



**ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL
RÍO CALANDAIMA EN CUNDINAMARCA-COLOMBIA.**

LADY ISABEL MENDEZ CARDENAS

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS
RECURSOS NATURALES
BOGOTA
2014**

ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO CALANDAIMA EN CUNDINAMARCA-COLOMBIA.

Lady Isabel Méndez Cárdenas
Ingeniera de Sistemas
limc87@gmail.com

Universidad Militar Nueva Granada, Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de Recursos Naturales, Bogotá 2014

RESUMEN

La región del Tequendama en general y específicamente los municipios del Colegio, Anapoima, Apulo, Viotá y Tocaima, han venido sufriendo, con mayor énfasis en los últimos años, de una insuficiencia en el recurso hídrico para el consumo, fundamentalmente en los periodos secos de enero-febrero y julio-agosto. A la problemática se suma la imposibilidad de utilizar para el abastecimiento la principal fuente constituida por el río Bogotá, dado su estado de contaminación.

De igual forma y de manera alterna durante las épocas de lluvia se presentan inundaciones en zonas agropecuarias, en zona de ronda de los ríos afectando viviendas y vías aledañas.

Palabras claves: recurso hídrico, época de lluvia, abastecimiento.

ABSTRACT

The región of Tequendama in general and specifically the towns of Colegio, Anapoima, Apulo, Viotá and Tocaima, have been suffering with great emphasis on the last years a shortage of water resource for drinking, mainly in dry periods of January-February and July-August. To this problem adds the impossibility the inability to use to supply the main source constituted by the Bogota River, given the state of pollution.

The same way and alternatively during rainy seasons floods occur in agricultural areas and in areas of river rounds affecting homes and surrounding roads.

Key words: water resources, rainy season, supplying.

INTRODUCCIÓN

La subcuenca del Río Calandaima se localiza en la vertiente izquierda de la parte baja de la Cuenca del río Bogotá; el gradiente altitudinal oscila entre 2800 m.s.n.m a 450 m.s.n.m por lo que se presenta condiciones climáticas variables. Recibe las aguas de las quebradas Campos, La Palma, La Sanjuana, Colorada, Modelia, Azufrada y La Ruidosa. [3]

La zona de estudio nace en la Cuchilla de Peñas Blancas y desemboca en el río Bogotá; se destaca por relieves montañosos con predominio de relieves fuertemente ondulados, quebrados y muy escarpados; registrando valores medios de precipitación de 1.400 mm, evaporación de 1.300 mm y temperatura de 23 °C. [2]

Hasta el momento la explotación de materiales de construcción que produzcan afectación al paisaje y al terreno, no son conocidas en el área de estudio; sin embargo la subcuenca centra su economía en la ganadería, la producción agrícola con cultivos de café y frutales, la avicultura, la porcicultura y la apicultura.

La riqueza ambiental se hace presente con los ecosistemas de Bosque Alto Andino característico de la Cuchilla de Peñas Blancas y de Subía en el municipio de Mesitas del Colegio y las rondas de los ríos Lindo en el municipio de Viotá y Calandaima en el municipio de Apulo; los humedales como la Laguna del Indio, Las Palmas y Bosto en el municipio de Viotá. [3]

El potencial hídrico de aguas subterráneas en la subcuenca se encuentra afectado por los residuos líquidos de letrinas, la disposición de residuos sólidos a cielo abierto y por la falta de protección en los pozos de extracción. Este recurso se ve amenazado por la contaminación con aguas residuales de los municipios que no poseen planta de tratamiento, los lixiviados generados por la inadecuada

disposición de residuos sólidos domésticos y los de las actividades agrícolas. [3]

El orden público de la zona ha limitado la vocación turística por lo que no se ha desarrollado el potencial para las actividades recreacionales, turísticas y ecoturísticas. Los efectos de la población flotante que semanalmente reciben los municipios de Anapoima y Apulo, por la vía la Mesa, no se reflejan en la subcuenca del Río Calandaima pero si en la del Río Apulo.

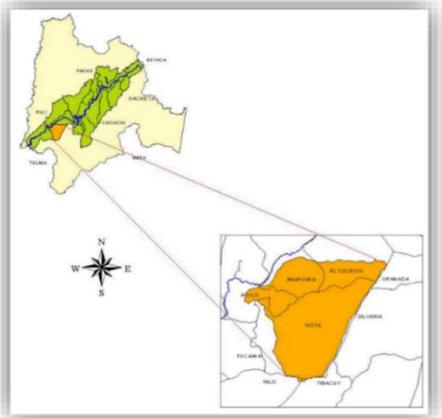
En la subcuenca hay presencia de erosión debido a las pendientes moderadas a fuertemente inclinadas, se presenta ganadería semintensiva que induce cambios en la superficie del terreno.

De acuerdo a lo anterior, se realizará dentro del estudio el análisis el comportamiento hidrológico de la cuenca de Calandaima con el fin de determinar una alternativa de abastecimiento del recurso hídrico en la misma, debido a que esta cuenca carece de este recurso tan valioso y necesario para la comunidad de la zona.

METODOLOGÍA

Área de estudio

La Subcuenca del Río Calandaima se encuentra localizada en la región del Tequendama dentro de la parte central de la Provincia Fisiográfica de la Cordillera Oriental. El área de estudio se localiza en el departamento de Cundinamarca en los municipios de El Colegio, Apulo, Viotá y Tocaima, los cuales hacen parte de la subcuenca hidrográfica en mención. [3]



Fuente CAR- POMCA Subcuenca Río Calandaima

Imagen 1. Área de influencia del estudio

Revisión bibliográfica

Con el fin de cumplir con los objetivos del presente proyecto, se realizó una revisión bibliográfica la cual se basó en las siguientes temáticas:

- ❖ Oferta y Demanda del recurso hídrico
- ❖ Hidrología y Climatología
- ❖ Planeamiento y disponibilidad del agua en la zona de estudio.
- ❖ Aprovechamiento y/o afectación de los recursos naturales en la cuenca.
- ❖ Plan de Manejo y Ordenamiento de una Cuenca
- ❖ Diseño de embalses

Para ello se realizó una búsqueda web, consulta de estudios realizados en la zona de estudio, información suministrada por la autoridad ambiental CAR e información hidrometeorológica de la cuenca suministrada por esta misma entidad.

Levantamiento de la Información

Características de la Cuenca

La cuenca del río Calandaima presenta las siguientes características morfométricas calculadas, tales como las cotas mayor y

menor, el área tributaria, la pendiente media de la subcuenca, la longitud del cauce principal, el perímetro, la densidad de drenajes, índice de compacidad, etc., las cuales se describen a continuación:

Área: El área de drenaje es el área plana sobre una proyección horizontal, incluida dentro de su divisoria de aguas. (Km²). [10]

Cota mayor: Es la mayor altura a la cual se encuentra la divisoria de aguas (m.s.n.m.)
Cota menor: Es la cota a la cual entrega sus aguas al río Bogotá (m.s.n.m.) [10]

Pendiente media: La pendiente del cauce principal está definida como la variación de altura por unidad de longitud del fondo del cauce principal. (m/m). [10]

Perímetro: Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas.(Km.) [10]

Patrón de drenaje: Es la característica del drenaje que sigue el curso principal.
Longitud de drenajes: Es la longitud total de los cursos de agua de la cuenca. (m). [10]

Densidad de drenajes: Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total y su expresión matemática es la siguiente: [10]

$$Dd = \frac{Ld}{A}$$

Longitud del cauce principal: Se define como el recorrido total del cauce principal, hasta su desembocadura. (m) [10]

Altura media de la cuenca: La elevación media está definida en m.s.n.m como:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (CM_i A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Donde:

- CM_i = Cota media del intervalo i
- A_i = Área del intervalo i
- n = Número de intervalos [10]

Longitud axial: La longitud axial de la cuenca se mide cuando se sigue el curso de agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante en la hoya. (m). [10]

Ancho medio: El ancho medio se obtiene cuando se divide el área por la longitud axial de la hoya, de acuerdo con la siguiente expresión: [10]

$$kf = \frac{A}{L}$$

Índice de compacidad: Es la relación entre el perímetro de la cuenca (longitud de la divisoria de

aguas) y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la de la cuenca, y se expresa según la siguiente relación: [10]

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Sinuosidad de las corrientes de agua: Es la relación entre la longitud del río principal medida a lo largo de su cauce y la longitud del

valle del río principal medida en Línea recta desde su nacimiento hasta su desembocadura. [10]

$$S = \frac{L}{Lt}$$

Tiempo de concentración: Está íntimamente relacionado con la forma de la cuenca y se define como el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que la totalidad de la cuenca contribuya al drenaje, o en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites mas extremos de la divisoria de aguas hasta llegar a la salida de la misma. [10]

Índice de Torrencialidad (I_T): Resulta de dividir el número de cauces de primer orden (torrentes iniciales entre la superficie de la cuenca. Un índice alto, indica torrencialidad y rápida evacuación de caudales y sedimentos. De acuerdo con lo anterior, su cálculo se obtiene a partir de la siguiente ecuación: [10]

$$I_T = (\sum L_i) / A$$

Donde: L_i : son los cauces de orden uno en la cuenca y A es el área de la misma.

De acuerdo con los datos presentados en la tabla No 1 [3], se puede decir que la cuenca es de tipo redondeado, encontrándose sus cabeceras sobre la cota 2.800 msnm., y su cota más baja sobre los 450 msnm. La altura media está en los 1.625 msnm, presentando un drenaje superficial rápido y de tipo sinuoso.

CUENCA	PENDIENTE MEDIA			AREA (Km ²)	PERIMETRO (Km)	PATRON DE DRENAJE*	LONGITUD DE DRENAJES (Km)	DENSIDAD DE DRENAJE (m/Km ²)	LONGITUD CAUCE PRINCIPAL (Km)	PENDIENTE MEDIA CUENCA (m/Km)	ALTURA MEDIA CUENCA (m)	FORMA DE LA CUENCA			INDICE DE TORRENCIALIDAD	Tc (minutos)	Velocidad (m/s)
	COTA MAYOR (m)	COTA MENOR (m)	PENDIENTE MEDIA (m/m)									LONGITUD AXIAL CUENCA (m)	ANCHO CUENCA (m)	INDICE DE GRAVELIUS			
RIO CALANDAIMA	2.800	450	0,14	268	78	Sp	641	2.387	25	17,26	1.625	17.085	15.608	1,34	2,43	212	1,93

Tabla No 1. Características morfométricas de la cuenca-POMCA

En la imagen No 2. Se observa el perfil longitudinal de la cuenca

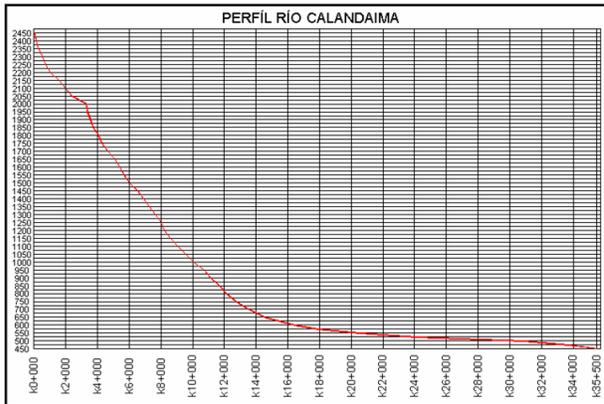


Imagen No 2. Perfil Longitudinal

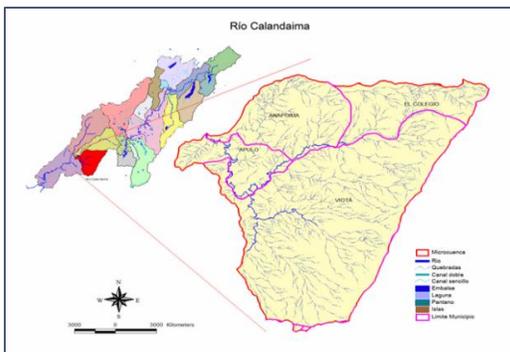


Imagen No 3. Localización de la cuenca Calandaima dentro de la cuenca del río Bogotá y sus subcuencas

Climatología

El clima es el conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan el tiempo atmosférico y la evolución de una determinada región. Siendo entonces, determinado por el análisis espacio temporal de los elementos que lo definen, tales como la precipitación, la temperatura, la humedad relativa y el brillo solar entre otros, y los factores que lo afectan, como lo son la pendiente, la altitud, las formas del relieve y la cobertura vegetal. Cabe destacar que la variación de precipitación permite definir clasificar y zonificar el clima de una cuenca y que los factores del clima, generan cambios climáticos a nivel regional o local, mientras que la cobertura vegetal es

causa y efecto del clima tanto como su indicador. [8]

Una razón fundamental para el estudio de la climatología de la zona, desde el punto de vista físico-biótico, es su intervención directa en la evolución de los suelos y el paisaje, lo que influenciará la decisión del uso de las tierras previendo el más adecuado. Igualmente constituye el elemento o insumo necesario para determinar amenazas naturales y socioeconómicas.

De tal forma la caracterización y clasificación del clima comprende:

- ✓ El análisis conjunto entre los datos de las estaciones meteorológicas, la posición de la zona de convergencia intertropical (CIT) y los factores climáticos altitud y disposición topográfica de las vertientes para determinar el régimen climático predominante (Monomodal o Bimodal), la distribución espacial de las isoyetas e isothermas y las características puntuales de otros elementos del clima como vientos, brillo solar, humedad relativa, etc. [8]
- ✓ Análisis de la vegetación y de los elementos topográficos necesarios para la determinación de unidades climáticas ajustando su clasificación al método empleado. [8]
- ✓ Determinación de las zonas climáticas a partir de los datos obtenidos de los índices de humedad, de aridez e hídrico. [8]

Con el fin de establecer la caracterización climatológica de la subcuenca, se seleccionaron las estaciones localizadas en toda la cuenca del río Bogotá y sus alrededores, y se determinaron la variabilidad espacial de la precipitación, la temperatura y la evaporación, por medio de las isoyetas y la distribución

temporal de los parámetros más relevantes, tales como precipitación, evaporación, humedad relativa, temperaturas y brillo solar.

Para la descripción cualitativa y la distribución temporal de los diferentes parámetros climáticos, se seleccionó la estación Climatológica Principal Escuela Samper Madrid, considerada como representativa de la subcuenca y contar con relativamente buenos registros y está localizada directamente en la parte baja de la cuenca, a una altura de 550 msnm.

Información climatológica

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se seleccionaron las estaciones climatológicas, operadas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, localizadas en la cuenca y sus alrededores, tanto las suspendidas, como las que actualmente se encuentran en funcionamiento, con el fin de verificar y homogenizar las series de datos y regionalizar algunos de los parámetros climáticos, tales como precipitación, evaporación y temperatura, teniendo en cuenta que para una cuenca específica no existe el suficiente número de estaciones climáticas necesarias para establecer las isoyetas.

A continuación, en la tabla No 2, se presentan las estaciones seleccionadas, para esta cuenca, indicando el tipo de estación, localización, cuenca, período de registro, etc. Donde a cada una de las estaciones seleccionadas, se le analizaron los parámetros registrados, para su verificación y formulación de las alternativas (ver *Tabla No 3*).

Fuente: CAR-IDEAM

Código	CAT	Nombre Estación	Corriente	Municipio	Latitud	Longitud	E	Instalación
2120109	P	VIOTA	LINDO	VIOTA	4°26'N	74°32'W	567	15/11
2120190	PG	COL JOSE DE CALDAS	CALANDAIMA	VIOTA	4°27'N	74°32'W	400	15/02
2120635	CO	LAGOS LOS	CALANDAIMA	VIOTA	4°30'N	74°26'W	2000	15/07
2120184	PM	LAG DEL INDIO	CALANDAIMA	VIOTA	4°24'N	74°28'W	2050	15/04
2120641	CP	ESC SAMPER MADRID	CALANDAIMA	APULO	4°31'N	74°35'W	550	15/03

Tabla No 2. Estaciones climatológicas seleccionadas CAR

<i>Parámetros climatológicos</i>
✓ Precipitación media mensual
✓ Temperatura media mensual
✓ Temperatura mínima mensual
✓ Brillo solar medio mensual
✓ Radiación Solar
✓ Evaporación media mensual
✓ Temperatura máxima mensual
✓ Humedad relativa media mensual
✓ Velocidad y dirección del viento

Tabla No 3. Parámetros climatológicos

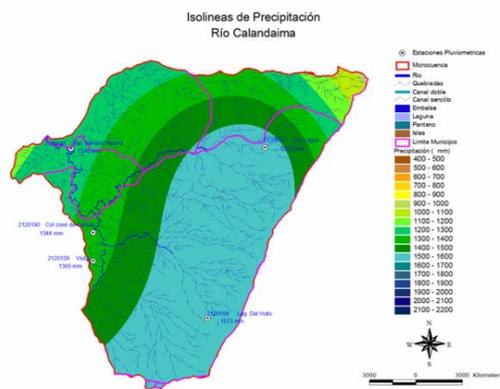
Análisis de la información

Una vez recopilada la información, se procedió a verificar las series mensuales y su valor total multianual y los valores totales anuales y se eliminaron los valores que evidentemente se encontraron errados, en la mayoría de los casos por problemas en la digitalización de los mismos, y se complementaron las series anuales, con el fin de obtener un valor representativo de las mismas, eliminando los años que contaran con menos de ocho meses de información y complementando los meses faltantes con el valor promedio mensual.

✓ Precipitación

En la cuenca y sus alrededores, se encuentran localizadas las estaciones pluviométricas Viotá, Laguna del Indio y Colegio Francisco José de Caldas, la climatológica principal Escuela Samper Madrid y la climatológica ordinaria Los Lagos, tal como se mencionó anteriormente, para los análisis espaciales de la precipitación se utilizaron los registros de todas las estaciones de la zona y para la caracterización climática solo los registros de la estación Escuela Samper Madrid.

se evidencia que los valores máximos, se presentan al oriente de la subcuenca, en las cabeceras, en el municipio de Viotá, con valores que fluctúan entre los 1.500 mm y los 1.600 mm y va disminuyendo paulatinamente hacia el occidente de la subcuenca, donde se observan los valores más bajos, en los alrededores de la población de Viotá, con registros que fluctúan entre los 1.300 mm y los 1.400 mm, finalmente, en la parte más baja de la subcuenca, la precipitación varía entre los 1.200 mm y los 1.300 mm. La precipitación media es de aproximadamente 1.400 mm. (Ver Mapa No 1)



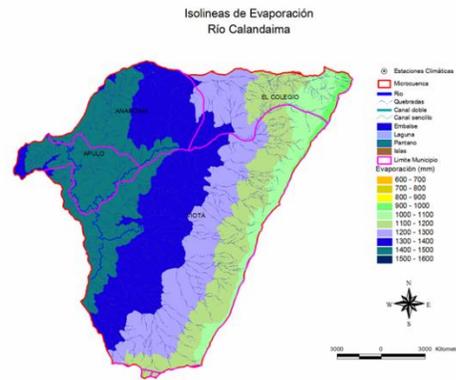
Mapa No 1. Isoyetas-Precipitaciones río Calandaima

✓ Evaporación

Con los valores registrados en las estaciones climatológicas localizadas en la zona y sus alrededores, se observa que los valores más bajos se presentan en la parte alta de la subcuenca, en los municipios de El Colegio y Viotá, al oriente con registros que fluctúan entre los 900 mm y los 1.200 mm. Aumenta luego hacia el occidente de la subcuenca, observándose valores de 1.200 mm a 1.400 mm en la zona central de la subcuenca, entre las cotas 900 msnm y 1.600 msnm. Finalmente, en la parte baja de la subcuenca, se registran valores que fluctúan en entre 1.400 mm y 1.500 mm, entre las cotas 300 msnm y 900 msnm. De acuerdo con lo anterior, se puede decir

que la evaporación media en la subcuenca, es de aproximadamente 1.300 mm siendo más baja que la precipitación media.

Como se observa en el mapa No 2. Isoyetas de evaporación en la cuenca del río Calandaima.



Mapa No 2. Isoyetas-Evaporación río Calandaima

✓ Temperatura

Se tomaron todas las estaciones climatológicas, localizadas en la cuenca, teniendo en cuenta principalmente su elevación, con el fin de determinar el gradiente de temperatura, que como es sabido varía inversamente con la altura.

En la Imagen No 3, se presenta la distribución del gradiente de temperatura y la respectiva ecuación de regresión y en el mapa No 3, las isoyetas de temperatura, como se observa en el mapa, donde las temperaturas más bajas se presentan en la parte alta de la subcuenca, en los municipios de El Colegio y Viotá al oriente, con registros que fluctúan entre los 12 °C y los 18 °C. Disminuye luego hacia el occidente de la subcuenca, observándose valores de 18 °C a 2.4°C en la zona central de la subcuenca, entre las cotas 800 msnm y 1.800 msnm. Finalmente, en la parte baja de la subcuenca, se registran valores que fluctúan en entre 24 °C y 27 °C entre las cotas 300 msnm y 800 msnm. La temperatura media en la subcuenca es de aproximadamente 23 °C.

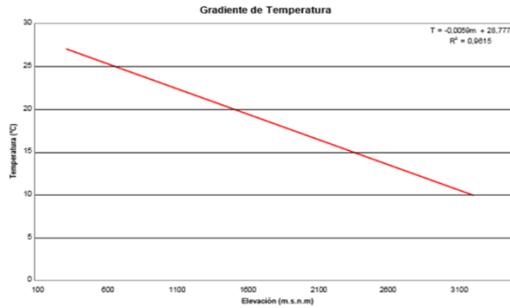
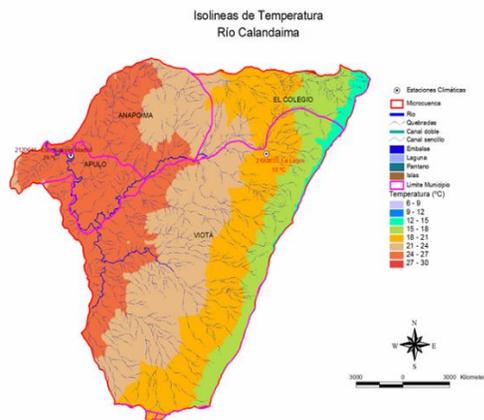


Imagen No 3. Gradiente de temperatura



Mapa No 3. Isoyetas-Temperatura río Calandaima

✓ **Humedad relativa**

La humedad relativa media mensual, presenta una distribución temporal de tipo uniforme, fluctuando alrededor del 80%, presentando los valores más altos en los meses de abril mayo y junio, en el primer semestre del año y octubre y noviembre en el segundo, siendo los meses de mayo y diciembre, los más húmedos, con registros del 81% y 88% respectivamente. Los valores más bajos, se observan en los meses de julio y agosto, observándose a agosto como el que presenta el menor registro, con un valor del 77%. El valor promedio anual es de 81%. El valor máximo es de 85% y el mínimo de 76%.

✓ **Brillo y Radiación Solar**

De acuerdo a los datos suministrados, los valores más altos se presentan en los meses de

enero y febrero en el primer semestre del año, siendo enero el que registra el mayor valor, con 162 horas, y de julio a octubre en el segundo, presentando valores que fluctúan alrededor de las 150 horas. Los valores menores se observan en los meses de marzo a junio en el primer semestre, con un registro de 120 horas y noviembre y diciembre en el segundo con un valor de 135 horas. El valor total anual es de 1.656 horas, con un máximo de 1.938 horas y un mínimo de 1.346 horas. Lo que indica que la cuenca del río Calandaima, presenta un régimen de tipo bimodal.

La radiación solar en la cuenca, presenta una distribución de tipo monomodal a lo largo del año, con valores máximos en los meses de agosto septiembre y octubre, con registros de 280 cal/cm², 290 cal/cm² y 280 cal/cm², respectivamente. Los valores mínimos se observan en los meses de enero y febrero, con registros de 250 cal/cm² El valor total anual es de 3.223 cal/cm².

✓ **Velocidad y dirección del viento**

La velocidad media del viento en la cuenca de estudio presenta una distribución de tipo uniforme a lo largo del año, con valores máximos en los meses de febrero y marzo en el primer semestre del año, con registros de 1.0 m/s y agosto y octubre en el segundo semestre, con un registro igualmente de 1.0 m/s. El valor promedio anual es de 0.9 m/s.

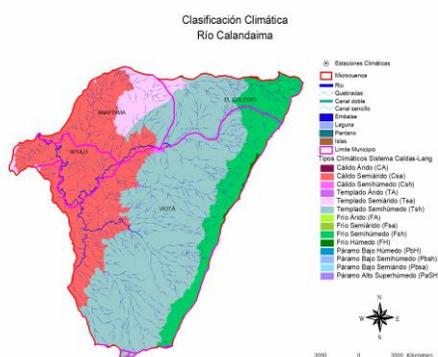
La dirección predominante del viento es sur, durante todos los meses del año.

Clasificación climática

De acuerdo a los datos suministrados, el análisis realizado y lo que plantea el POMCA de la cuenca del río Calandaima, se observa que en la zona de las cabeceras hay una franja a todo lo largo de la cuchilla de Peñas Blancas, cubriendo aproximadamente un 10% del área

total de la subcuenca un tipo de clima frío semi húmedo. En la parte de más abajo, se tiene un clima templado semihúmedo en la cuenca media alta, cubriendo el 50% del área, en la ladera norte de la cuenca media se presenta un pequeño cubrimiento, el cual se encuentra un clima templado semiarido en un 10% del área y finalmente en la cuenca baja, con un cubrimiento aproximado del 30%, se observa el clima cálido semiarido. [3]

Este comportamiento se ve reflejado en la siguiente isoyeta (**Mapa No 4**)



Mapa No 4. Isoyetas-Clasificación Climática

Hidrografía

La cuenca del río Calandaima, de tipo redondeado, comprende principalmente el municipio de Viotá y los municipios de El Colegio, Anapoima y Apulo, se encuentra localizada en la cuenca baja del río Bogotá. Abarca inicialmente un sector montañoso al oriente y se define por la cuchilla de Peñas Blancas y el cerro de Piringallo, que marcan el divorcio de aguas con la cuenca del río Sumapáz y luego desciende hacia la planicie de Anapoima. Sus cabeceras se encuentran sobre la cota 2.800 msnm y la parte baja, en el municipio de Apulo, está sobre la cota 450 msnm. El área total de la cuenca es de 268.4 Km² y el cauce principal, tiene una longitud de 24.5 Km. La cuenca tiene como principales

tributarios el río Lindo con sus quebradas La Soledad, Ruisito y La Juana, las quebradas Campos y La Tora, en las cabeceras del río, las quebradas San Pabluna, La Dulce, La Modelia, La Neptuno, La Ruidosa, San Javier, Seca, Honduras y La Tinta y la Quebrada Santa Juana, con sus tributarios la quebrada La Mona y La Aguardiente. Su desembocadura en el río Bogotá, se encuentra unos pocos kilómetros aguas arriba de la del río Apulo, en cercanías de la población de Viotá. [2]

Sistemas de drenaje

El sistema de drenaje de la cuenca, es de tipo superficial por medio de cauces naturales, algunos canales y quebradas que tributan a los ríos principales, que son la quebrada Santa Juana y la quebrada Campos, que confluyen y conforman el Calandaima, siendo este último el principal colector de la cuenca, drenando por una planicie de mediana pendiente y luego entrega sus aguas directamente al río Bogotá [2].

Información hidrológica

La cuenca del río Calandaima, cuenta con información hidrológica directa, registrada en varias estaciones limnimétricas, localizadas en las cabeceras de la cuenca, en algunos de los tributarios y en la parte baja de la misma.

En la Tabla No 4, se presentan las estaciones seleccionadas en la cuenca del río Calandaima, indicando el tipo de estación, localización, corriente, período de registro, etc.

Código	Nombre Estación	Corriente	Municipio	Latitud	Longitud	Elevación msnm	Instalación
21202888	LM PTE BOCAS	CALANDAIMA	VIOTA	4°28'N	74°52'W	520	15/01/1987
21202888	LM JAVA	CALANDAIMA	VIOTA	4°31'N	74°25'W	2000	15/08/1988
21202887	LM PTE SAMPER MENDOZA	CALANDAIMA	VIOTA	4°29'N	74°34'W	500	15/07/1989
21202886	LM PUEBLO DE PIEDRA	CALANDAIMA	VIOTA	4°28'N	74°30'W	810	15/04/1990
21202895	LM PDLA LA	LINDO	VIOTA	4°28'N	74°33'W	1120	15/01/1987
21202895	LM VIOTA	LINDO	VIOTA	4°27'N	74°31'W	600	15/01/1987
21202900	LM PTE SAENZ	Q SAN JUANA	VIOTA	4°28'N	74°31'W	600	15/01/1987
21202893	LM PTO BRASIL	Q LA MONA	VIOTA	4°24'N	74°29'W	1170	15/08/1988
21202897	LM CASCADA LA	Q MODELIA	VIOTA	4°29'N	74°27'W	1300	15/08/1988
21202801	LM SAN PAULUNA	Q SAN PAULUNA	VIOTA	4°30'N	74°28'W	1510	15/08/1988
21202932	LM PTE BRASIL	Q RUISITO	VIOTA	4°24'N	74°28'W	1150	15/08/1988
21202894	LM NEPTUNA LA	Q AL NEPTUNA	VIOTA	4°29'N	74°30'W	600	15/08/1988
21202899	LM FLORIDA LA	Q RUISITO	VIOTA	4°24'N	74°29'W	1170	15/08/1988
21202903	LM ENTRE RIOS	Q RUISITO	VIOTA	4°27'N	74°29'W	950	15/03/1989
21202844	LM CARACOLI	Q CAMPOS	ANAPOIMA	4°32'N	74°31'W	600	15/01/1985
21202900	LM PTE SAENZ	Q SAN JUANA	VIOTA	4°28'N	74°31'W	600	15/01/1987
21202928	LM VICTORIA	CAMPOS	EL COLEGIO	4°32'N	74°24'W	1820	15/07/1984

Fuente: CAR-IDEAM

Tabla No 4. Estaciones hidrológicas de la cuenca

Se observa, que el limnómetro de la estación Pueblo de Piedra, cuenta con información desde el año 1992, es decir que tiene una serie histórica de 22 años, la cual fue utilizada para el análisis de los caudales.

Para este análisis, se utilizaron los valores de los caudales medios mensuales, los máximos y los mínimos, de la estación seleccionada.

Análisis de la información

Teniendo en cuenta, que las estaciones hidrométricas localizadas en la cuenca, solo reflejan el comportamiento hidrológico parcial de la misma, puesto que se encuentran ubicadas en puntos intermedios en algunos casos o en tributarios de cuarto orden en otros, para el análisis de los caudales aportados, se tomarán como base los valores registrados en la estación Pueblo de Piedra, localizada al sur de la misma en la parte alta, que cubre aproximadamente el 25% del área total, y por medio de la metodología de los rendimientos, se estimaron los valores correspondientes a la totalidad de la subcuenca. No se tuvo en cuenta la estación Puente Sampér Madrid, localizada en la parte baja de la subcuenca, puesto que la información registrada se encuentra alterada por las múltiples extracciones a lo largo del cauce.

De acuerdo con lo anterior, se estableció la siguiente relación, para la generación de los caudales:

$$\frac{Q1}{A1} = \frac{Q2}{A2}$$

Donde:

Q1: Caudal río Calandaima estación Pueblo de Piedra (m³/s)

Q2: Caudal total cuenca del río Calandaima (m³/s)

A1: Área de la cuenca del río Calandaima estación Pueblo de Piedra Km²

A2: Área total de la cuenca del río Calandaima (Km²)

La distribución temporal de los caudales es al igual que la de la precipitación, de tipo bimodal para la cuenca, presentando los valores máximos en los meses de abril, mayo y junio, en el primer semestre del año, siendo mayo el mes con el mayor registro, con un valor de 0.7 m³/s y octubre, noviembre y diciembre en el segundo, con un registro de 0.9 m³/s en el mes de noviembre.

El período donde la cuenca sufre de déficit del recurso hídrico, es a principios del año en los meses de febrero y marzo, con un menor valor en el mes de febrero de 0.4 m³/s. En el segundo semestre se observa una disminución de los caudales en los meses de julio, agosto y septiembre. En general, el segundo semestre del año presenta valores sensiblemente más altos que el primero. El valor promedio anual es de 0.6 m³/s.

Oferta hídrica

A partir del estudio de los caudales medios mensuales aportados por la cuenca, se definió la oferta hídrica para dos escenarios del ciclo hidrológico (meses secos y meses húmedos), con el fin de determinar posteriormente, contando con las demandas sobre la subcuenca, el balance oferta – demanda y el índice de escasez de la misma.

Para el primer escenario contemplado, y considerado el crítico (período seco), definido por el promedio de los caudales mensuales que se encuentran por debajo del valor medio anual multianual y el segundo escenario (período húmedo), que incluye el promedio de los

valores mensuales que están por encima de la media anual.

Demanda hídrica

Se realizó un estimativo de la demanda actual sobre la cuenca, a partir del mapa de uso actual del suelo, de los estimativos de población, tanto a nivel de las cabeceras municipales, como de las veredas, que se encuentran localizadas en la cuenca y de las concesiones otorgadas por la CAR, para de esta forma determinar las demandas de agua, considerando los usos doméstico, agropecuario (riego), industrial y ecológico.

✓ **Doméstica**

De acuerdo a la información suministrada por la CAR, las proyecciones de la población en la cuenca al año 2005, la demanda a partir de módulos de consumo promedio, estimados de acuerdo con el piso térmico y con el tamaño de la población en l/hab/día, definidos por Acuerdo CAR, el cual cubre todos los acueductos municipales y veredales de la subcuenca analizada. Se puede observar en la tabla No 5, los módulos adoptados. [1]

Piso Térmico	Tamaño Población	Consumo l/hab/día	
		Urbano	Rural
Frio	≤ 5,000	150	125
	5,001 a 10,000	165	125
	10,001 a 20,000	180	125
	> 20,001	195	125
Templado	≤ 5,000	165	135
	5,001 a 10,000	180	135
	10,001 a 20,000	190	135
	> 20,001	200	135
Calido	≤ 5,000	190	140
	5,001 a 10,000	200	140
	10,001 a 20,000	210	140
	> 20,001	220	140

Tabla No 5. Módulos de consumo doméstico (l/hab/día)

✓ **Agropecuaria**

La CAR registra los siguientes datos para la demanda hídrica de la cuenca en usos agropecuarios.

Los pastos manejados bajo riego, corresponden solo al 10 % del área total de la cuenca, los

cultivos varios, en un 80% son en secano, las áreas bajo invernadero son cultivos de flores y solo el 30% se riegan con aguas superficiales siendo sistemas de riego bastante eficientes (goteo). [1]

✓ **Industrial**

Con base en la información de las concesiones de agua otorgadas por la CAR que reposan en sus archivos, y las demandas estimadas en el estudio “Inventario y Diagnóstico de los Recursos Naturales Renovables en el Área Jurisdiccional de la CAR” y el estudio desarrollado por el IDEAM “Balance hídrico y Relación de Oferta y Demanda de Agua en Colombia”, determinaron la demanda industrial tomando como base los consumos reales del sector industrial en Bogotá, proyectados al resto del país con base en la distribución del producto Interno Bruto (PIB), encontrándose que correspondía a un 6.87% del total de la demanda doméstica. La EAAB y la firma Ingetec Ltda., en el “Estudio Plan Maestro de Abastecimiento de Agua para Santa Fe de Bogotá”, llegaron a un valor bastante parecido, equivalente al 7.22%. Teniendo en cuenta lo anterior, la Corporación en el POMCA de la cuenca determinó establecer la demanda Industrial como el 6.87% del consumo doméstico. [2]

Caudal Ecológico

Se puede definir como el caudal mínimo necesario, que debe permanecer en un determinado cauce, para garantizar la sobrevivencia de la comunidad biótica existente en la fuente de abastecimiento, cuando se desarrollan proyectos que requieren derivar aguas de dicha fuente, el cual para los fines del estudio se considera como la demanda ecológica.

Para estimar el caudal ecológico, existen varios criterios, que tradicionalmente se han venido

empleando en el desarrollo de proyectos, estudios, etc.. los cuales requieran de una reglamentación, para establecer el buen uso del recurso hídrico, y se basan en estimarlo, por diferentes metodologías, como son: a partir del análisis de frecuencias de las series de valores mínimos anuales, y determinarlo como el caudal correspondiente a un período de retorno de “n” años, o como el caudal correspondiente a un determinado porcentaje de excedencia, calculado a partir de la curva de duración de caudales, o simplemente, como un porcentaje del caudal medio, etc. [2]

Oferta – Demanda

Teniendo en cuenta, los valores de la oferta estimada para la cuenca, para períodos secos y períodos húmedos, considerados los primeros, como el promedio de los caudales de los meses que se encuentran por debajo del valor medio anual y los segundos como el promedio de los valores de los meses que están por encima de la media anual y las diferentes demandas, se establece el balance de aguas para la cuenca, obteniendo resultados para cada período considerado y asumiendo los valores de caudal ecológico planteado como el caudal mínimo registrado.

Índice de escasez

Es un valor cualitativo que representa la demanda de agua que ejercen los diferentes usos en una determinada cuenca o región, frente a la oferta hídrica disponible. Se calcula como la relación porcentual entre la demanda (Industrial, acueductos, agropecuaria y ecológica) y la oferta.

El valor de la oferta, se puede determinar para las condiciones húmedas de una cuenca, pero puede ser un poco engañoso, puesto que puede dar origen a pensar que la cuenca, cuando no está regulada tiene una disponibilidad

suficiente para cubrir todas las demandas que se generen en la misma, o para determinar condiciones de caudales mínimos, la cual parece más razonable, puesto que en los períodos de estiaje es cuando se presentan los conflictos de uso del agua. Para la cuenca, se calculó el índice de acuerdo con los dos criterios mencionados, y se tomó como oferta para el período seco, el caudal promedio de los meses secos, y como oferta para el período húmedo, el caudal promedio de los meses húmedos.

El índice de escasez se clasifica de acuerdo con los criterios y rangos establecidos por el IDEAM y de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$I_e = DH/OH$$

Donde:

- I_e: Índice de escasez (%)
- D_H: Demanda hídrica (m³/s)
- O_H: Oferta hídrica (m³/s)

Rango	Criterio
> 50	Alto
21 - 50	Medio alto
11 - 20	Medio
1 - 10	Mínimo
≤ 1	No Significativo

Resultados y discusión

Como resultado del análisis de la información y caracterización de la cuenca se puede decir que:

La precipitación media estimada de la cuenca, es de aproximadamente 1.400 mm.

La evaporación media anual, estimada es de aproximadamente 1300 mm, ligeramente menor que la precipitación.

La temperatura media anual, es de aproximadamente 23°C.

El balance hídrico, muestra que en la cuenca se presenta déficit en el mes de agosto y exceso en los meses de marzo, abril y mayo en el primer semestre del año y octubre y noviembre en el segundo.

El clima predominante, es el de templado semihúmedo, en aproximadamente el 50% de la cuenca.

A nivel medio anual, el caudal máximo estimado a partir de los registros, es de 14.87 m³/s, el medio multianual es de 1.74 m³/s y el mínimo de 0.09 m³/s.

El caudal máximo estimado, para un período de retorno de 100 años, es de 49.10 m³/s y el valor mínimo, para el mismo período de retorno, es de 0.02 m³/s.

De acuerdo con el índice de escasez, definido por el IDEAM, se tiene que la cuenca tiene en la época de verano, un índice Medio Alto y en el período húmedo, un índice igualmente Medio Alto.

En cuanto a la oferta hídrica de la cuenca, se presenta en el gráfico circular con los respectivos resultados.



Imagen No 4. Oferta hídrica (m³/s)

En base a los datos recolectados, la demanda del recurso hídrico en la cuenca para los diferentes usos es:

✓ Doméstica

Cuenca	Análisis Demanda					
	Población (habitantes)			Demanda m ³ /s		
	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total
Rio Calandaima	5.798	19.277	25.075	0,012	0,030	0,042

Tabla No 6. Demanda doméstica

✓ Agropecuaria

En la tabla No 7, se presenta el cálculo de la demanda y los respectivos módulos utilizados, para la demanda agropecuaria.

Cobertura actual	Total area (has)	Area riego (has)	Modulo (l/s/ha)	Demanda (m ³ /s)
Caña panelera	269,8	269,8	0,10	0,03
Cultivos varios	263,3	263,3	0,10	0,03
Frutales	305,9	305,9	0,50	0,15
Pastos manejados	5321,0	532,1	0,80	0,43
Platano	60,8	60,8	0,50	0,03
Totales	6220,8			0,66

Tabla No 7. Demanda agropecuaria y módulos de consumo

✓ Industrial

En la tabla No 8, se presenta el valor de la demanda industrial, estimado para la cuenca, donde se puede observar que el valor es poco significativo, en comparación con las otras demandas.

Código	Cuenca	Demanda (m ³ /s)
2120-03	Rio Calandaima	0,001

Tabla No 8. Demanda industrial (m³/s)

✓ Caudal Ecológico

De acuerdo a los datos de oferta y demanda del recurso hídrico para la cuenca, la CAR definió para esta zona un caudal ecológico de 0.05 m³/s como muestra la tabla No 9.

Código	Cuenca	Caudal (m ³ /s)
2120-03	Rio Calandaima	0,05

Tabla No 9. Caudal ecológico (m³/s)

✓ **Oferta – Demanda**

De acuerdo con lo anterior, se puede decir que la condición crítica se presenta en los meses secos y dentro de ellos, en el que registra el menor caudal, siendo para la cuenca el mes de febrero, con un caudal de 1.54 m³/s. En la tabla No 10, se presentan los resultados.

Código	Cuenca	Demanda (m ³ /s)					Oferta (m ³ /s)		Balance (m ³ /s)	
		Agropecuaria	Industrial	Doméstica	Q ecológico	Total Demanda	Periodo Seco	Periodo Húmedo	Periodo Seco	Periodo Húmedo
2120-03	Río Calandaima	0.662	0.001	0.042	0.05	0.75	1.91	2.74	1.16	1.98

Tabla No 10. Balance Oferta - Demanda (m³/s)

✓ **Índice de escasez**

En la tabla No 12, se presentan los resultados del índice de escasez para la cuenca.

Cuenca	Periodo Seco		Periodo Húmedo	
	Relación demanda oferta (%)	Índice de escasez	Relación demanda oferta (%)	Índice de escasez
Río Calandaima	39.1	Medio Alto	27.3	Medio Alto

Tabla No 12. Índice de escasez

De acuerdo con lo anterior, se plantea que una de las alternativas de abastecimiento del recurso hídrico en la cuenca de Calandaima es la construcción de un embalse en la zona, para esto se debe realizar cada una de las fases del proyecto como:

- Estudio de prefactibilidad
- Estudio de factibilidad
- Diseño del embalse y construcción.

El cual debe ser construido con el propósito de suministrar agua para el consumo humano de los municipios de El Colegio, Apulo, Tocaima y Viotá con un sistema de captación y conducción por gravedad, el sitio de presa deberá estar ubicado por encima del nivel ocupado por el más alto de los municipio a servir, que para esta cuenca se trata a del municipio del Colegio el cual se encuentra en la cota 1.050 m.s.n.m.

Con base en la información recopilada y el recorrido realizado por la cuenca, a lo largo del río Calandaima desde la cota 2.200 m.s.n.m. cerca de la estación hidrométrica Java, hasta la cota 1.000 m.s.n.m. Se obtuvo del análisis de las curvas de nivel lo siguientes: No existen sitios donde se presenten estrechamientos para emplazar una presa y/o sitios de embalse.

Su forma es precisa para construir una presa y/o embalse con vasos amplios que permitan almacenar una cantidad relativamente considerable de agua.

Esta situación fue corroborada mediante las visitas de campo realizadas. (Ver Imagen No 5)



Imagen No 5. Vista del vaso en el sitio de presa correspondiente a la Alternativa 1

Las características topográficas de la Imagen No 6, muestran que las curvas de nivel son perpendiculares al eje del río Calandaima, indicando que existen posibles almacenamientos y/o cierres apropiados. Esta situación se aprecia bien en las siguientes imágenes.



Imagen No 6. En la foto se aprecia que las curvas de nivel son perpendiculares al eje del río

De acuerdo al estudio de alternativas, en la zona de estudio se identificaron dos posibles alternativas para las secciones de cierre. La primera, con el fondo del río en la cota 2.066 m.s.n.m como se observa en la imagen No 5 y la segunda, se encuentra en la cota 2.018 m.s.n.m., inmediatamente aguas abajo del puente sobre el río Calandaima, perteneciente a la vía La Victoria-El Cerro, en las coordenadas 1.025.223 N; 1.235.996 E. La cual se observa en la Imagen No 7, donde muestran las características del terreno en el sitio correspondiente a la alternativa 2.



Imagen No 7. Vista del vaso en el sitio de presa correspondiente a la Alternativa 2, mirando desde la orilla izquierda hacia la orilla derecha.

De acuerdo a esto se revisaron las dos alternativas y se obtuvo lo siguiente: Para la alternativa No. 2, con una altura de presa aproximada de 25 m, se podría embalsar un volumen total de sólo 80.000 m³. Este volumen es, evidentemente, insuficiente para cualquier suministro de agua a los municipios seleccionados, por lo cual se descarta como posibilidad para el sitio de presa.

Para la alternativa No 1, ubicada en las coordenadas 1.556.321 N; 1.654.335 E, se trata de un sitio ubicado a unos 3 kilómetros de la población de la Victoria, al cual se puede ingresar por medio de una carretera destapada

que conduce hasta la finca de don Jorge León, en la cual se encuentra el vaso y el sitio de presa y podría embalsar un volumen mayor que la alternativa 2. Como se observa en las imágenes No 8 y 9.



Imagen 8. Zona central del vaso



Imagen 9. Aspecto que presenta el vaso en su parte de aguas abajo

Por lo anterior, la única posibilidad real para emplazar la presa sobre el río Calandaima es la alternativa 1. Las posibles características del embalse se describen en la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICAS	DATOS
Fondo del río en el sitio de presa	2.066,0 m.s.n.m.
Nivel máximo de sedimentación frente a la captación	2.067,6 m.s.n.m.
Nivel de aguas mínimas de operación (N.A.M.I.)	2.068,65 m.s.n.m.
Nivel de aguas máximas ordinario (N.A.M.O.)	2.091,50 m.s.n.m.
Nivel de aguas máximas extraordinario (N.A.M.E.)	2.092,56 m.s.n.m.
Nivel de la corona en la presa	2.094,0 m.s.n.m.
Volumen muerto	120.000 m ³
Volumen útil requerido	4.805.000 m ³
Volumen total requerido	4.925.000 m ³
Altura de la presa	28,0 m
Volumen de la presa	220.000 m ³

Tabla No 13. Posibles características del embalse

Conclusiones y Recomendaciones

De acuerdo al análisis realizado en la cuenca del río Calandaima se concluye que el río Calandaima es un río de régimen torrencial y es uno de los principales aportantes del río Bogotá en su cuenca baja. En temporadas húmedas además de lo torrencial ha presentado crecientes súbitas inundando poblaciones como la localidad de Pueblo de Piedra, así mismo ha influenciado en el río Bogotá para inundaciones en los municipios de Tocaima, Agua de Dios, Ricaurte y Girardot. A demás en temporada seca la cuenca presenta déficits de agua para actividades agroindustriales, como también desabastecimiento de agua para el consumo humano, generando un problema socio-económico en esta zona.

Por lo tanto, se hace necesario la construcción de un embalse con enfoque multipropósito, puesto que solucionaría el problema de inundaciones en temporada húmeda y garantizaría de manera permanente el abastecimiento de agua de los municipios de Tocaima, Apulo, Viotá, El Colegio y Anapoima. Y en temporada seca la comunidad podrá contar con recurso hídrico para las actividades turísticas y agroindustriales. Además, contribuye al futuro desarrollo de la región, pues quedo demostrado en los datos de oferta y demanda de la zona, los cuales presentan un desbalance bien marcado.

De acuerdo con lo anterior, se recomienda a la Autoridad Ambiental CAR que se inicien los estudios pertinentes para la construcción del embalse en la zona dado que este es factible debido a las condiciones Hidrometeorológicas que la cuenca presenta en los diferentes periodos del año.

Bibliografía

- [1] CAR, 2014. Cuantificación de la Oferta y Demanda Hídrica en la cuenca del río Calandaima. Subdirección de Recursos Naturales y Áreas Protegidas. Grupo de Cuencas Hidrográficas. Bogotá.
- [2] CAR, 2014. Información hidrometeorológica de la cuenca del río Calandaima. Subdirección de Recursos Naturales y Áreas Protegidas. Grupo centro de monitoreo hidrológico y del clima. Bogotá.
- [3] CAR, 2014. Plan de Manejo y Ordenamiento de la Cuenca del río Calandaima. Subdirección de Recursos Naturales y Áreas Protegidas. Grupo de Cuencas Hidrográficas. Bogotá.
- [4] World Meteorological Organization, WMO, "Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation", Operational Hydrology, No. 332, Report. No. 1, 1973.
- [5] Monsalve G., "Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá D.C., julio de 1995.
- [6] PRIETO, R. La cuenca hidrográfica en Colombia. Políticas y acciones. Curso especial sobre Planificación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano - Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente - INDERENA. Bogotá, 1984. 21 p.
- [7] Manejo integrado de cuencas hidrográficas en América Latina. Santiago -Chile. s.f. 36 p.
- [8] MARÍN, R. Estadística sobre el recurso agua en Colombia. Ministerio de Agricultura. Instituto colombiano de hidrología, meteorología, adecuación de tierras. Segunda edición. Bogotá, 1992. 412 p.

[9] LULL, H.; WATERLUND, D. y TRIPP, N. Manejo y producción de agua en cuencas hidrográficas municipales. Extracto de la traducción sobre el resultado de las investigaciones realizadas en el manejo de hoyas hidrográficas, en estaciones experimentales de los Estados Unidos de Norte América. Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá. 1968.

[10] LONDOÑO A., C. H. La geomorfometría aplicada a las cuencas hidrográficas. Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal. Ibagué, 1995. 71 p.

[11] Ponce Victor M., "Engineering Hydrology, Principles and Practices", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1989.

[12] Hjelmfelt, Jr. A., Cassidy, J. J., "Hydrology for Engineers and Planners", Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1976.

[13] Chow V.T., Maidment D.R., Mays L.W., "Applied Hydrology", McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, New York, U.S.A., 1988.

[14] CAR, 2014. Estudio de Prefactibilidad Técnica, económica y social. Subdirección de Recursos Naturales y Áreas Protegidas. Bogotá.