

## **INFORME TECNICO**

# **ESTUDIO HIDROGRÁFICO DE AGUAS SUPERFICIALES CON SU RESPECTIVO BALANCE HÍDRICO PARA EL ÁREA DEL PROYECTO Y SU PERIFERIA**

**“construcción y operación de un relleno sanitario para  
el municipio de Barrancabermeja y sus zonas  
aledañas”**



Presentado a:



Realizado por:

**INGEOEXPLORACIONES S.A.S**  
Geología, Geofísica y Geotecnia

**BUCARAMANGA, JULIO DE 2025**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>GENERALIDADES DEL PROYECTO .....</b>	<b>8</b>
2.1	OBJETIVO GENERAL .....	8
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
2.3	LOCALIZACIÓN.....	9
2.4	CLIMATOLOGÍA.....	10
2.4.1	Estaciones Climatológicas en la zona del estudio.....	10
2.4.2	Precipitación.....	11
2.4.3	Temperatura .....	13
2.4.4	Humedad Relativa .....	16
2.4.5	Brillo Solar .....	16
2.4.6	Evaporación .....	19
2.4.7	Diagrama ombrotérmico.....	20
2.5	UBICACIÓN GEOLOGICA DEL PREDIO .....	20
2.5.1	Geología Estructural.....	21
2.6	VEGETACIÓN .....	23
<b>3</b>	<b>CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA ZONA DEL ESTUDIO.....</b>	<b>23</b>
3.1	CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DEL AREA DE DRENAJE.....	23
3.1.1	Caracterización Física de las Áreas de Drenaje.....	26
3.2	CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES HÍDRICAS .....	31
3.2.1	Lago sector oriental entrada.....	31
3.2.2	Drenaje sector oriental relleno sanitario .....	33
3.2.3	Drenaje sector Norte (Caño Moncholo).....	35
3.2.4	Drenaje sector Suroccidental .....	38
3.3	PUNTOS DE MONITOREO DE LAS FUENTES SUPERFICIALES.....	44
3.3.1	Calidad del agua en las fuentes superficiales .....	45
<b>4</b>	<b>BALANCE HÍDRICO .....</b>	<b>50</b>
4.1	DATOS CLIMÁTICOS.....	50
4.2	CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA DISPONIBLE .....	51
4.3	ESCORRENTÍA.....	53
4.3.1	Estimación de escorrentía mediante método número de curva de SCS .....	53
4.4	ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.....	59
4.5	ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR).....	63
4.5.1	INFILTRACIÓN .....	63
4.6	BALANCE HÍDRICO .....	64
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS. ....</b>	<b>69</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Imagen satelital con la localización de la zona de estudio. ....	8
<b>Figura 2.</b>	Imagen satelital con la delimitación con un radio de un kilómetro del área del estudio. ....	9
<b>Figura 3.</b>	Estaciones cercanas al sitio del estudio. ....	10
<b>Figura 4.</b>	Precipitación media mensual en la zona del estudio .....	12
<b>Figura 5.</b>	Precipitación máxima en 24 horas en la zona del estudio.....	13
<b>Figura 6.</b>	Temperaturas máxima y mínima registradas en la estación Aeropuerto Yariguíes.....	14
<b>Figura 7.</b>	Valores mensuales de temperaturas máxima registradas en la estación Aeropuerto Yariguíes .....	15
<b>Figura 8.</b>	Valores mensuales de Temperaturas mínima registradas en la estación Aeropuerto Yariguíes .....	15
<b>Figura 9.</b>	Valores medios anuales de Humedad Relativa registrados en la estación Aeropuerto Yariguíes .....	16
<b>Figura 10.</b>	Valores medios anuales de Brillo Solar registrados en la estación Aeropuerto Yariguíes.....	17
<b>Figura 11.</b>	Valores medios, máximos y mínimos anuales de Humedad Relativa registrados en la estación Aeropuerto Yariguíes .....	18
<b>Figura 12.</b>	Valores medios mensuales de Brillo Solar registrados en la estación Aeropuerto Yariguíes .....	18
<b>Figura 13.</b>	Valores medios anuales de Evaporación registrados en la estación Aeropuerto Yariguíes .....	19
<b>Figura 14.</b>	Diagrama ombrotérmico de la estación Aeropuerto Yariguies...	20
<b>Figura 15.</b>	Mapa geológico del sector de estudio. Plancha 119, INGEOMINAS. 2008 .....	21
<b>Figura 16.</b>	Esquema estructural Valle del Magdalena Medio .....	22
<b>Figura 17.</b>	Fotografía panorámica de la zona del estudio desde el sector nororiental .....	22
<b>Figura 18.</b>	Vegetación en la zona del estudio .....	23
<b>Figura 19.</b>	Plancha IGAC 119IIA General .....	24
<b>Figura 20.</b>	Plancha IGAC 119IIA2 General .....	24
<b>Figura 21.</b>	Plancha IGAC 119IIA con el área de estudio.....	25
<b>Figura 22.</b>	Plancha IGAC 119IIA2 con el área de estudio. ....	25
<b>Figura 23.</b>	Definición de drenajes .....	26
<b>Figura 24.</b>	Áreas de drenaje en la zona del estudio .....	27
<b>Figura 25.</b>	Lagos naturales en el caño Moncholo.....	28
<b>Figura 26.</b>	Lago natural en el costado oriental de la entrada.....	32
<b>Figura 27.</b>	Area de drenaje hacia lago el el costado oriental de la entrada.	32
<b>Figura 28.</b>	Detalle de la Obra hidráulica de drenaje del lago localizada hacia el costado oriental de la entrada. ....	33

<b>Figura 29.</b>	Drenajes sector oriental relleno sanitario.....	34
<b>Figura 30.</b>	Detalle de Canales de drenaje sector nororiental. ....	34
<b>Figura 31.</b>	Detalle de la Tubería drenaje bajo vía de acceso al relleno sanitario.....	35
<b>Figura 32.</b>	Planta esquema drenajes sector oriental del predio.....	36
<b>Figura 33.</b>	Ubicación y principales corrientes de Caño Moncholo .....	36
<b>Figura 34.</b>	Sistema de drenaje hacia lago Caño Moncholo. ....	37
<b>Figura 35.</b>	Vista aerea desde Caño Moncholo hacia Relleno Sanitario Clausurado. ....	38
<b>Figura 36.</b>	Vista aerea desde Relleno Sanitario Clausurado hacia Caño Moncholo. ....	38
<b>Figura 37.</b>	Ubicación estructuras de drenaje sector suroccidental predio. .	39
<b>Figura 38.</b>	Zona baja de drenaje sector suroccidental.....	40
<b>Figura 39.</b>	Box Culvert Monitoreado al occidente de la vía de acceso.....	41
<b>Figura 40.</b>	Ubicación alcantarillas bajo vía en el sector occidental .....	41
<b>Figura 41.</b>	Alcantarilla circular al occidente del box monitoreado.....	42
<b>Figura 42.</b>	Box Culvert con acumulación de caudales. ....	43
<b>Figura 43.</b>	Box Culvert Principal. ....	44
<b>Figura 44.</b>	Puntos de muestreo de aguas superficiales .....	45
<b>Figura 45.</b>	Resultados análisis de calidad del agua en fuentes superficiales (a) .....	46
<b>Figura 46.</b>	Resultados análisis de calidad del agua en fuentes superficiales (b).....	47
<b>Figura 47.</b>	Resultados análisis de calidad del agua en fuentes superficiales (c) .....	48
<b>Figura 48.</b>	Representación gráfica del modelo de número de curva (S.C.S., 1986).....	55
<b>Figura 49.</b>	Comportamiento anual de la ETP .....	62
<b>Figura 50.</b>	Efecto de precipitaciones de diferentes intensidades sobre la velocidad de.....	63
<b>Figura 51.</b>	Balance hídrico para la zona del estudio .....	66

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Estaciones IDEAM en el municipio de Barrancabermeja .....	11
<b>Tabla 2.</b> Área cuencas .....	29
<b>Tabla 3.</b> Perímetro de la cuenca .....	29
<b>Tabla 4.</b> Longitudes de Drenajes Principales .....	29
<b>Tabla 5.</b> Forma de la cuenca de acuerdo al Cs.....	30
<b>Tabla 6.</b> Coeficiente de Gravelius .....	30
<b>Tabla 7.</b> Rectángulo equivalente.....	31
<b>Tabla 8.</b> Datos mensuales de temperatura media y precipitación.....	51
<b>Tabla 9.</b> Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente en función de la textura.....	52
<b>Tabla 10.</b> Curvas de escorrentía para complejos de suelo-cobertura CN....	56
<b>Tabla 11.</b> Cálculo de CNIII .....	57
<b>Tabla 12.</b> Precipitación – Escorrentía mensual año promedio .....	58
<b>Tabla 13.</b> Valores de ETP de Thornthwaite sin corregir para temperaturas superiores a los 26.5°C.....	60
<b>Tabla 14.</b> Valores de Ni, duración astronómica del día, expresado en número de horas de sol en unidades de 12 horas durante 30 días. ....	61
<b>Tabla 15.</b> Cálculo de la Evapotranspiración potencial (ETP).....	62
<b>Tabla 16.</b> Balance hídrico .....	65
<b>Tabla 17.</b> Balance hídrico ajustado .....	66

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente informe desarrolla el estudio hidrográfico de las aguas superficiales en el sector del sitio de disposición final de Veolia y sus alrededores en un radio de 1.0 km, que sirve al municipio de Barrancabermeja, incorporando su respectivo balance hídrico

A partir de un estudio del balance hídrico es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones por influencia de las actividades del hombre.

El conocimiento de la estructura del balance hídrico es fundamental para lograr un uso más racional y eficiente de los recursos de agua, tanto en el espacio como en el tiempo, y para optimizar su control y redistribución (por ejemplo, trasvases de cuencas o regulación de crecidas). Además, este análisis facilita la predicción de las consecuencias derivadas de intervenciones artificiales en el régimen de ríos, lagos o cuencas, y la información obtenida para períodos cortos (estaciones, meses, semanas y días) se emplea en la operación de embalses y en las predicciones hidrológicas.

Para profundizar en el estudio del ciclo hidrológico, resulta imprescindible contar con datos precisos: gracias a la cuantificación de cada término, es posible comparar la disponibilidad específica de agua en distintos intervalos de tiempo y evaluar su influencia sobre las variaciones naturales del régimen. Este enfoque permite establecer tendencias, detectar anomalías y valorar el impacto de diversas actividades humanas en el sistema.

Después del análisis inicial, destinado a estimar los componentes del balance hídrico y a ajustar la ecuación de continuidad, se pueden identificar deficiencias en la distribución de las estaciones de observación y descubrir errores sistemáticos en la medición. Finalmente, el conocimiento del balance hídrico permite una evaluación indirecta de cualquier componente desconocido dentro de él, por diferencia entre los componentes conocidos; por ejemplo, la evaporación a largo plazo, en una cuenca de un río, puede calcularse por diferencia entre la precipitación y el caudal.

El concepto de Balance Hídrico, que ampliamente se usó en hidrología, puede causar alguna confusión al suponer que la precipitación es igual a la suma de la escorrentía y la evaporación; ya que en muchos casos sucede que las cuencas no tienen un ciclo exclusivo de su entorno, es por ello que el término Ciclo Hidrológico tome el sentido de distribución y movimiento del agua en diferentes fases, bajo y sobre la superficie de la tierra.

Se denomina Ciclo Hidrológico al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea”; es decir, que es el proceso global por el cual se considera al agua un recurso natural renovable; debido a que en esa circulación espontánea y continua el líquido vital se purifica y retorna temporalmente a sus fuentes, que la ponen al alcance de sus múltiples demandantes.

La ecuación de continuidad, o de balance hidrológico, es la ley más importante en Hidrología, y aunque su expresión es muy simple, la cuantificación de sus términos es normalmente complicada, principalmente por la falta de mediciones directas en campo y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (a acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en una cuenca. Como respuesta a estas dificultades, generalmente se admiten dos asunciones:

- Supone que las pérdidas profundas son despreciables (se considera, por tanto, que la cuenca es impermeable),
- Admite que las variaciones del agua almacenada en la cuenca son despreciables para un período suficientemente largo (normalmente un año).

Los profesionales que se presentan a continuación, dan fe de que conoce el sitio para efectos de la elaboración del estudio.

**HECTOR TORRES**

C.C. 13.930.230 de Bucaramanga  
Ingeniero Civil – Especialista en ingeniería Hidráulica y Ambiental  
Matricula Profesional 68202 – 192764 STD

**LEONARDO WANDURRAGA J.**

C.C. 91.541.331 de Bucaramanga  
Ingeniero Civil – Especialista en Geotecnia Ambiental y Recursos Hídricos  
Magister en Geotecnia UIS  
Matricula Profesional 68202 – 248856 STD

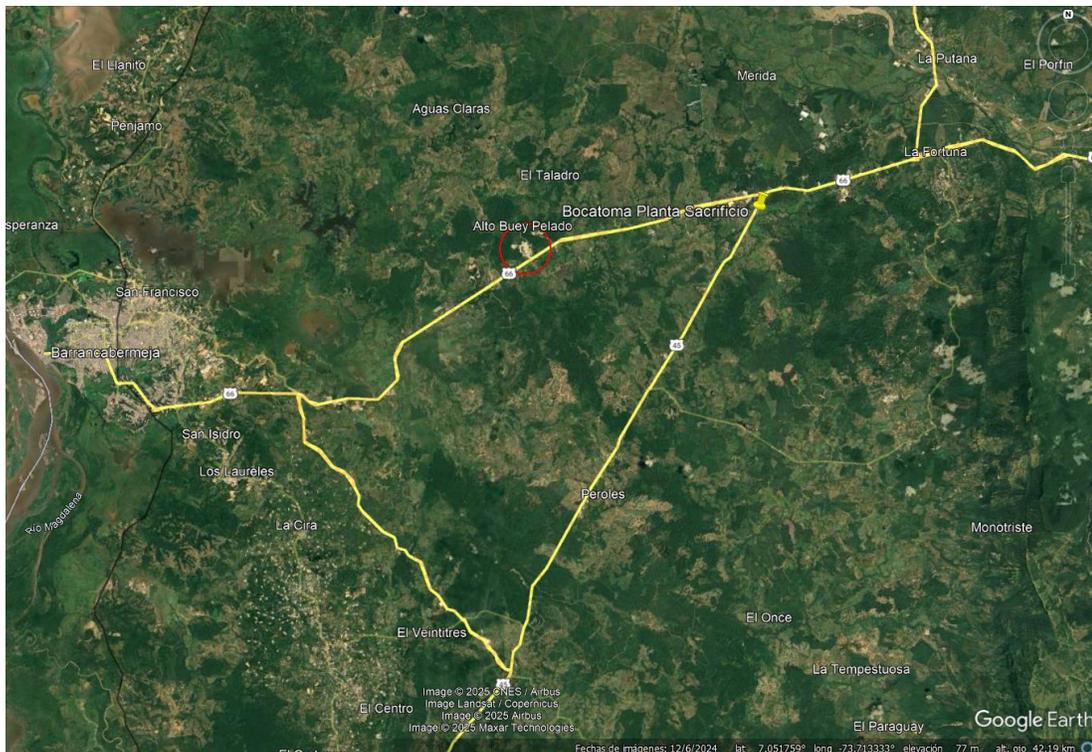
**CARLOS M. WANDURRAGA BARON**

C.C. 13.831.613 de Bucaramanga  
Geólogo – Magister en Geotecnia UIS  
Matricula Profesional 1082 CPG

## 2 GENERALIDADES DEL PROYECTO

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio hidrográfico de aguas superficiales con su respectivo balance hídrico para el área del proyecto "CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO PARA EL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA Y SUS ZONAS ALEDAÑAS" en un radio de 1.0 km, cuya área se encuentra ubicada en los predios El Lago y Villa Mecedora, de las veredas San Luis y El Zarzal, sector Patio Bonito, en jurisdicción del municipio de Barrancabermeja, Departamento de Santander.



**Figura 1.** Imagen satelital con la localización de la zona de estudio.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descripción general de la zona del estudio que incluye la caracterización geomorfológica e hidroclimática de la cuenca donde se localiza el predio a partir de información secundaria.
- Identificación general de los cuerpos de agua superficiales sobre el área del proyecto y en una periferia de un radio de un kilómetro.

- Estimación de las variables hidrológicas a partir de los datos hidroclimáticos de las estaciones cercanas disponibles en la base de datos del IDEAM.
- Balance hídrico general de aguas superficiales sobre el área del proyecto y los cuerpos de agua en la periferia (un radio de un kilómetro).

### 2.3 LOCALIZACIÓN

El sitio del proyecto se encuentra localizado en los predios El Lago y Villa Mecedora, de las veredas San Luis y El Zarzal, sector Patio Bonito, en el costado norte de la vía que comunica a Bucaramanga con Barrancabermeja en jurisdicción del municipio de Barrancabermeja, Departamento de Santander.

En la **Figura 1** se muestra la localización general de la zona del estudio y en la **Figura 2** la delimitación del área del estudio requerido.



**Figura 2.** Imagen satelital con la delimitación con un radio de un kilómetro del área del estudio.

## 2.4 CLIMATOLOGÍA.

### 2.4.1 Estaciones Climatológicas en la zona del estudio

Se realizó la búsqueda de estaciones cercanas al sitio del estudio que tengan registros históricos de las variables climáticas.

La entidad que tiene estaciones operativas en el sector es el IDEAM y la zona del estudio se localiza en la zona central del municipio de Barrancabermeja, por lo que se consultó la base de datos de la entidad para obtener los registros de las estaciones, el primer filtro para la consulta información climática disponible fue las estaciones en la jurisdicción del municipio y en la Figura 3 se presenta las estaciones que registran o han registrado datos climáticos en la zona, en la Tabla 1 se presenta la información histórica de las estaciones.

Como se observa en la tabla en la zona operan o han operado un total de 15 estaciones, de las cuales 8 se encuentran suspendidas y una en mantenimiento, por lo que actualmente se tienen 6 estaciones en operación.

De las 15 estaciones con registros 10 son de tipo limnimétricas, una pluviométrica, una climatológica ordinaria, una sinóptica principal, una Agrometeorológica y una Meteorológica Especial. Se caracterizó cada variable para la zona del estudio de acuerdo con la disponibilidad de la información y la proximidad al sitio de interés para el estudio.



**Figura 3.** Estaciones cercanas al sitio del estudio.

**Tabla 1.** Estaciones IDEAM en el municipio de Barrancabermeja

<b>NOMBRE</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>ESTADO</b>	<b>INSTALA.</b>	<b>SUSPENS.</b>
CHUCURI [23130010]	Pluviométrica	Activa	15/09/1959	
TENERIFE DELICIAS [23147030]	Limnimétrica	Suspendida	15/08/1974	15/08/1993
AEROPUERTO YARIGUIES AUT [23155030]	Sinóptica Principal	Activa	15/07/1931	
CENTRO EL [23155040]	Climática Ordinaria	Activa	15/01/1937	
BARRANCABERMEJA - AUT [23157030]	Limnimétrica	En Manten.	15/06/1936	
GALAN [23157070]	Limnimétrica	Suspendida	15/03/1978	15/09/1981
MALDONADO [23157080]	Limnimétrica	Suspendida	15/11/1975	12/12/2008
VIZCAINA LA LIZAMA - AUT [24055080]	Agrometeorológica	Activa	25/10/2004	
PUENTE CARRETERA [24057030]	Limnigráfica	Suspendida	15/05/1973	15/03/1988
CASA BOMBA [24057060]	Limnimétrica	Suspendida	15/02/1981	15/09/1983
PUENTE FERROCARRIL CIENEGA [24057070]	Limnimétrica	Activa	15/05/1973	
LLANITO EL ARRIBA [24057080]	Limnimétrica	Suspendida	15/08/1992	15/05/1996
LLANITO EL [24057090]	Limnimétrica	Suspendida	15/08/1992	15/05/1996
SOGAMOSO RIO ANTES [24057100]	Limnimétrica	Suspendida	15/08/1992	15/05/1996
RADAR MET BARRANCA [2314500155]	Meteorológica Esp.	Activa	20/02/2019	

Fuente: Consultor

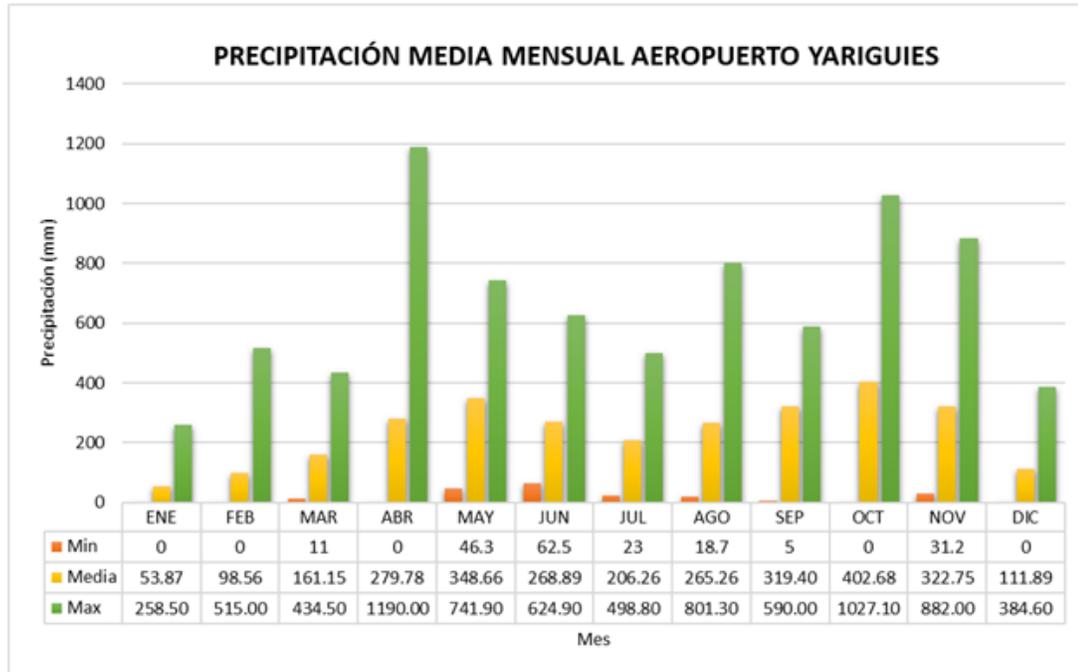
### 2.4.2 Precipitación

La ilustración del comportamiento de la precipitación tiene como objetivo principal arrojar una información general en cuanto a las épocas e intensidades de las temporadas de lluvias en la región.

La Figura 4 muestra la precipitación media mensual registrada en la estación AEROPUERTO YARIGUIES AUT [23155030] la cual es la más cercana a la zona de proyecto, localizada al oeste del sitio del proyecto, cuyas características se presentan a continuación:

Nombre estación	AEROPUERTO YARIGUIES AUT [23155030]
Tipo:	Sinóptica Principal
Latitud:	7.0263888890
Longitud	-73.80861111
Elevación:	126 msnm

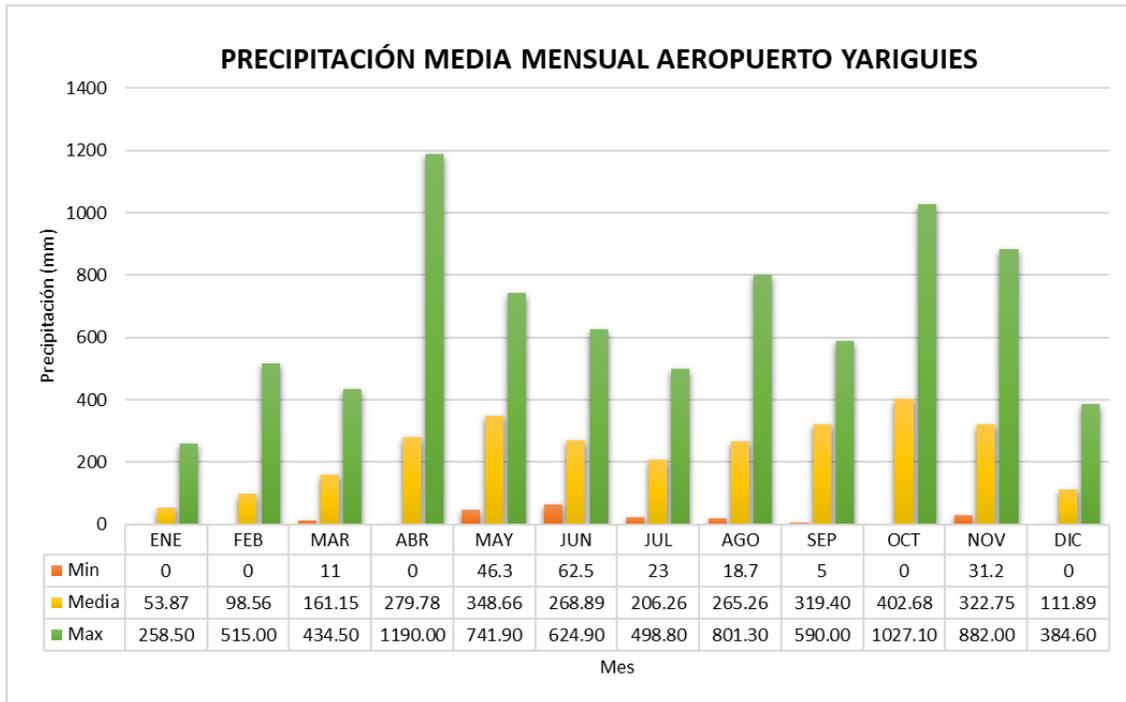
La estación cuenta con registros de precipitación desde el año 1931 hasta la fecha, con algunas intermitencias de algunos meses durante varios años, por lo que, de los 89 años de registros, se tiene datos completos de 73 años, lo que se considera una serie bastante robusta para la descripción del comportamiento general de las lluvias en la zona.



**Figura 4.** Precipitación media mensual en la zona del estudio

De acuerdo con la figura, el régimen de lluvias en la zona es bimodal, presentando dos períodos secos principales: uno entre diciembre y marzo, y otro conocido como "veranillo de julio", que ocurre entre junio y agosto (valores promedio). La precipitación total anual promedio es de 2.851 mm, con registros que varían entre 694 mm en el año más seco y 5.190 mm en el más húmedo.

En cuanto a los valores máximos diarios de precipitación, el comportamiento de los promedios es consistente con el régimen general de lluvias. No obstante, los máximos de precipitación en 24 horas se concentran entre los meses de septiembre y noviembre, alcanzando valores entre 174,6 mm y 188,5 mm, lo que evidencia la presencia de lluvias de alta intensidad en la zona. En la Figura 5 se muestra el comportamiento mensual multianual de la precipitación máxima diaria registrada en la estación Aeropuerto Yariguies.



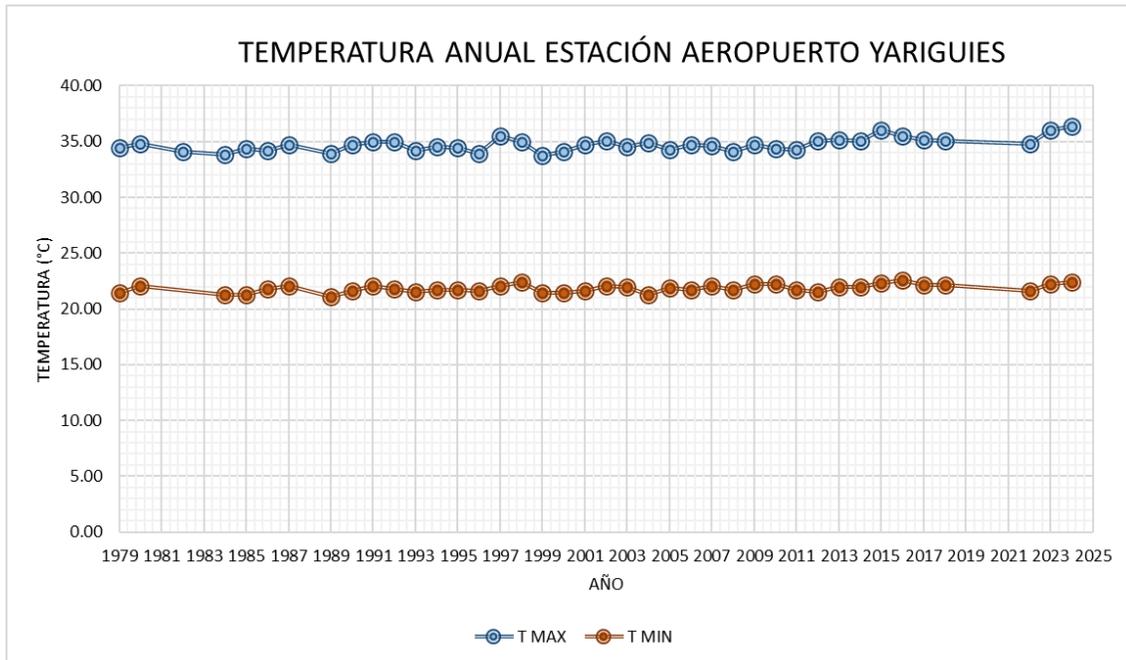
**Figura 5.** Precipitación máxima en 24 horas en la zona del estudio

### 2.4.3 Temperatura

Para ilustrar el comportamiento de la temperatura en la zona se tomó como referencia la estación AEROPUERTO YARIGUIES AUT [23155030] descrita previamente, la cual cuenta con registros desde el año 1978 hasta la fecha, se obtuvo los datos de los valores máximos y mínimos de temperatura, lo que permite evaluar entre que valores oscila la temperatura.

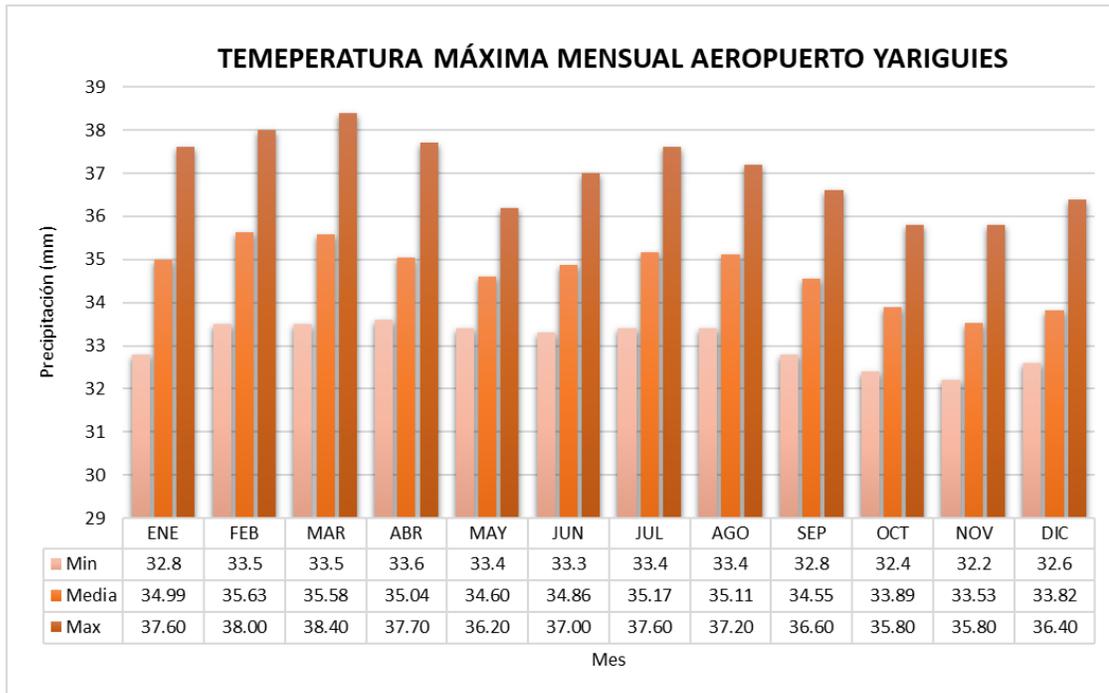
Se revisó las series de datos encontrándose que de los 45 años de registros se tiene 40 años completos de registros para la temperatura máxima y 39 para la temperatura mínima, sobre los cuales se realizaron los análisis generales.

En la Figura 6 se presenta los valores medios anuales de temperaturas máximas y mínimas registradas en la estación de referencia, teniéndose valores promedio multianuales de 34.72°C y 21.84°C de temperaturas máximas y mínimas respectivamente.

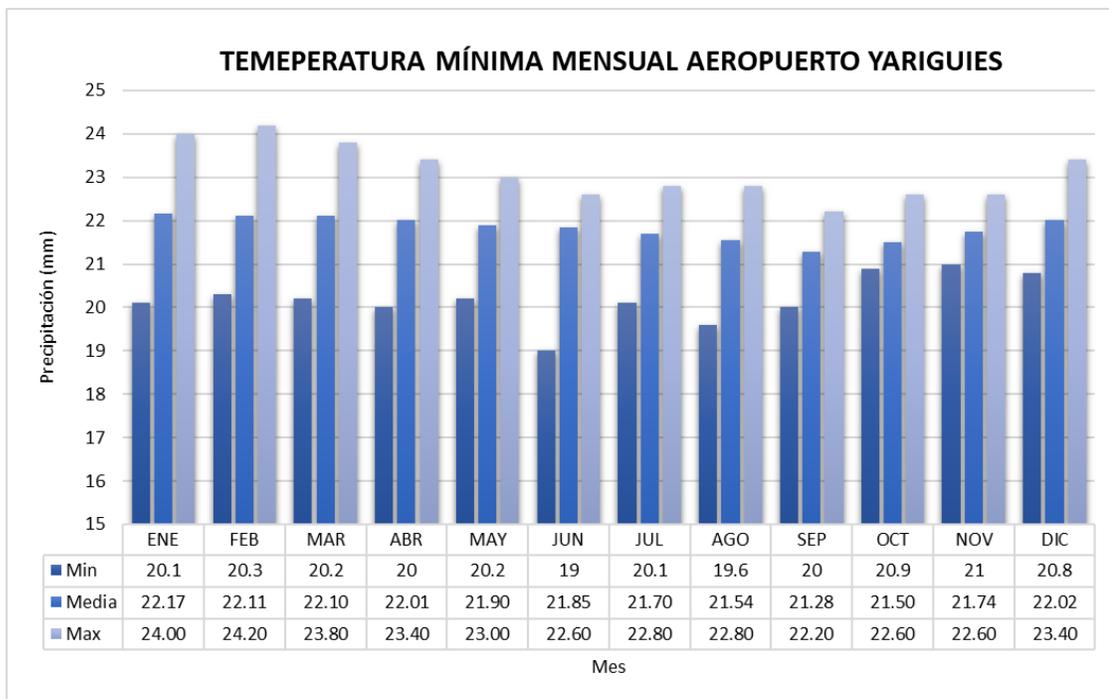


**Figura 6.** Temperaturas máxima y mínima registradas en la estación Aeropuerto Yariguíes

En cuanto al comportamiento mensual de las temperaturas máximas en la zona, este se ilustra en la Figura 7, de donde se puede concluir que los meses más cálidos corresponden a los periodos entre enero y abril, seguido de un periodo entre junio y agosto, para las temperaturas mínimas (ver Figura 8), en cuanto a los valores promedio, sería el mes de septiembre el más fresco, sin embargo, el comportamiento no es uniforme entre valores máximos medios y mínimos con en el caso de las temperaturas máximas, ya que los menores valores registrados corresponden a los meses de junio y agosto.



**Figura 7.** Valores mensuales de temperaturas máxima registradas en la estación Aeropuerto Yariguíes



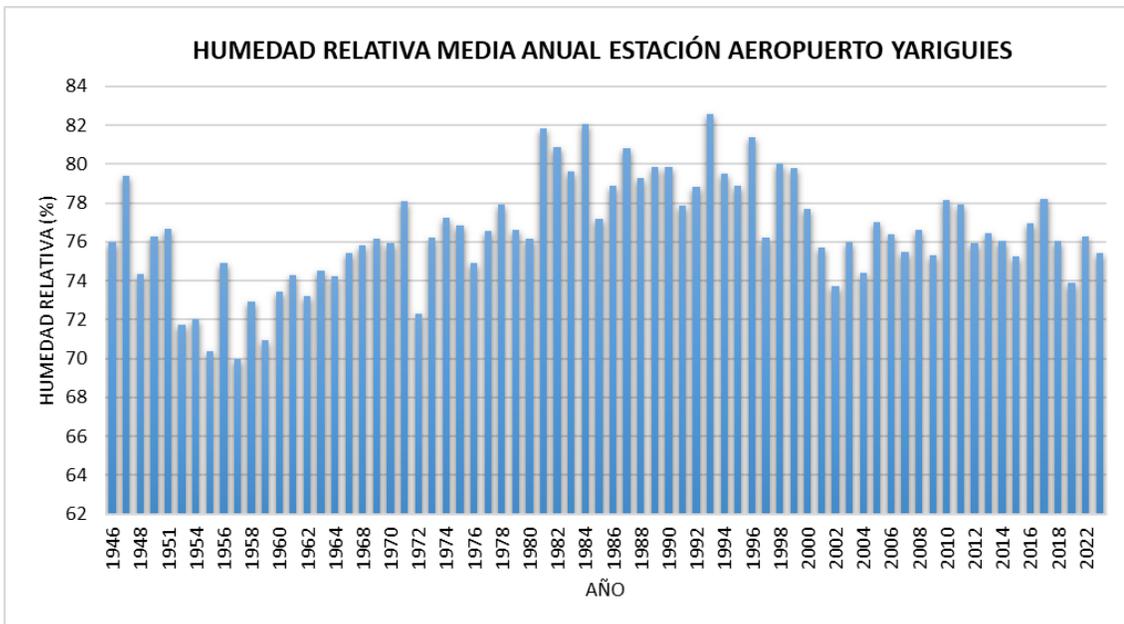
**Figura 8.** Valores mensuales de Temperaturas mínima registradas en la estación Aeropuerto Yariguíes

## 2.4.4 Humedad Relativa

La estación AEROPUERTO YARIGUÍES AUT [23155030] cuenta con registros de humedad relativa media desde el año 1946, y con registros de valores máximos y mínimos diarios desde 1979.

Los valores medios anuales, presentados en la Figura 9, oscilan entre el 70% (año 1957) y el 82,6% (año 1993), con un valor promedio multianual de 76,6% para la zona de estudio.

Asimismo, la estación dispone de registros diarios de humedad relativa máxima y mínima para el periodo comprendido entre 1988 y la actualidad. Los datos muestran valores extremos diarios que varían entre el 29% y el 100%. En la Figura 10 se presenta el comportamiento de los valores anuales promedio de humedad relativa media, máxima y mínima para el periodo 1988–2024.

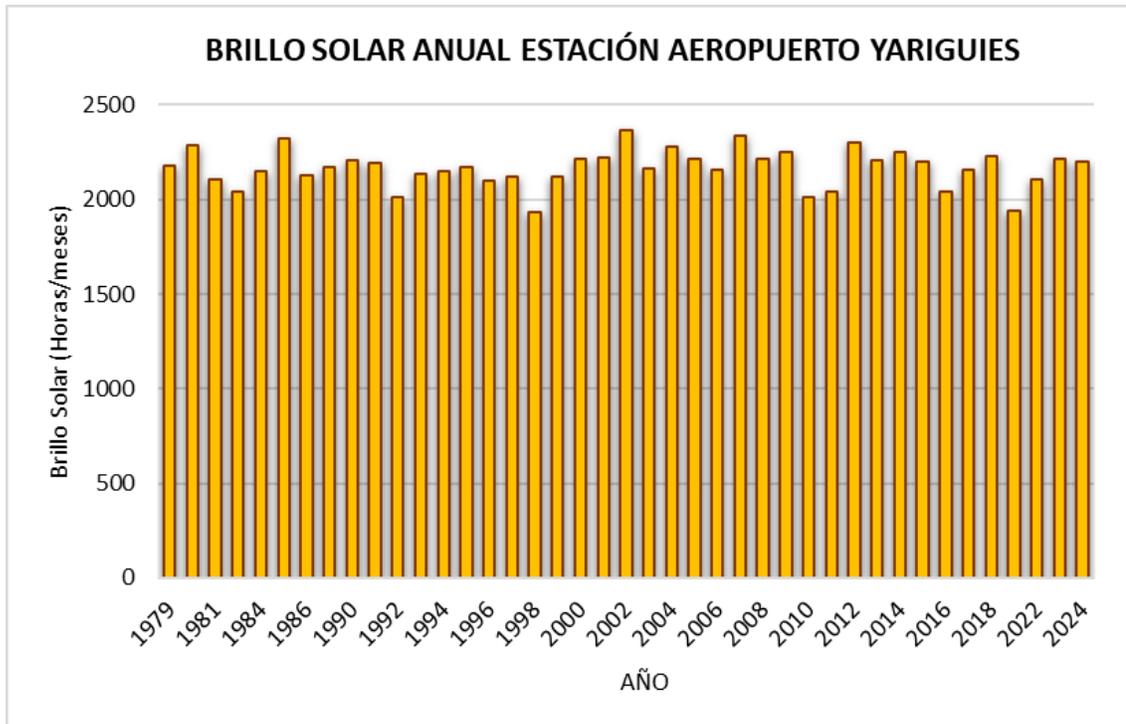


**Figura 9.** Valores medios anuales de Humedad Relativa registrados en la estación Aeropuerto Yariguíes

## 2.4.5 Brillo Solar

Los registros de Brillo Solar de la estación AEROPUERTO YARIGUIES AUT [23155030] muestran valores diarios desde el año 1979, en la Figura 11, se presenta el comportamiento de los valores promedio anuales de acuerdo con los registros, el valor medio anual de horas con brillo solar en la zona es de

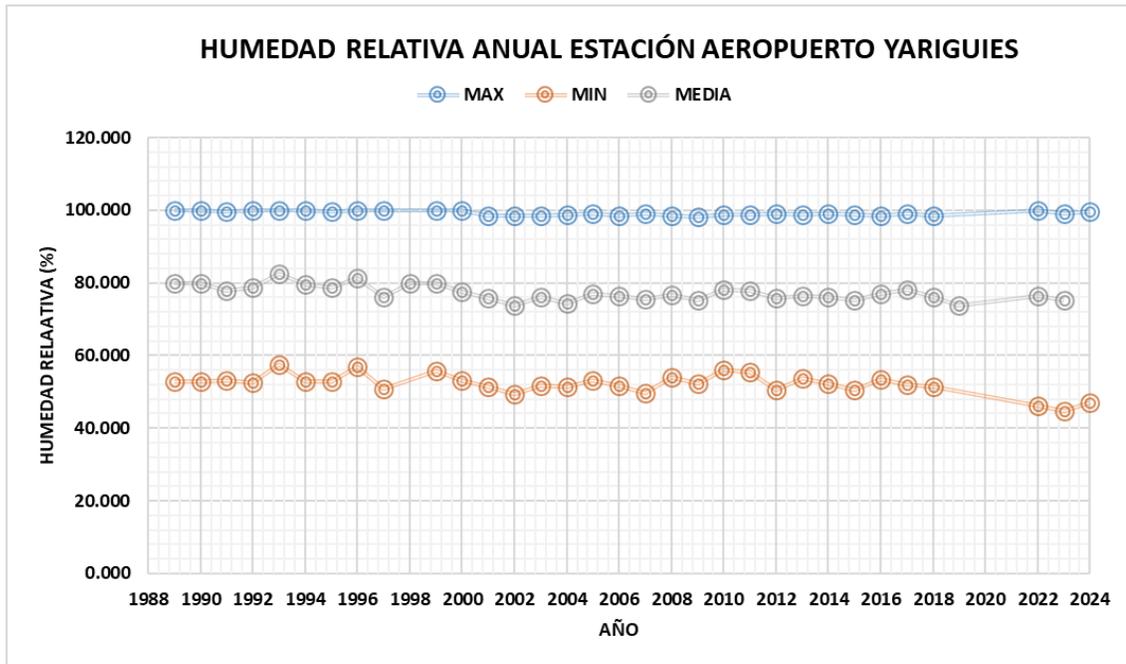
2167, con valores máximos y mínimos de 1934 y 2364 horas anuales.



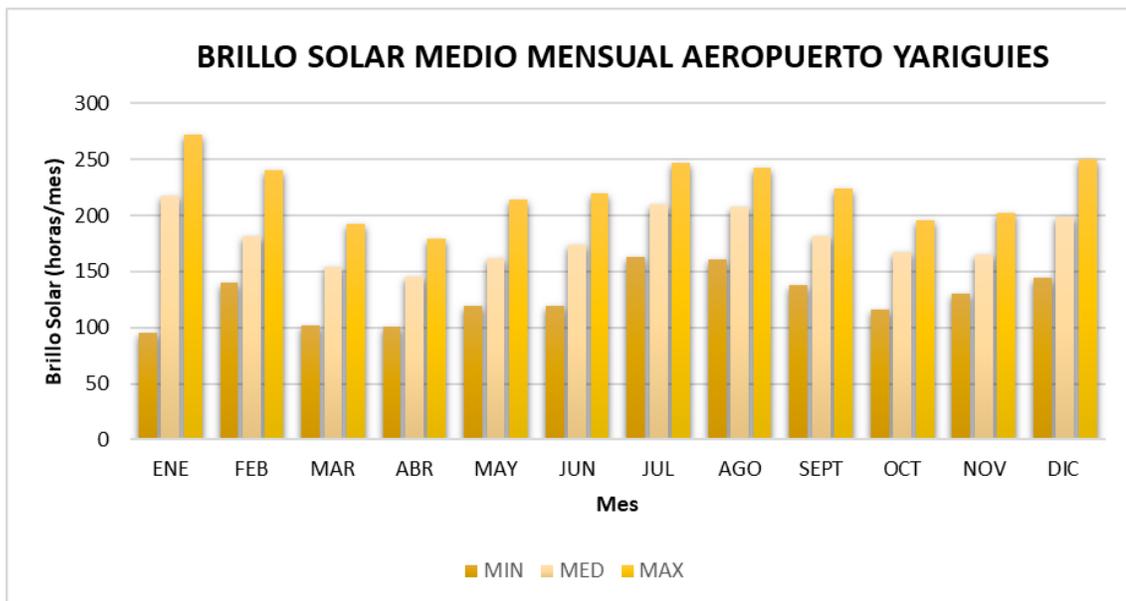
**Figura 10.** Valores medios anuales de Brillo Solar registrados en la estación Aeropuerto Yariguíes

El comportamiento medio mensual multianual del brillo solar en la zona cuenta con registros extremos de 95 y 217 horas/mes, curiosamente registrados estos dos valores en el mes de enero, en los años 2021 y 1991 respectivamente, el valor promedio mensual de horas al mes es de 180.

Los periodos anuales con menos horas de brillo solar son entre los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre, mientras que la mayor cantidad de horas se registra entre los meses de diciembre a enero y julio a agosto. En la Figura 12 se ilustra la información descrita.



**Figura 11.** Valores medios, máximos y mínimos anuales de Humedad Relativa registrados en la estación Aeropuerto Yariguíes



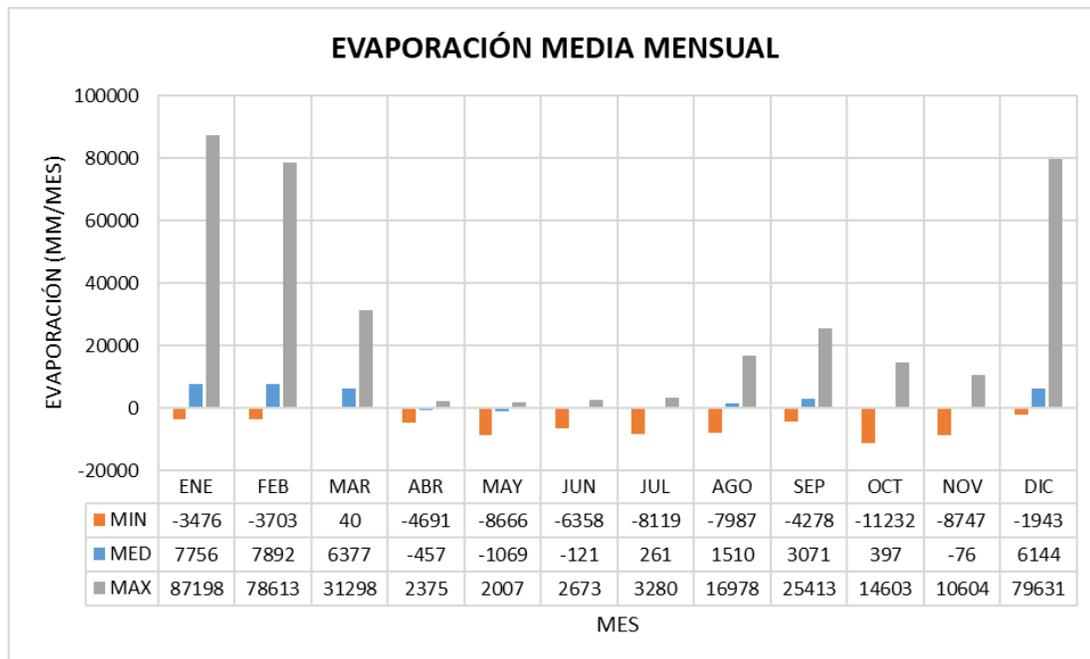
**Figura 12.** Valores medios mensuales de Brillo Solar registrados en la estación Aeropuerto Yariguíes

## 2.4.6 Evaporación

Para caracterizar la evaporación en la zona se tomó como referencia los datos de la estación Agrometeorológica VIZCAINA LA LIZAMA - AUT [24055080] la cual es la más cercana a la zona de proyecto con registros de la variable, localizada al suroeste del sitio del proyecto, sus características se presentan a continuación:

Nombre estación: VIZCAINA LA LIZAMA - AUT [24055080]  
 Tipo: Agrometeorológica  
 Latitud: 6.982970  
 Longitud: -73.704890  
 Elevación: 94 msnm

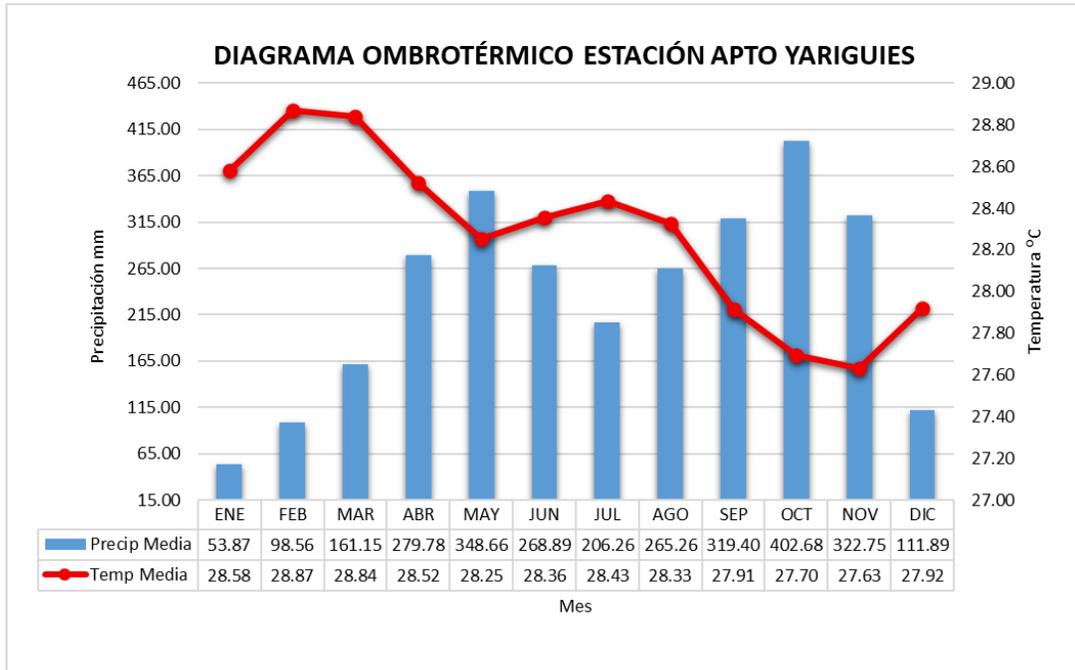
La estación cuenta con registros de Evaporación total diaria desde el año 2005 hasta el año 2021, presentando datos faltantes en múltiples intervalos de tiempo dentro de este periodo, a partir de la información disponible se calculó los valores mensuales de evaporación que se presentan en la **Figura 13**, teniendo como los meses con mayor evaporación los comprendidos entre diciembre y marzo, mientras que en los meses de abril y mayo de acuerdo con los datos lo que se presenta es el fenómeno inverso de condensación.



**Figura 13.** Valores medios anuales de Evaporación registrados en la estación Aeropuerto Yariguíes

## 2.4.7 Diagrama ombrotérmico.

A partir de los datos de precipitación y temperatura se ha realizado el diagrama ombrotérmico (**Figura 14**), en el que se observa un claro período estival con déficit hídrico.



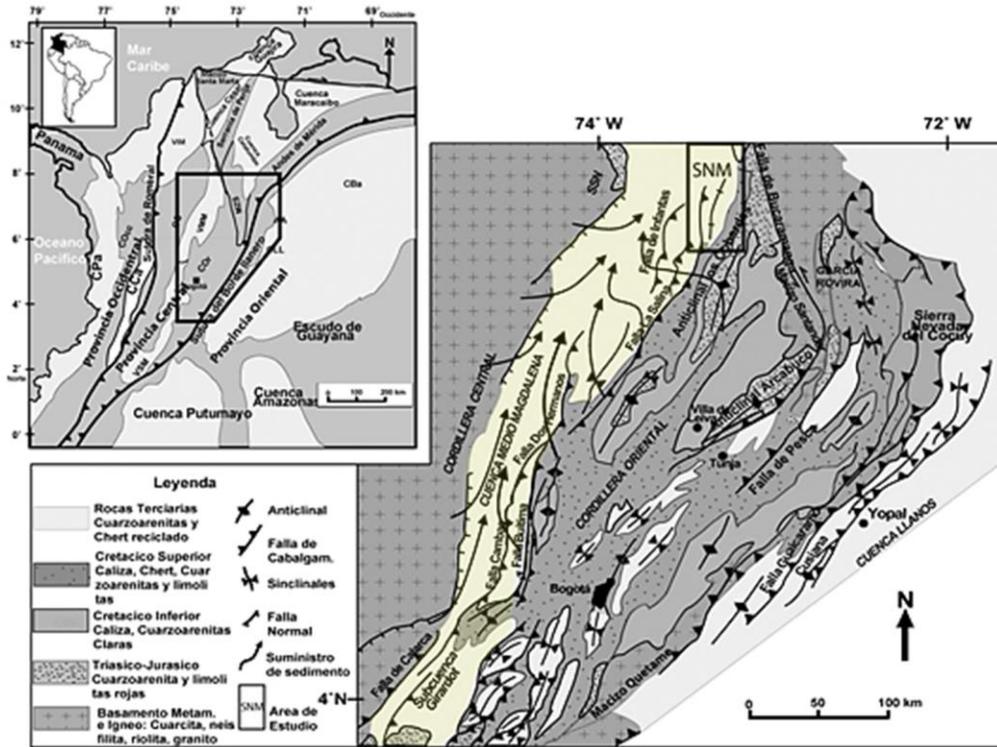
**Figura 14.** Diagrama ombrotérmico de la estación Aeropuerto Yariguies

## 2.5 UBICACIÓN GEOLOGICA DEL PREDIO

El predio se encuentra ubicado en zona rural del distrito de Barrancabermeja exactamente en los predios El Lago y Villa Mecedora, de las veredas San Luis y El Zarzal, sector Patio Bonito, el cual está cestá conformado por un paquete de arcillolitas intercaladas con delgados niveles de areniscas finas y conglomeráticas correlacionables con la formación geológica del Grupo Real (Tmr).

Estas rocas presentan en términos generales exposición aceptable, meteorización avanzada, observables parcialmente a lo largo de las vías de acceso y en pequeñas cañadas dentro y fuera del área de estudio.





**Figura 16.** Esquema estructural Valle del Magdalena Medio  
*Fuente: Provincias geológicas incluyendo principales estructuras geológicas (SNM, modificado Cooper et al., 1995; Gómez et al., 2003 y 2005.)*



**Figura 17.** Fotografía panorámica de la zona del estudio desde el sector nororiental

## 2.6 VEGETACIÓN

En cuanto a la cobertura de vegetación en la zona del estudio se encuentra predominancia de vegetación secundaria o en transición con pastos enmalezados y zonas con pastos limpios alrededor de la zona del relleno sanitario.



**Figura 18.** Vegetación en la zona del estudio

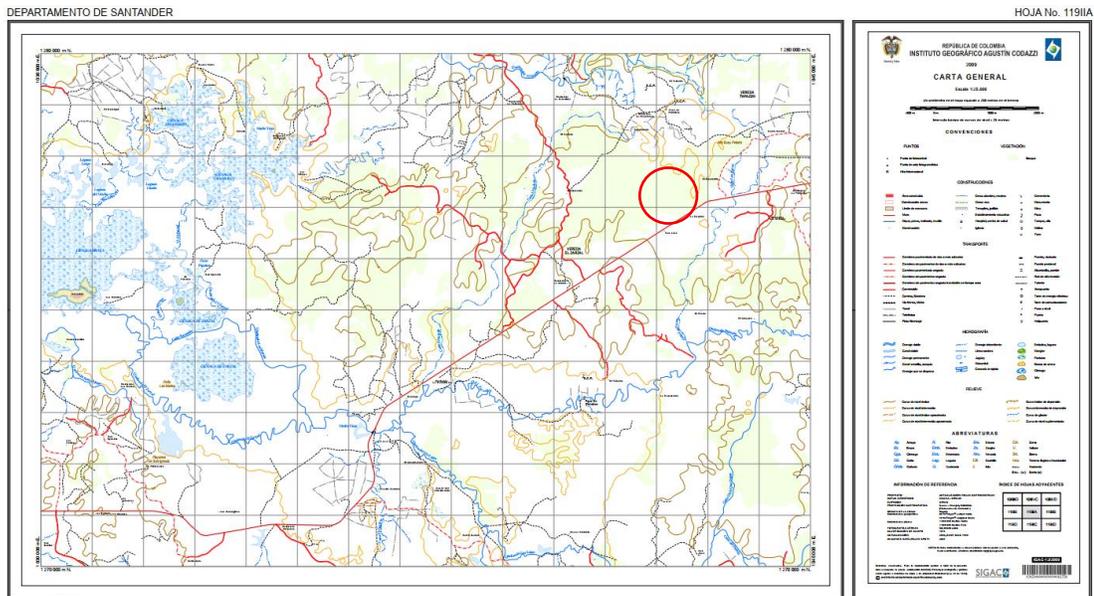
## 3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA ZONA DEL ESTUDIO

### 3.1 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DEL AREA DE DRENAJE.

En este apartado se realiza la caracterización hidrológica de la zona del estudio partiendo de la caracterización física de la zona, el primer insumo utilizado fue la cartografía disponible que para el caso corresponde a la plancha IGAC 119IIA a escala 1:25000 que se presenta en la **Figura 19**, y la plancha IGAC 119IIA2 a escala 1:10000 que se presenta en la **Figura 20**, de donde se analizó la información disponible para el área del estudio, con el fin de identificar cuerpos de agua importantes cartografiados en el sector.

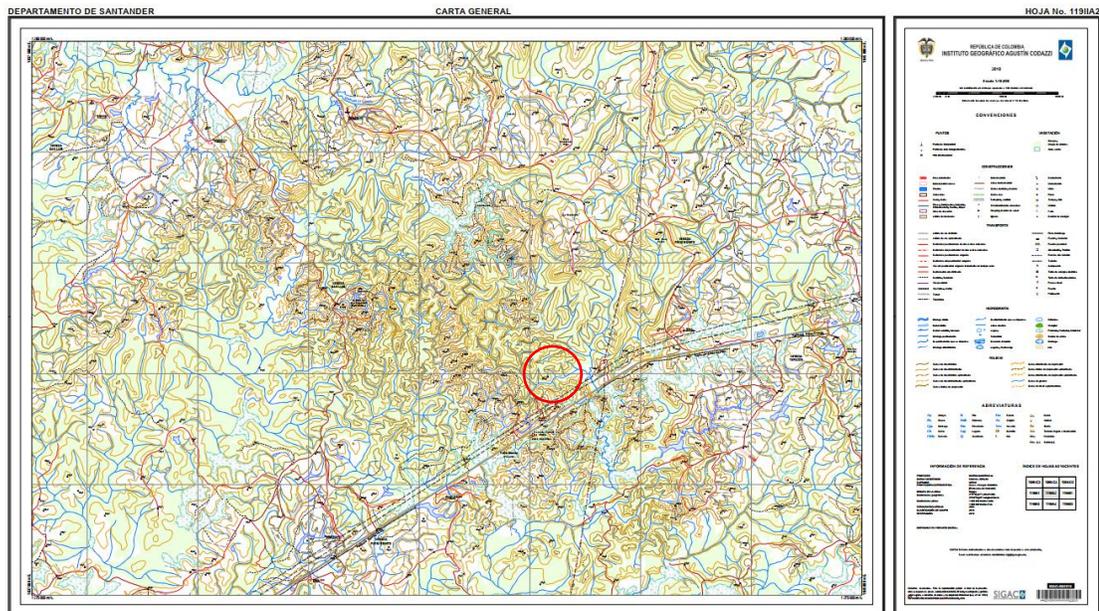
Sobre el área específica del estudio en la cartografía 1:25000 no se identifica ningún cuerpo de agua importante como se puede apreciar en la **Figura 21**, por lo que las áreas de drenaje de la zona del estudio corresponden a drenajes menores con áreas aferentes relativamente pequeñas, como se

puede evidenciar en la cartografía 1:10000 que para el área del estudio se presentan en la **Figura 22** y para su caracterización, se tuvo en cuenta la cartografía disponible y se complementó con información secundaria adicional que permita delimitar y caracterizar de manera adecuada estas áreas.

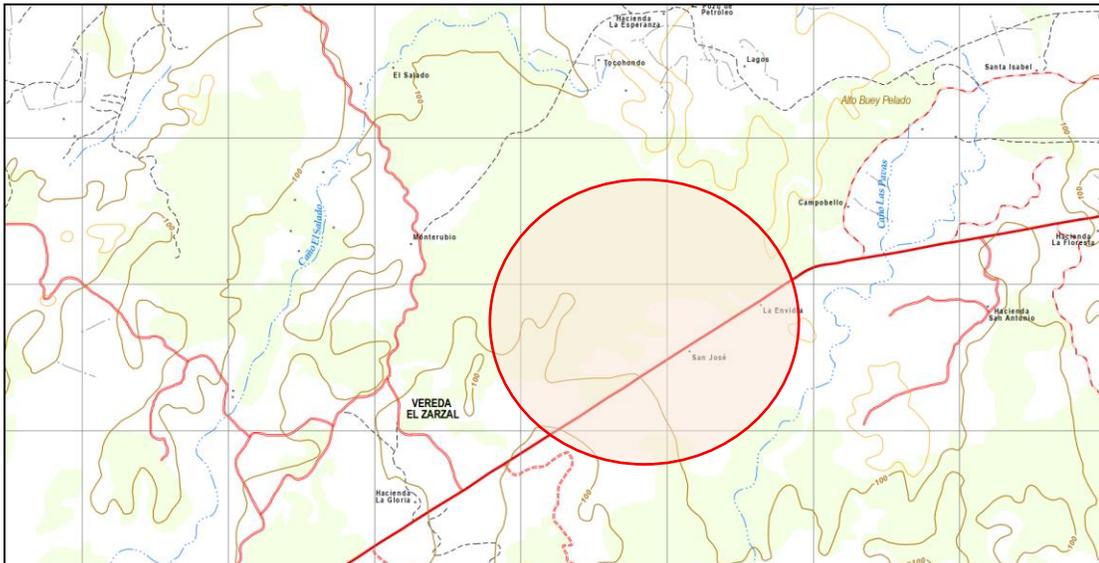


HOJA No. 119IIA

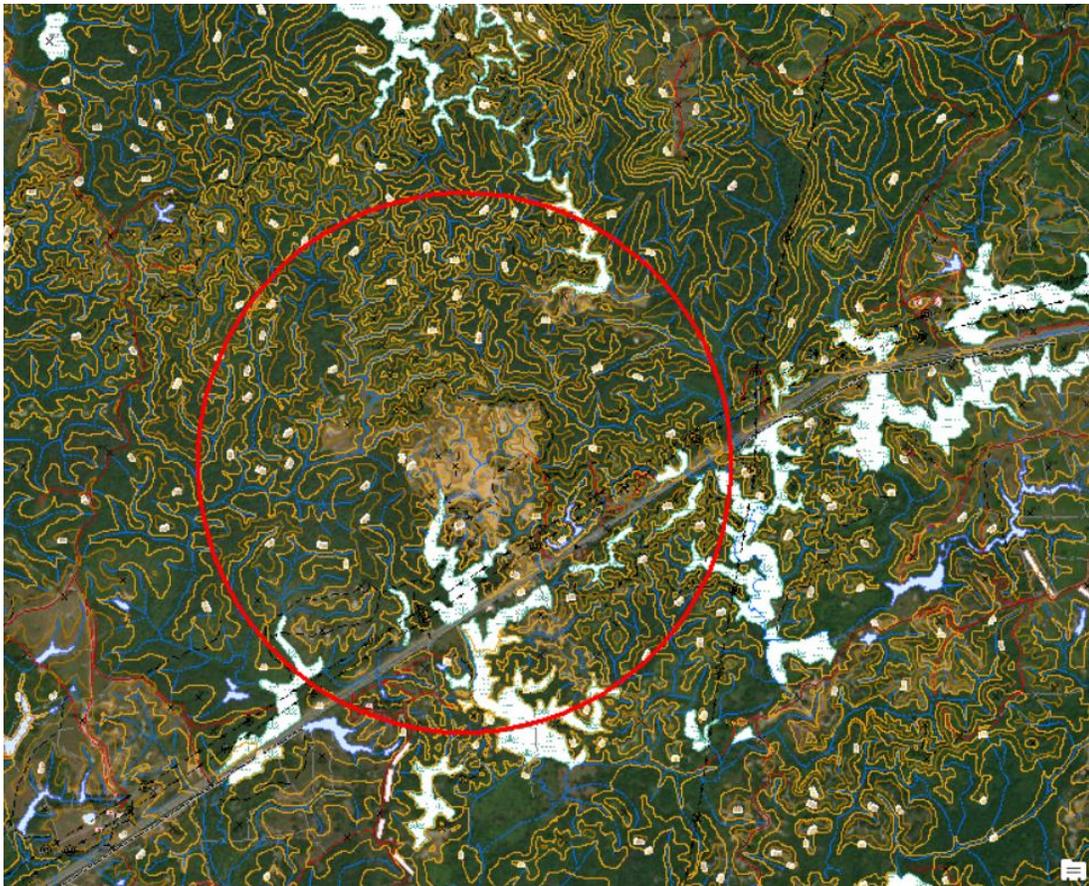
**Figura 19.** Plancha IGAC 119IIA General



**Figura 20.** Plancha IGAC 119IIA2 General



**Figura 21.** Plancha IGAC 119IIA con el área de estudio.



**Figura 22.** Plancha IGAC 119IIA2 con el área de estudio.

### 3.1.1 Caracterización Física de las Áreas de Drenaje

El propósito de este apartado es identificar los cuerpos de agua en la zona del estudio y sus cuencas hidrográficas aferentes. Topográficamente una cuenca hidrográfica está delimitada por las divisorias de aguas que la separan de zonas adyacentes pertenecientes a otras cuencas fluviales. La medición y análisis morfométrico permiten determinar características de tamaño y forma que dependen de las condiciones geológicas del terreno.

La caracterización física del área de drenaje se realizó con base en la topografía disponible y en un modelo digital de elevaciones en formato ráster descargado del sitio web de Alaska Satellite Facility, quien lo obtuvo de la misión ALOS PALSAR y que tiene un tamaño de pixel de 12.5X12.5 metros.

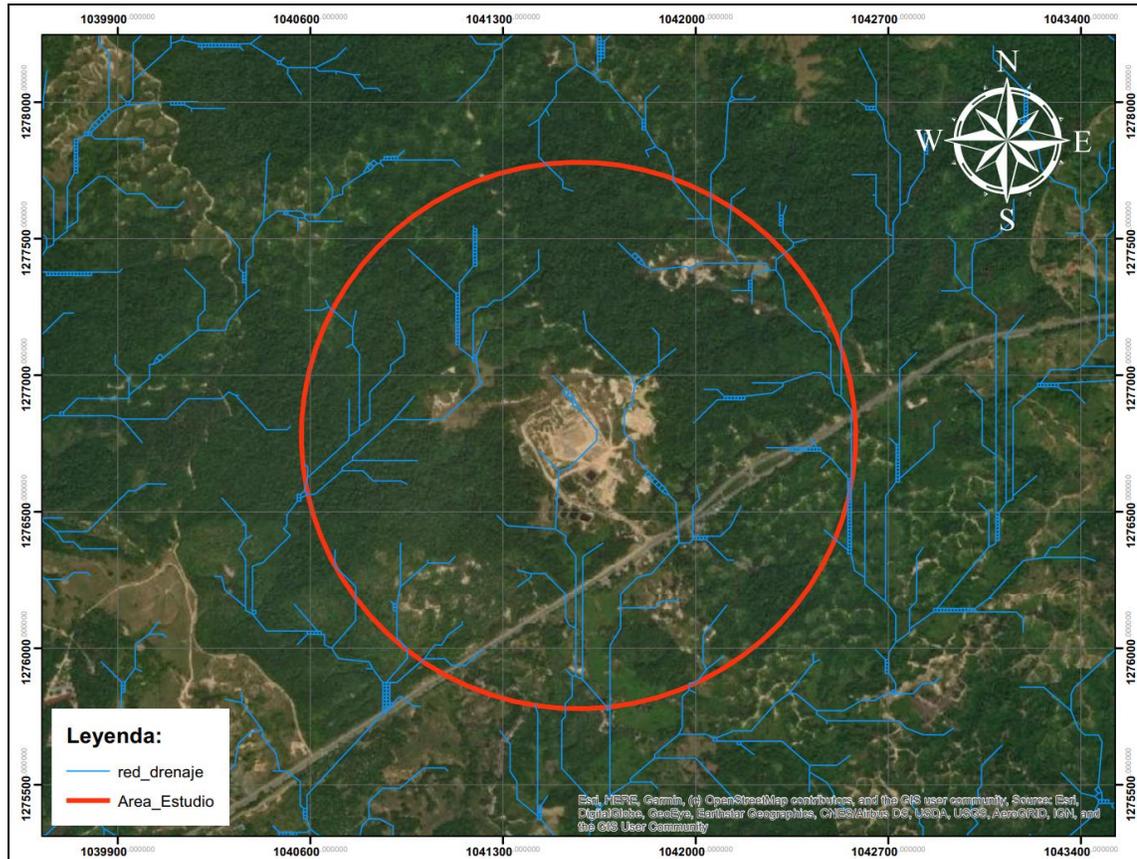
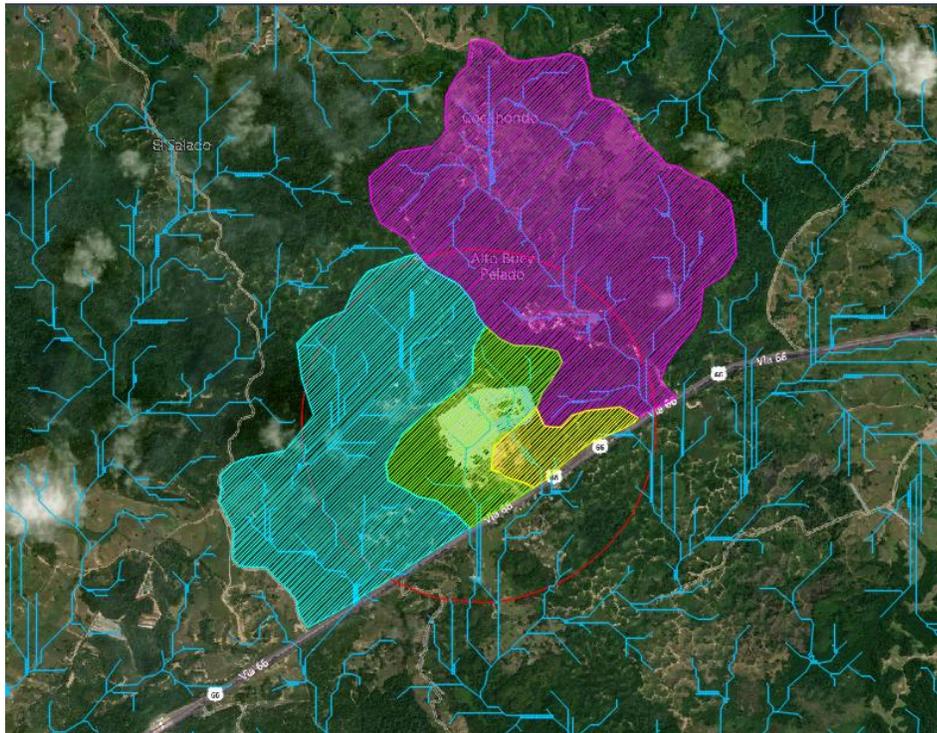


Figura 23. Definición de drenajes

Debido al tamaño de las áreas aferentes y a las características del terreno que es de tipo ondulado, el resultado de la definición de corrientes intermitentes de drenaje en la zona del estudio con la información secundaria cartográfica disponible fue como se observa en la Figura 21, de donde se

puede observar que por la zona del estudio se tiene una cañada en el sector nororiental, otra por el sector occidental y que la zona específica de ubicación del Relleno Sanitario drena hacia el sur hasta una zona baja en el costado suroccidental que finalmente se conduce a una alcantarilla bajo vía, y el sector suroriental del relleno sanitario se tiene un área de drenaje donde se conforma un lago natural que está fuera del área de influencia del relleno sanitario.

De acuerdo con los drenajes y la topografía de la zona, sobre al área de trabajo, que está conformada por el relleno sanitario y un perímetro de 1 kilómetro a la redonda, se pudo definir 4 áreas de drenaje, para la delimitación se tomó como límite en el costado suroccidental la vía principal ya que se configura en una barrera por donde los flujos solo circulan por las obras de paso bajo vía.



**Figura 24.** Áreas de drenaje en la zona del estudio

La delimitación de las áreas de drenaje se presenta en la **Figura 22** realizada a partir de información secundaria permitió tener una caracterización general de los drenajes en la zona del estudio, donde la principal área de drenaje es la de la zona nororiental que se localiza en el límite de la zona del estudio y no drena directamente por el predio de interés seguida del caño Moncholo que circula por el norte y el occidente del relleno sanitario. Debido a la poca

precisión de esta información por las condiciones orográficas y de vegetación en la zona se realizó verificaciones en campo y posteriormente fueron ajustados los drenajes y sus áreas aferentes.

Es importante destacar que debido a que en la zona de análisis se encuentran puntos bajos donde se almacena la escorrentía que funcionan como pequeños lagos, como el caso de la parte noroccidental donde el caño moncholo presenta un área de almacenamiento significativa (ver **Figura 23**) la cual drena por rebose cuando se presentan altas precipitaciones en la zona, por lo que las salidas de agua en estas zonas se dan principalmente por evaporación e infiltración.



**Figura 25.** Lagos naturales en el caño Moncholo

Se realizó la caracterización general de las 3 principales áreas de drenaje y a continuación se presentan los parámetros estimados.

### **3.1.1.1 Parámetros generales**

#### ***Área de la cuenca***

Se denomina cuenca hidrográfica a la zona de terreno en la que el agua, los sedimentos y los materiales disueltos drenan hacia un punto común. Morfométricamente su superficie corresponde a la proyección en un plano horizontal del área de la cuenca delimitada por su divisoria topográfica, sus unidades son km<sup>2</sup>.

En la Tabla 2 ve el resultado del área calculada para la cuenca en consideración.

**Tabla 2.** Área cuencas

CUENCA	A
	(km <sup>2</sup> )
Cañada nororiental	2.580
Drenaje predio	1.112
Caño Moncholo	1.091

Fuente: Consultor

### **Perímetro de la cuenca**

Es la medida del contorno de la proyección horizontal del área de la cuenca. Se expresa en Km y se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 3.** Perímetro de la cuenca

CUENCA	P
	(km)
Drenaje nororiental	7.202
Drenaje predio	4.810
Caño Moncholo	5.375

Fuente: Consultor

### **Longitud del cauce principal**

La distancia medida sobre un plano horizontal entre el punto más alejado de una cuenca y la desembocadura de su cauce principal se denomina longitud axial, sus unidades son km. En la Tabla 4 se consignan los resultados obtenidos para la cuenca en estudio.

**Tabla 4.** Longitudes de Drenajes Principales

CUENCA	L
	(km)
Drenaje nororiental	2.950
Drenaje predio	1.730
Caño Moncholo	2.150

Fuente: Consultor

#### **3.1.1.2 Parámetros de forma**

La forma de la cuenca permite comprender la hidrología de la misma y calcular los riesgos de inundación. Esto se debe a que, dada una determinada cantidad de lluvia, cuanto menos alargada sea la cuenca, mayor será la escorrentía máxima y antes alcanzarán las aguas la salida o desembocadura.

### **Coeficiente de Gravelius**

Relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de otra teórica circular de la misma superficie. El coeficiente de Gravelius se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$Cs = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Donde:

Cs : Coeficiente de Gravelius

P : Perímetro de la Cuenca en km

A : Área de la cuenca en km<sup>2</sup>

Los valores obtenidos se analizan teniendo en cuenta la siguiente tabla.

**Tabla 5.** Forma de la cuenca de acuerdo al Cs

Cs	Forma
1,00 – 1,25	Redonda
1,25 – 1,50	Ovalada
1,50 – 1,75	Oblonga

*Fuente: Restauración hidrológico y Forestal de Cuencas y Control de la Erosión. Pag.44.*

Cuanto más irregular sea la hoya mayor es su coeficiente de Gravelius Cs. Las cuencas redondas poseen un coeficiente de compacidad igual a uno, que indica una mayor tendencia a las crecientes.

En la Tabla 6 se resumen los datos calculados para la subcuenca en consideración y su respectiva clasificación según la forma de la misma:

**Tabla 6.** Coeficiente de Gravelius

CUENCA	Cs	Forma
Drenaje nororiental	1.26	Ovalada
Drenaje predio	1.29	Ovalada
Caño Moncholo	1.45	Ovalada

*Fuente: Cálculos del Consultor*

### **Rectángulo Equivalente**

Índice obtenido al calcular las dimensiones de un rectángulo que posee la misma área, e igual coeficiente de compacidad y repartición hipsométrica de la cuenca en estudio. Dicho rectángulo, bajo idénticas condiciones climatológicas de cobertura vegetal, y uso del suelo entre curvas de nivel, presenta el mismo escurrimiento de la cuenca en consideración.

$$l = \frac{C_s \sqrt{A}}{1,12} * \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{C_s} \right)^2} \right)$$

$$L = \frac{C_s \sqrt{A}}{1,12} * \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{C_s} \right)^2} \right)$$

Donde:

Cs : Coeficiente de Gravelius  
A : Área de la cuenca en km<sup>2</sup>

Los valores obtenidos para la cuenca se presentan en la Tabla 7.

**Tabla 7. Rectángulo equivalente**

CUENCA	I	L	AREA
	km	km	km <sup>2</sup>
Drenaje nororiental	0.97	2.66	2.58
Drenaje predio	0.62	1.81	1.11
Caño Moncholo	0.49	2.21	1.09

*Fuente: Cálculos del Consultor*

## 3.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES HÍDRICAS

Una vez realizada la caracterización general de las corrientes hídricas de la zona a partir de la información secundaria disponible se procedió a la verificación y comprobación mediante recorridos en campo, teniendo en cuenta las características topográficas de la zona y la espesa vegetación dificultan tener una descripción clara del sistema hídrico con la información general.

Se realizó recorrido de inspección a pie hasta donde la vegetación y la topografía lo permitieron, además se complementó con recorrido con dron que permitió la toma de vídeos y fotografías aéreas para lograr una comprensión integral del sistema de drenaje del sector.

### 3.2.1 Lago sector oriental entrada

A partir de los cuerpos hídricos y puntos relevantes identificados en la información secundaria, se realizó la caracterización de los drenajes del sector oriental del sitio de interés. Esta actividad se desarrolló mediante inspecciones de campo, recorridos técnicos y sobrevuelos con dron, lo que permitió delimitar las áreas de drenaje tanto internas como externas al sitio de disposición final. Durante este proceso se identificó y confirmó la presencia de un lago natural ubicado en la zona de acceso del sector oriental (ver **Figura 26**).



**Figura 26.** Lago natural en el costado oriental de la entrada.

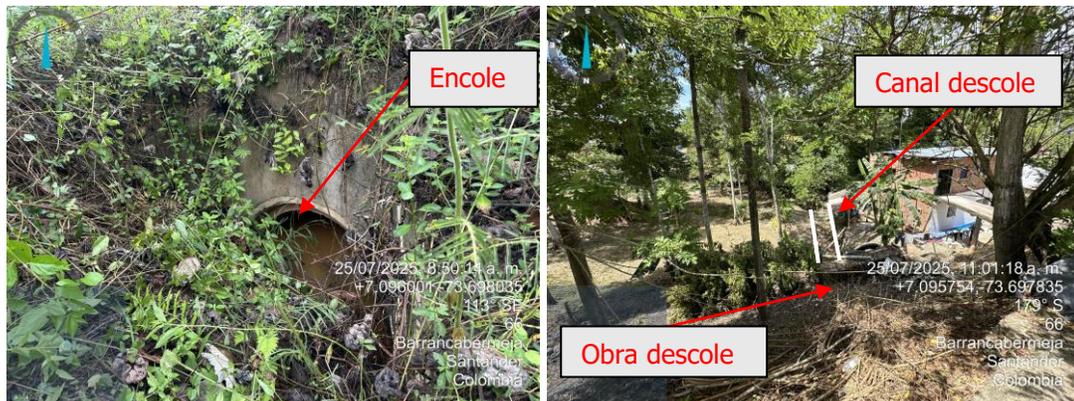
Este cuerpo de agua recibe aportes de una pequeña área de drenaje situada en el sector nororiental, fuera del perímetro del sitio de disposición, la cual fue delimitada y se presenta en la **Figura 27**, con una extensión aproximada de 4.8 Ha.



**Figura 27.** Área de drenaje hacia lago el el costado oriental de la entrada.

La salida de agua por escorrentía del lago se produce por el sector suroccidental a través de una alcantarilla bajo la vía principal Bucaramanga – Barrancabermeja. Este drenaje se realiza por rebose del lago cuando por las altas precipitaciones el nivel de este supera el de la entrada de la alcantarilla.

En una de las visitas de campo se logró ubicar la obra hidráulica donde se pudo corroborar lo descrito y además observar que la alcantarilla se encuentra inundada en su entrada tal como se muestra en la fotografía izquierda de la **Figura 28**, pero al revisar el descole al otro lado de la vía se pudo observar que no presenta ninguna condición que genere represamiento (fotografía derecha **Figura 28**), por lo que el agua de la entrada se almacena por la topografía plana y la densa vegetación.



**Figura 28.** Detalle de la Obra hidráulica de drenaje del lago localizada hacia el costado oriental de la entrada.

De acuerdo con la información disponible y lo observado en el terreno, el lago no presenta ninguna conexión superficial con los drenajes del relleno sanitario.

### 3.2.2 Drenaje sector oriental relleno sanitario

El sector oriental del relleno sanitario presenta un sistema de drenaje superficial con aportes de áreas naturales en el sector nororiental, las cuales drenan a un punto bajo donde se presenta la conformación de un pequeño lago, el lago drena por rebose en dirección suroccidente donde se va integrando con la escorrentía del relleno sanitario y durante las vistas de campo se pudo identificar que el esquema de las corrientes tanto naturales como antrópicas que drenan hasta esta zona son como se presenta en la **Figura 29**; en la **Figura 30** se presenta la conformación de canales perimetrales e internos para el manejo de la escorrentía en este sector.



**Figura 29.** Drenajes sector oriental relleno sanitario.



**Figura 30.** Detalle de Canales de drenaje sector nororiental.

Todo el sistema de drenaje descrito se acumula en la zona baja inundable del sector suroriental del relleno sanitario donde el único punto se salida que se pudo identificar en el sector es la tubería existente bajo la vía de acceso a la

disposición final de Veolia.

La tubería de drenaje ubicada bajo la vía de acceso se muestra en la **Figura 31**, donde se puede observar como el nivel del canal de entrada está por debajo del nivel de cota de batea de las tuberías por lo que el drenaje del sector tiene un funcionamiento por rebose.

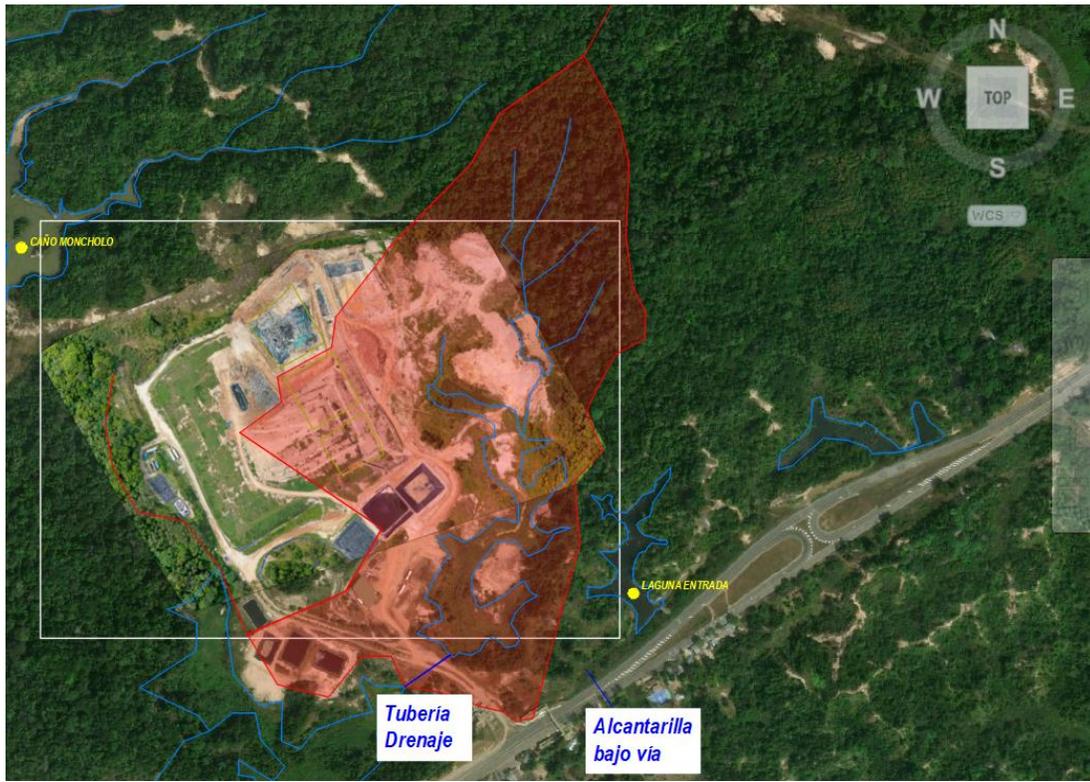


**Figura 31.** Detalle de la Tubería drenaje bajo vía de acceso al relleno sanitario

Teniendo en cuenta los hallazgos en campo descritos previamente, en la **Figura 32** se ilustra el sistema de drenaje del sector oriental del predio con los cuerpos de agua y las corrientes principales, donde se estimó un área de drenaje de aproximadamente 23 Ha.

### 3.2.3 Drenaje sector Norte (Caño Moncholo)

En el sector norte del predio se localiza el Caño Moncholo como principal cuerpo de agua en los alrededores del predio, el cual conforma un lago natural al noroccidente del predio el cual drena por rebose por el costado sur del predio, los principales aportes al Caño Moncholo corresponden a caudales que circulan desde el nororiente del lago, como se muestra en la **Figura 33**, donde hay que resaltar que sobre este sector se localiza el relleno sanitario antiguo que se encuentra clausurado en la actualidad.



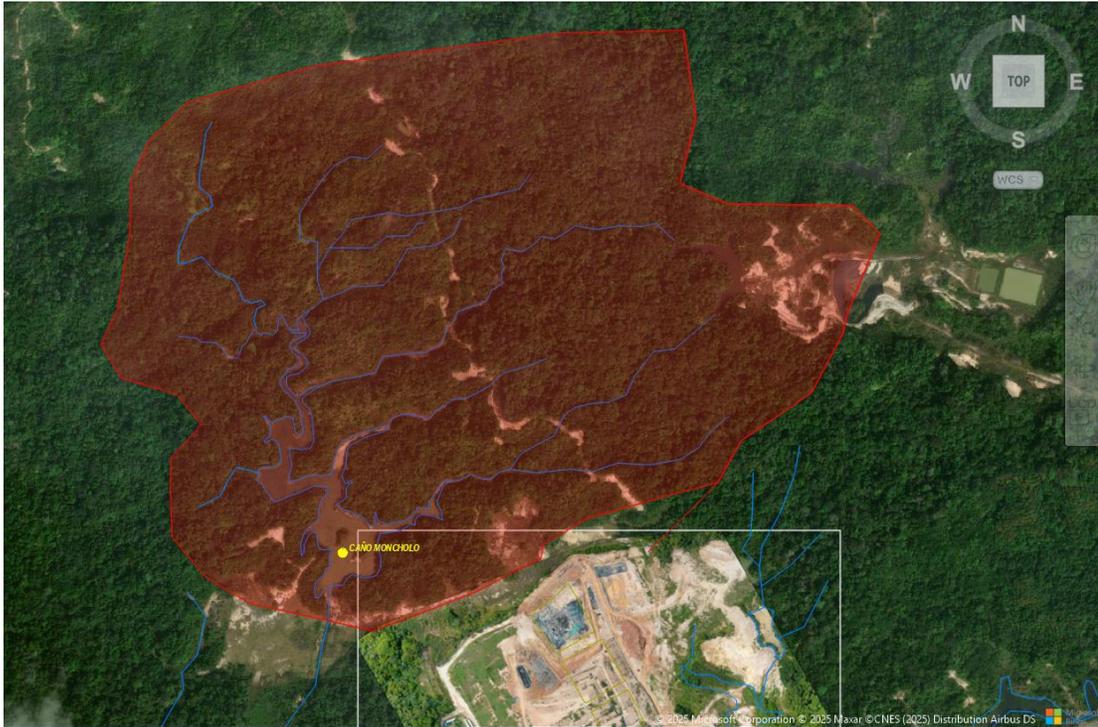
**Figura 32.** Planta esquema drenajes sector oriental del predio



**Figura 33.** Ubicación y principales corrientes de Caño Moncholo

Según lo observado en la zona norte y descrito previamente, en la **Figura 34** se ilustra el sistema de drenaje hasta la salida del Lago Caño Moncholo donde

se destaca que presuntamente se tiene aportes de caudales provenientes del relleno sanitario clausurado por lo que se realizó una inspección de esa zona mediante vuelos del dron con el fin de verificar la posibilidad de estos flujos superficiales.



**Figura 34.** Sistema de drenaje hacia lago Caño Moncholo.

Una vista aérea desde el caño Moncholo hacia el sector del relleno sanitario clausurado (ver **Figura 35**) muestra la presencia de cañadas que conectan el caño Moncholo con el relleno sanitario clausurado (Anchicayá). Al realizar el vuelo desde el relleno sanitario clausurado (ver **Figura 36**), y considerando la espesa vegetación de la zona, las reducidas diferencias de nivel entre los puntos bajos de drenaje y las observaciones realizadas, se determinó que muchos de los cuerpos de agua del sector, aunque no mantengan una conexión superficial permanente, durante eventos de precipitación frecuentes e intensos en la zona, pueden interconectarse por rebose, situación que podría presentarse entre el caño Moncholo y el relleno sanitario clausurado

El lago del Caño Moncholo drena por el sector occidental del predio donde en el sector suroccidental se presenta una zona baja inundable que durante el recorrido se logró observar una serie de canales menores interconectados controlados por las estructuras de salida que corresponde a las alcantarillas bajo la vía principal que comunica a Bucaramanga con Barrancabermeja.



**Figura 35.** Vista aerea desde Caño Moncholo hacia Relleno Sanitario Clausurado.



**Figura 36.** Vista aerea desde Relleno Sanitario Clausurado hacia Caño Moncholo.

### 3.2.4 Drenaje sector Suroccidental

Las principales obras de drenaje pluvial del predio se localizan en el suroeste, y su ubicación de acuerdo con un esquema de la empresa es como se muestra en la **Figura 37**, estas obras y ubicaciones fueron verificadas durante

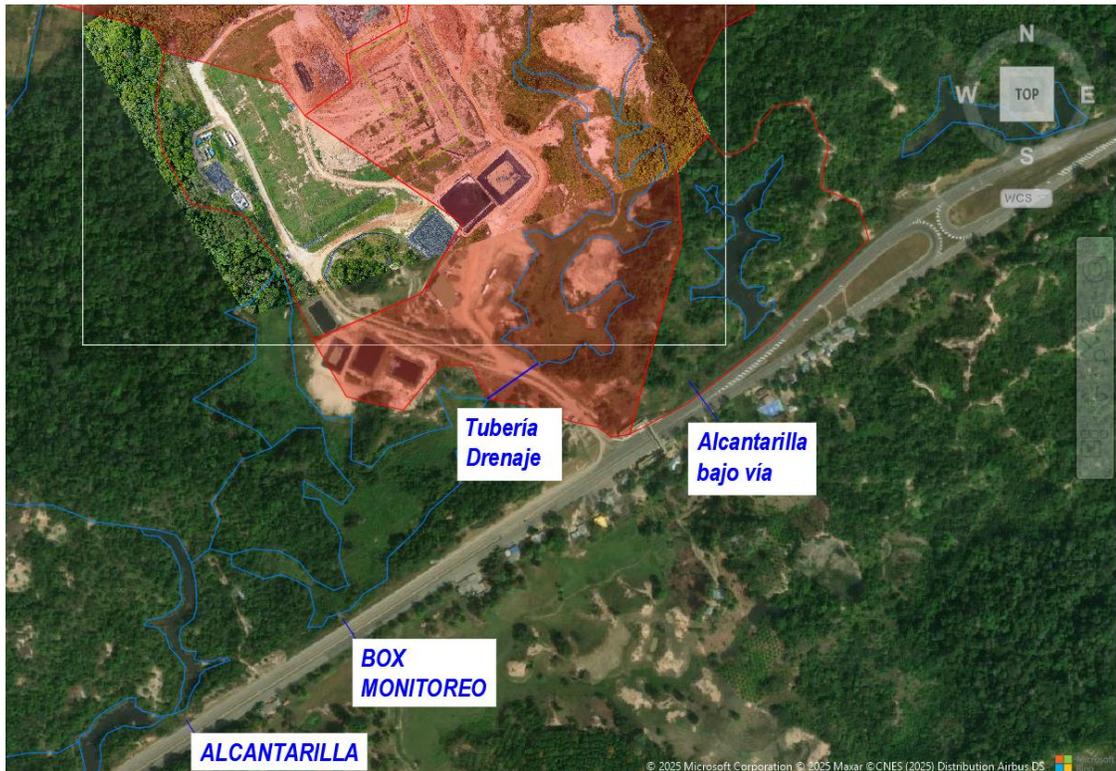
el recorrido en el terreno, identificando que las dos más al norte drenan la escorrentía directa sobre las áreas occidentales del relleno sanitario y la ubicada más al sur corresponde a la tubería que drena todo el sector oriental del predio que incluye el rebose del lago.



**Figura 37.** Ubicación estructuras de drenaje sector suroccidental predio.

De acuerdo con lo encontrado, la mayor parte del área de drenaje del predio drena hacia la zona baja inundable ubicada al suroriente el relleno sanitario la cual se delimita como se muestra en la **Figura 38**, donde también se puede observar que esta zona cuenta con una estructura de salida que corresponde a una alcantarilla bajo vía conformada por un Box Culvert cuyas condiciones de sección y canal de entrada observadas en la visita de campo se pueden observar en la **Figura 39** evidenciando que no se cuenta con caudales permanentes y que aparentemente funciona cuando la zona aguas arriba se inunda producto de las precipitaciones en el área aferente.

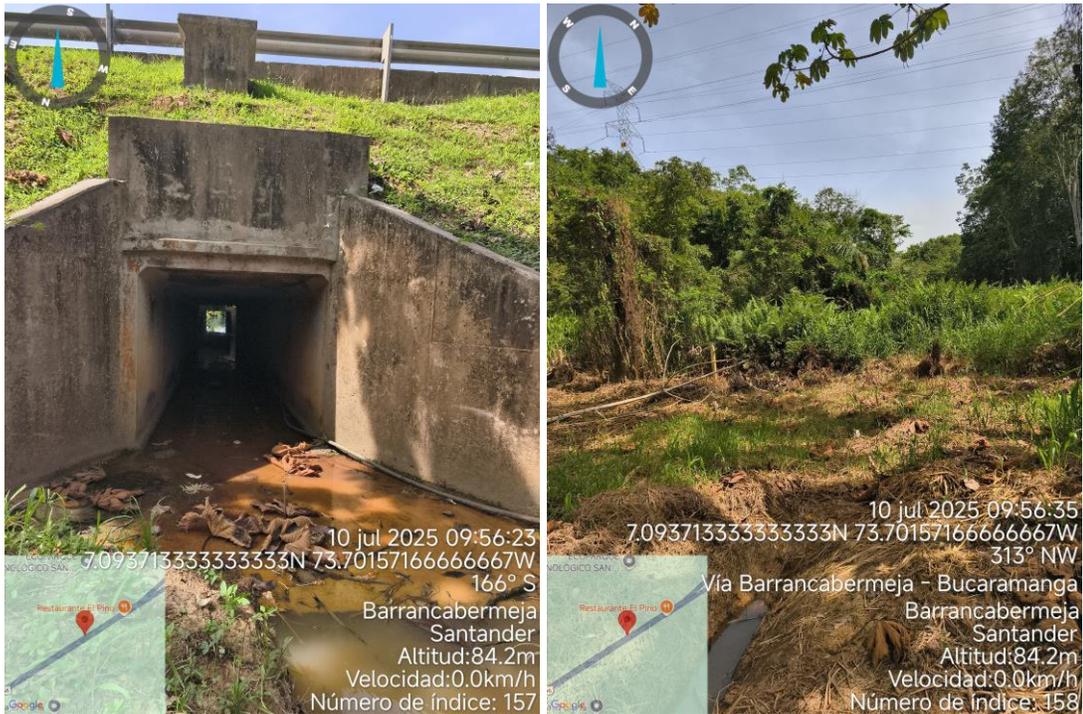
Se realizó el recorrido por la zona con el fin de establecer el funcionamiento del sistema de drenaje en este sector y verificar si hay alguna conexión con el Caño Moncholo, nuevamente la espesa vegetación, la poca diferencia de nivel entre las colinas y valles y las condiciones pantanosas dificultaron un recorrido completo, por lo que las observaciones fueron complementadas con las imágenes aéreas.



**Figura 38.** Zona baja de drenaje sector suroccidental.

El recorrido de campo complementado con las imágenes aéreas permitió identificar que en el sector occidental del predio se localizan lagos y zonas inundables, donde la vía que comunica a Barrancabermeja y Bucaramanga se comporta como una barrera y las alcantarillas bajo la vía son las que controlan la salida de los caudales superficiales de toda la zona.

Se logró ubicar e identificar 3 alcantarillas adicionales al occidente Box Culvert monitoreado que drenan estas zonas inundables que, de acuerdo con las bajas diferencias de nivel, pueden resultar interconectadas cuando se presentan las altas precipitaciones registradas en la zona. En la **Figura 40** se presenta la ubicación de las alcantarillas y un esquema de los lagos y áreas inundables, así como de los drenajes que se pudieron identificar; y a continuación se describen en el sentido occidente desde el box más cercano al predio.



**Figura 39.** Box Culvert Monitoreado al occidente de la vía de acceso.



**Figura 40.** Ubicación alcantarillas bajo vía en el sector occidental

La primera corresponde a una alcantarilla circular de 36", la cual presenta una acumulación de caudal (ver **Figura 41**), teniendo en cuenta que el poco caudal acumulado en el box monitoreado no presenta condiciones similares.

Mas al occidente se tiene otro Box Culvert cuyas condiciones se pueden observar en la **Figura 42** donde se evidencia acumulación de flujo que se deben presentar por las condiciones en la salida, este box no se localiza directamente sobre una zona baja natural, ya sea lago o inundable, como los demás, si no que aguas arriba de la entrada cuenta con canales de conducción desde las zonas bajas inundables de las alcantarillas contiguas.



**Figura 41.** Alcantarilla circular al occidente del box monitoreado.

Finalmente se tiene un Box Culvert de grandes dimensiones (ver **Figura 43**) por lo que se le llamó como principal y cuyo límite de área aferente es una vía veredal al occidente de este, la estructura presenta un bajo caudal por lo que se presume que en la zona los caudales permanentes son bajos teniendo en cuenta que las depresiones del terreno conforman lagos que regulan los caudales y solo se presentan caudales significativos en estas estructuras durante precipitaciones intensas y constantes que logran elevar los niveles del agua almacenada hasta rebosarse y escurrir de manera superficial hasta cada una de las alcantarillas.



**Figura 42.** Box Culvert con acumulación de caudales.

Este funcionamiento de acuerdo con las condiciones topografías de la zona puede generar que durante estos eventos de precipitaciones altas y continuas todo el sistema hídrico del sector resulte interconectado y se produzca la mezcla de la escorrentía de todos los cuerpos de agua del sector.

Se anexa un plano general del sistema de drenaje de la zona delimitada para el estudio.



**Figura 43.** Box Culvert Principal.

### 3.3 PUNTOS DE MONITOREO DE LAS FUENTES SUPERFICIALES

Dentro de la operación del relleno sanitario se realiza el monitoreo de los principales puntos en las corrientes hídricas superficiales y en la Figura 24 se presenta la ubicación de los puntos de muestreo que corresponde con los cuerpos de agua que drenan directamente sobre el predio.

Los puntos corresponden a el lago del Caño Moncholo, el lago de la entrada

del relleno sanitario y en la entrada y salida del box Culvert bajo la vía principal que es el principal punto de salida de caudales de escorrentía de la zona del proyecto.

### 3.3.1 Calidad del agua en las fuentes superficiales

Los monitoreos realizados arrojan resultados de los análisis de la calidad del agua superficial y a continuación se presenta los resultados de uno de los monitoreos realizado en el mes de septiembre de 2024 sobre los puntos de muestreo de aguas superficiales.



**Figura 44.** Puntos de muestreo de aguas superficiales

Los análisis de los resultados describen que La acidez permanece constante en todos puntos de muestreo ( $<10,00$  mg/L), lo que indica condiciones uniformes en términos de acidez en todas las áreas. En cuanto a la alcalinidad, es mayor en la entrada del box culvert ( $26,00$  mg/L) y disminuye en la laguna ( $9,72$  mg/L). Esto podría indicar que el sistema natural de la laguna tiene una capacidad menor para amortiguar cambios en el pH.

El pH varía ligeramente entre las muestras, desde  $6,22$  en la entrada laguna hasta  $6,88$  en la salida del box culvert, sugiriendo que los puntos presentan una condición ligeramente ácida. Los registros de temperatura evidencian que aumenta progresivamente desde  $26,60^{\circ}\text{C}$  en la entrada del box culvert hasta

31,50°C en el caño Moncholo, lo que puede deberse a diferencias en la exposición al sol o en la actividad biológica en cada área. El registro de la conductividad es más alto en la entrada del box culvert (580,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y disminuye considerablemente en la laguna (50,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), lo que sugiere una menor cantidad de iones disueltos en cuerpos de agua lenticos.

Los valores de DBO son bajos en todos los puntos de muestreo, en la entrada y salida del Box Culvert, la DBO es inferior a 5 mg/L, lo que indica una cantidad baja de materia orgánica biodegradable. En los demás puntos de muestreo (Laguna Entrada y Caño Moncholo), los valores de DBO son incluso más bajos, por debajo de 2 mg/L y 0,5 mg/L, respectivamente. Esto refleja que en todos los puntos hay una baja presencia de materia biodegradable que pueda ser consumida por microorganismos. En comparación con la DBO, la DQO es mayor, como es de esperarse.

Variable	Unidades	LCM <sup>1</sup>	Resultados			
			Box culvert Entrada 65840	Box culvert Salida 65841	Laguna Entrada 65842	Caño Moncholo 65843
<b>ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO</b>						
Amoniaco <sup>5</sup>	mg/L	1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Aceites y Grasas	mg /L	1,000	1,180	<1,000	<1,000	<1,000
Acidez	mg CaCO <sub>3</sub> /L	10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /L	5,00	26,00	23,40	9,72	10,40
Aluminio	mg/L	0,500	--	--	0,643	1,960
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L	0,100	0,195	<0,100	<0,100	<0,100
Arsénico	mg/L	0,010	0,014	--	<0,010	<0,010
<b>Bifenilos Policlorados</b>	-	-	-	-	-	-
Aroclor 1232	$\mu\text{g}/\text{L}$	0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Aroclor 1248			<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Aroclor 1254			<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Aroclor 1260			<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Bario	mg/L	0,500	<0,500	0,676	<0,500	<0,500
Berilio	mg/L	0,040	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040
Boro	mg/L	0,050	0,141	0,207	0,099	0,200
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles – BTEX</b>	-	-	-	-	-	-
Benceno	$\mu\text{g}/\text{L}$	160,000	<160,000	<160,000	<160,000	<160,000
Tolueno			<160,000	<160,000	<160,000	<160,000
Etilbenceno			<160,000	<160,000	<160,000	<160,000
o-Xileno			<160,000	<160,000	<160,000	<160,000
m+p-Xileno			<160,000	<160,000	<160,000	<160,000
Cadmio	mg/L	0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Cianuro Total	mg/L	0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100
Cloruro	mg/L	5,00	72,90	21,70	<5,00	<5,00
Cobalto	mg/L	0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100
Cobre	mg/L	0,020	0,042	0,050	<0,020	0,024

**Figura 45.** Resultados análisis de calidad del agua en fuentes superficiales (a)

En la entrada del Box Culvert, la DQO es de 28 mg/L, mientras que en la salida disminuye ligeramente a 26 mg/L. En los puntos Laguna Entrada y Caño Moncholo, la DQO es aún menor (<20 mg/L), lo que indica una reducción en la cantidad total de compuestos orgánicos, tanto biodegradables como no biodegradables.

Se evidencia una baja concentración de sólidos suspendidos en la entrada laguna (<20,00 mg/L) y el caño (74,00 mg/L). Esto sugiere que la laguna y el caño de acuerdo con el tipo de cuerpo de agua, actúa como un filtro natural que retiene sólidos suspendidos.

Variable	Unidades	LCM <sup>1</sup>	Resultados				
			Box culvert Entrada 65840	Box culvert Salida 65841	Laguna Entrada 65842	Caño Moncholo 65843	
Color Verdadero	620 nm	m <sup>-1</sup>	1,000	33,700	61,000	2,300	5,100
<b>Compuestos Semivolátiles Fenólicos</b>	-	-	-	-	-	-	-
Fenol	mg/L**	0,000025	<0,000025	<0,000025	<0,000025	<0,000025	
2 – Clorofenol			<0,000025	<0,000025	<0,000025	<0,000025	
2 – Metilfenol (o – cersol)			<0,000025	<0,000025	<0,000025	<0,000025	
2 – Nitrofenol			<0,000025	<0,000025	<0,000025	<0,000025	
4 – Metilfenol (p – Cresol)			<0,000025	<0,000025	<0,000025	<0,000025	
2,6 – Diclorofenol			<0,000025	<0,000025	<0,000025	<0,000025	
4 – Nitrofenol			<0,000025	<0,000025	<0,000025	<0,000025	
2,4 – Dinitrofenol			<0,000025	<0,000025	<0,000025	<0,000025	
4,6 – Dinitro – 2 – metilfenol			<0,000025	<0,000025	<0,000025	<0,000025	
Pentaclorofenol			<0,000025	<0,000025	<0,000025	<0,000025	
Cromo			mg/L	0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBOs	mg O <sub>2</sub> /L	5	<5	<5	<2*	<0,5*	
Demanda Química de Oxígeno – DQO	mg O <sub>2</sub> /L	20	28	26	<20	<20	
Estaño	mg/L	1,000	<1,000	<1,000	<1,000	<1,000	
Fósforo total	mg P/L	0,050	1,240	0,983	0,296	0,115	
Fósforo Reactivo Total (Leído como Ortofosfato)	mg P/L	0,050	0,432	0,962	<0,050	<0,050	
Hidrocarburos	mg/L	1,000	<1,000	<1,000	<1,000	<1,000	
<b>Hidrocarburos aromáticos Policíclicos (HAP)</b>	-	-	-	-	-	-	
Naftaleno	µg/L	0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	
Acenafteno			<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	
Acenaftileno			<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	
Antraceno			<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	
Benzo(a) antraceno			<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	
Benzo(a) pireno			<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	
Benzo(b+k) fluoranteno			<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	
Fluoranteno			<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	
Fluoreno			<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	
Fenantreno			<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	
Pireno			<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	
Litio			mg/L	0,100	<0,100	<0,100	<0,100
Manganeso	mg/L	0,100	0,198	0,407	<0,100	0,136	

**Figura 46.** Resultados análisis de calidad del agua en fuentes superficiales (b)

El Amoniacaco está por debajo del límite de detección (<1,00 mg/L) en todos los puntos, lo que indica que no hay presencia significativa de este nutriente nitrogenado en ninguna de las ubicaciones. Los niveles de fósforo Total son más altos en la entrada del box culvert (1,240 mg/L), mientras que, en los otros puntos, especialmente en la entrada laguna y en el Caño Moncholo, disminuyen notablemente (0,296 mg/L y 0,115 mg/L, respectivamente). Respecto a de terminación de Fósforo Reactivo Total (Leído como Ortofosfato) se observa un comportamiento similar, con valores más altos en la entrada y salida del box culvert (0,432 y 0,962 mg/L), mientras que en la laguna y el caño los valores están por debajo del límite de detección (<0,050 mg/L), lo que indica que el fósforo biodisponible es más bajo en estos puntos.

Variable	Unidades	LCM <sup>1</sup>	Resultados			
			Box culvert Entrada 65840	Box culvert Salida 65841	Laguna Entrada 65842	Caño Moncholo 65843
Mercurio	mg/L	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Molibdeno	mg/L	0,800	<0,800	<0,800	<0,800	<0,800
Níquel	mg/L	0,050	<0,050	0,058	<0,050	<0,050
Nitrato	mg NO <sub>3</sub> -N/L	0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500
Nitrito	mg NO <sub>2</sub> -N/L	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00
Nitrógeno Total <sup>3</sup>	mg N/L	4,000	<4,000	<4,000	<4,000	<4,000
Plata	mg/L	0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Plomo	mg/L	0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Selenio	mg/L	0,010	<0,010	--	<0,010	<0,010
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	20,00	--	--	<20,00	74,00
Sulfato	mg/L	10,000	97,500	161,000	<10,000	12,700
Sulfuro	mg/L	1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Surfactantes Aniónicos como SAAM <sup>4</sup>	mg/L	0,400	0,989	12,600	0,846	0,585
Vanadio	mg/L	1,000	<1,000	<1,000	<1,000	<1,000
Zinc	mg/L	0,050	0,099	0,180	<0,050	<0,050
pH <sup>2</sup>	Unidades de pH	1,00	6,74	6,88	6,22	6,17
Sólidos Sedimentables <sup>2</sup>	mL/L	0,10	2,00	2,50	<0,10	1,20
Temperatura <sup>2</sup>	°C	N.A.	26,60	27,20	30,80	31,50
Conductividad <sup>2</sup>	µS/cm	25,00	580,00	140,00	50,00	90,00

N.A. No Aplica; N.R. No Reporta

**Nota:** Los resultados indicados como < (menor que) refieren concentraciones inferiores a los límites de cuantificación del método analítico

<sup>1</sup>Límite de Cuantificación del Método.

<sup>2</sup>Variable medida en campo.

<sup>3</sup>Variable reportada de acuerdo a lo solicitado por la resolución 0631 de 2015: Nitratos + Nitritos + Nitrógeno Kjeldahl. No sujeta de acreditación IDEAM.

<sup>4</sup>Calculado como LSS, peso molecular 288,4.

<sup>5</sup>Variable no acreditada.

--Variable no analizada.

Acidez a pH: (65840) 8,30 UN de pH; (65841) 8,30 UN de pH; (65842) 8,30 UN de pH; (65843) 8,30 UN de pH.

Alcalinidad a pH: (65840) 4,50 UN de pH; (65841) 4,48 UN de pH; (65842) 4,30 UN de pH; (65843) 4,30 UN de pH.

pH después de filtrado: (65840) 7,85 UN de pH; (65841) 8,18 UN de pH; (65842) 8,35 UN de pH; (65843) 7,59 UN de pH.

\* Situación 4, todas las diluciones dan como resultado un consumo de DO <2,0 mg/L.

\*\*Se realiza conversión de (µg/L) a (mg/L) para comparación normativa.

**Figura 47.** Resultados análisis de calidad del agua en fuentes superficiales (c)

La determinación de los Nitratos y Nitritos, ambos se encuentran por debajo del límite de cuantificación ( $<0,500$  mg  $\text{NO}_3\text{-N/L}$  y  $<0,005$  mg  $\text{NO}_2\text{-N/L}$ , respectivamente) en todos los puntos de muestreo. Esto indica que no hay una presencia significativa de estos compuestos nitrogenados, o bien que su concentración es muy baja en todos los sitios. El Nitrógeno Total y Amoniacal, ambas formas de nitrógeno están por debajo del límite de cuantificación en todos los puntos, lo que sugiere una baja concentración de compuestos nitrogenados en las muestras.

En cuanto a la determinación de Aceites y Grasas, la concentración más alta se encuentra en la entrada del box culvert (1,180 mg/L) y disminuye a menos de 1,000 mg/L en todos los otros puntos; por su parte los Hidrocarburos, presenta concentraciones por debajo del límite de detección ( $<1,000$  mg/L) en todos los puntos, lo que sugiere una ausencia de hidrocarburos significativos en las muestras.

Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX, mg/L) se detectan solo en la entrada del box culvert (0,195 mg/L), mientras que en los demás puntos están por debajo del límite de cuantificación ( $<0,100$  mg/L). Compuestos Orgánicos Volátiles – BTEX y Semivolátiles Fenólicos ( $\mu\text{g/L}$ ): No se detectan en ninguna muestra ( $<0,000025$  mg/L), lo que indica la ausencia de dichos compuestos. Los Surfactantes Aniónicos como SAAM evidencian una alta concentración en la salida del box culvert (12,600 mg/L) comparado con los demás puntos (0,846 mg/L en la entrada laguna y 0,585 mg/L en el caño), lo que sugiere una fuente de surfactantes en esa área.

La determinación de Metales Pesados, evidencia que, la concentración de aluminio es baja en la laguna (0,643 mg/L) y el Caño Moncholo (1,960 mg/L). Por su parte el Arsénico, Bario, Cadmio, Cromo, Mercurio, Cobalto, Níquel, Plomo, Selenio, Vanadio y Zinc: La mayoría de estos metales están por debajo del límite de detección en todos los puntos de muestreo, lo que sugiere que no hay una contaminación significativa por metales pesados en ninguna de las muestras. Las excepciones son el manganeso en la salida del box culvert (0,407 mg/L) y el zinc (0,180 mg/L en la salida del box culvert).

## **4 BALANCE HÍDRICO**

El conocimiento del balance de humedad es necesario para definir la falta y excesos de agua y es de aplicación para las clasificaciones climáticas, definir la hidrología de una zona y para la planificación hidráulica.

Un balance hídrico es simplemente un método para la contabilización de los flujos de agua de una superficie. Se podría definir como un análisis de los distintos componentes del ciclo hidrológico de una zona determinada. Principalmente, todo balance hídrico se basa en la ley de conservación de masa, que sostiene que las entradas de materia son iguales a las salidas junto con el almacenamiento o variación de materia (Martínez de Azagra et al., 1996).

El modelo de balance hídrico de Thornthwaite y Matter o balance hídrico directo permite separar la precipitación en dos fracciones: fracción devuelta a la atmósfera y la fracción que alimenta las aguas subterráneas y superficiales. El agua del suelo se va perdiendo mes a mes hasta agotar la reserva para poder cubrir las necesidades de agua relacionadas principalmente con la evapotranspiración.

Lo usual es realizar un balance hídrico a cada unidad geomorfológica del área de estudio para cuantificar los flujos hídricos entre las posibles unidades hidrogeológicas. Para ello se deben conocer o estimar varios parámetros fundamentales: la evapotranspiración potencial media mensual (estimada a partir de datos climáticos medios mensuales (precipitaciones y temperatura media), textura del suelo para estimar la Capacidad de retención de Agua Disponible (C.R.A.D.) del suelo.

### **4.1 DATOS CLIMÁTICOS**

Los datos básicos para la estimación del balance hídrico corresponden los valores medios mensuales de precipitación y temperatura, que para el caso se tomó como referencia los registros de la estación AEROPUERTO YARIGUIES AUT [23155030] y los datos son los que se presentan en la Tabla 8.

El valor de las temperaturas medias es un dato esencial para el posterior cálculo de la evapotranspiración mediante el método de Thornthwaite. Por su parte, las precipitaciones juegan un papel muy importante en el balance hídrico ya que éstas forman el único flujo hídrico entrante de los sistemas o "cuencas" estudiadas.

**Tabla 8.** Datos mensuales de temperatura media y precipitación

MES	Temperatura Media (°C)	Precipitación (mm)
Enero	28.6	53.9
Febrero	28.9	98.6
Marzo	28.8	161.2
Abril	28.5	279.8
Mayo	28.3	348.7
Junio	28.4	268.9
Julio	28.4	206.3
Agosto	28.3	265.3
Septiembre	27.9	319.4
Octubre	27.7	402.7
Noviembre	27.6	322.8
Diciembre	27.9	111.9

#### 4.2 CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA DISPONIBLE

La escorrentía posee un triple efecto si se introduce en la superficie del vertedero. Erosiona las coberteras, se infiltra en las celdas aumentando el nivel de agua en los residuos y, por último, en el peor de los casos puede generar deslizamientos en masa cuando la socavación y la infiltración son importantes.

La Capacidad de Retención de Agua Disponible (CRAD) o Intervalo de Humedad Disponible (IDH), también denominado agua disponible o agua utilizable, es la mayor cantidad de agua que puede ser almacenada en el suelo y puesta a disposición de las plantas, por eso se le suele asimilar a la "Reserva del suelo" (Martin de Santa Olalla et al., 1993).

La CRAD se calcula, expresándolo en porcentaje de suelo seco, restando al valor de la capacidad de campo el del correspondiente al punto de marchitamiento permanente, si bien también se expresa en forma de humedad volumétrica.

$$CRAD = CC - PMP$$

La estimación de la "Reserva del suelo" de cada unidad hidrológica se llevará a cabo a partir de valores tabulados en función de la textura de los suelos, la profundidad y la densidad aparente mediante la siguiente ecuación:

$$R = p * d * (CC - PMP)$$

Donde:

R = reserva de agua en el suelo (mm, l/m<sup>2</sup>).

p = profundidad (dm)

d = densidad aparente (gr/cm<sup>3</sup>).

CC = capacidad de campo en porcentaje de tierra seca.

PMP = punto de marchitez permanente en porcentaje de tierra seca.

Para determinar la textura de las tres principales unidades hidrogeológicas se aplicará el método del "Tacto" a una porción de suelo de cada unidad. La textura es una expresión sintética de las características del suelo dependientes del tamaño de las partículas. La determinación aproximada de la clase textural como ensayo previo se puede realizar "al tacto", metodología utilizada corrientemente en las prospecciones de campo (Porta et al., 1994).

Conocidas las texturas de los suelos, se obtendrá el valor de la C.R.A.D. del Tabla 9 donde se asignan valores a la capacidad de campo y al punto de marchitamiento permanente en función de la textura del suelo:

**Tabla 9** Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente en función de la textura.

<b>Textura</b>	<b>CC (%)</b>	<b>PMP (%)</b>
Arena media	6,8	1,7
Arena fina	8,5	2,3
Franco-arenoso	11,3	3,4
Franco-arenoso fino	14,7	4,5
Franco	18,1	6,8
Franco-limoso	19,8	7,9
Franco-arcilloso	21,5	10,2
Arcilloso	22,6	14,7

*Fuente. The Yearbook of Agriculture", USDA 1955 (Martin de Santa Olalla et al., 1993).*

La transformación de la CRAD de los resultados (% de agua sobre la masa de tierra secada en estufa) se deben transformar a forma volumétrica por unidad de área (mm/m<sup>2</sup>). Se calcula a partir de una densidad aparente del suelo aproximada (1,2 Tm/m<sup>3</sup>) y profundidades estimadas de los suelos pertenecientes a la unidad geológica.

La pedregosidad influirá negativamente en la CRAD de los suelos ya que el volumen ocupado por las piedras restará capacidad de retención, ya que éstas no retienen de la misma forma que un suelo franco.

De acuerdo con la textura de suelo del sitio del estudio donde predominan los suelos Arenolimosos por lo que el CRAD es de 11.9%, para la transformación a valores volumétricos o de lámina de agua se asumió una profundidad del

suelo de 100 centímetros obteniéndose una reserva máxima de agua en el suelo de 142.8mm.

### **4.3 ESCORRENTÍA**

La escorrentía posee un triple efecto si se introduce en la superficie del vertedero. Erosiona las coberteras, se infiltra en las celdas aumentando el nivel de agua en los residuos y, por último, en el peor de los casos puede generar deslizamientos en masa cuando la socavación y la infiltración son importantes.

Además, puede producir importantes embalsamientos superficiales temporales, como ocurre actualmente en el vertedero actual. Suele acumularse temporalmente en el exterior del vaso del vertedero, aguas abajo del mismo.

Para estimar los flujos hídricos relativos a la escorrentía superficial (agua de lluvia que fluye por encima del terreno permanente o temporalmente) en las cuencas delimitadas del área de estudio se van a utilizar el del Número de Curva.

Las estimaciones de la escorrentía a partir de la precipitación pueden realizarse de varias formas, pero básicamente todos los métodos tratan de descontar de la lluvia caída sobre una cuenca, todas aquellas pérdidas que son debidas a factores como la infiltración, la evapotranspiración, etc. Sin embargo, el método más generalizado y quizá el más flexible es el método del número de curva CN del "Soil Conservation Service" (Servicio de Conservación de Suelos, EUA); este método es fácil de adaptar a nuestras condiciones pues toma en cuenta la cobertura del suelo, la pendiente, el porcentaje de área impermeable, el tipo de suelo, y mediante unas tablas asigna unos diferentes factores llamados número de curva CN, los cuales determinan el porcentaje de la lluvia que se infiltra.

Se realizó una estimación del potencial de producción de agua de la cuenca aferente a la captación proyectada mediante un balance hídrico para el año promedio, partiendo de la información de precipitación registrada en la de referencia y también se hizo una estimación mediante el método del SCS.

#### **4.3.1 Estimación de la escorrentía mediante el método del número de curva de SCS**

El concepto de escorrentía hace referencia a la fracción de agua que tras la precipitación se dirige en forma de flujo superficial pendiente abajo en un

territorio, normalmente hacia cuerpos de agua como canales, ríos, lagos u océanos (Muñoz y Ritter, 2005).

El coeficiente de escorrentía (C) de una superficie (S) representa la fracción de agua del total de lluvia precipitada que realmente genera escorrentía superficial una vez se ha saturado el suelo por completo, es decir, el cociente del caudal que discurre por dicha superficie, QE, en relación con el caudal total precipitado, QT.

La determinación del coeficiente de escorrentía se realiza con ayuda de tablas o ecuaciones empíricas, siendo las más utilizadas, en cuanto a tablas, las de Raws, la de Molchanov y la de Prevert. En cuanto a las ecuaciones, destacan la relación la ecuación de Nadal y la fórmula de Keler (Ibáñez et al., 2011). El método más generalizado y fácil de adaptar a cualquier región es el método del número de curva (NC) desarrollado por el "Soil Conservation Service" (S.C.S.) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (U.S.D.A.) en 1972 (Martínez y Navarro, 1996).

El S.C.S., a partir de la representación de la precipitación (P) y la precipitación efectiva (Pe), definida como la porción de la precipitación que se transforma en escorrentía, obtuvo una familia de curvas que fueron estandarizadas para definir un número adimensional de curvas NC, que varía de 1 a 100 según sea el grado de escurrimiento directo (Gaspari et al., 2007).

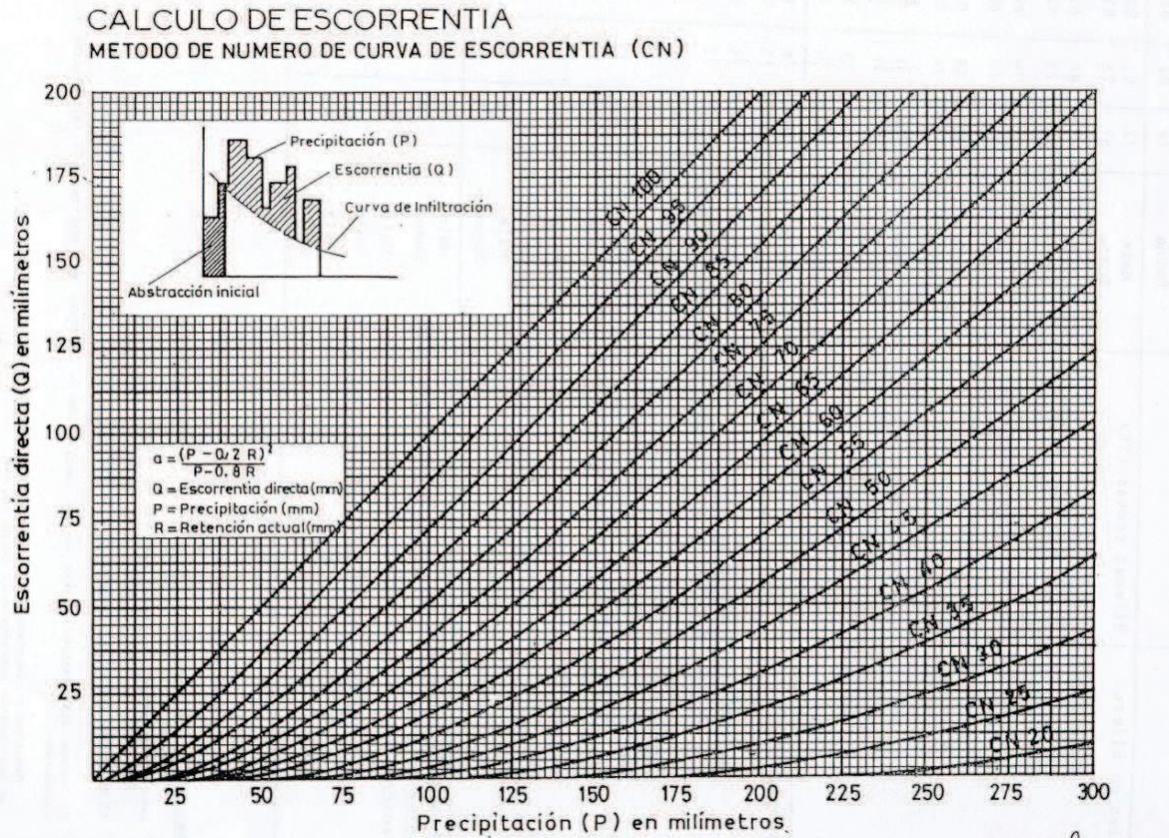
La metodología llevada a cabo para obtener el Número de Curva general de cada cuenca de estudio parte de la delimitación de la totalidad de la superficie de las cuencas en unidades representativas y la obtención de sus respectivas áreas, a partir de la aplicación "gvSIG". A continuación, se procede a obtener el Número de Curva de cada unidad representativa.

El valor de NC de cada superficie depende del tipo de suelo (capacidad de infiltración y estado hidrológico), del uso del suelo o tipo de cubierta vegetal y del tratamiento efectuado en el mismo. La obtención de NC se lleva a cabo a partir de tablas tabuladas en función de varios parámetros o se estimará.

El método del Número de Curva (CN) del SCS fue presentado en la sección 4 del National Engineering Handbook (NEH-4) (SCS 1985). La ecuación final para el cálculo de la escorrentía presentada por el SCS fue la siguiente:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$

La anterior expresión se resume en la Figura 46.



**Figura 48.** Representación gráfica del modelo de número de curva (S.C.S., 1986).

Donde Q es la escorrentía, P es la precipitación y S es el máximo potencial de retención después de iniciada la escorrentía, está relacionado con las condiciones de uso y cobertura del suelo en la cuenca, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

#### 4.3.1.1 Cálculo del CN

Los factores principales en la determinación del CN son el grupo hidrológico del suelo, el tipo de cobertura, el uso, la condición hidrológica y las condiciones de humedad precedentes.

El valor CN de la escorrentía para los complejos suelo cobertura fue determinado a partir de las condiciones hidrológicas de la cuenca la cual se encuentra en zona de bosque de condición hidrológica regular y el grupo de suelo el cual es predominantemente geología de suelo residual que para el caso del área del estudio corresponde a una textura arenolimos.

Con base en lo anterior se determinó un valor proporcional de CN para todas las líneas de flujo y su proyección con un valor de condición tipo III de humedad mayor de 5.3 cms en los 5 días antecedentes debido a las altas precipitaciones en la zona del estudio. Para esta condición el valor de CN adoptado es de 76.1 teniendo en cuenta la cobertura y la textura de los suelos.

En la Tabla 10 se muestra el proceso de cálculo del valor CN y en la Tabla 11 se muestran las equivalencias para CNIII.

**Tabla 10** Curvas de escorrentía para los complejos de suelo-cobertura CN

Uso de la tierra	Cobertura		Grupo de suelos			
	Tratamiento - práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
			Número de curva			
Rastrojo			77	86	91	94
Cultivos en hilera	Hileras rectas	Mala	71	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
		Curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80
Buena	62	71	78	81		
Cultivos en hileras estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
		Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79
Buena	59	70	78	81		
Leguminosas en hileras estrechas o forrajes en rotación	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
		Curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80
Buena	51	67	76	83		
Pastos de pastoreo		Mala	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	Mala	47	67	81	88
		Regular	25	59	75	89
		Buena	6	35	70	79
Pastos de corte			30	58	71	78
Bosque		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77

Cobertura			Grupo de suelos			
Uso de la tierra	Tratamiento - práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
			Número de curva			
Patios			59	74	82	86
Caminos en tierra			72	82	87	89
Pavimentos			74	84	90	92

Fuente: SCS

Condición hidrológica**	Mala	Cobertura menor del 50%
	Regular	Cobertura menor del 75 %
	Buena	Cobertura mayor del 75 %

#### GRUPO DE SUELO

- A - Suelos de alta infiltración - Gravas y arenas
- B - Suelos de infiltración moderada - Franco - Arcillo arenoso
- C - Suelos de infiltración lenta - Arcillo arenoso
- D - Suelos de infiltración muy lenta - Arcillosos

#### Condición de humedad antecedente

- I - Seca. Menor de 3.6 cms en los 5 días antecedentes
- II - Promedio. 3,6 a 5,3 cms en los 5 días antecedentes
- III - Húmeda. Mayor de 5,3 cms en los 5 días antecedentes

**Tabla 11** Cálculo de CNIII

CN II	CN III	CN II	CN III	CN II	CN III
0	0	34	54	67	83
1	6	35	55	68	84
2	13	36	56	69	84
3	14	37	57	70	85
4	15	38	58	71	86
5	16	39	59	72	86
6	17	40	60	73	87
7	18	41	61	74	88
8	19	42	62	75	88
9	20	43	63	76	89
10	22	44	64	77	89
11	23	45	65	78	90
12	24	46	66	79	91
13	26	47	67	80	91
14	28	48	68	81	92
15	30	49	69	82	92
16	31	50	70	83	93
17	32	51	70	84	93

CN II	CN III		CN II	CN III		CN II	CN III
18	34		52	71		85	94
19	36		53	72		86	94
20	37		54	73		87	95
21	38		55	74		88	95
22	39		56	75		89	96
23	40		57	75		90	96
24	41		58	76		91	97
25	42		59	77		92	97
26	43		60	78		93	98
27	45		61	78		94	98
28	47		62	79		95	98
29	49		63	80		96	99
30	50		64	81		97	99
31	51		65	82		98	99
32	52		66	82		99	100
33	53						

#### 4.3.1.2 Escorrentía año promedio

Se calculó el potencial de escorrentía para el área del estudio para el año promedio, por lo que se espera que haya años con mayor y menos producción de escorrentía.

El valor de máximo potencial de escorrentía estimado para el CN adoptado fue de 79.77mm y de acuerdo con los registros de precipitación en la se presenta la escorrentía estimada a escala mensual.

**Tabla 12** Precipitación – Escorrentía mensual año promedio

MES	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)
Enero	53.9	12.2
Febrero	98.6	42.0
Marzo	161.2	93.7
Abril	279.8	202.6
Mayo	348.7	268.4
Junio	268.9	192.3
Julio	206.3	134.1
Agosto	265.3	188.9
Septiembre	319.4	240.3
Octubre	402.7	320.6
Noviembre	322.8	243.5
Diciembre	111.9	52.4

#### 4.4 ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

La Evapotranspiración (ET) es un concepto que integra dos procesos: la evaporación y la transpiración. La medición de este parámetro conlleva grandes dificultades.

Existen diferentes métodos entre los que se encuentran se encuentran el método de Thornthwaite, el de Blaney y Criddle, el de Turc y el de Papadakis (Almorox, 2006). El método de Thornthwaite ha venido utilizándose tradicionalmente en España debido a que básicamente sólo necesita datos de temperatura, información que habitualmente se encuentra disponible (Estrela et al., 1999).

El método se basa en el cálculo de la ETP a partir de las Temperaturas medias mensuales mediante una fórmula matemática. Posteriormente, al resultado se le aplica un factor de corrección en función de la duración astronómica del día y del número de días del mes (Almorox, 2006).

La Evapotranspiración Potencial (ETP), concepto definido por Thornthwaite (1948), hace referencia a la Evapotranspiración en condiciones óptimas de humedad en el suelo y la vegetación.

La relación obtenida por Thornthwaite entre la ETP sin ajustar y las temperaturas medias mensuales es la siguiente:

$$e = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^{\alpha}$$

Donde:

e: evapotranspiración potencial mensual sin ajustar (mm/mes)

t: temperatura media mensual (°C)

a: constante que se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\alpha = 0.000000675 * I^3 - 0.0000771 * I^2 + 0.01792 * I + 0.49239$$

I: índice de calor anual que se calcula a partir de la suma de los índices de calor mensuales (i).

$$I = \sum i_j, j = 1, \dots, 12$$

A su vez, el índice de calor mensual se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$i = \left(\frac{t_j}{5}\right)^{1.514}$$

Para valores de temperatura media mensual superiores a 26,5 °C, la ETP sin ajustar se obtiene directamente de una tabla de valores (Thornthwaite, 1948) que se presenta a continuación:

**Tabla 13.** Valores de ETP de Thornthwaite sin corregir para temperaturas superiores a los 26.5°C

tm(°C)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
26						4.5	4.5	4.6	4.6	4.6
27	4.6	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9
28	4.9	5	5	5	5	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2
29	5.2	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4
30	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6
31	5.6	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.8
32	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9
33	5.9	5.9	5.9	5.9	6	6	6	6	6	6
34	6	6	6	6	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
35	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
36	6.1	6.1	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
37	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
38	6.2									

Para calcular la ETP de un mes determinado es necesario corregir la ETP sin ajustar ("e") mediante un coeficiente que se encuentra en función del número de días del mes y horas de luz de cada día, es decir, en función de la latitud.

Dicho coeficiente es el índice de iluminación mensual (L) en unidades de 12 horas, que deberá multiplicar a "e" para obtener la ETP según Thornthwaite (mm/mes) (Almorox, 2006). Es decir:

$$ETP_{Tho} = e * L$$

e: evapotranspiración mensual sin ajustar (mm/mes)

L: factor de corrección en función del número de días del mes (Ndi) y la duración astronómica del día Ni (horas de sol)

$$L_i = \frac{Nd_i N_i}{30 \cdot 12}$$

Ni se obtiene a partir del Tabla 14 que compara la latitud con el número de horas de sol en unidades de 12 horas y 30 días (Thorntwaite, 1948).

**Tabla 14.** Valores de Ni, duración astronómica del día, expresado en número de horas de sol en unidades de 12 horas durante 30 días.

N. LAT.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	.99	1.02
10	1.00	.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	.98	.99
15	.97	.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	.95	.97
20	.95	.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	.93	.94
25	.93	.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
26	.92	.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
27	.92	.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	.99	.90	.90
28	.91	.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	.98	.90	.90
29	.91	.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	.98	.90	.89
30	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
31	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
32	.89	.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	.98	.88	.87
33	.88	.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	.97	.88	.86
34	.88	.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	.97	.87	.86
35	.87	.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	.97	.86	.85
36	.87	.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	.97	.86	.84
37	.86	.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	.97	.85	.83
38	.85	.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	.96	.84	.83
39	.85	.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	.96	.84	.82
40	.84	.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	.96	.83	.81
41	.83	.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	.96	.82	.80
42	.82	.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	.95	.82	.79
43	.81	.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.20	1.04	.95	.81	.77
44	.81	.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.30	1.20	1.04	.95	.80	.76
45	.80	.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	.94	.79	.75
46	.79	.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	.94	.79	.74
47	.77	.80	1.02	1.14	1.30	1.32	1.33	1.22	1.04	.93	.78	.73
48	.76	.80	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	.93	.77	.72
49	.75	.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	.93	.76	.71
50	.74	.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	.92	.76	.70

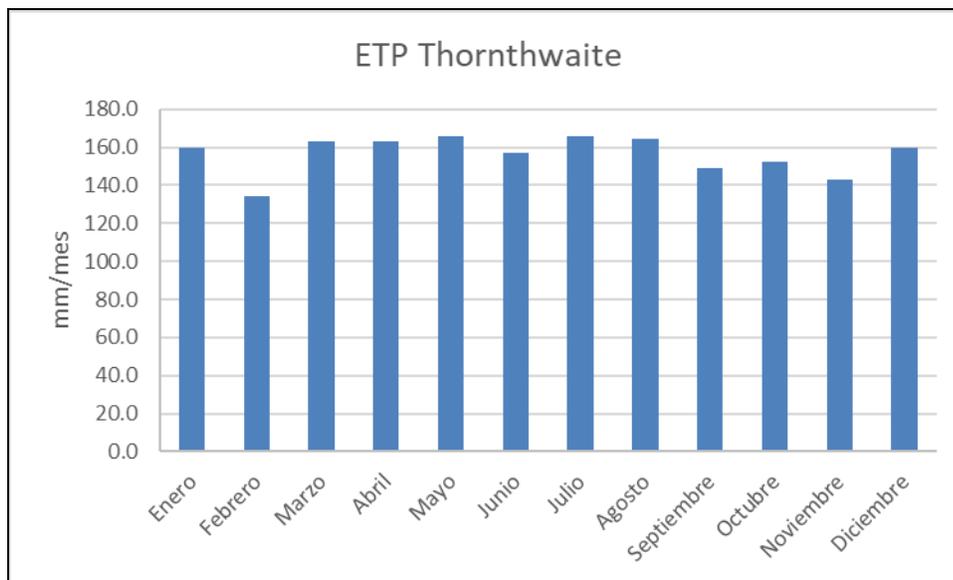
En la Tabla 15, se encuentran los parámetros necesarios calculados y los valores finales de evapotranspiración obtenidos siguiendo la metodología citada a partir de datos disponibles para la zona.

**Tabla 15.** Cálculo de la Evapotranspiración potencial (ETP).

MES	Temperatura Media (°C)	e (mm/mes)	L	ETP (mm/mes)
Enero	28.6	158.1	1.010	159.7
Febrero	28.9	145.6	0.920	134.0
Marzo	28.8	158.1	1.030	162.8
Abril	28.5	159.0	1.025	163.0
Mayo	28.3	155.0	1.070	165.9
Junio	28.4	150.0	1.045	156.8
Julio	28.4	155.0	1.070	165.9
Agosto	28.3	155.0	1.060	164.3
Septiembre	27.9	147.0	1.015	149.2
Octubre	27.7	148.8	1.025	152.5
Noviembre	27.6	144.0	0.995	143.3
Diciembre	27.9	151.9	1.050	159.5

*Fuente: El consultor*

La ETP acumulada anualmente equivale a un total de 1876.7mm (l/m<sup>2</sup>). Es una cifra relativamente menor que el volumen de agua precipitada en promedio anualmente que es de 2851, pero hay que tener en cuenta que se tiene registros de años con precipitaciones mucho menores, de hasta 694 mm, aproximadamente el 30 % de la ETP anual.



**Figura 49.** Comportamiento anual de la ETP

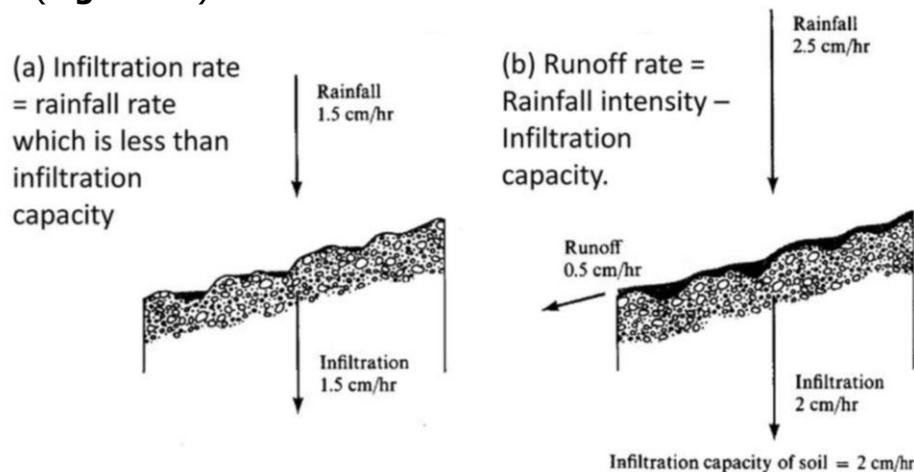
## 4.5 ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR)

La Evapotranspiración Real (ETR) es la evapotranspiración que realmente se produce. En los meses en los que  $(RI+P) > ETP$ , ETP es igual a ETR. En el caso contrario, ETR equivale a la cantidad de agua existente en el suelo.

### 4.5.1 INFILTRACIÓN

La infiltración es definida como el flujo que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie, cuando es mantenido en contacto con el agua a la presión atmosférica (Gurovich, 1985). A su vez, Porta (1994) la define como el proceso de entrada, generalmente vertical, de agua a través de la superficie del suelo, lo que constituye la primera etapa en el movimiento del agua en el suelo.

La tasa de infiltración es la velocidad con la que el agua penetra en el suelo a través de su superficie. Normalmente es expresada en mm/h. Afecta al medio de forma que, durante las precipitaciones, cuando la velocidad de aporte de agua a la superficie del suelo sea menor que la capacidad de infiltración, el agua se infiltrará tan rápidamente como es aportada, siendo la velocidad de aporte la que determina la velocidad de infiltración (es decir el proceso es controlado por el flujo). Sin embargo, cuando la velocidad de aporte supera la tasa de infiltración del suelo es ésta última la que determina la velocidad real de infiltración (Gurovich, 1985). Entonces la capacidad del suelo para absorber agua se ve superada y el exceso se acumula sobre la superficie o escurre (**Figura 48**).



**Figura 50.** Efecto de precipitaciones de diferentes intensidades sobre la velocidad de Infiltración. Fuente: Dunne y Leopold, 1978

Si se obtiene la tasa de infiltración en función del tiempo y se compara con la

intensidad de precipitación de un determinado momento, se puede estimar el momento en que empezará a generarse escorrentía en una cuenca.

Los principales métodos de campo para la medida de la conductividad hidráulica existentes se basan en la aplicación de simuladores de lluvia, lisímetros e infiltrómetros. El más utilizado es el infiltrómetro de cilindros concéntricos, también llamado método de los anillos de Müntz o de doble anillo. Es un método de medida de la tasa de infiltración, la infiltración acumulada y la conductividad hidráulica saturada.

#### 4.6 BALANCE HÍDRICO

El método aplicado supone definir por meses los siguientes parámetros (en mm), que corresponden a las variables de un sistema de entradas y salidas volumétricas de agua para un volumen de suelo definido por un m<sup>2</sup> y la profundidad radicular. Se deben definir mes a mes los siguientes parámetros (en mm) en un sistema de entradas y salidas volumétricas de agua para cada unidad hidrogeológica:

**Reserva Inicial (RI):** equivale a la cantidad de agua que contiene el suelo inicialmente en un determinado período.

**Precipitación (P):** precipitación media o mediana mensual. Se tomará el valor perteneciente a la diferencia entre las precipitaciones medias y la escorrentía media mensuales, ya que parte de la precipitación se convertirá en flujo de escorrentía.

**Escorrentía (E):** Parte de la precipitación que se convierte en escorrentía directa.

**Precipitación (Pd):** Es la parte de la precipitación disponible para los demás procesos del ciclo hidrológico tenidos en cuenta en el balance.

**ET Potencial (ETP):** evapotranspiración potencial, calculada mediante el método de Thornthwaite.

**ET Real (ETR):** es la evapotranspiración que realmente se produce. En los meses en los que  $(RI+P) > ETP$ , ETP es igual a ETR. En el caso contrario, ETR equivale a la cantidad de agua existente en el suelo.

**Reserva Final (RF):** Cuando en un mes se produzcan más entradas que salidas,  $(P > ET)$  el agua sobrante pasará a engrosar la reserva del suelo. Por el contrario, cuando las salidas sean mayores que las entradas se reducirá la

reserva del suelo. El valor de RF máximo equivaldrá al valor de la C.R.A.D. estimada con anterioridad.

**Drenaje Profundo (DP):** cantidad de agua que el suelo drena en profundidad. El suelo tiene una capacidad de retención de humedad en función de sus características físicas y cuando se alcanza la capacidad de retención máxima del suelo (CRAD), el agua "en exceso" escurrirá superficialmente o en profundidad.

La única variable existente entre los balances hídricos a realizar es la capacidad de retención de agua disponible que poseen las unidades geomorfológicas. En los balances se tomará como valor máximo de la Reserva el valor el valor de la CRAD estimada en función de la textura.

Una vez realizado el ejercicio a continuación se presenta los cálculos del balance en la **Tabla 16** de donde se observa que de acuerdo con los cálculos no hay caudal disponible para el drenaje profundo, sin embargo, teniendo en cuenta las condiciones topográficas y geológicas de la zona, donde la escorrentía superficial se da por reboses y se presentan acumulaciones de agua en zonas bajas conformando ciénagas y lagos, se realizó el ajuste al balance teniendo en cuenta que la mayor parte de la precipitación estará disponible para estos procesos.

**Tabla 16.** Balance hídrico

MES	RI	P	E	Pd	ETP	ETR	RF	DP
Enero	19.5	53.9	12.2	41.7	159.7	19.5	22.2	0.0
Febrero	22.2	98.6	42.0	56.5	134.0	22.2	34.4	0.0
Marzo	34.4	161.2	93.7	67.4	162.8	34.4	33.1	0.0
Abril	33.1	279.8	202.6	77.2	163.0	33.1	44.1	0.0
Mayo	44.1	348.7	268.4	80.3	165.9	44.1	36.2	0.0
Junio	36.2	268.9	192.3	76.6	156.8	36.2	40.4	0.0
Julio	40.4	206.3	134.1	72.2	165.9	40.4	31.7	0.0
Agosto	40.1	265.3	188.9	76.4	164.3	40.1	36.3	0.0
Septiembre	36.3	319.4	240.3	79.1	149.2	36.3	42.8	0.0
Octubre	42.8	402.7	320.6	82.1	152.5	42.8	39.3	0.0
Noviembre	39.3	322.8	243.5	79.3	143.3	39.3	40.0	0.0
Diciembre	40.0	111.9	52.4	59.5	159.5	40.0	19.5	0.0
<b>Anual</b>	428.3	2839.2	1990.9	848.3	1876.7	428.3	419.9	0.0

*Fuente: El consultor*

En la **Tabla 17** se presenta el ajuste del balance hídrico sin tener en cuenta la escorrentía estimada por el método del número de curva, donde se tiene que en los meses mayo, septiembre, octubre y noviembre, se presenta un flujo considerable hacia la profundidad del suelo, lo que es consecuente con

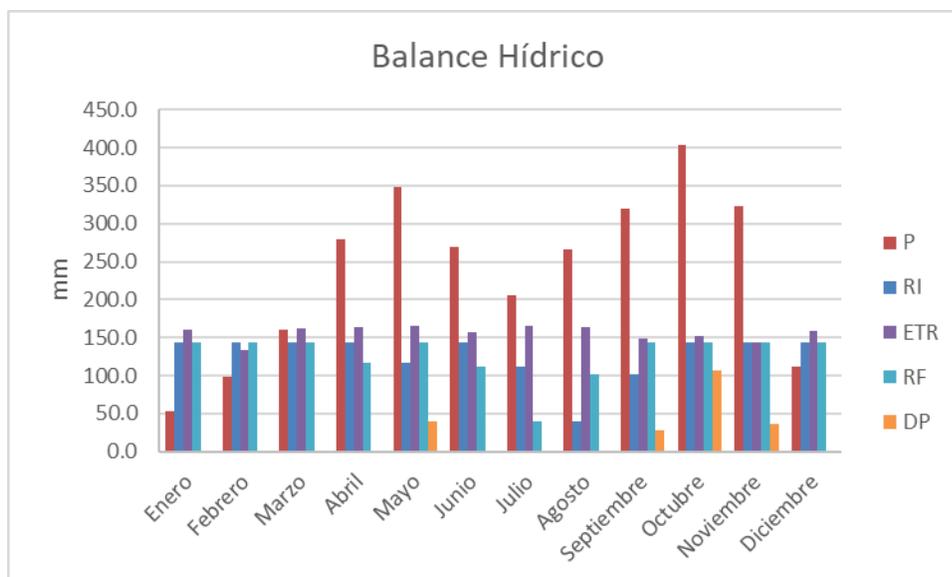
las condiciones del sitio.

**Tabla 17.** Balance hídrico ajustado

MES	RI	P	ETP	ETR	RF	DP
Enero	142.8	53.9	159.7	159.7	142.8	0.0
Febrero	142.8	98.6	134.0	134.0	142.8	0.0
Marzo	142.8	161.2	162.8	162.8	142.8	0.0
Abril	142.8	279.8	163.0	163.0	116.8	0.0
Mayo	116.8	348.7	165.9	165.9	142.8	40.0
Junio	142.8	268.9	156.8	156.8	112.1	0.0
Julio	112.1	206.3	165.9	165.9	40.4	0.0
Agosto	40.4	265.3	164.3	164.3	101.0	0.0
Septiembre	101.0	319.4	149.2	149.2	142.8	27.4
Octubre	142.8	402.7	152.5	152.5	142.8	107.4
Noviembre	142.8	322.8	143.3	143.3	142.8	36.7
Diciembre	142.8	111.9	159.5	159.5	142.8	0.0
<b>Anual</b>	<b>1512.7</b>	<b>2839.2</b>	<b>1876.7</b>	<b>1876.7</b>	<b>1512.7</b>	<b>211.4</b>

Fuente: El consultor

En la **Figura 49**, se presenta la gráfica de los resultados del balance hídrico de donde se puede concluir que en la zona predominan los procesos de evapotranspiración consecuente con la geomorfología de la zona que promueve la alta retención de agua en el suelo y una densa vegetación en las áreas no desarrolladas. De acuerdo con los resultados y análisis el mes de agosto es cuando el suelo se encuentra más seco a pesar de coincidir con los periodos de menores precipitaciones que corresponde al mes de enero.



**Figura 51.** Balance hídrico para la zona del estudio

## 5 CONCLUSIONES

El presente capítulo expone las principales conclusiones derivadas del Estudio Hidrográfico de Aguas Superficiales con su respectivo Balance Hídrico, desarrollado para el área del proyecto "Construcción y Operación de un Relleno Sanitario" y su periferia, localizado en los predios El Lago y Villa Mecedora, veredas San Luis y El Zarzal, sector Patio Bonito, en jurisdicción del municipio de Barrancabermeja, departamento de Santander.

Las conclusiones que aquí se presentan se fundamentan en las observaciones realizadas durante las inspecciones de campo por parte del equipo de especialistas, así como en el análisis detallado de las variables hidrológicas caracterizadas a partir de información oficial suministrada por el IDEAM. En particular, se utilizaron datos de las estaciones más cercanas a la zona de estudio, como la Estación Sinóptica Principal AEROPUERTO YARIGUÍES AUT [23155030] y la Estación Agrometeorológica VIZCAÍNA LA LIZAMA - AUT [24055080].

A partir de estos insumos, fue posible desarrollar una evaluación integral del comportamiento hidrológico superficial en el área del proyecto y su periferia, cuyas conclusiones se presentan a continuación:

- En el área estudiada que comprende el sitio de disposición final con 30,6 Ha y 1 km de radio se pudo apreciar que los dos puntos con mayor acumulación de agua aledaños al proyecto son: caño Moncholo, localizado en el sector noroccidental, y una laguna natural situada en el sector suroriental, adyacente a la vía de acceso. Según el análisis de la información secundaria y las verificaciones en campo, se confirma que los dos cuerpos de agua identificados no presentan conectividad hidráulica con las aguas de escorrentía provenientes del sitio de disposición final. El caño Moncholo se encuentra en una posición topográfica superior, en contrapendiente, mientras que las aguas que fluyen por el sector oriental del sitio de disposición final de Veolia son canalizadas mediante una cuneta en tierra hacia el box culvert ubicado en la zona suroccidental, donde se realizan monitoreos periódicos de calidad del agua mediante análisis de laboratorio, como se ha documentado previamente.
- Durante la inspección de las áreas circundantes, se identificaron tres afluentes que alimentan el caño Moncholo, los cuales se originan en el relleno Anchicayá. Durante los períodos de alta precipitación, estos tributarios, al superar su capacidad normal, generan un flujo que discurre paralelamente al límite norte del sitio de disposición final de Veolia. Este

excedente hídrico contribuye a la formación del cuerpo de agua con empozamiento que se observa en el sector oriental.

- El predio del sitio de disposición final de Veolia carece de corrientes hídricas significativas. La topografía ondulada del terreno, caracterizada por depresiones, facilita la acumulación de escorrentía superficial. La operación del sitio de disposición final de Veolia cuenta con 4 puntos de muestreo de la calidad de aguas superficiales ubicados en el Caño Moncholo, La Laguna de la entrada del predio y en entrada y salida del Box Culvert bajo la vía principal al suroccidente del predio; sobre los cuales realiza campañas de muestreo y análisis periódicos.
- El punto principal de drenaje converge en el Box Culvert donde se realiza monitoreo, cuyos análisis de calidad del agua no evidencian concentraciones de contaminantes. Los resultados de los monitoreos muestran variaciones en los parámetros de calidad entre la entrada y salida del Box; sin embargo, estas diferencias no pueden atribuirse directamente a las actividades de disposición final realizadas por Veolia puesto que existen otras actividades que se adelantan en las zonas aledañas al predio estudiado.
- El análisis del balance hídrico revela que la evapotranspiración constituye un proceso fundamental, considerando las características climatológicas y la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo. Los parámetros meteorológicos indican una precipitación media anual de 2,851 mm, temperatura media de 28°C (con oscilaciones entre 22°C y 35°C), humedad relativa promedio de 76.55% y un promedio de 6 horas diarias de brillo solar. La significativa pluviosidad evidencia una elevada disponibilidad hídrica, reflejada en la abundante cobertura vegetal en zonas no intervenidas. El régimen pluviométrico alcanza sus máximos valores durante mayo, septiembre, octubre y noviembre, períodos en los cuales se registra la mayor saturación del suelo.

## **6 ANEXOS.**