	2,7	Medianamente significativa
	Alteración del ciclo hidrológico	1	0,7	0,6	0,3	0,7	2,4	Poco significativa
SUELO	Alteración de las características físicas y químicas	1	1,0	0,4	0,5	0,7	3,5	Medianamente significativa
	Generación de residuos fitosanitarios, fertilizantes, biomasa residual y residuos inertes	1	0,4	0,9	0,4	0,5	1,6	Poco significativa
PAISAJE	Modificación del Paisaje	1	0,4	0,6	0,3	0,4	1,0	Poco significativa
FAUNA Y FLORA	Afectaciones a la flora riparia	1,0	0,7	0,7	0,8	0,6	4,0	Poco significativa
PAISAJE	Modificación del Paisaje	1,0	0,4	0,6	0,4	0,4	1,152	Medianamente significativa
SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	Generación de empleo	1	1,0	0,4	0,6	0,4	2,9	Poco significativa
	Aumento en la variedad de	1	0,7	0,3	0,6	0,5	1,9	Poco significativa

	productos agrícolas							
--	---------------------	--	--	--	--	--	--	--

FACTORES		CALIFICACIÓN AMBIENTAL						
		Regadío						
		Clase	Presen	Evoluc	Magn	Durac	CA	Significancia del impacto
AGUA	Disminución del recurso	1,0	1,0	0,5	0,8	0,4	4,0	Medianamente significativa
	Eutrofización de los cuerpos hídricos	1,0	1,0	0,4	0,9	0,6	4,3	Medianamente significativa
	Alteración del ciclo hidrológico	1,0	1,0	0,5	0,6	0,5	3,6	Medianamente significativa
	Aumento en las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas	1,0	1,0	0,4	0,8	0,7	4,3	Medianamente significativa
SUELO	Alteración de las características físicas y químicas	1,0	1,0	0,4	0,4	0,5	2,6	Medianamente significativa
FLORA Y FAUNA	Modificación de las cadenas tróficas acuáticas	1,0	1,0	0,3	0,6	0,6	3,1	Medianamente significativa
SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	Generación de empleo	1,0	1,0	0,4	0,5	0,4	2,6	Medianamente significativa

FACTORES		CALIFICACIÓN AMBIENTAL						
		Manejo integrado de plagas y enfermedades						
		Clase	Presen	Evoluc	Magn	Durac	total	Significancia del impacto
AIRE	Emisiones de GEI (CO ₂ , N ₂ O, metano)	1,0	1,0	0,6	0,8	0,6	5,2	Significativa
	Dispersión y volatilización de contaminantes	1,0	1,0	0,6	0,7	0,6	4,7	Medianamente significativa
AGUA	Disminución del recurso	1,0	0,7	0,8	0,5	1,0	4,1	Medianamente significativa

	Eutrofización de los cuerpos hídricos	1,0	1,0	0,7	0,7	1,0	6,4	Significativa
	Alteración del ciclo hidrológico	1,0	1,0	0,7	0,6	1,0	5,9	Significativa
	Aumento en las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas	1,0	1,0	0,4	0,8	0,4	3,4	Medianamente significativa
SUELO	Alteración de las características físicas y químicas	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	7,2	Significativa
	Aumento en los procesos de erosión, acidificación y contaminación del suelo	1,0	1,0	0,4	0,7	0,4	3,2	Medianamente significativa
	Generación de residuos fitosanitarios, fertilizantes, biomasa residual y residuos inertes	1,0	0,7	0,7	0,5	0,4	2,6	Medianamente significativa
FAUNA Y FLORA	Reducción de la diversidad genética agropecuaria	1,0	1,0	0,4	0,5	0,6	3,2	Medianamente significativa
	Pérdida de la biodiversidad	1,0	0,3	0,8	0,6	0,7	1,6	Poco significativa
	Modificación de las cadenas tróficas acuáticas	1,0	1,0	0,3	0,7	0,4	2,7	Medianamente significativa
EMPLEO	Generación de empleo	1,0	1,0	0,4	0,5	0,4	2,6	Medianamente significativa
ALIMENTACIÓN	Aumento en la diversidad de productos agrícolas	1,0	1,0	0,3	0,8	1,0	4,7	Medianamente significativa

SALUD	Aumento de enfermedades respiratorias	1,0	0,7	0,4	0,8	1,0	3,7	Medianamente significativa
	Aumento de enfermedades gastrointestinales	1,0	0,7	0,4	0,8	1,0	3,7	Medianamente significativa

FACTORES		CALIFICACIÓN AMBIENTAL						
		Cosecha						
		Clase	Presen	Evoluc	Magn	Durac	total	Significancia del impacto
AGUA	Disminución del recurso	1,0	0,3	0,4	0,3	0,4	0,6	Poco significativa
	Alteración del ciclo hidrológico	1,0	0,4	0,3	0,4	0,4	0,8	Poco significativa
SUELO	Alteración de las características físicas y químicas	1,0	0,4	0,4	0,6	0,8	1,6	Poco significativa
PAISAJE	Modificación del Paisaje	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,6	Poco significativa
EMPLEO	Generación de empleo	1,0	0,6	0,5	0,8	0,4	2,4	Poco significativa
ALIMENTACIÓN	Aumento en la diversidad de productos agrícolas	1,0	0,8	0,4	0,8	0,5	3,0	Medianamente significativa

EXTRACCIÓN DE MATERIAL DE ARRASTRE				PONDERACIÓN	ACCIONES												Σ Imp Absoluto (-)	Σ Imp Relativo (-)	Σ Imp Absoluto (+)	Σ Imp Relativo (+)				
					Adaptación del terreno		Aireación y oxigenación del terreno		Fertilización del suelo		Siembra del cultivo		Regadío		Manejo integrado de plagas y enfermedades						Cosecha			
Componentes	Subcomponente	Factores	Impactos		I. Abs	I. Rel	I. Abs	I. Rel	I. Abs	I. Rel	I. Abs	I. Rel	I. Abs	I. Rel	I. Abs	I. Rel								
FÍSICO	ABIÓTICO	AIRE	Emisiones de GEI (CO ₂ , N ₂ O, metano)	3%	-2,44	-0,0731			-3,9	-0,117	-2,436	-0,07308			-5,16	-0,1548			-14,54	-0,41796				
			Dispersión y volatilización de contaminantes	3%	-2,73	-0,0819			-3,48	-0,1044	-2,09	-0,06264			-4,74	-0,1422			-13,04	-0,39114				
		AGUA	Disminución del recurso	10%		0			-3,18	-0,318	-3,40	-0,3395	-10	-1,00	-4,06	-0,406	-0,612	-0,06		-22,06	-2,1247			
			Eutrofización de los cuerpos hídricos	5%		0			-4,96	-0,248			-4,32	-0,22	-6,43	-0,3215				-15,71	-0,7855			
			Alteración del ciclo hidrológico	5%	-6,36	-0,318					-2,35	-0,1176	-3,60	-0,18	-5,94	-0,297	-0,82	-0,04		-20,70	-0,9534			
		SUELO	Aumento en las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas	5%		0			-5,45	-0,27			-4,34	-0,22	-3,44	-0,172				-13,23	-0,6615			
			Alteración de las características físicas y químicas	10%	-5,94	-0,594	-4,74	-0,47	-2,32	-0,23	-3,50	-0,35	-2,62	-0,26	-3,44	-0,344	-1,63	-0,16		-24,19	-2,4192			
			Aumento en los procesos de erosión, acidificación y contaminación del suelo	5%	-4,96	-0,248	-2,23	-0,11	-3,57	-0,18					-7,2	-0,36				-19,58	-0,8978			
			Generación de residuos fitosanitarios, fertilizantes, biomasa residual y residuos inertes	2%	-2,32	-0,0464			-1,82	-0,04	1,61	0,03216			-2,555	-0,0511				-5,09	-0,10174			
		PAISAJE	Modificación del Paisaje	5%	-10,00	-0,5	-0,82	-0,04			-1,15	-0,0576					-1,63	-0,08		-13,59	-0,67965			
	BIÓTICO	FAUNA Y FLORA	Reducción de la diversidad genética agropecuaria	2%	-1,43	-0,0286									-3,2	-0,064				-4,63	-0,09256			
			Remoción y pérdida de cobertura vegetal	8%	-10,00	-0,8															-10,00	-0,8		
			Pérdida de la biodiversidad	5%	-5,34	-0,267										-4,606	-0,2303				-9,95	-0,4973		
			Modificación de las cadenas tróficas acuáticas	2%		0			4,00	0,08			-6,00	-0,12	-5,72	-0,1144				-5,32	-0,15432			
Afectaciones a la flora riparia			5%		0			-4,00	-0,20	-4,00										-5,02	-0,2002			
SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	ECONÓMICO	EMPLEO	Generación de empleo	10%	5,46	0,546	2,25	0,23	4,34	0,43	2,88	0,288	2,60	0,26	2,6	0,26	2,40	0,24	22,53	2,253	32,92	3,96		
		ALIMENTACIÓN	Aumento en la diversidad de productos agrícolas	5%		0					1,93	0,0966					2,99	0,15	4,92	0,2462	0,38	0,4924		
	SOCIAL	SALUD	Aumento de enfermedades respiratorias	5%	-1,43	-0,0714			-1,28	-0,06					-4,68	-0,234				-6,68	-0,36945			
			Aumento de enfermedades gastrointestinales	5%	-1,62	-0,0812			-2,60	-0,13					-5,24	-0,262				-9,46	-0,4732			
TOTAL				100%	- 49,11	- 2,56	- 5,53	- 0,40	- 28,22	- 1,39	- 12,51	- 0,58	- 28,28	- 1,74	- 63,81	- 2,89	0,71	0,04	- 185,34	- 9,52	33,30	4,45		

Matriz acumulativa