

ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS ACTIVIDADES  
SOCIOECONÓMICAS EN LA CALERA: HACIA UNA GESTIÓN RESPONSABLE Y  
SOSTENIBLE DEL RECURSO HIDRICO

ANA MARIA VARGAS ROJAS

PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL

DIRECTOR

HARVEY ANDRES MILQUEZ SANABRIA

INGENIERO QUIMICO

MSC. INGENIERIA QUIMICA

PHD. CIENCIAS - ENERGIAS RENOVABLES

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD INGENIERIA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C

2024

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

Firma del director

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C. septiembre de 2024

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. Mario Posada García-Peña**

Consejero Institucional

**Dr. Luis Jaime Posada García-Peña**

Vicerrectora Académica

**Dra. María Fernanda Vega de Mendoza**

Vicerrector Administrativo y Financiero

**Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro**

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión

**Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo**

Secretario general

**Dr. José Luis Macías Rodríguez**

Decano De La Facultad De Ingenierías

**Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto**

Directora del Programa

**Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

## DEDICATORIA

A mis queridos padres, por su amor incondicional, apoyo constante y por creer en mí en cada paso de este camino. Su sacrificio y esfuerzo han sido la base de todos mis logros.

A mi hermano, por ser mi compañero de vida, mi amigo y mi motivación constante. Tu presencia ha sido una fuente de fuerza y alegría en mi vida.

A mi esposo, por su paciencia, comprensión y apoyo inquebrantable. Gracias por estar a mi lado en cada momento, celebrando mis éxitos y brindándome consuelo en los desafíos. Tu amor y apoyo han sido fundamentales para alcanzar este objetivo.

Con todo mi amor y gratitud, les dedico este trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, quienes con su amor, apoyo y sacrificio me han permitido llegar hasta este punto. Su confianza en mis capacidades y su constante aliento me han sido fundamentales para superar los desafíos a lo largo de mi formación académica. A ustedes, papá y mamá, les dedico este logro con todo mi corazón.

Asimismo, deseo agradecer a la Fundación Universidad de América y a la Facultad de Ingeniería, especialmente al Programa Ambiental, por proporcionarme el conocimiento, los recursos y el entorno académico necesario para el desarrollo de esta monografía.

Finalmente, quiero extender mi gratitud a todos los profesores y compañeros que, con su enseñanza y colaboración, contribuyeron significativamente a mi crecimiento profesional y personal. Su dedicación y compromiso con la excelencia académica han sido una inspiración constante en mi trayectoria educativa.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1 Antecedentes	16
1.2 Justificación	17
1.3 Objetivo general	19
1.4 Objetivos específicos	19
2. METODOLOGÍA	20
2.1 Fase I: reconocimiento del uso de los recursos hídricos de la zona	20
<i>2.1.1 Revisión documental</i>	20
<i>2.1.2 Entrevistas a la comunidad</i>	20
<i>2.1.3 Análisis de datos censales</i>	20
2.2 Fase II: identificación de los recursos naturales requeridos por la población aledaña	20
<i>2.2.1 Muestreo de agua</i>	20
<i>2.2.2 Inventario de flora y fauna</i>	20
<i>2.2.3 Estudio de uso del suelo</i>	21
2.3 Fase III: recopilación de información hidrológica del sector	21
<i>2.3.1 Análisis hidrológico</i>	21
<i>2.3.2 Modelado hidrológico</i>	21
<i>2.3.3 Evaluación de los impactos ambientales</i>	21
3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS	22
3.1 Fase I: reconocimiento del uso de los recursos hídricos de la zona	22

3.1.1 Reconocimiento del uso de los recursos hídricos de la zona por los habitantes del sector urbano	22
3.1.2 Identificación de las actividades socioeconómicas del sector	29
3.2 Fase II: identificación de los recursos naturales requeridos por la población aledaña	31
3.2.1 Identificación de los recursos naturales requeridos por la población aledaña	31
3.3 Fase III: recopilación de información hidrológica del sector	36
3.3.1 Recopilación de información hidrológica del sector	36
4. CONCLUSIONES	53
REFERENCIAS	56

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 <i>Mapa de Provincias 2017</i>	12
Figura 2 <i>Población de la Calera 2023</i>	13
Figura 3 <i>Unidades de vivienda con personas presentes 2018</i>	24
Figura 4 <i>Unidades de Vivienda con Servicio de alcantarillado 2018</i>	26
Figura 5 <i>Unidades de vivienda con servicio de acueducto</i>	26
Figura 6 <i>Áreas según su uso Municipio de La Calera</i>	28
Figura 7 <i>Áreas según el conflicto de uso Municipio de La Calera</i>	29
Figura 8 <i>Crecimiento urbano del municipio de La Calera año 2017</i>	32
Figura 9 <i>Composición de la Demanda – Bogotá y Municipios</i>	35
Figura 10 <i>Comparación oferta – demanda</i>	35
Figura 11 <i>Dato Hídrico Sistema Chingaza</i>	37
Figura 12 <i>Fotografía ubicación embalse San Rafael Año 12-1985</i>	38
Figura 13 <i>Fotografía ubicación embalse San Rafael Año 1999</i>	39
Figura 14 <i>Cubierta Arbórea 2000 – 2020</i>	44
Figura 15 <i>Área Total Bosque Primario 2002 – 2023</i>	45
Figura 16 <i>Perdida de cobertura arbórea por incendios forestales 2002 – 2023</i>	46
Figura 17 <i>Emisiones de CO2 2001 – 2023</i>	47
Figura 18 <i>Flujo de CO2 2001 – 2023</i>	48

## RESUMEN

La concentración de actividades en la ciudad de Bogotá ha incrementado el ritmo de crecimiento demográfico sobrepasando los límites de la capital, lo que ha generado externalidades o traslados a los municipios aledaños.

De los municipios circundantes a Bogotá que están experimentando un crecimiento significativo, se encuentra La Calera, viviendas construidas en la zona, correspondiendo principalmente a urbanizaciones que implican el aumento de la demanda de servicios públicos y la generación de vertimientos, según el censo realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2018), en el municipio se identificaron en total 9212 viviendas con personas presentes lo que representa un total de 23.208 personas y 9349 hogares representando más del 60% de la población total de los municipios aledaños.

La localización de viviendas y la accesibilidad a los servicios públicos no se encuentra debidamente regulada, y por tanto las construcciones localizadas en lugares de baja cobertura de servicios públicos como acueducto y alcantarillado, obliga a las constructoras a implementar sistemas de tratamiento de agua residual convencionales, tales como pozos sépticos o plantas de tratamiento primarias con el fin de cumplir con las obligaciones requeridas por la autoridades para el otorgamiento de una licencia de construcción; generando un impacto ambiental que constituye una alteración producida por la acción del hombre sobre las condiciones normales del entorno, esto genera un efecto sobre el medio ambiente, una ruptura del equilibrio medio ambiental, como contaminación del aire, agua (mares, ríos, aguas subterráneas), suelo, generación de residuos, empobrecimiento de los ecosistemas y pérdida de biodiversidad

Bajo el cumplimiento del artículo 2 de la Constitución Política donde se establece "son fines esenciales del Estado: servir a la comunidad promover la prosperidad general y garantizar la efectividad de los principios, derechos y deberes consagrados en la constitución". Y en función al debido cumplimiento de esta y al crecimiento poblacional se desarrolla el proyecto de un embalse con capacidad de almacenamiento de 250 millones de metros cúbicos de agua, que prestara la posibilidad de abastecimiento de agua para Bogotá hasta más allá del año 2020. (Acueducto Agua y Alcantarillado de Bogota, 2018)

Y la adecuación de los sistemas de abastecimiento del recurso a la comunidad como lo son los embalses que almacenan volúmenes grandes de agua con múltiples disposiciones, como la generación de energía, no se tiene contemplado los efectos no del todo positivos, que impiden el desarrollo sustentable, por ejemplo, la fragmentación los ecosistemas fluviales, las migraciones, o los movimientos de las especies que habitan en el área intervenido.

Pues estos sistemas funcionan de manera idónea siempre y cuando se ejecuten buenos diseños y se manejen con toda la responsabilidad, diligencia y cuidado los criterios ambientales y operacionales.

**Palabras clave:** Desarrollo Sustentable, Sistema de abastecimiento, Problemáticas ambientales, Participación ciudadana, Recurso Hídrico



por el 1.0% de la población total de Cundinamarca en 2023. La Figura 2. muestra la población estimada de La Calera, Cundinamarca, en 2023, esta presenta la proyección de la población del municipio de La Calera para el año 2023, proporcionando un contexto demográfico para entender el crecimiento poblacional y su impacto en los recursos hídricos y el medio ambiente.

**Figura 2**

*Población de la Calera 2023*



**Nota.** Proyección de la población del municipio de La Calera para el año 2023, Tomado de: La estructura de la referencia Departamento De Cundinamarca, ALCALDÍA MUNICIPAL DE LA CALERA, 2023, [t.ly/wk9Oy](https://t.ly/wk9Oy)

En la región objeto de este estudio, se encuentra entre los 2600 y 3000 m s. n. m., por ende, se tiene pisos térmicos frío y páramo. La economía es variada y se cuenta con agricultura tradicional de papa, maíz, cubios, zanahorias, etc. en cuanto a ganadería de vacunos, caballos, ovejas, cabras, piscicultura de truchas etc. Por otro lado hay una importante explotación minera de piedra caliza y areneras etc. (Alcaldia municipal de La Calera, 2023), adicionalmente dentro de la jurisdicción de La Calera está localizado el

reservorio de aguas del Acueducto de Bogotá: Embalse San Rafael y un acceso al Embalse de Chuza, el cual se surte de la Laguna Chingaza, localizada en el municipio de Fómeque, Cundinamarca, pertenecientes al subsistema de abastecimiento de agua de la Empresa de Acueducto de Bogotá y municipios cercanos.

Se encuentran tipos de vegetación de la zona andina y zona de páramo. Estos bosques representan algunos de los ecosistemas naturales, pero en gran parte del área han sido reemplazados por agro sistemas (cultivos, potreros) definidos en gran parte por el hombre, o por restos que representan ecosistemas seminaturales modificados por la acción humana (tala, quema); la actividad principal en la región se basa en la producción agroindustrial y agropecuaria (floricultura y ganadería), fuertemente relacionada con la explotación minera.

El sistema predial de La Calera, Guasca, Sopó, Sesquilé y Guatavita está propenso a la subdivisión por la demanda de la migración proveniente de Bogotá, con el fin de establecer fincas de recreo, las sucesiones legales de tipo familiar, la parcelación con fines de urbanización, y loteos sobre el corredor vial por servicios de ruta, dedicados a actividades socioeconómicas.

Las actividades de uso de la tierra, han transformado una gran proporción de la superficie terrestre del planeta, el impacto del uso humano de la tierra, altera la estructura y funcionamiento de los ecosistemas terrestres, generando cambios en la composición atmosférica y en los ecosistemas acuáticos, Klein (2021) cuenta que entre 1990 y 2015, se observó una de las causas naturales que afectaron el equilibrio del régimen hidrológico; en este período, hubo una tendencia al calentamiento en el Océano Atlántico, mientras que el Pacífico Ecuatorial se enfrió, dando paso a un aumento en la formación de nubes y, en consecuencia, en la cantidad de lluvia y el nivel de inundaciones, generando en juego un tercer océano cuando el cambio climático de origen humano, y en las últimas seis décadas, el agujero en la capa de ozono y la creciente emisión de gases de efecto invernadero han provocado un movimiento en el cinturón de viento del hemisferio sur hacia la Antártida. El resultado de este fue un fenómeno de aguas cálidas del Océano Índico al Atlántico, lo que calentó el océano que baña Brasil y contribuyó al aumento de las inundaciones en la Amazonía. (Klein, 2021)

El agua, es un recurso esencial para la vida humana y el desarrollo económico de la sociedad, se encuentra en el centro de múltiples desafíos ambientales y sociales en todo el mundo. En Colombia, como en muchas otras naciones, la disponibilidad y calidad del agua son preocupaciones fundamentales. El acceso equitativo al agua potable es un derecho básico reconocido por el Estado colombiano, sin embargo, las disparidades en la prestación de servicios entre las áreas urbanas y rurales persisten. Esta brecha en la cobertura de servicios públicos destaca la necesidad urgente de buscar soluciones que garanticen un suministro de agua de calidad para todos los ciudadanos, independiente de su ubicación geográfica.

En este contexto, los embalses desempeñan un papel crucial en el abastecimiento de agua para el consumo humano. El embalse San Rafael, ubicado en la cuenca del río Teusacá, representa un ejemplo significativo de infraestructura hidráulica diseñada para satisfacer las demandas de agua en la región. Sin embargo, su construcción y operación plantean desafíos ambientales, económicos y sociales que requieren una evaluación cuidadosa, en el departamento de Cundinamarca, la gestión del agua implica la supervisión de una extensa red de fuentes abastecedoras que atienden tanto a áreas urbanas como rurales. Estas fuentes, que incluyen sistemas de acueducto superficiales y subterráneos, son vitales para garantizar un suministro constante de agua potable a la población. Por lo tanto, el presente documento tiene como enfoque la visualización de los impactos socio ambientales asociados con el embalse San Rafael y las plantas de tratamiento de agua en la región de la sabana de Bogotá.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La construcción y operación de infraestructuras hidráulicas, como el embalse San Rafael, plantean un conjunto de desafíos. Si bien estos proyectos están destinados a garantizar el suministro de agua potable, su impacto ambiental y social puede ser significativo. La modificación del entorno natural para la construcción de embalses puede alterar ecosistemas locales, afectando la biodiversidad y los medios de vida de las comunidades aledañas

Uno de los principales desafíos radica en las disparidades en el acceso al agua potable entre las áreas urbanas y rurales. Aunque el abastecimiento de agua potable es un servicio público obligatorio, según lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo, gran parte de la población colombiana, especialmente en zonas rurales, carece de acceso a servicios de calidad. Esta brecha en la cobertura de servicios públicos crea desigualdades socioeconómicas y de salud, exacerbando las condiciones de vulnerabilidad de las comunidades marginadas.

Además, la gestión de las fuentes abastecedoras de agua en Cundinamarca presenta desafíos adicionales. Como la dependencia de sistemas superficiales y subterráneos para el suministro de agua potable lo que requiere una gestión cuidadosa para prevenir la contaminación y garantizar la disponibilidad a largo plazo.

En este contexto, es crucial abordar de manera integral los problemas relacionados con la gestión del agua en Colombia. Se requieren estrategias que promuevan el acceso equitativo al agua potable, protejan los ecosistemas acuáticos y fomenten la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos.

El análisis detallado de los impactos socio ambientales asociados con las infraestructuras hidráulicas y la gestión de fuentes abastecedoras de agua es fundamental para identificar soluciones efectivas y promover un desarrollo sostenible en el país

### **1.1 Antecedentes**

La evaluación de la calidad hídrica y los impactos socio ambientales de los embalses en Cundinamarca han sido objeto de diversos estudios que han contribuido a comprender lo desafíos asociados con la gestión del agua en la región.

Barriga Rodriguez (2019) realizó una evaluación exhaustiva de la calidad del agua en los embalses de la región, investigando sus antecedentes históricos, características generales y la cantidad y calidad del recurso disponible. A través de un muestreo detallado del agua en embalses críticos, el estudio buscó verificar su calidad y asociarla con impactos socio ambientales. (p. 45)

Oviedo Ocaña (2018) profundizó en los efectos de las hidroeléctricas en los ecosistemas acuáticos, señalando cómo la retención de agua en los embalses modifica el régimen hidrológico y afecta procesos como la escorrentía y la erosión del suelo, así como la generación de gases de efecto invernadero y la eutrofización del agua (p.191)

Rey Herrera y Solarte Torres (2020) resaltan el desarrollo económico de la región a través de la historia, el enfoque socioeconómico de la población al paso del tiempo y su principal fuente de crecimiento económica a través de la industria cementera, donde Económicamente el municipio ha dependido de las actividades agropecuarias. Sin embargo, desde mediados del Siglo XX aparecieron procesos de industrialización, manifestados específicamente en el sector nororiental de la cabecera municipal, con la construcción de dos plantas de cemento y sus correspondientes minas de caliza. (p. 108)

Winemiller (2016) enuncia que los proyectos de construcción de represas hidroeléctricas sobreestiman los beneficios económicos y subestiman los efectos de largo alcance sobre la biodiversidad y las pesquerías de importancia. (p. 128)

Ziv (2012) menciona el impacto generado por la adecuación de las represas en la cuenca del río Mekong, en el Himalaya tibetano en China, por el bloqueo de las rutas críticas de migración de peces entre las llanuras aluviales aguas abajo y los afluentes aguas arriba del río, estimando las pérdidas de biomasa y biodiversidad de peces en numerosos escenarios de represas utilizando un modelo ecológico simple de migración de peces; permitiendo detallar las compensaciones entre la ubicación de las represas, la producción de energía y los impactos en los recursos pesqueros. (p. 5614)

## **1.2 Justificación**

Con este proyecto enfocado en el municipio de La Calera y su entorno geográfico cercano considerando tanto el paisaje natural como las zonas urbanizadas, se busca

abarcar en los impactos que ocasionan las actividades socioeconómicas en el medio ambiente principalmente el turismo, y actividades agrícolas propias de la zona, y la construcción de viviendas debido al crecimiento poblacional.

Dado que la población actual de hombres y mujeres se encuentra en un equilibrio cercano al 50% (Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, 2018), es necesario examinar los efectos negativos que sus actividades tienen en el ecosistema local, esto puede incluir la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo, la contaminación del agua y del aire, la generación de residuos entre otros aspectos relevantes; que se requieren y generan si o si del uso de las fuentes y recursos naturales que el medio ambiente les brinda; es necesario entregar información para un conocimiento claro de cómo subsistir sin alterar las condiciones ambientales que generan un gran impacto.

El proyecto abarca como principales herramientas el estudio del acueducto y sus proyectos en curso para el mantenimiento del sector, así como la restauración de los entornos afectados. Estas herramientas nos permitirán comprender mejor las interacciones entre el desarrollo socioeconómico y el ecosistema, y generar propuestas de medidas sostenibles de mitigación y manejo.

El municipio de la Calera se destaca por su extenso paisaje, pues cuenta con una importante estructura ecológica como lo son los cerros orientales, el páramo de Chingaza y fuentes hídricas donde se destacan el embalse de San Rafael y el río Teusacá; por otro lado, la cercanía y conexión con la ciudad de Bogotá. Razón por la cual se desata una notable demanda del sector de vivienda, y que se observa en las cifras poblacionales arrojadas según los diferentes censos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE en los últimos años, donde se muestra una ocupación por encima del 50% (Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, 2018).

Es de suma importancia conocer el impacto ambiental derivado del desarrollo de actividades principalmente turísticas, de producción y económicas, que permiten la accesibilidad para la comunidad. La adecuación del terreno como lo es un embalse, seguido de una planta de tratamiento de agua, para el mantenimiento de la sociedad, por

lo que con este proyecto se busca contribuir información sobre las afectaciones y posibles adecuaciones para generar un equilibrio ecosistémico.

Teniendo en cuenta que el enfoque de este proyecto es aportar información sobre el desarrollo socioeconómico y ambiental del terreno ya mencionado se pretende contribuir al objetivo 12 de la ODS “El consumo y la producción sostenibles que consisten en hacer más y mejor con menos, trata de desvincular el crecimiento económico de la degradación medioambiental, aumentar la eficiencia de recursos y promover estilos de vida sostenibles.”

Dentro del enfoque como especialista en gestión ambiental es necesario evaluar el entorno en el que como comunidad nos desarrollamos, y como nuestras necesidades alteran los ecosistemas; y a partir de las bases que otorga el entorno educativo aportar al mejoramiento continuo y restauración de las condiciones naturales, como parte de la mitigación del daño ya provocado al paso de los años, y teniendo presente que actualmente el sector al que se enfoca este estudio va en crecimiento poblacional.

### **1.3 Objetivo general**

Analizar los impactos ambientales derivados de las actividades socioeconómicas desarrolladas en el ecosistema alrededor de embalse San Rafael.

### **1.4 Objetivos específicos**

Reconocer los usos de los recursos hídricos empleados para el abastecimiento de las necesidades de la comunidad aledaña al embalse San Rafael, Cundinamarca,

Identificar el uso de los recursos naturales empleados para el abastecimiento de la comunidad aledaña al embalse San Rafael, Cundinamarca

Observar las afectaciones del ecosistema aledaño al embalse San Rafael en el transcurso de los años de 2000 a 2023

## **2. METODOLOGÍA**

La metodología implementada en esta monografía se divide en tres fases principales, cada una con actividades específicas para alcanzar los objetivos planteados.

### **2.1 Fase I: reconocimiento del uso de los recursos hídricos de la zona**

#### ***2.1.1 Revisión documental***

Se realizó una revisión de documentos y estudios previos relacionados con el uso de los recursos hídricos en La Calera y otros referentes. Esta revisión incluyó informes gubernamentales, artículos académicos y datos del censo del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE.

#### ***2.1.2 Entrevistas a la comunidad***

Se evaluaron estudios que involucraron entrevistas y encuestas semiestructuradas con habitantes del sector urbano de La Calera para identificar las principales actividades socioeconómicas que dependen del recurso hídrico. Estas se realizaron a una muestra representativa de la población, seleccionada de manera aleatoria.

#### ***2.1.3 Análisis de datos censales***

Se utilizaron datos del censo poblacional para entender la distribución y características demográficas de la población de La Calera. Estos datos ayudaron a contextualizar el uso y demanda de los recursos hídricos en la región.

### **2.2 Fase II: identificación de los recursos naturales requeridos por la población aledaña**

#### ***2.2.1 Muestreo de agua***

Se identificaron en la literatura y estudios tomas de muestras de agua en diferentes puntos del embalse San Rafael y sus alrededores. Según estos informes las muestras se analizaron en laboratorio para evaluar parámetros como oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad y pH.

#### ***2.2.2 Inventario de flora y fauna***

Se evidenciaron inventarios de las especies de flora y fauna presentes en el área aledaña al embalse. Este inventario incluyó observaciones directas y el uso de fotografías según

la fuente para la fauna. En estos inventarios los datos se compararon con registros históricos para identificar cambios en la biodiversidad.

### **2.2.3 Estudio de uso del suelo**

Bajo la información suministrada en la literatura consultada, se encontró que se llevó a cabo análisis del uso del suelo en la región utilizando imágenes satelitales y datos geoespaciales, donde se emplearon técnicas de teledetección para mapear los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo entre los años 2000 y 2023

## **2.3 Fase III: recopilación de información hidrológica del sector**

### **2.3.1 Análisis hidrológico**

Se recopilaron y analizaron datos hidrológicos del embalse San Rafael y del río Teusacá. Estos datos incluyeron caudales, niveles de agua y precipitaciones, obtenidos de estaciones meteorológicas y de monitoreo hidrológico.

### **2.3.2 Modelado hidrológico**

Se investigó análisis de datos recopilados del software especializado para modelar los flujos de agua y predecir futuros cambios en la hidrología del área. Este modelado ayudó a entender el impacto de diferentes escenarios de uso del suelo y cambios climáticos en el recurso hídrico.

### **2.3.3 Evaluación de los impactos ambientales**

Se evaluaron los impactos ambientales de las actividades socioeconómicas en el embalse y su entorno.

### **3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS**

#### **3.1 Fase I: reconocimiento del uso de los recursos hídricos de la zona**

##### ***3.1.1 Reconocimiento del uso de los recursos hídricos de la zona por los habitantes del sector urbano***

La Calera, ubicada en el occidente de la Provincia del Guavio y a 18 km al nororiente de Bogotá, se caracteriza por estar situada entre los 2600 y 3000 m s. n. m., lo que le otorga pisos térmicos frío y páramo. Su economía diversificada incluye actividades como la agricultura tradicional de cultivos como papa, maíz, cubios, zanahorias, entre otros, así como la ganadería de vacunos, caballos, ovejas, cabras, y la piscicultura de truchas. Además, se destaca una importante actividad minera de piedra caliza y areneras, junto con la producción de cemento, perteneciente a la multinacional Cemex, (Alcaldía municipal de La Calera, 2023, par.1)

En este contexto económico diverso, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece que, conforme al Decreto 1076 de 2015, todo usuario requiere tramitar un permiso de concesión ante la autoridad ambiental competente para el uso y aprovechamiento del recurso hídrico (Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, s.f.)

Por lo anterior en la zona de estudio La EAB-ESP (Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo) empresa de carácter público, encargada de prestar los servicios de acueducto y alcantarillado sanitario y pluvial; tiene como compromiso ambiental cuidar, proteger, conservar y recuperar el recurso hídrico junto con la Alcaldía de La Calera a nivel administrativo y comunitario, por el llenado del Embalse San Rafael, (Diaz Puerto & Villamil, 2017, p. 11)

El embalse San Rafael es parte del sistema de abastecimiento de agua de Chingaza, el cual cumple funciones de regulación de caudales, control de inundaciones y almacenamiento para el suministro de agua a la ciudad de Bogotá y los municipios integrados a la red matriz del acueducto. Adicionalmente, el sistema de abastecimiento está conformado por la planta de potabilización Francisco Wiesner, localizada en el área de la subcuenca del río Teusacá; lugar donde la red de drenaje superficial de la cuenca

alta del río Teusacá lleva sus aguas al embalse de San Rafael (Otalora Muñoz, 2018, p. 3).

En Cundinamarca, del total de su territorio (2.4 millones de ha), tan solo el 40% está en un uso adecuado, siendo el caso de la ganadería el caso más grave superando su capacidad para esta actividad más de 1000 veces, ubicando al departamento de Cundinamarca junto al de Antioquia en el puesto 11 de los departamentos con más conflictos por uso del suelo (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, 2014).

Los conflictos de uso, son solo una respuesta a las dinámicas sociales y económicas donde se resaltan el modelo de la ocupación del territorio, aquellas tierras en las que fueran removidas sus coberturas naturales y se estableciera un proceso agrícola o pecuario productivo; la propiedad de la tierra está en una situación alarmante puesto que en los suelos rurales, en donde el 3.8% de los propietarios de predios rurales poseen el 41% del territorio y en contraposición el 39% de los propietarios posee tan solo 3.7% de las tierras, haciendo que la dinámica de división del territorio en familias con pequeñas extensiones de tierra, se dé una dinámica de minifundios y microfundios que promueven el deterioro total del suelo por la parcelación constante, y el conflicto armado y la visión de la tierra como un factor de poder y no como un factor productivo ha establecido un modelo latifundista y gamonalita que propicia la subutilización del suelo de las partes más alejadas de la capital (Navarro, Gómez, & Rivera, 2018, p. 44)

En cuanto a los efectos de dichos conflictos, cuando se sobreexplota el suelo se destaca la insostenibilidad ambiental y la degradación del capital natural, mientras que cuando se subutiliza, se corre el riesgo de no cumplir con las necesidades sociales y económicas de la comunidad, agudizando los problemas socioeconómicos del país. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, 2014).

Los procesos de urbanización a gran escala fragmentan los ecosistemas y los ponen en peligro, debido a las fuerzas direccionadoras que ocasionan los cambios en el uso de la tierra. Una de las fuerzas que más influye en la transformación del territorio es el desarrollo de la economía cuya interacción con la naturaleza es inevitable, ya que se establecen relaciones sociales en un sistema abierto que altera la base natural partiendo de la necesidad del desarrollo económico (Landinez, 2014, p. 9). Dado esto es posible

afirmar que las causas principales de la ubicación de viviendas alrededor de las ciudades.

Los impactos ambientales sobre el entorno de expansión de las ciudades y municipios obedecen a diferentes condiciones, tales como el aumento de población, la calidad de vida, el costo de la tierra entre otros (Bernal Sánchez, Hernández Peña, & Beltran Vargas, 2022, p. 436).

De acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2018), se cuenta con 9.212 unidades de vivienda se encuentran localizados en el municipio de la calera lo que representa más del 60% de la población total del departamento, como se puede visualizar en la Figura 3. Esta figura ilustra la distribución de las unidades de vivienda en La Calera según el censo nacional de 2018. Destaca la densidad de viviendas y permite analizar cómo la urbanización afecta los recursos naturales y la infraestructura.

**Figura 3**

*Unidades de vivienda con personas presentes 2018*



**Nota.** Distribución de las unidades de vivienda en La Calera. Tomado de: Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2018). Resultados del Censo Nacional y Vivienda [t.ly/XM0mJ](https://t.ly/XM0mJ)

La localización de viviendas y la accesibilidad a los servicios públicos como se mencionó con anterioridad obliga a las constructoras a implementar sistemas de tratamiento de agua residual convencionales, tales como pozos sépticos o plantas de tratamiento primarias con el fin de cumplir con las obligaciones requeridas por las autoridades para el otorgamiento de la licencia de construcción.

En Colombia, el control de la actividad urbanizadora se encuentra descentralizado y en cabeza de los entes territoriales, los cuales, regulan la actividad a partir de marcos jurídicos rectores conocidos como Planes de Ordenamiento Territorial -POT-, cuya fuente legal se encuentra en la Ley 388 de 1997, por medio de la cual se reguló la expedición de estos planes, la expedición de licencias urbanísticas y la expropiación, entre otros aspectos (Roa Muñoz. & Rodríguez Zárate, 2015, p. 6) Sin embargo, los sistemas propuestos en varias ocasiones no cumplen con lo exigido, pues los pozos sépticos o los sistemas convencionales no eliminan la carga orgánica requerida y esto puede estar afectando considerablemente el cuerpo hídrico al cual se conecta el sistema de tratamiento para su descarga final (Pedraza Garcia, 2014, p. 31), en la actualidad el municipio, en el área urbana y rural, no ha logrado cumplir con los objetivos propuestos en el Plan de Ordenamiento Territorial, a pesar de enfocar sus 16 objetivos en el área rural del municipio, lo que ha causado es el desarrollo de problemáticas relacionadas con la falta de control de la expansión del casco urbano, reflejando desorganización y crecimiento poco moderado y controlado, perdiendo cada vez más su vocación rural y campesina, así también la falta de atención de los suelos protegidos y los predios inasequibles para personas con recursos económicos promedios o bajos, además de lotes suburbanos con servicios públicos limitados y el constante crecimiento poblacional por ser una opción habitacional para la cercana ciudad de Bogotá. (Rey Herrera & Solarte Torres, 2020, p. 16)

De acuerdo con el Departamento Administrativo nacional de estadística DANE (2018), de las 9212 unidades de vivienda en el municipio de la calera 5522 unidades de vivienda cuentan con servicio de y 8.202 viviendas cuentan con servicio de acueducto. Como se puede visualizar en la Figura 4 que muestra la cantidad de unidades de vivienda que cuentan con servicio de alcantarillado en La Calera según el censo de 2018. Esto es crucial para entender la infraestructura sanitaria y sus implicaciones ambientales, y en la Figura 5 donde se representa el número de unidades de vivienda con acceso a servicios de acueducto en La Calera, de acuerdo con el censo de 2018. Ayuda a evaluar la disponibilidad y distribución del agua potable en el municipio.

#### Figura 4

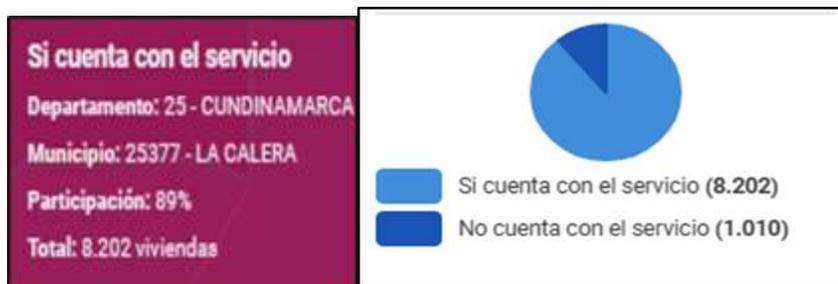
Unidades de Vivienda con Servicio de alcantarillado 2018



**Nota.** Cantidad de unidades de vivienda que cuentan con servicio de alcantarillado en La Calera según el censo de 2018 tomado de: Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2018) Resultados del Censo Nacional y Vivienda t.ly/XM0mJ

#### Figura 5

Unidades de vivienda con servicio de acueducto



**Nota:** Representación del número de unidades de vivienda con acceso a servicios de acueducto en La Calera. Tomado de: Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE. (2018). Censo nacional de población y vivienda. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/cnpv-2018/>

En el municipio de La Calera debido a la deficiente estructura agraria, problemas socioeconómicos y políticos, los suelos han tenido algún tipo de uso inadecuado originando los conflictos por uso del suelo, causados entre otros por: desconocimiento de las prácticas de conservación de suelos por parte de los usuarios, carencia de educación en torno al uso sostenible de los suelos, incumplimiento de la normatividad, seguridad financiera a los agricultores, y sobreexplotación del suelo.

De acuerdo con la CAR, la demanda hídrica proviene del sector doméstico, agropecuario e industrial, considerando al sector agropecuario como el de mayor demanda,

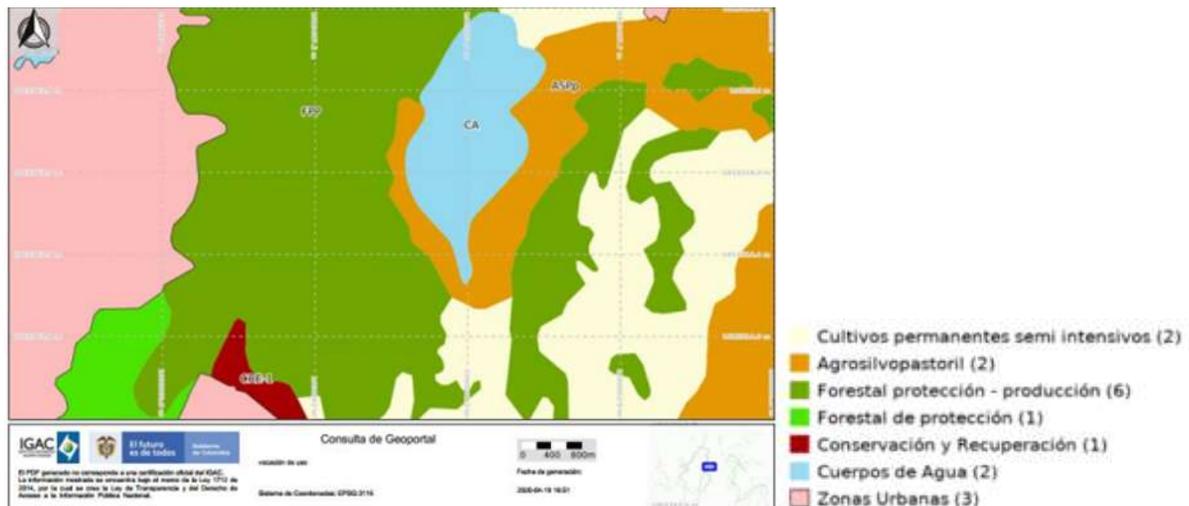
especialmente para pastoreo cuya área ocupada es considerablemente mayor en comparación con cultivos e invernaderos (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, 2013). De acuerdo con el POT del municipio de la Calera (2010) la vegetación se caracteriza por ser de tipo arbustivo y arbóreo, con pastos y cultivos. Gran parte de la zona rural del municipio se enfoca en el desarrollo agropecuario de la región, por lo que la mayor extensión de la subcuenca se encuentra localizada en tierras de Clase IV pendientes inclinadas y dedicadas específicamente a estas actividades con cierto nivel de intensidad (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, 2013). Los cambios en el uso del suelo en la zona son evidentes y ocasionados por el desarrollo inmobiliario en zonas de alta producción agrícola, que reemplaza dichas zonas por viviendas campestres de alto valor direccionadas a la clase media-alta de la ciudad. (Rincon Valero, 2017, p. 38)

La aptitud del sistema productivo para un uso de suelo eficiente y el uso que se le puede dar a la tierra para obtener la máxima productividad del territorio se encuentra subdividida en cinco (5) clases: Agrícola, Ganadera, Agroforestal, Forestal y de Conservación; los usos principales, a su vez, en treinta y seis (36) subclases. En donde la actividad agropecuaria, se compone de 8 clases agrologicas, suelos con alto potencial agrícola (I, II, III), IV, V, VI, VII y la clase agrologica VIII área de conservación y/o recuperación del suelo. En este punto, es importante resaltar que según (Municipio de La Calera, 2018), “el 35% del municipio de La Calera se encuentra en suelos clase VII, que son de alta fragilidad y baja capacidad de producción agropecuaria, seguido por el 29% del municipio en clase IV, cuya vocación de producción se orienta a cultivos con restricciones por pendientes y nutrientes. Los suelos de mayor capacidad de uso agropecuario en el municipio de La Calera se constituyen los suelos I y III que en conjunto suman el 3,37%. (Rey Herrera & Solarte Torres, 2020, p. 45), Bajo la información suministrada el territorio del municipio de La Calera cuenta con baja capacidad productividad. Esto se relaciona en la Figura 6 que clasifica las áreas del municipio de La Calera según su uso actual. Es esencial para comprender cómo se utiliza el suelo y los conflictos potenciales entre diferentes usos del terreno, y la Figura 7, donde se muestra las áreas del municipio donde existen conflictos de uso del suelo, destacando zonas donde las actividades actuales no

coinciden con el uso óptimo del terreno. Esto es importante para el análisis de la gestión territorial, identificando la proporción y uso destinado del suelo actualmente.

**Figura 6**

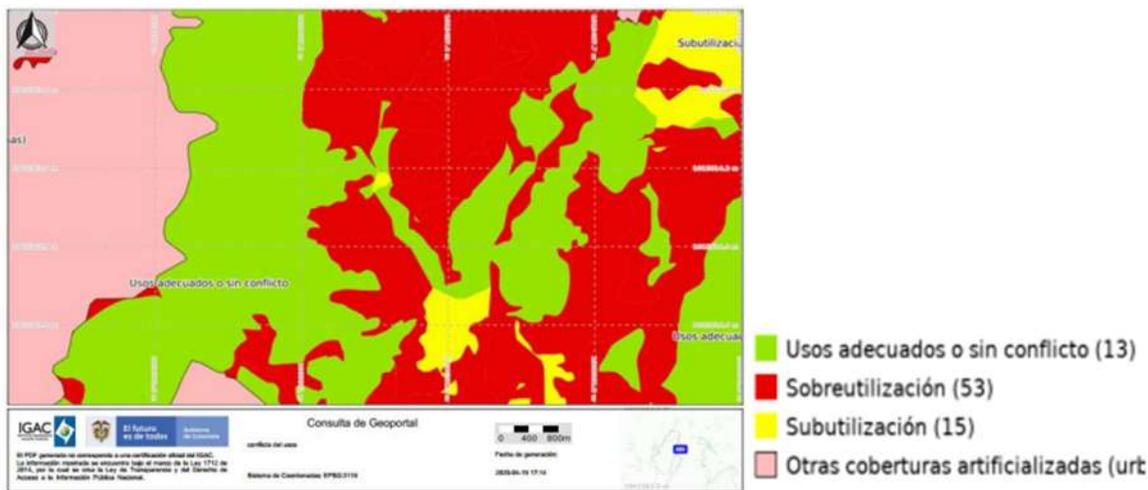
*Áreas según su uso Municipio de La Calera*



**Nota.** Clasificación de las áreas del municipio de La Calera según su uso actual. Tomado de Rey Herrera, I y Solarte Torres, S. (2020). Análisis de los cambios en el uso del suelo de los predios pertenecientes al área de influencia del proyecto vial “Perimetral de Oriente de Cundinamarca” en la Unidad Funcional 3A, municipio de la Calera-Cundinamarca. pp. 16-59. Universidad Santo Tomás.

**Figura 7**

Áreas según el conflicto de uso Municipio de La Calera



**Nota.** Áreas del municipio donde existen conflictos de uso del Tomado de Rey Herrera, I y Solarte Torres, S. (2020). Análisis de los cambios en el uso del suelo de los predios pertenecientes al área de influencia del proyecto vial “Perimetral de Oriente de Cundinamarca” en la Unidad Funcional 3A, municipio de la Calera-Cundinamarca. pp. 16-59. Universidad Santo Tomás.

### **3.1.2 Identificación de las actividades socioeconómicas del sector**

Según la información suministrada en el plan de generación de empleo “juntos por el sustento de La Calera, la cal, corresponde a una fuerte actividad agrícola, siendo los principales ingresos del municipio, incluyendo la planta "Cemento Samper", que fue el empleador más importante del ente territorial. No obstante, con el cierre de la cementera, el municipio entró en una grave crisis de empleo y debió reenfocar su fuente de desarrollo, principalmente hacia el sector agrícola y de ganadería lechera. (Alcaldía municipal de La Calera, 2023), el sector agropecuario y el sector industrial quienes son generadores de empleo, teniendo también de presente el sector de servicios que representa más del 35% de la economía de La Calera, por cuanto, agrega las diferentes actividades económicas que componen este sector (comercio, servicios a personas, servicios a empresas, actividades financieras, etc.) (Alcaldía municipal de La Calera, 2023).

Las actividades económicas en el municipio de La Calera se concentran hoy en el sector de servicios, la industria, y la actividad agrícola y pecuaria. Al identificar estas actividades

en el uso del suelo, tanto urbano como rural, encontramos que las actividades económicas de mayor aporte a la producción municipal se encuentran concentradas en el casco urbano y sus cercanías.

El sector agrícola en La Calera es de gran importancia para la economía, no solo por la dependencia del municipio en esta actividad, sino también por la importancia que esta supone para su estructura social, en la producción agrícola, el principal producto producido en el territorio es la papa, representando el 87% del total de la producción, seguido por la cebolla de bulbo (11%) y en una proporción casi marginal otros cultivos como hortalizas (1%) y la producción de flores (1%), la producción pecuaria en el municipio esta principalmente ligada a la ganadería y la producción lechera, y pese a que históricamente no ha sido una actividad de tanta incidencia en La Calera, ha ganado popularidad de forma incremental en las últimas décadas. Pues el stock de capital bovino ha crecido progresiva y lentamente desde el 2001, creciendo casi un 15% desde inicios del periodo. Este comportamiento positivo, pareciera estar ligado al declive agropecuario del Municipio, y a una consecuente migración en el largo plazo de la actividad agrícola hacia la pecuaria (Alcaldía municipal de La Calera, 2023)

La industria de La Calera es un rubro de gran importancia para la economía del municipio, representa más de un cuarto del total de su economía, el sector industrial del Municipio está principalmente relacionado al procesamiento de bebidas y aguas embotelladas, la producción de cementos y la producción agroindustrial. Existen varias empresas de gran tamaño, dentro de las cuales se encuentran: Manantial, Winter, Tecnoconcreto, Cemex, Pasteurizadora La Pradera y Flores El Cortijo. El sector minero tiene una importancia marginal en el producto económico de La Calera, aportando apenas menos del 1% del total del PIB del municipio. La producción existente actualmente se limita a la extracción de arena, silicias y calizas en proporciones modestas, siendo las dos (2) primeras las más representativas en la producción. (Pedraza Garcia, 2014, p. 11)

El sector comercial en el municipio de La Calera representa cerca del 5% de la producción municipal, adicionalmente, es uno de los sectores que más empleo genera, por lo que tiene una alta relevancia en el municipio. (Rey Herrera & Solarte Torres, 2020, p. 57)

## **3.2 Fase II: identificación de los recursos naturales requeridos por la población aledaña**

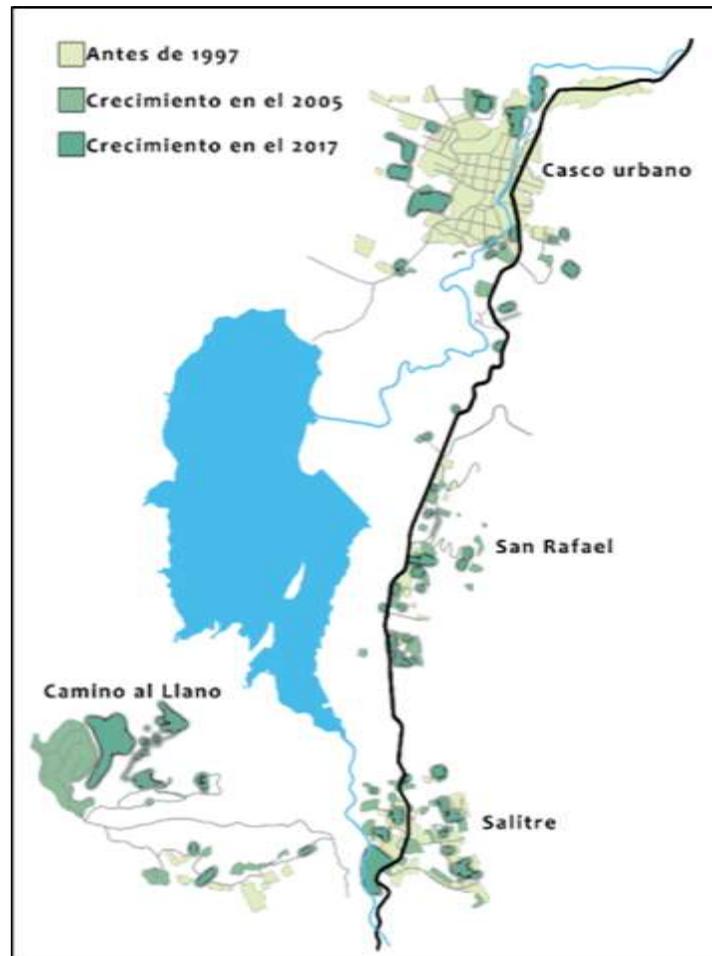
### ***3.2.1 Identificación de los recursos naturales requeridos por la población aledaña***

Como bien indica Serrato, 2013 en Colombia el manejo que se le brinda a los suelos es muy diferente a la vocación correspondiente de cada uno. Se observa degradación creciente de los recursos naturales y esto se convierte en motivo de preocupación pública. Se han hecho investigaciones de esta problemática, en lo que concierne a la presión y características de uso del territorio; actualizando la cobertura y uso actual de las tierras, visualizando los conflictos sobre el manejo y uso de las tierras.

Y como menciona Rincon Valero (2017) el municipio de la Calera ha presentado un crecimiento importante en años recientes, (p. 3) se puede evidenciar en La Figura 8, que ilustra el crecimiento urbano en La Calera hasta el año 2017, mostrando cómo la expansión urbana ha afectado las áreas rurales y naturales del municipio., tanto en área desarrollada como en población, posiblemente asociado a la cercanía a Bogotá y a la oferta de suelo disponible para viviendas en patrones de baja densidad. La urbanización presentada en suelo catalogado como rural ha ocasionado impactos negativos sobre los recursos naturales, en especial sobre el recurso hídrico (Wainer, 2018, p 323), pues aún no existe cobertura total de servicios públicos como acueducto, saneamiento y alcantarillado. Ante esta ausencia es frecuente que la población realice conexiones desde y hacia los cuerpos hídricos para el suministro de agua y así mismo para la descarga de las aguas residuales generadas. (Montero Gonzalez & Torres Verano, 2019, p. 4)

**Figura 8**

*Crecimiento urbano del municipio de La Calera año 2017*



**Nota.** Crecimiento urbano en La Calera hasta el año 2017, Tomado de Montero González, y. P., & torres verano, j. A. (2019). Corredor ecológico del embalse de san Rafael para la configuración del paisaje ecosistémico. Bogotá: universidad la gran Colombia, pp 7-34. [https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5065/Corredor\\_ecol%c3%b3gico\\_embalse\\_San\\_Rafael.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5065/Corredor_ecol%c3%b3gico_embalse_San_Rafael.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Así las acciones, actividades e intervenciones que las personas realizan sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificar o mantener, generalmente se hacen por parte del campesinado sin el debido manejo técnico, ocasionan contaminación de aguas superficiales, erosión, compactación del suelo y pérdida de diversidad biológica.

Durante los últimos años y debido al aumento de la densidad poblacional en la cuenca se han ido presentando problemáticas significativas relacionadas principalmente con el cambio del uso del suelo, de la cobertura vegetal y la generación de vertimientos de aguas residuales provenientes de urbanizaciones y zonas recreacionales. (Laverde Mesa, 2016, p. 27)

Con respecto al uso del suelo, se presentan conflictos en las cuencas de Colombia que a su vez se relacionan con problemáticas de calidad y de cantidad de agua, debido especialmente al desconocimiento de la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico; el río Teusacá está sometido a presiones relacionadas con los cambios de uso del suelo, los asentamientos humanos generan contaminación por vertido de aguas residuales sin tratar y actividades agroindustriales que causan impactos negativos como la pérdida de biodiversidad y cambios en la cantidad y calidad del recurso hídrico. (Per Otto, et.al. 2017 p. 493)

En la parte alta de la subcuenca se presentan actividades agropecuarias intensivas, predominando el cultivo de papa; en la parte baja se concentran actividades agroindustriales de ganadería y cultivos de flores. Algunas de las actividades agropecuarias de la zona han venido siendo desplazadas por un proceso de expansión urbana de baja densidad, con ocupación de vivienda suntuaria y presencia de población en búsqueda de servicios ecosistémicos (acceso a la naturaleza, aire limpio y paisaje), además del establecimiento de agroindustria y de empresas de servicios (Pedraza Garcia, 2014, p. 28)

De los municipios circundantes que están experimentando un crecimiento demográfico significativo, se encuentra La Calera, en donde las viviendas que se han construido en las zonas rurales del municipio corresponden principalmente a urbanizaciones campestres que implican el aumento de la demanda de servicios públicos y la generación de vertimientos (Pedraza Garcia, 2014, p. 12). Este aumento progresivo de urbanizaciones en las áreas rurales ha generado el desplazamiento de fincas campesinas, debido a intereses particulares del sector inmobiliario por ofrecer terrenos amplios y de belleza paisajística, características atractivas para la población de La Calera (Castañeda, 2012, p. 32).

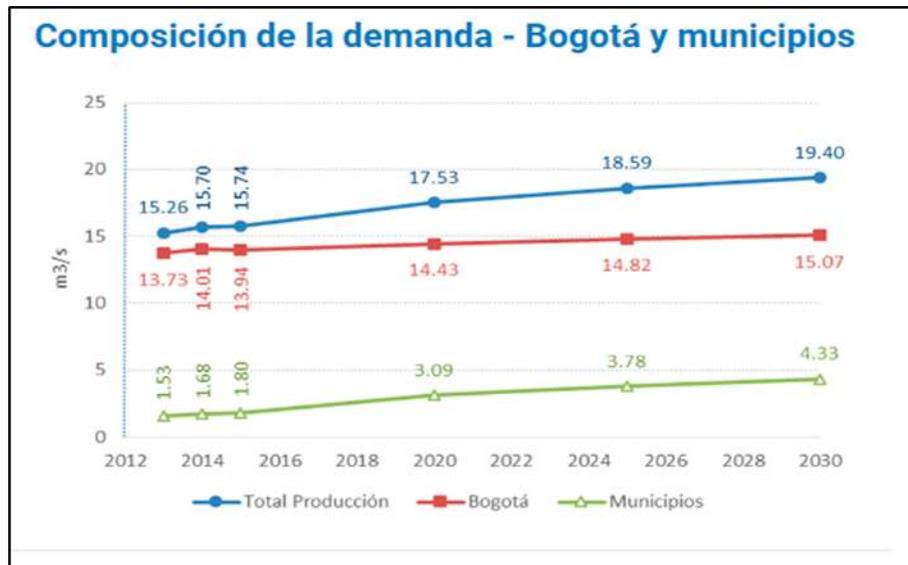
La localización de viviendas y la accesibilidad a los servicios públicos no se encuentra debidamente regulada, y por tanto las construcciones localizadas en lugares de baja cobertura de servicios públicos tales como acueducto y alcantarillado, obliga a las constructoras a implementar sistemas de tratamiento de agua residual convencionales, tales como pozos sépticos o plantas de tratamiento primarias con el fin de cumplir con las obligaciones requeridas por la autoridades para el otorgamiento de la licencia de construcción. Sin embargo, los sistemas propuestos en varias ocasiones no cumplen con lo exigido por las autoridades ambientales, pues los pozos sépticos o los sistemas convencionales no eliminan la carga orgánica requerida y esto puede estar afectando considerablemente el cuerpo hídrico al cual se conecta el sistema de tratamiento para su descarga final (Pedraza Garcia, 2014, p. 17)

- Principios del formulario

De acuerdo con el enfoque del uso dado al suelo por parte de la comunidad la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, en la figura 9 presenta la composición de la demanda de agua en Bogotá y sus municipios circundantes, incluyendo La Calera. y figura 10 que compara la oferta y la demanda de agua en la región, destacando posibles déficits o excedentes. Estas presentan el uso y la proyección del recurso distribuido a través del sistema Chingaza, reflejando los criterios de operación para brindar el servicio actual. Aunque se observa una demanda significativa, también se refleja una proyección de consumo en aumento a lo largo de los años, aportando que después del año 2020 la población que se presente desbordará la ciudad y se ubicará alrededor de ella, y por lo tanto habrá necesidad de suministrar el servicio también a dicha población, contando con las fuentes existentes actuales. (Acueducto agua y alcantarillado de Bogota, 2014)

Figura 9

Composición de la Demanda – Bogotá y Municipios



**Nota.** Composición de la demanda de agua en Bogotá y sus municipios circundantes Tomado de Acueducto Agua y Alcantarillado de Bogota. (2018). Almacenamiento y embalses\*. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. <https://acortar.link/SVPZiL>

Figura 10

Comparación oferta – demanda



**Nota:** Oferta y demanda de agua en la región, destacando posibles déficits o excedentes. Tomado de Acueducto Agua y Alcantarillado de Bogota. (2018). Almacenamiento y embalses\*. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. <https://acortar.link/SVPZiL>

### **3.3 Fase III: recopilación de información hidrológica del sector**

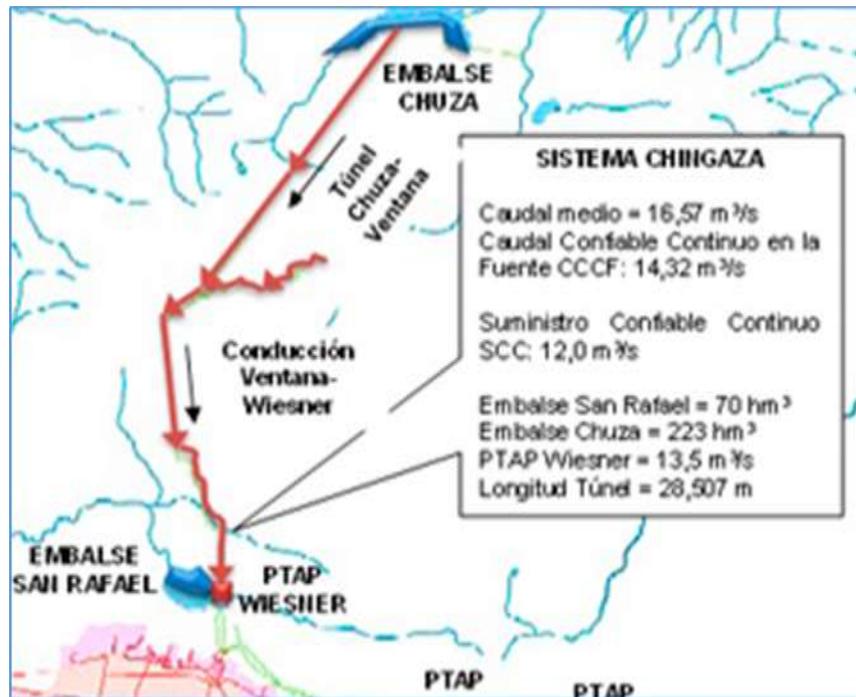
#### **3.3.1 *Recopilación de información hidrológica del sector***

El embalse San Rafael, parte integral del sistema Chingaza junto con los embalses de Chuza y el subsistema río Blanco, es esencial para el suministro de agua al norte de Bogotá y sus municipios cercanos como La Calera, Sopó y Guasca. Inaugurado en 1996, este embalse juega un papel crucial en la regulación del caudal y el control de inundaciones en la Sabana, además de almacenar agua para emergencias.

Cuenta con la planta de tratamiento Francisco Wiesner; siendo el Embalse de San Rafael una represa localizada en el municipio de La Calera, a 12 km de Bogotá. Este proyecto se realizó con el fin de suministrar agua a gran parte del norte de la capital y a sus municipios cercanos como La Calera, Sopó y Guasca. Este embalse comenzó su construcción a finales de los años 1980 y fue inaugurado en 1996, rodeando a la planta de tratamiento Francisco Wiesner, como embalse de reserva para el sistema Chingaza, ante los continuos derrumbes del túnel de suministro que proviene del embalse de Chuza. El Embalse de San Rafael soporta la demanda del acueducto de la ciudad. Tiene unas dimensiones de 59.6 m de altura y una longitud de 680.36 metros, con una capacidad de 67 millones de metros cúbicos y alberga un área de 371 hectáreas; en la figura 11. se proporcionan datos hidrológicos del sistema Chingaza, que incluye el embalse San Rafael, se describe los datos hídricos correspondiente a la extensión total de las áreas ocupadas.

Figura 11

Dato Hídrico Sistema Chingaza



**Nota.** Datos hidrológicos del sistema Chingaza, extensión total de las áreas ocupadas Tomado de Acueducto Agua y Alcantarillado de Bogota. (2018). Almacenamiento y embalses\*. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. <https://acortar.link/SVPZiL>

Sobre el embalse de San Rafael se debe entender que: recoge y almacena el agua que viene a través de un túnel desde el páramo de Chingaza, la purifica y luego la distribuye a la ciudad de Bogotá y 11 municipios aledaños. (Alcaldía de La Calera, 2012, p.2)

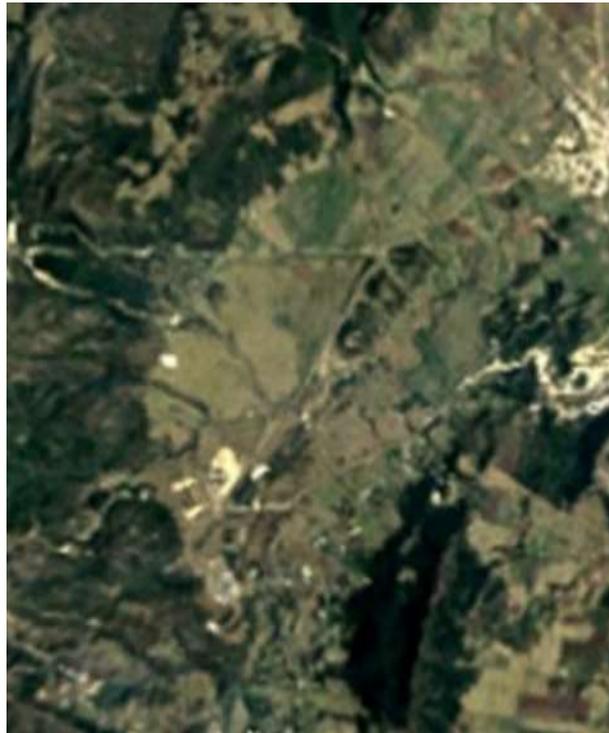
La hoya hidrográfica drenada por el río Teusacá, el cual nace a una altura aproximada de 3.667 m.s.n.m. en la laguna del Verjón sur oriente de los cerros de Monserrate y Guadalupe localizados al oriente de Bogotá hasta llegar como efluente al embalse San Rafael (Montero Gonzalez & Torres Verano, 2019, p. 37)

En el año 1985 tras el crecimiento poblacional, tiempos de pruebas, revisiones y obras del sistema Chingaza, en noviembre de este año se da paso a la construcción del embalse de San Rafael. (Acueducto Agua y Alcantarillado de Bogota, 2018)

Entre 1985 y 1999, en la Figura 12 muestra la ubicación del embalse San Rafael en 1985, proporcionando un punto de referencia histórico para evaluar los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo. y la figura 13 ilustra la ubicación del embalse San Rafael en 1999, permitiendo comparar los cambios en el entorno del embalse desde 1985 y analizar su impacto ambiental, correspondientemente se observó una significativa pérdida de vegetación pues alrededor del embalse San Rafael, las imágenes satelitales muestran que en 1985 había una cobertura vegetal considerable, la cual disminuyó notablemente para 1999, detallándose el borde del embalse sin vegetación.

### Figura 12

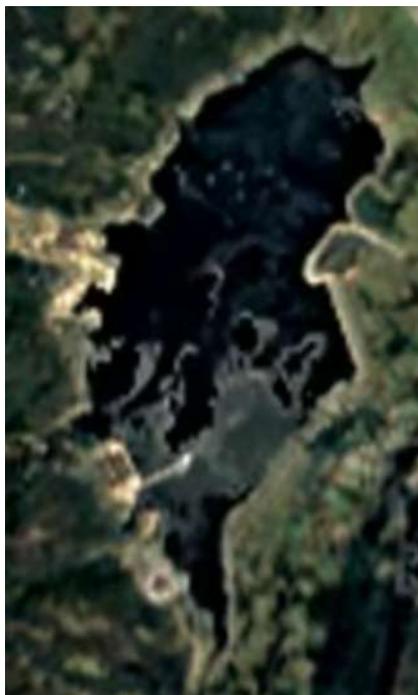
*Fotografía ubicación embalse San Rafael Año 12-1985*



**Nota.** Ubicación del embalse San Rafael en 1985, Tomado de Google Earth Pro. (2024). Embalse San Rafael. <https://acortar.link/ZSnncl>

### Figura 13

*Fotografía ubicación embalse San Rafael Año 1999*



**Nota.** Ubicación del embalse San Rafael en 1999, Tomado de Google Earth Pro. (2024). Embalse San Rafael. <https://acortar.link/ZSnncl>

El embalse San Rafael provee un sistema que permite almacenar agua para el suministro en caso de emergencia, y como funciones secundarias cumple propósitos de regulación de caudal y control de inundaciones en la Sabana (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, 2013).

En la línea del tiempo de operación del embalse se tienen los antecedentes y problemáticas plasmadas en la Tabla 1, que presenta una línea de tiempo con los antecedentes y eventos significativos relacionados con el embalse San Rafael, destacando los principales hitos en su desarrollo y operación. línea que ha mostrado las diferentes etapas que implico su construcción y conflictos durante su actividad; como su construcción implico afectación a la parte ecosistémica en el año 1997 por la disminución de tamaño de la reserva forestal, pues como bien enuncian los medios de comunicación del momento se afirmó que el 2 de marzo de 1997 la CAR autorizó reducir la reserva forestal que forma parte de la zona de protección ambiental del embalse San Rafael,

dando vía libre a la urbanización de aproximadamente 400 hectáreas (El Tiempo, 1997) para compensar la expansión municipal, siendo una de las problemáticas más asociadas a la afectación paisajista del embalse.

Otro hecho importante que da lugar al impacto generado en el embalse San Rafael corresponde al incumplimiento de la compensación propuesta por la empresa EAAB-ESP en la construcción del parque San Rafael donde se llevó a cabo una tala de árboles que en el momento la gerente de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Lady Ospina explicó a RCN (2019) que se talarían ocho mil árboles; y en compensación serían sembrados 70 mil nuevos árboles. el cual contrarrestaría los impactos ecosistémicos y sociales que sufrieron los habitantes del sector por este proyecto al transformar el parque de La Calera en lo que hoy en día es el embalse.

**Tabla 1**

*Antecedentes Embalse San Rafael*

<b>FECHA</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>REFERENCIA</b>
<b>1991</b>	Inicio de construcción	CAR, 2009
<b>1992</b>	Empresa de Acueducto entre embalse	CAR, 2009
<b>1996</b>	Empieza funcionamiento del embalse	ElTiempo, 1996
<b>1997</b>	La CAR anuncia disminución de reserva forestal que hace parte de zona de conservación del	ElTiempo, 1997
<b>2003</b>	embalse para aumentar la expansión municipal Parque San Rafael como medida de compensación de la construcción del embalse	EAAB, 2019
<b>2006</b>	Aprobación del plan de avance de restauración y recuperación de la cantera embalse San Rafael	CAR, 2006

**Tabla 1.** *Continuación*

<b>2010</b>	Se convocó a la Empresa de Acueducto, Agua y Alcantarillado de Bogotá para notificar el estado del proyecto "Parque Ecológico San Rafael"	EITiempo, 2010
<b>2014</b>	Protesta de los habitantes de La Calera por construcción de estación de gasolina	EIEspectador, 2014
<b>2015</b>	Obras de adecuación de los túneles de Acueducto	RCN, 2015
<b>2019</b>	Polémica por tala de árboles en el embalse	RCN, 2019
<b>2019</b>	Frenan proyecto de parque ecológico en el embalse	EITiempo, 2019

**Nota.** Línea de tiempo con los antecedentes y eventos significativos relacionados con el embalse San Rafael p. 40 tomado de: Barriga, J. A. (2020). Evaluación de la calidad hídrica e impactos socioambientales de los embalses de Cundinamarca, Colombia, <http://hdl.handle.net/10554/46757>, pp 16 - 47. <http://hdl.handle.net/10554/46757>

Los sistemas de abastecimiento están compuestos de: sistemas de captación (cuencas hidrográficas, ríos y quebradas), sistemas de distribución (túneles y tuberías), sistemas de almacenamiento (embalses) y producción (plantas de tratamiento); De acuerdo al acueducto de Bogotá este realiza la gestión integral del recurso hídrico, la cual inicia con la captación de las fuentes de agua superficial, pasando por los sistemas matrices de acueducto y de distribución, para ser posteriormente recogida después de ser utilizada y ser transportada hasta la planta de tratamiento de aguas residuales para su posterior vertimiento; este embalse está diseñado con una capacidad para succionar y despachar 3,5 metros cúbicos de agua por segundo

Bajo lo anterior la caracterización de la calidad del agua del embalse detallada por Barriga R. (2019) en la Tabla 2 se muestra los parámetros de calidad del agua del embalse San Rafael, incluyendo oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad y pH, evaluando el estado del recurso hídrico, dando paso a identificar que los valores arrojados por tomas reportadas por la CAR y otras fuentes entre el año 2005 y 2016, (p. 40), que permitieron determinar que el embalse a la fecha se encuentra clasificado como regular, donde el volumen útil (agua disponible

para realizar la operación de las funciones), frente a su volumen total se puede considerar como prioridad de tratamiento y determinar el impacto ambiental sobre el ecosistema.

**Tabla 2**

*Calidad de agua Embalse San Rafael*

Variable	Resultado	Total	Calificación	Señal de alerta
OD	0.73	0.60	REGULAR	
SST	0			
DQO	0.51			
CONDUCTIVIDAD	0.92			
pH	0.83			

**Nota.** Parámetros de calidad del agua del embalse San Rafael, p. 45 Tomado de Barriga, J. A. (2020). Evaluación de la calidad hídrica e impactos socioambientales de los embalses de Cundinamarca, Colombia, <http://hdl.handle.net/10554/46757>, pp 16 - 47. <http://hdl.handle.net/10554/46757>

Los embalses surgen por la necesidad ya sea en función hidráulica, sanitaria, productividad tradicional o ambiental, por la necesidad de gestionar el recurso; es necesario la valoración de conflictos que se ejercen frente a los ecosistemas y la sociedad. Los aspectos biofísicos y antropogénicos hacen parte del análisis a tener en cuenta para definir el impacto, la presencia de las actividades socioambientales que se llevan a cabo en la represa, permitió determinar las problemáticas sociales que a su vez están asociados a el transporte del agua, vertimientos aguas abajo, abierta de compuertas, bombeo de agua y mantenimiento de túneles; en el embalse de San Rafael, sus impactos varían entre positivos y negativos de gran influencia, ya que al ser regulada por una institución de parques nacionales, busca encontrar una relación social-ambiente que genere un equilibrio sin afectar el sistema, y por otro lado al ser la fuente principal de suministro de agua genera impactos de beneficio para una población grande como en la de Bogotá (Barriga Rodriguez, 2019, p. 41), pero también ha presentado diversos problemas en cuanto a escasez, irregularidad y falta de abastecimiento lo que ha generado recesos en el consumo; esto sumado a las problemáticas que ha presentado el páramo por cultivos y uso de agroquímicos que llegan al cuerpo de agua, alterando su calidad como se vio detallado en el índice de calidad de agua donde reporta valores bajos con una categorización de 'regular'.

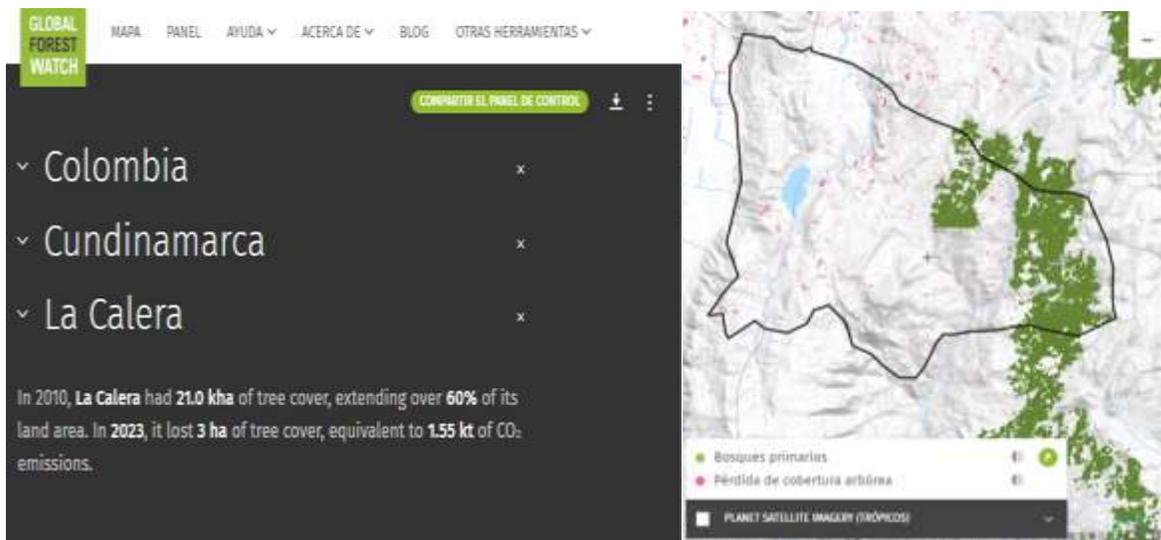
La verificación de los datos de calidad de cuerpo de agua se debe al sistema hídrico que lo abastece, el río Teusacá, el cual se encuentra rodeado de viviendas y edificios, construcciones situadas en las zonas de protección del cauce, generando alteraciones en los parámetros debido a las actividades socioeconómicas de la zona, donde la expansión urbana en las zonas rurales y las prácticas agrícolas generan desechos que provocan impactos en la calidad del río, contaminación que luego desemboca en el embalse, y la dificultad de la población de gestionar una infraestructura adecuada para la construcción de acueducto y alcantarillado, ligado a la falta de apoyo del gobierno a sectores rurales por los costos que representan la prestación de servicios (Rincon Valero, 2017, p. 15)

En una visión más general, los impactos socioambientales que implicaron la construcción del embalse en general, corresponde a alteraciones de calidad en corrientes fluviales en donde se incrementan los sólidos y la turbidez del caudal, contaminación de aire, ruidos y vibraciones, el impacto paisajístico que genera es altísimo ya que transforma los elementos naturales, introduciendo otros externos los cuales generan modificaciones y limitaciones en amplitudes panorámicas, estos cambios provocan con el tiempo problemas de erosión en el suelo, causando consigo inestabilidad.

Si bajo lo anterior nos enfocamos a datos estadísticos según el Global Forest Watch indican que entre 2001 y 2020, se ha observado una pérdida significativa de la cobertura forestal en la región alrededor del embalse, en el 2010, La Calera tenía 21 Kha de cobertura arbórea, extendiéndose sobre el 60% del área de estudio,; en el 2023 se evidencia la pérdida de 3 ha de cobertura arbórea equivalente a 1.55 Kt de emisiones de CO<sub>2</sub>, como es plasmado en la figura 14, pues en esta figura se ilustra los cambios en la cubierta arbórea alrededor del embalse San Rafael entre los años 2000 y 2020, destacando la pérdida de vegetación y sus implicaciones para la biodiversidad.

**Figura 14**

*Cubierta Arbórea 2000 - 2020*

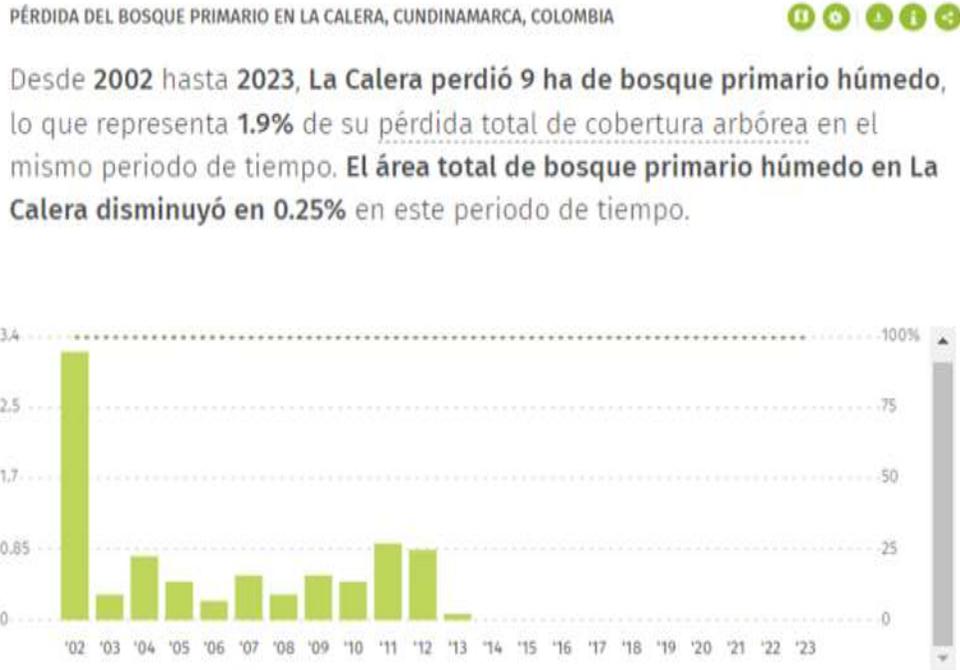


**Nota.** Cambios en la cubierta arbórea alrededor del embalse San Rafael 2000 – 2020 Tomado de Global Forest Watch (2023). Colombia Cundinamarca Calera <https://shorturl.at/Pa6GS>

Donde se han perdido aproximadamente 9 ha de bosque primario debido a la expansión urbana, agrícola e incendios forestales del municipio como se expresa en la Figura 15 donde se evidencia la variación en el área total de bosque primario en el municipio de La Calera entre 2002 y 2023, subrayando la deforestación y su impacto en el ecosistema local y Figura 16 que detalla la pérdida de cobertura arbórea en La Calera debido a incendios forestales durante el período de 2002 a 2023, esto genera una afectación a la biodiversidad de especies radicadas en este escenario, que a medida del cambio y afectación del bosque minimizan el terreno de asentamiento.

**Figura 15**

Área Total Bosque Primario 2002 - 2023



**Nota.** Variación en el área total de bosque primario en el municipio de La Calera entre 2002 y 2023. Tomado de: Global Forest Watch (2023). Colombia Cundinamarca Calera. <https://shorturl.at/Pa6GS>

La construcción y operación del embalse no solo afecta directamente la disponibilidad de agua y la estructura del hábitat, sino que también puede crear condiciones que aumenten la vulnerabilidad del ecosistema a los incendios forestales, como ejemplo se tiene que en el 2002 se presentó la mayor pérdida arbórea por incendios forestales en el sector fecha aledaña a la pueta en marcha del área de estudio. Es crucial considerar estos factores en la planificación y gestión de embalses para mitigar los riesgos asociados y proteger la biodiversidad de las áreas afectadas, pues la disminución de la disponibilidad de agua para la vegetación cercana al embalse reduce la humedad del suelo y de las plantas, haciéndolas más susceptibles a incendios. La vegetación seca actúa como un combustible perfecto para la propagación del fuego, y bien la inundación de áreas para crear embalses puede desplazar la vegetación nativa, que puede ser sustituida por especies más inflamables. Este cambio en la composición de la vegetación aumenta la probabilidad de incendio.

**Figura 16**

*Perdida de cobertura arbórea por incendios forestales 2002 - 2023*



**Nota.** Pérdida de cobertura arbórea en La Calera debido a incendios forestales durante el período de 2002 a 2023, tomado de <https://shorturl.at/Pa6GS>

Las actividades económicas del sector en el periodo de estudio, genero emisiones a la atmosfera de gases de efecto invernadero de una media anual de 10.3 Kt como se evidencia en la Figura 17 que presenta las emisiones de CO2 en La Calera entre 2001 y 2023, evaluando la contribución de las actividades socioeconómicas al cambio climático y la calidad del aire.

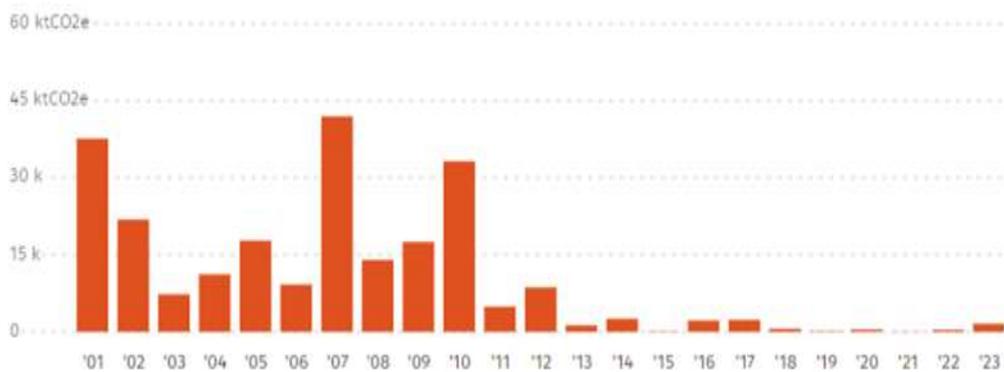
**Figura 17**

*Emisiones de CO<sub>2</sub> 2001 – 2023*

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO RELACIONADAS CON LOS BOSQUES EN LA CALERA, CUNDINAMARCA, COLOMBIA



Entre el 2001 y el 2023, se emitió a la atmósfera una media anual de **10.3 kt** como resultado de la pérdida de la cubierta arbórea en **La Calera**. En total, durante este período se registró **237 kt of CO<sub>2</sub>e** de emisiones.

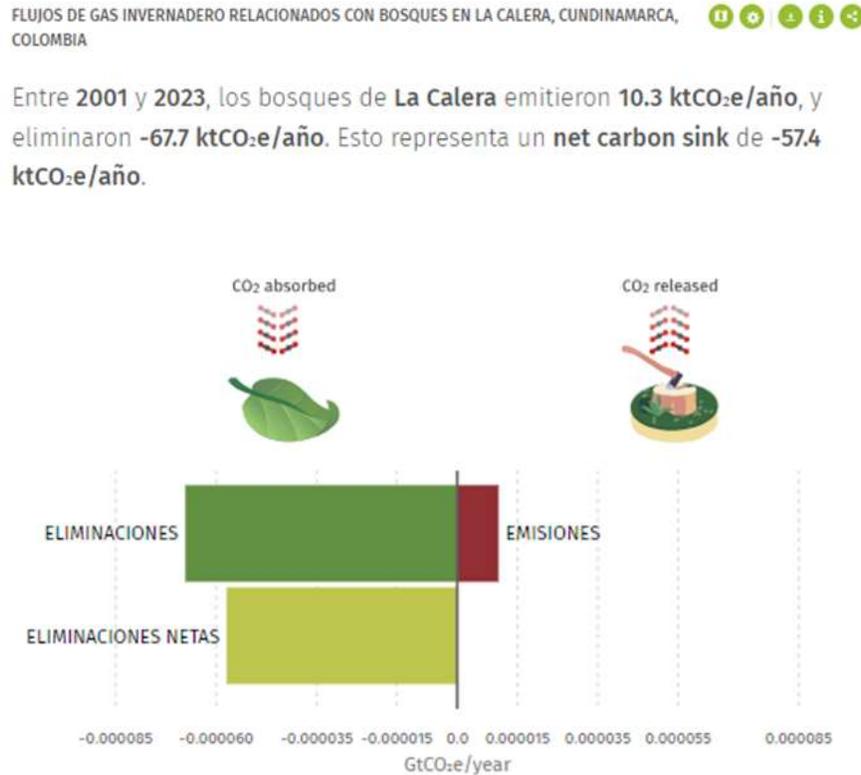


**Nota.** Contribución de las actividades socioeconómicas al cambio climático y la calidad del aire, tomado de <https://shorturl.at/Pa6GS>

Pero bien como se evidencia en la Figura 18. En el transcurso de este periodo de estudio se tiene que los bosques de La Calera eliminaron 67.7 kt CO<sub>2</sub> por año, lo que significa que, en conjunto, los bosques de La Calera actuaron como un sumidero neto de carbono, eliminando más CO<sub>2</sub> del que se emitió.

**Figura 18**

*Flujo de CO2 2001 - 2023*



**Nota.** Flujo de eliminación de CO<sub>2</sub>, tomado de <https://shorturl.at/Pa6GS>

Entiéndase bajo el desarrollo de este documento que el Embalse corresponde a la acumulación artificial de agua en un ambiente natural producto de una acción humana ejecutada para acopiar agua para fines de su uso y/o consumo (Adler, 2006), y para la construcción de estos se debe intervenir o modificar la morfología de los ríos, sus estructuras, formas y causes (Laverde Mesa, 2016, p. 23).

El acelerado crecimiento demográfico de Bogotá ha superado los límites del distrito, afectando a los municipios circundantes. La Calera es uno de estos municipios, donde la construcción de urbanizaciones campestres ha incrementado la demanda de servicios públicos y la generación de vertimientos. Según el censo del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2018), La Calera cuenta con 23,208 personas en 9,212 viviendas, representando más del 60% de la población de los municipios aledaños.

La construcción de presas es una actividad antrópica que busca satisfacer necesidades de uso eléctrico, de consumo de agua, control de avenidas, etc., sin embargo, la acumulación de grandes volúmenes de agua les confiere a los embalses la capacidad para atrapar la carga de fondo y en suspensión que transportan los ríos afluentes, y en consecuencia liberar aguas con bajo contenido de sedimentos y con gran capacidad erosiva.

La degradación en los cauces conlleva una serie de incidencias negativas en las estructuras antrópicas hidráulicas y rivereñas ya que frecuentemente los cimientos de puentes y canalizaciones se desentierran y son sometidos a socavación; las tomas de agua para consumo humano, industriales y agrícolas quedan colgadas e inservibles por descenso del nivel del agua; el control de avenidas y la navegación se alteran al desplazarse la línea principal del flujo en la corriente de agua desde la perspectiva medioambiental, las variaciones en el cauce igualmente pueden repercutir de muy diversas maneras en los ecosistemas fluviales y rivereños los cuales pueden incluso perder la conectividad hidráulica ; (Diaz Ayala, Castaño Ramirez, & Navarrete Acuña, 2016, p. 14)

Las transformaciones que el hombre realiza a la naturaleza implican la creación de ecosistemas nuevos, y se destruyen o modifican otros, generando efectos ya sean positivos o negativos sobre el medio ecosistémico, como bien se ha mencionado el mayor impacto ambiental se presenta en la modificación de los patrones naturales del flujo del agua y del régimen de sedimentación de los ríos; si bien los embalses pueden almacenar agua para diversos usos, teniendo un rol importante en el desarrollo de la sociedad, pueden llegar a impedir el desarrollo sustentable de los ecosistemas intervenidos; pues pueden aislar comunidades bióticas de las cuencas, interrupción de las migraciones y movimientos de las especies para su sobrevivencia y reproducción

Si bien como se mencionó el embalse tiene ventajas para la sociedad tales como:

- Mejoramiento en el suministro de agua a cascos urbanos en épocas de sequía.
- Desarrollo de la industria Pesquera
- Incremento de las posibilidades de recreación

- Mantenimiento de reservas de agua para diferentes usos
- Incremento de vías navegables y disminución de distancias para a navegación

Se tienen desventajas tales como, la pérdida en la actividad agroindustrial por inundación de zonas con alto índice de desarrollo, Posible incremento de la actividad sísmica, especialmente durante el llenado del embalse, los fuertes cambios del ecosistema de la zona, el impacto ambiental tanto aguas arriba como aguas abajo (Bustamante Fernandez, 2008, p. 17)

Esto evidenciando el desarrollo de la sociedad sobre los efectos ambientales, los cuales deben ser evaluados en todos los ámbitos, pues bien la presencia del embalse así tenga buenas prácticas de manejo y niveles permisibles en los parámetros del recurso presenta alteraciones en el régimen, características y calidad del sistema aguas abajo; dado por la retención de caudal sólido el cual incrementa la erosión del cauce y al mismo tiempo disminuye el nivel freático, afectando de esta forma a los ecosistemas ribereños y consigo a las poblaciones presentes aguas abajo de estas construcciones que dependen de este recurso, el impacto social que produce aguas abajo de los embalses está ligado principalmente a la calidad que se ve afectada.

Dentro del desarrollo de la investigación e información plasmada con anterioridad se evaluaron los siguientes indicadores como referentes de las afectaciones al ecosistema:

- Calidad de agua, evaluando los parámetros como oxígeno disuelto (DO), sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), conductividad y pH.
- Biodiversidad como los cambios de flora y fauna locales con énfasis en las especies endémicas y en peligro de extinción.
- Cobertura vegetal analizando la pérdida o el aumento de esta
- Suelo en referencia al cambio en la composición y calidad del suelo

Dado lo anterior se identificó que la calidad del agua del embalse San Rafael se ha visto afectada por diversas actividades humanas y cambios en el uso del suelo. Según los datos recopilados por Barriga Rodriguez. (2019), entre 2005 y 2016, se observó un incremento en los sólidos suspendidos totales y la demanda química de oxígeno,

indicando una degradación de la calidad del agua (p. 27). La conductividad y el pH también mostraron variaciones que reflejan la influencia de la actividad agrícola y urbana en la cuenca.

En relación con la biodiversidad en el área ha disminuido significativamente. Informes históricos y censos recientes revelan una reducción en la población de varias especies de flora y fauna. La urbanización y la tala de árboles, como la que ocurrió durante la construcción del parque San Rafael, han contribuido a esta pérdida. En 2019, se talaron 8,000 árboles con la promesa de sembrar 70,000, pero el impacto inmediato en el hábitat fue considerable.

Bajo el análisis de la cobertura vegetal de las imágenes satelitales de Google Earth Pro muestra una clara disminución en la cobertura vegetal desde el año 2000. Global Forest Watch reporta que entre 2001 y 2020, se perdieron aproximadamente 1,200 hectáreas de bosque debido a la expansión urbana y agrícola. Esta deforestación ha afectado gravemente la biodiversidad y ha contribuido a la erosión del suelo; y frente a este último se indica una degradación notable. La disminución de la materia orgánica y el aumento de la erosión, especialmente en áreas deforestadas, han reducido la capacidad del suelo para soportar la vegetación y mantener la biodiversidad.

La concentración de actividades en la ciudad de Bogotá ha incrementado el ritmo de crecimiento demográfico, rebasando los límites del distrito y generando externalidades en los municipios aledaños. La Calera es uno de estos municipios, experimentando un crecimiento demográfico significativo con la construcción de urbanizaciones campestres que aumentan la demanda de servicios públicos y la generación de vertimientos.

La localización de viviendas y la accesibilidad a los servicios públicos no se encuentran debidamente reguladas, obligando a las constructoras a implementar sistemas de tratamiento de agua residual convencionales para cumplir con las obligaciones requeridas por las autoridades para el otorgamiento de licencias de construcción. El impacto ambiental resultante de estas actividades incluye contaminación del aire, agua y suelo, generación de residuos, empobrecimiento de los ecosistemas y pérdida de biodiversidad.

En este contexto, se desarrolló un proyecto bajo el cumplimiento del artículo 2 de la Constitución Política, buscando crear un embalse con capacidad de almacenamiento de 250 millones de metros cúbicos de agua para abastecer a Bogotá más allá del año 2020. Sin embargo, la adecuación de estos sistemas de abastecimiento, como los embalses, no contempla completamente los efectos negativos que impiden el desarrollo sustentable, tales como la fragmentación de los ecosistemas fluviales y las migraciones de especies.

Específicamente, el funcionamiento del embalse San Rafael ha influido en el ecosistema aledaño de varias maneras. La construcción del embalse ha fragmentado los hábitats locales, afectando la migración y reproducción de especies acuáticas y terrestres. La retención de agua ha alterado los flujos naturales, modificando el régimen hidrológico y contribuyendo a la erosión del suelo. Adicionalmente, la calidad del agua ha sido impactada negativamente por la acumulación de contaminantes, y la pérdida de cobertura vegetal ha reducido la biodiversidad en la zona. A pesar de estos desafíos, el embalse también ha proporcionado beneficios como el suministro de agua potable y la regulación de caudales para la ciudad de Bogotá y sus alrededores.

#### 4. CONCLUSIONES

Dentro de este documento se buscó reconocer los usos de los recursos hídricos empleados para el abastecimiento de las necesidades de la comunidad aledaña al embalse San Rafael, brindando un panorama general donde se identifica el uso de los recursos naturales empleados para el abastecimiento de la comunidad aledaña al área de estudio, pues se tiene que estos almacenan volúmenes grandes de agua para suministro en caso de emergencia de otros embalses, cumple propósitos de regulación de caudal, control de inundaciones en la Sabana, para el abastecimiento del sector agropecuario. Y como los embalses funcionan de manera idónea siempre y cuando se ejecuten buenos diseños y se manejen con toda la responsabilidad, diligencia y cuidado los criterios ambientales y operacionales.

Al analizar los impactos ambientales de las actividades socioeconómicas desarrolladas en los ecosistemas alrededor de los embalses, surgen efectos no del todo positivos que contrarrestan las ventajas de estas obras ingenieriles, impidiendo el desarrollo sustentable, por ejemplo, debido a que la construcción de las presas fragmentan los ecosistemas fluviales, aislando a las comunidades bióticas de las cuencas altas de aquellas que habitan en las zonas medias y bajas, y como resultado se interrumpen las migraciones, los movimientos de las especies y se aísla al río de sus planicies y litorales, las especies terrestres también dependen de los igapós y las llanuras aluviales para alimentarse o alojarse temporalmente.

Al observar el ecosistema aledaño al embalse San Rafael en el transcurso de los años se pueden identificar en cuanto a impactos negativos la reducción de la diversidad biológica nativa, la no emigración de peces, la interrupción del transporte de elementos nutritivos aguas abajo y la disminución del caudal de los ríos; y en relación a los impactos positivos que más resaltan están la generación eléctrica, el riego, el control de inundaciones, la generación directa de empleo, el comercio generado a través del turismo y la piscicultura, factores que aportan directamente al crecimiento de la economía regional.

Y por último el estudio revela que el ecosistema circundante al embalse San Rafael ha sufrido múltiples afectaciones entre los años 2000 y 2023. La calidad del agua

ha disminuido, la biodiversidad se ha reducido, y la cobertura vegetal nativa se ha deteriorado. Estos hallazgos subrayan la necesidad urgente de implementar medidas de conservación y gestión sostenible para proteger y restaurar el ecosistema.

Dado lo anterior y lo desarrollado durante este documento se puede concluir la necesidad de mantener el abastecimiento de una sociedad que día a día aumenta su población y a su vez su impacto en el medio ambiente, la normatividad actualmente establecida debe enfocarse a la conservación social y ambiental, evaluar y mantener un equilibrio pues bien el impacto tanto positivo como negativo se ve reflejado, pues bien se presenta una compensación en la afectación del recurso distribuido para la sociedad, se debe plantear mecanismos que ayuden a fomentar el desarrollo ambiental sin cambiar las características principales del entorno.

La investigación demostró que las actividades socioeconómicas en el área de influencia del embalse San Rafael han tenido un impacto negativo significativo en el medio ambiente. La construcción de urbanizaciones campestres y la intensificación de actividades agrícolas y urbanas han llevado a una disminución en la calidad del agua, pérdida de biodiversidad y degradación del suelo. Estos hallazgos confirman la hipótesis de que el crecimiento de estas actividades ha tenido efectos adversos en el ecosistema local.

Se identificó que el uso de los recursos hídricos en La Calera está fuertemente influenciado por la necesidad de abastecimiento para actividades domésticas, agrícolas e industriales. La falta de regulación adecuada en la distribución y tratamiento del agua ha llevado a una sobreexplotación de las fuentes hídricas, contribuyendo a su deterioro.

La investigación reveló que los recursos naturales alrededor del embalse San Rafael son utilizados principalmente para actividades agrícolas, ganaderas y residenciales. La expansión de estas actividades ha resultado en una considerable presión sobre los ecosistemas locales, afectando negativamente la flora y fauna de la región. Además, la implementación de sistemas de tratamiento de agua insuficientes ha exacerbado los problemas de contaminación.

A través del análisis de imágenes satelitales y datos históricos, se observó una notable pérdida de cobertura vegetal y biodiversidad entre los años 2000 y 2023. La deforestación, causada tanto por actividades humanas como por incendios forestales, ha reducido significativamente el hábitat disponible para numerosas especies. Además, el incremento de contaminantes en el agua del embalse ha afectado negativamente la calidad del ecosistema acuático.

En resumen, la investigación ha cumplido con los objetivos planteados, demostrando que las actividades socioeconómicas en la región del embalse San Rafael han tenido impactos ambientales significativos. Se ha reconocido el uso intensivo de los recursos hídricos y naturales, y se han observado claras afectaciones al ecosistema a lo largo de los últimos 23 años. Estos hallazgos subrayan la necesidad urgente de implementar medidas de conservación y gestión sostenible para proteger y restaurar el medio ambiente en La Calera, promoviendo un equilibrio entre el desarrollo socioeconómico y la preservación ambiental."

## REFERENCIAS

- Acueducto agua y alcantarillado de Bogotá. (2014). Documento Técnico de Soporte Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, <https://shorturl.at/3YsXL>
- Acueducto Agua y Alcantarillado de Bogota. (2018). Almacenamiento y embalses\*. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. <https://acortar.link/SVPZiL>
- Alcaldía Municipal de La Calera. (2024). Información del municipio. <https://shorturl.at/pLriK>
- Barriga, J. A. (2020). Evaluación de la calidad hídrica e impactos socioambientales de los embalses de Cundinamarca, Colombia, <http://hdl.handle.net/10554/46757>, pp 16 - 47.
- Bernal Sánchez, Á. M., Hernández Peña, Y. T., & Bernal Vargas, J. E. (2022). Reflexiones en torno a los factores que influyen en la expansión urbana: revisión de metodologías e instrumentos de investigación. Revista Colombiana de Geografía, <https://shorturl.at/X2U1t> p. 16.
- Bustamante Fernández, C. A. (2008). Efectos ambientales generados por la construcción y operación de un embalse\*. Universidad de Sucre, <https://shorturl.at/VPPrwM>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE. (2018). Censo nacional de población y vivienda. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/cnpv-2018/>
- Díaz Ayala, J. E., Castaño Ramírez, A., & Navarrete Acuña, F. I. (2016). Impactos ambientales y sociales de la construcción de embalses en Colombia: aproximación al estado del arte. Universidad La Gran Colombia. pp. 10-16 <https://tinyurl.com/2dc344nh>
- Díaz Puerto, Z., & Villamil, J. (2017). Viabilidad ambiental y económica de la adecuación de los senderos ecológicos del parque regional embalse San Rafael, para la consolidación de incentivos por prestación de bienes y servicios ambientales Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://rb.gy/1qe07g>, pp. 9 -15

- El Tiempo. (1997, marzo 22). La emergencia ecológica del Embalse San Rafael. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-555417>
- Gobernación de Cundinamarca. (2020). Mapa de División Político – Administrativa, [t.ly/Xn45m](https://t.ly/Xn45m)
- Global Forest Watch. (19 de Mayo de 2024). Cubierta Arbórea (2000-2020). cundinamarca, La Calera. <https://rb.gy/36qpjh>
- Google Earth Pro. (2024). Embalse San Rafael. <https://acortar.link/ZSnncl>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC- (2014). IGAC revela “anti-ranking” de los departamentos con los mayores conflictos de los suelos en Colombia. Consultado el 02 de diciembre de 2017. <https://www.igac.gov.co/index.php/el-igac/hechos-relevantes-de-la-historia>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, corpoica (2001). Los conflictos de uso de la tierra en Colombia. Consultado el 03 de diciembre de 2017. <http://observatorio.unillanos.edu.co/portal/archivos/99los%20conflictos%20de%20uso%20de%20las%20tierras%20en%20colombia.pdf>
- Instituto del Agua. (2024). Cambio Climático: Su Impacto Profundo en la Agricultura y Soluciones Sostenibles. <https://institutodelagua.es/cambio-climatico/como-afecta-el-cambio-climatico-en-la-agriculturacambio-climatico/>
- Laverde Mesa, L. E. (2016). Evaluación del impacto de los embalses por retención de sedimentos sobre la morfología del cauce del Río Magdalena mediante el análisis de tramos representativos en el comportamiento sedimentológico entre el embalse de Betania y el municipio de Regidor. Bogotá: Ciencia Unisalle, pp 23-30, [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1162&context=ing\\_civil](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1162&context=ing_civil)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). Uso y aprovechamiento. <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/uso-y-aprovechamiento/>

- Monsalvo Mendoza, Romero Niño y Urquijo Martínez (2018) Análisis multiescalar de los valores y potencialidades paisajísticas y culturales del Embalse de Tominé
- Montero González, y. P., & torres verano, j. A. (2019). Corredor ecológico del embalse de san Rafael para la configuración del paisaje ecosistémico. Bogotá: universidad la gran Colombia, pp 7-34.
- Otálora Muñoz, N. & Fajardo Ruiz, E. J. (2018). Análisis multitemporal de la calidad del agua y su relación con el uso del suelo en el Embalse "San Rafael" (La Calera, Cundinamarca). <http://hdl.handle.net/11349/15323>.
- Oviedo Ocaña, R. (2018). Las Hidroeléctricas: efectos en los ecosistemas y en la salud ambiental. Editorial Salud UIS.
- Per Otto, J., Trond Einar, I., Einar, B. I., Marte, H., & Dahlgren, T. G. (septiembre 2017). Temporal changes in benthic macrofauna on the west coast of Norway resulting from human activities". Thomas: ELSEVIER. pp. 483 - 495
- Pedraza Garcia. L. (2014). Análisis y evaluación del impacto ambiental de los procesos de urbanización campestre en el sector de la cuenca media-baja del río Teusacá, municipios de la calera, guasca y sopó". Bogotá D.C.: pontificia universidad javeriana. pp 11- 31
- Rey Herrera, I y Solarte Torres, S. (2020). Análisis de los cambios en el uso del suelo de los predios pertenecientes al área de influencia del proyecto vial "Perimetral de Oriente de Cundinamarca" en la Unidad Funcional 3A, municipio de la Calera-Cundinamarca. pp. 16-59. Universidad Santo Tomás.
- Rincon Valero, L. (2017). Lineamientos de gestión para el mejoramiento de la calidad de agua en la cuenca alta del río Teusacá hasta el Embalse de San Rafael, relacionada con los usos de suelo en los municipios de La Calera y Bogotá D.C. Bogotá. pp 3-38
- Roa Muñoz., F. J., & Rodríguez Zárate, G. A. (2015). Compendio histórico legal de las licencias urbanísticas. Universidad Militar Nueva Granada.

- Serrato Vásquez , M. (2013). Mal uso del suelo en Colombia ocasiona problemas socioeconómicos\*. [http://www.sistemasagroecologicos.co/images/revistas/2013\\_2/articulo\\_6.pdf](http://www.sistemasagroecologicos.co/images/revistas/2013_2/articulo_6.pdf)
- Wainer, A. G. (2018). Economía y política en la Argentina kirchnerista (2003-2015). *Revista Mexicana de Sociología*, p. 29.
- Winemiller, K. O. (2016). Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *\*Science\**, 351(6269), 128-129.
- Ziv, G., Baran, E., Nam, S., Rodríguez-Iturbe, I., & Levin, S. A. (2012). Trading-off fish biodiversity, food security, and hydropower in the Mekong River Basin. *\*Proceedings of the National Academy of Sciences\**, 109(15), 5609-5614. <https://doi.org/10.1073/>