

PROYECTO “LOCALES COMERCIALES”

UBICACIÓN: CORREGIMIENTO 24 DE DICIEMBRE,
DISTRITO DE PANAMÁ, PROVINCIA DE PANAMÁ

CUENCA HIDROGRÁFICA N°144 RÍO JUAN DÍAZ Y
ENTRE RÍO JUAN DÍAZ Y RÍO PACORA

MAYO 2023

MEMORIA DEL
ESTUDIO
HIDROLÓGICO
RÍO CABRA

PRESENTADO POR:

ING. GIANNA ARROYO

IDONEIDAD: 2010-006-111

ESTUDIO HIDROLÓGICO DE RÍO CABRA

MEMORIA DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO RÍO CABRA

ESTUDIO HIDROLÓGICO

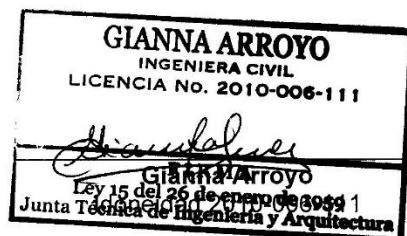
Estudio de Impacto Ambiental Categoría I

Proyecto: Locales Comerciales

Ubicación:

Corregimiento 24 de Dic, distrito de Panamá, Provincia de Panamá

Promotor: William Lee Chung



Mayo 2023

Contenido

1. NOMBRE DEL PROYECTO	4
2. OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO	4
3. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	4
4. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DEL ÁREA DE DRENAJE DE RÍO CABRA	6
4.1. FORMA DE LA CUENCA	7
4.1.1. COEFICIENTE DE COMPACIDAD O ÍNDICE DE GRAVELIUS	7
4.2. ELEVACIÓN DE LOS TERRENOS	8
4.2.1. ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA	8
4.2.2. CURVA HIPSOMÉTRICA Y POLÍGONO DE FRECUENCIA DE ALTITUDES	10
5. COBERTURA BOScosa Y USO DE LA TIERRA DEL ÁREA DE DRENAJE DE RÍO CABRA	13
6. CLASIFICACIÓN DE CLIMA	16
7. VARIABILIDAD CLIMATOLÓGICA	18
7.1. TEMPERATURA	18
7.2. EVAPORACIÓN	19
7.3. VIENTO	20
7.4. HUMEDAD RELATIVA	21
7.5. PRECIPITACIÓN	22
8. HIDROLOGÍA	24
8.1. PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL	25
8.2. PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA	26
8.3. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN MÉTODO DE TÉMEZ	27
8.4. CAUDALES MÍNIMO, MÁXIMO Y PROMEDIO ANUAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA N°144 RÍO JUAN DÍAZ Y ENTRE RÍO JUAN DÍAZ Y RÍO PACORA	28
8.5. CAUDAL AMBIETAL	28
8.6. MÉTODO REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS	29
8.6.1. EJECUCIÓN DEL MÉTODO ANÁLISIS REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS	30
CONCLUSIONES	32
ANEXOS	33

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen No. 1 - Mapa de localización Regional del Proyecto	5
Imagen No. 2 - Representación de las diferencias en los coeficientes de compacidad	7
Imagen No. 3 - Reclasificación del DEM en ArcGIS	9
Imagen No. 4 - Reclasificación raster en las diferentes alturas (DEM)	9
Imagen No. 5 - Características Físicas de una Cuenca Hidrográfica	13
Imagen No. 6 - Mapa de Cobertura Boscosa y Uso de Tierra	15
Imagen No. 7 - Clasificación de Climas en la Zona de Estudio Matriz de Köppen	18
Imagen No. 8 – Ecuaciones para el Método Análisis Regional de Crecidas Máximas	31
Imagen No. 9 – Regiones Hidrológicamente Homogéneas de Panamá	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1 - Localización del Proyecto	4
Tabla No. 2 - Características del río Cabra	6
Tabla No. 3 - Geometría del Área de Drenaje de río Cabra	6
Tabla No. 4 - Altitud Media de la Sub-Cuenca de río Cabra	10
Tabla No. 5 - Características geomorfológicas del Área de Drenaje de río Cabra	12
Tabla No. 6 - Porcentaje de Cobertura Boscosa y Uso de la Tierra del Área de Drenaje de río Cabra	14
Tabla No. 7 - Clasificación del Clima en Panamá según Köppen	17
Tabla No. 8 - Datos de Temperatura Promedio Mensual Estación (144-002)	19
Tabla No. 9 - Datos de Evaporación Promedio Mensual Estación (144-002)	19
Tabla No. 10 - Datos de Vientos Promedio Mensual Estación (144-002)	20
Tabla No. 11 - Datos de Humedad Relativa Promedio Mensual Estación (144-002)	21
Tabla No. 12 - Datos de Precipitación Promedio Mensual Estación (144-002)	22
Tabla No. 13 - Datos de Precipitación Promedio Mensual Estación (144-003)	23
Tabla No. 14 - Razón de Bifurcación de río Cabra	25
Tabla No. 15 - Rangos de pendientes según su porcentaje	26
Tabla No. 16 - Clasificación de terreno de acuerdo con el porcentaje de la pendiente media	26
Tabla No. 17 Cálculo del Caudal Ambiental	29

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica No. 1 - Curva Hipsométrica y Polígono de frecuencia de Altitudes del río Cabra	11
Gráfica No. 2 - Identificación de la Edad de una Cuenca con la Curva	12
Gráfica No. 3 - Datos de Temperatura Promedio Mensual en la Estación (144-002)	19
Gráfica No. 4 - Datos de Evaporación Promedio Mensual en la Estación (144-002)	20
Gráfica No. 5 - Datos de Viento Promedio Mensual en la Estación (144-002)	21
Gráfica No. 6 - Datos de Humedad Relativa Promedio Mensual en la Estación (144-002)	22
Gráfica No. 7 - Datos de Precipitación Promedio Mensual en la Estación (144-002)	23
Gráfica No. 8 - Datos de Precipitación Promedio Mensual en la Estación (144-003)	23
Gráfica No. 9 - Datos de Precipitación Promedio Mensual en la Estación (144-003)	26
Gráfica No. 10 - Datos de Caudales Promedio Mensual en la Estación (144-01-01)	28

1. NOMBRE DEL PROYECTO

PROYECTO: “LOCALES COMERCIALES” ubicado en el Corregimiento 24 de Diciembre, Distrito de Panamá, Provincia de Panamá, República de Panamá.

2. OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

En este trabajo analizaremos la geomorfología y las variables hidrometeorológicas del área de drenaje de la Subcuenca del río Cabra el cual pertenece a la Cuenca Hidrográfica río Juan Díaz y entre río Juan Díaz y río Pacora, el cual su río principal es el río Juan Díaz, para este estudio deseamos obtener los caudales promedios, mínimos, máximos, temperatura, humedad relativa, lluvia, entre otros, que es una de las cosas primordiales para este tipo de proyectos. Además, la realización de datos de cobertura boscosa y uso de suelo, pendiente media, y área de drenaje del sitio de influencia. Anexos

3. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Residencial Los Jardines II, Corregimiento de 24 de Diciembre, Distrito de Panamá, Provincia de Panamá, República de Panamá.

Tabla No. 1 - Localización del Proyecto

ÁREA DE INFLUENCIA DE PROYECTO	COORDENADAS UTM DATUM WGS-84			
	Zona 17 Norte		ESTE (m)	NORTE (m)
LOCALES COMERCIALES		681944.769		1008104.623

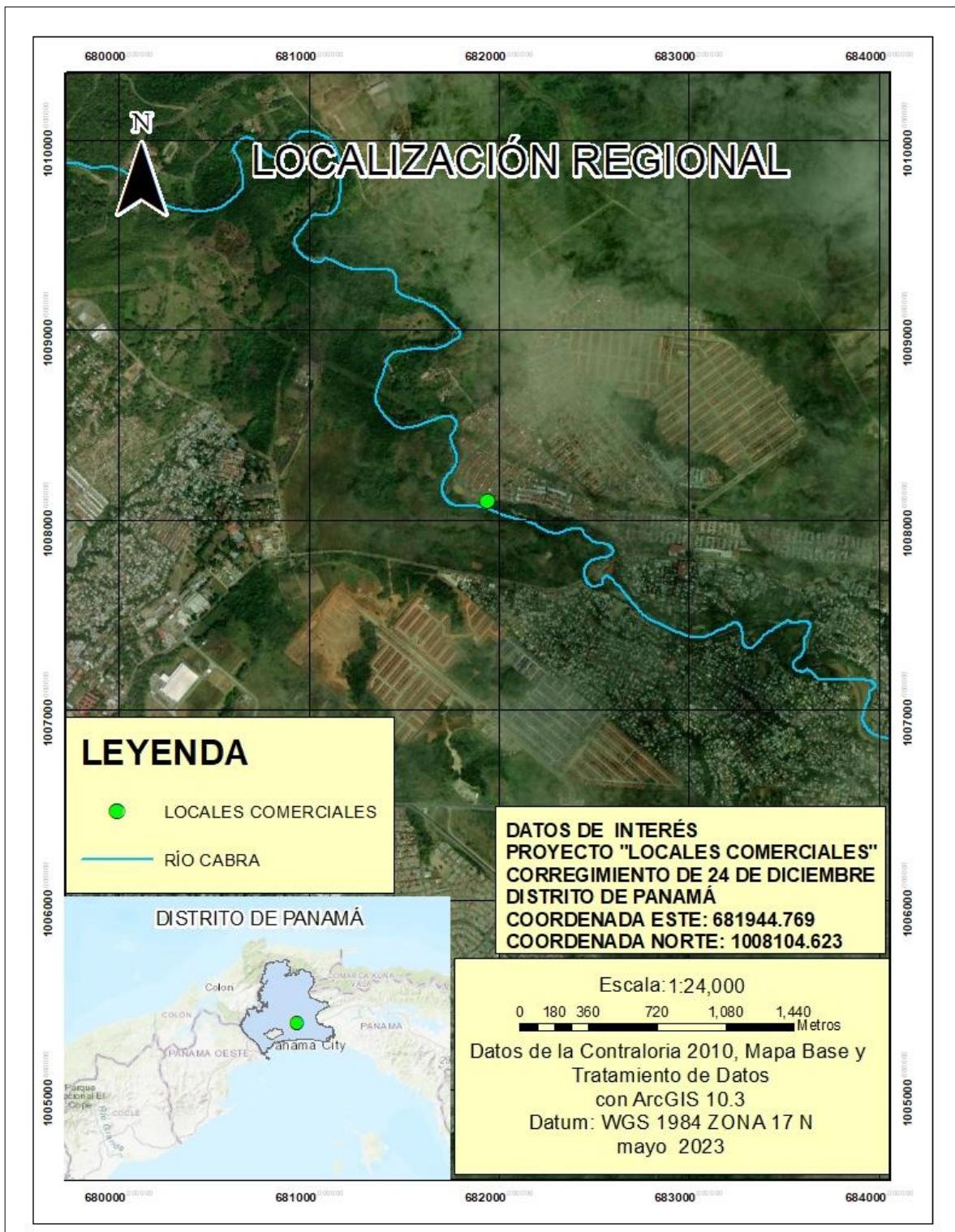


Imagen No. 1 - Mapa de localización Regional del Proyecto

4. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DEL ÁREA DE DRENAJE DE RÍO CABRA

Definición de parámetros geomorfológicos de una cuenca, el ciclo hidrológico, en la que una cuenca hidrográfica es parte fundamental en el estudio de la respuesta a la precipitación de entrada, ocurre diversos procesos que alteran el escurrimiento en su salida. En estos procesos intervienen la geomorfología de la cuenca en la que la climatología es el factor más importante, el tipo y uso del suelo, la cobertura vegetal o nivel de urbanización. Existen parámetros calculables que consideran la importancia de estos procesos para establecer comparaciones y establecer cuencas afines de una forma preliminar. Las propiedades geomorfológicas de una cuenca más estudiadas se presentan a continuación en el apartado de adelante.

Para este apartado desarrollaremos los parámetros más relevantes de una cuenca utilizando la herramienta ArcGIS y Excel, basándonos en el artículo publicado en 2016 del autor Manuel Córdova y en tutoriales de la Pagina web Agua y SIG.

Tabla No. 2 - Características del río Cabra

Características del río	
Cauce Principal (Li)	16.074 Km
Cota Max HM	737 m
Cota Min Hm	59 m
Número Total De Los Cauces	61
Número De Los Cauces Orden 1	50
Sumatoria de los Cauces (Li)	49.200 Km

Fuente: Elaboración propia

Tabla No. 3 - Geometría del Área de Drenaje de río Cabra

Geometría del Área de Drenaje	
Área	30.451 Km ²
Perímetro	46.645 Km
Centroide en X	677451.875 m
Centroide en Y	1013127.310 m

Fuente: Elaboración propia

4.1. FORMA DE LA CUENCA

4.1.1. COEFICIENTE DE COMPACIDAD O ÍNDICE DE GRAVELIUS

Establece la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área equivalente a la superficie de la cuenca correspondiente. Este índice representa la forma de la superficie de la cuenca, según su delimitación, y su influencia sobre los escurrimientos y el hidrograma resultante de una precipitación (López Cadenas de Llano, 1998).

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Ecuación (1)

Kc = coeficiente de compacidad

P= perímetro de la cuenca en km

A= área de la cuenca en km²

Cuando el valor de kc tienda a uno, la cuenca tendrá una forma casi circular. Esto significa que las crecientes tendrán mayor coincidencia debido a que los tiempos de concentración de los diferentes puntos de la cuenca serán iguales. El tiempo de concentración consiste en la duración necesaria para que una gota de agua que cae en el punto más alejado de la cuenca llegue al punto de salida o desembocadura. En cuencas muy alargadas, el valor de kc sobrepasa a 2.

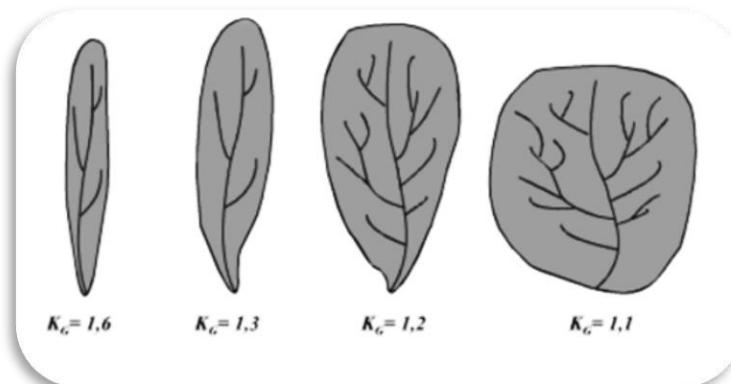


Imagen No. 2 - Representación de las diferencias en los coeficientes de compacidad

Considerando los datos aportados utilizando la herramienta de ArcGIS, donde nos dan la información del área y el perímetro (Tabla No. 3) donde se ubica el área de drenaje en el río Cabra utilizamos la fórmula (1) presentada anteriormente dando como resultado lo siguiente:

$$Kc = 2.37$$

4.2. ELEVACIÓN DE LOS TERRENOS

El análisis de las variaciones de la elevación de los terrenos con respecto al nivel del mar es una característica que influye en el resultado de la pendiente de una cuenca. El parámetro más representativo es el siguiente:

4.2.1. ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA

Este valor permite representar aspectos climáticos y naturales que están interrelacionados en la cuenca, a través de un patrón climático de la zona (ANA, 2010). Su fórmula es la siguiente:

$$H_{med} = \frac{\sum(h_i \cdot S_i)}{A}$$

Ecuación (2)

H_{med}= Altitud media de la cuenca en msnm

h_i= Altitud media de cada tramo de área contenido entre las curvas de nivel

S_i= Área contenida entre las curvas de nivel

A= Área total de la cuenca en Km²

Para lograr esta labor utilizaremos la herramienta de ArcGIS para realizar la curva hipsométrica, lo que también nos servirá para repasar las funciones zonales con ArcGIS y la reclasificación de un Raster. Clasificamos el Raster de alturas (DEM). Vamos a Spatial Analyst Tools, seguido de Raclass y luego Reclassify.

ESTUDIO HIDROLÓGICO DE RÍO CABRA

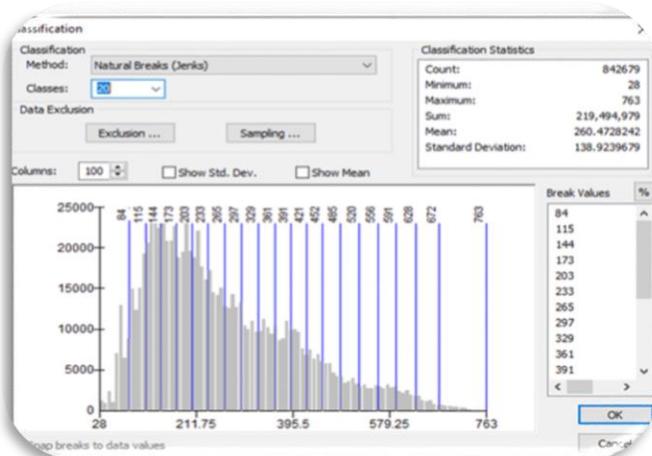


Imagen No. 3 - Reclasificación del DEM en ArcGIS



Imagen No. 4 - Reclasificación raster en las diferentes alturas (DEM)

Necesitamos conocer el área entre curvas, para ellos aplicamos una estadística zonal a través de Spatial Analyst Tools, seguido de Zonal y por último Zonal Statistics as Table. En la ventana que aparece, rellenamos la siguiente información: el DEM reclasificado y el modelo digital de elevaciones y guardamos el resultado como “área entre curvas”.

Estos resultados los podemos llevar a Excel y realizar los gráficos respectivos, como se mostrará en la siguiente tabla:

Tabla No. 4 - Altitud Media de la Sub-Cuenca de río Cabra

	Cota MIN (m)	Cota MAX (m)	Cota Promedio (m)	Área entre curvas (Km ²)	Acumulado	Porcentaje acumulado	Área entre curvas %	Altura media (m)
1	58	90	74	1.3420	29.959	100.000	4.480	3.261
2	89	135	112	1.5017	28.617	95.520	5.013	5.523
3	131	178	155	1.2330	27.115	90.508	4.116	6.256
4	179	221	200	1.4661	25.882	86.392	4.894	9.629
5	222	258	240	2.1231	24.416	81.499	7.087	16.733
6	259	293	276	1.8155	22.293	74.412	6.060	16.455
7	294	329	312	1.8863	20.478	68.352	6.296	19.295
8	330	366	348	1.7269	18.591	62.056	5.764	19.735
9	367	403	385	1.7872	16.864	56.292	5.965	22.596
10	404	440	422	1.7364	15.077	50.326	5.796	24.064
11	441	478	460	1.8447	13.341	44.530	6.157	27.836
12	479	515	497	1.9073	11.496	38.373	6.367	31.130
13	516	551	534	1.8423	9.589	32.006	6.150	32.278
14	552	586	569	1.8752	7.746	25.857	6.259	35.039
15	587	620	604	1.5272	5.871	19.598	5.098	30.267
16	621	654	638	1.3573	4.344	14.500	4.531	28.416
17	655	686	671	1.2119	2.987	9.970	4.045	26.684
18	686	719	703	1.1177	1.775	5.924	3.731	25.784
19	720	759	740	0.6570	0.657	2.194	2.193	15.956
20	760	824	792	0.0002	0.000	0.001	0.001	0.005
Altura Media Total =								396.94198

Fuente: Elaboración propia

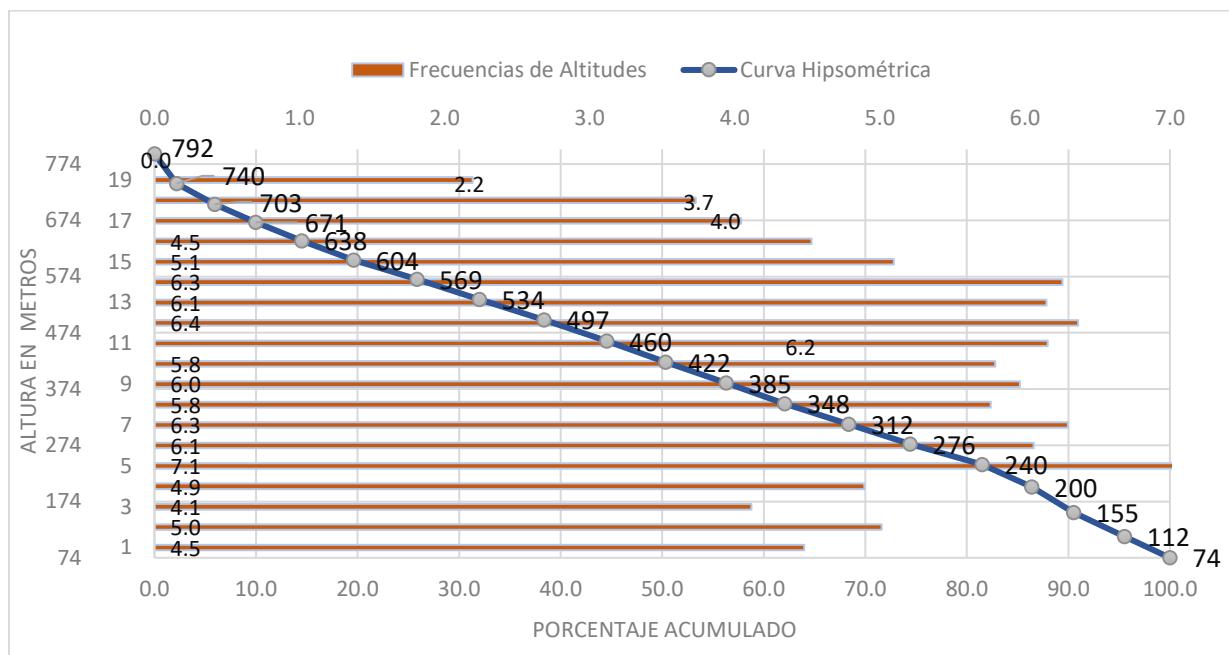
4.2.2. CURVA HIPSOMÉTRICA Y POLÍGONO DE FRECUENCIA DE ALTITUDES

La curva hipsométrica es representada a través de una curva característica muy importante de una cuenca en estudio. Esta curva representa en el eje de las ordenadas, las elevaciones en metros sobre el nivel del mar y en el eje de las abscisas, el porcentaje del área de la cuenca que queda por encima de la elevación indicada. Caracteriza de algún modo el relieve.

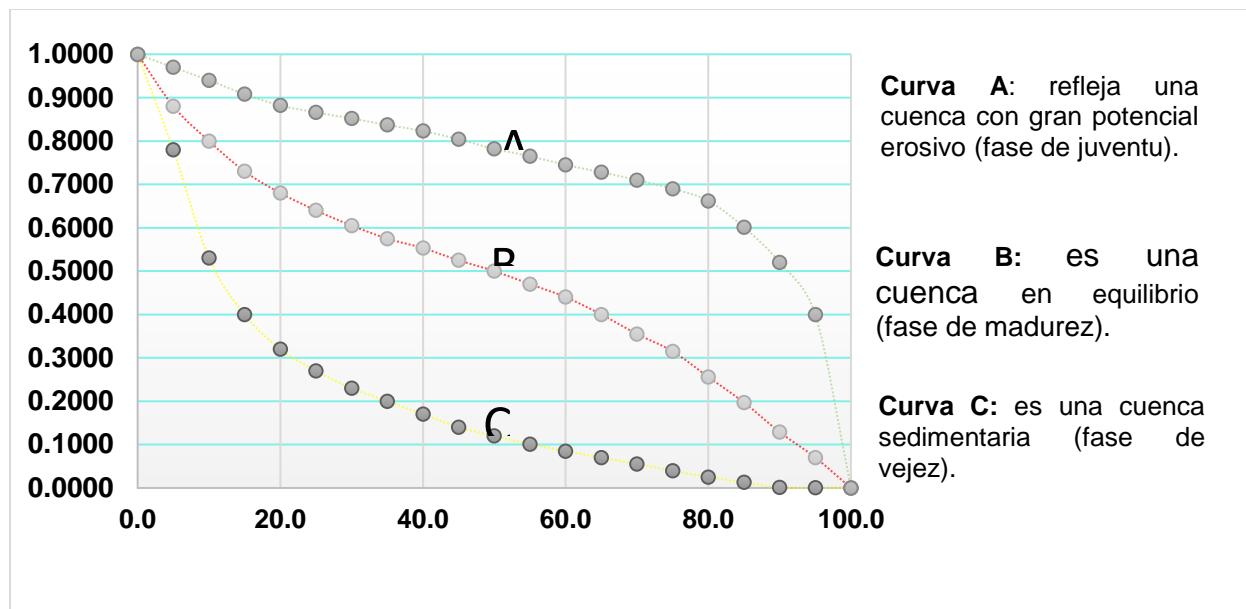
Cabe mencionar que, entrando con el 50% del área en el eje de las abscisas se obtiene la altitud media de la cuenca que intercepta con la curva hipsométrica.

El diagrama del polígono de frecuencia de altitudes representa en el eje de las ordenadas, el porcentaje parcial del área de una cuenca en estudio y en el eje de las abscisas, las altitudes en metros sobre el nivel del mar comprendidas dentro de ese porcentaje.

El polígono de frecuencias es un complemento de la curva de hipsométrica y permite determinar las altitudes más frecuentes en una cuenca a través del porcentaje más alto del diagrama. En términos simples, la curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca que existe por encima de cierta cota determinada. Esto lo podemos ver de una forma más sencilla en el Gráfico No. 2 respecto a nuestra área de drenaje nos indica que estamos en fase de madurez.



Gráfica No. 1 - Curva Hipsométrica y Polígono de frecuencia de Altitudes del río Cabra



Gráfica No. 2 - Identificación de la Edad de una Cuenca con la Curva

Tabla No. 5 - Características geomorfológicas del Área de Drenaje de río Cabra

	Parámetros	Valor	Descripción
1	Área (Km ²)	30.451	
2	Perímetro (Km)	46.645	
3	Longitud del cauce principal (Km)	16.074	
4	Longitud total de cauces (Km)	49.200	
5	Número total de cauces	61.000	
6	Coeficiente de compacidad (Kc)	2.37	
7	Factor de forma (Ff)	0.118	Muy Alargada
8	Orden de la cuenca	1.000	
9	Razón de bifurcación	4.1	
10	Densidad de drenaje (Km/Km ²)	1.616	Baja
11	Extensión media del escurrimiento superficial (Km)	0.155	
12	Frecuencia de ríos (cauces/Km ²)	2.003	
13	Altitud media de la cuenca (msnm)	396.942	
14	Lado mayor del rectángulo equivalente (Km)	21.934	
15	Lado menor del rectángulo equivalente (Km)	1.388	
16	Pendiente media del cauce principal (%)	4.218	Suave
17	Pendiente media de la cuenca (%)	23.112	Fuertemente accidentada
18	Coeficiente de torrencialidad (ríos/Km ²)	1.642	
19	Coeficiente de masividad (m/Km ²)	13.035	

Fuente: Elaboración propia

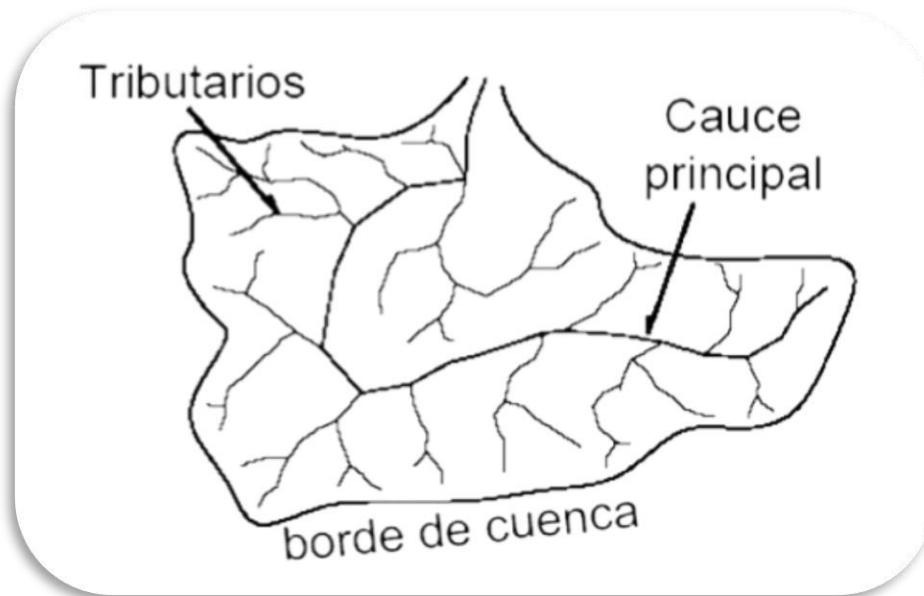


Imagen No. 5 - Características Físicas de una Cuenca Hidrográfica

5. COBERTURA BOSCOSA Y USO DE LA TIERRA DEL ÁREA DE DRENAJE DE RÍO CABRA

Los diferentes usos de suelo de la cuenca son parámetros para tomar en consideración debido a que afectan directamente en cómo se comportará las aportaciones de caudal al río principal desde el punto de vista de cantidad como de calidad, motivo por el cual se presentan en este estudio los diferentes porcentajes y extensiones de territorio a los cuales pertenece cada tipo de suelo en nuestra área de drenaje.

Se eligió el mapa de cobertura boscosa, dicho mapa se elaboró con 15 técnicos del Ministerio de Ambiente participaron en el levantamiento del mapa de Cobertura Boscosa y Uso de la Tierra-2021, liderado por primera vez por panameños y financiado por MiAMBIENTE a través del Proyecto Fideicomiso. Este proyecto se destacó porque cada punto del país fue dividido en 138 imágenes de satélites. Para esto se utilizó un satélite denominado Centinell de 20 metros de resolución, además de la plataforma Secure Watch de la compañía Maxar, través de los cuales se hacen

verificaciones con datos de alta resolución submétrica (menos de un metro) sobre los cambios en la cobertura boscosa de un área en cierto periodo de tiempo. Este mapa en formato Shapefile contiene más de 32 clases temáticas.

Para nuestra área de drenaje, se cuentan con 9 tipos diferentes de cobertura boscosa y uso, donde por la ubicación y la baja explotación de recursos naturales y la explotación agrícola se da a baja escala contando con producción para consumo propio y ganadería igual a baja escala, se cuenta con un 69.62% de cobertura del área de drenaje correspondiente a **Bosque Latifoliado Mixto Maduro y Secundario**, y donde el uso de **Pasto** que representa el **9.18%**, es significativamente media, considerando entonces un área de drenaje lo medianamente protegida y con leves afectaciones antropogénicas.

Tabla No. 6 - Porcentaje de Cobertura Boscosa y Uso de la Tierra del Área de Drenaje de río Cabra

Uso de Suelo	Área (km ²)	Porcentaje
Área poblada	2.59105	8.51%
Bosque latifoliado mixto maduro	5.95020	19.54%
Bosque latifoliado mixto secundario	15.25050	50.08%
Bosque plantado de coníferas	0.00794	0.03%
Bosque plantado de latifoliadas	0.21430	0.70%
Infraestructura	0.57040	1.87%
Pasto	2.79482	9.18%
Rastrojo y vegetación arbustiva	0.87375	2.87%
Superficie de agua	0.26630	0.87%
Vegetación herbácea	1.93129	6.34%

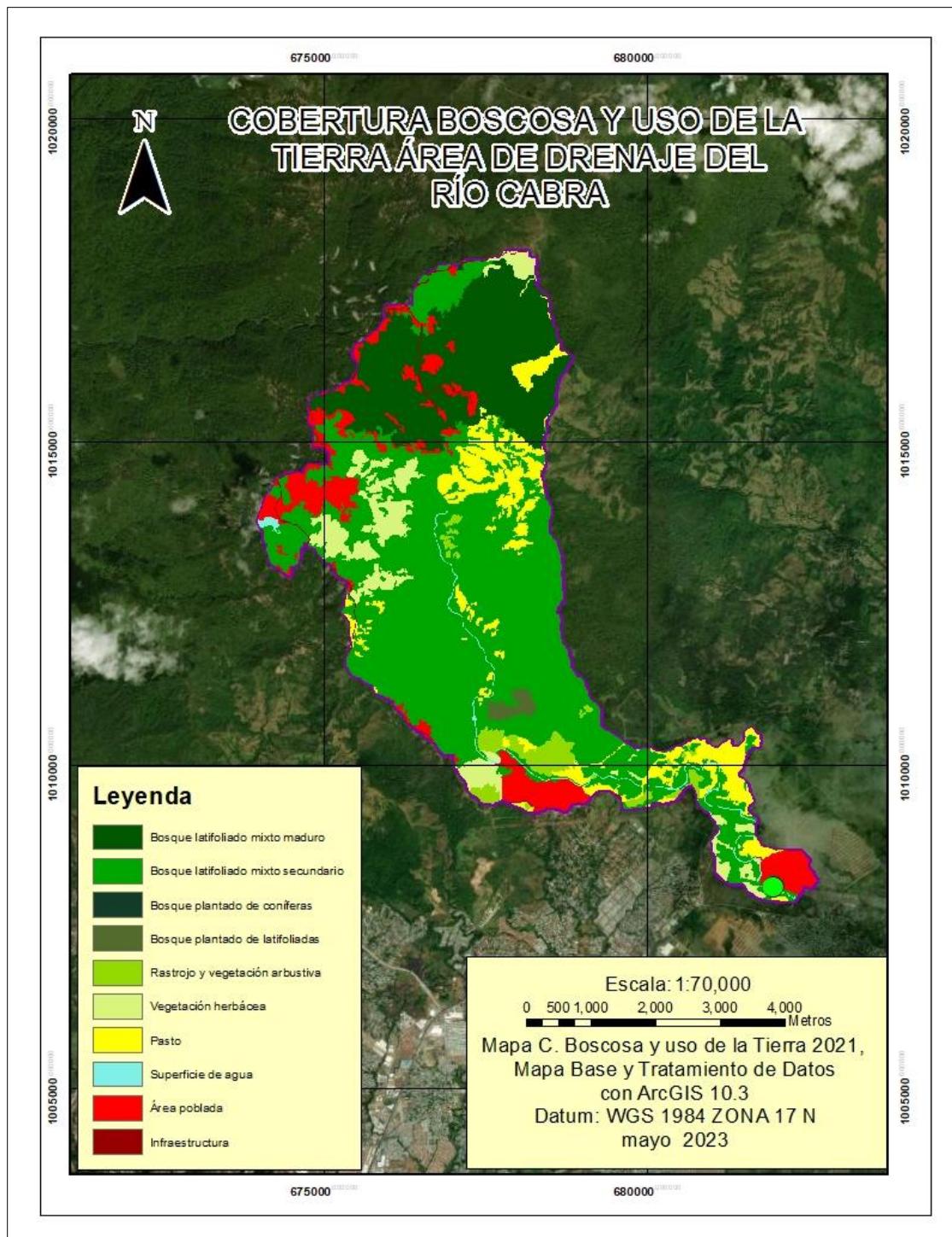


Imagen No. 6 - Mapa de Cobertura Boscosa y Uso de Tierra

6. CLASIFICACIÓN DE CLIMA

Panamá presenta altas temperaturas y abundantes lluvias. Estas características climáticas del país originan dos épocas bien definidas.

Seca: Dura cuatro o cinco meses, y se extiende de enero a abril.

Lluviosa: Se prolonga siete u ocho meses, de mayo a diciembre.

El clima en un sentido restringido puede definirse como una “síntesis de las condiciones meteorológicas” o más concretamente, como la descripción estadística del estado de tiempo durante un período de tiempo. Panamá ha realizado diferentes regionalizaciones entre ellas está Koppen en la cual se distinguen cinco tipos de clima de acuerdo a esta regionalización la cual fue creada en el año 1900.

Los índices que dan los límites entre diferentes climas en el sistema de clasificación climática de Köppen coinciden con los grupos de vegetación y se basan en datos de temperaturas medias mensuales, temperatura media anual, precipitaciones medias mensuales y precipitación media anual.

Divide los climas del mundo en cinco grupos principales: tropical, seco, templado, continental y polar, identificados por la primera letra en mayúscula. Cada grupo se divide en subgrupos, y cada subgrupo en tipos de clima. Los tipos de clima se identifican con un símbolo de 2 o 3 letras.

Todas las regiones de Panamá se encuentran entre dos zonas, la zona A y la zona C.

ZONA A

Comprende los climas tropicales lluviosos en donde la temperatura media mensual de todos los meses del año es mayor de 18°C. En esta zona climática se desarrollan las plantas tropicales cuyos requerimientos son mucho calor y humedad, o sea, que son zonas de vegetación megaterma.

ZONA C

Comprende los climas templados lluviosos en que la temperatura media mensual más cálida es mayor de 10°C y la temperatura media mensual más fría es menor de 18°C, pero mayor de -3°C. La vegetación característica de esta zona climática necesita calor moderado y suficiente humedad, pero generalmente no resiste extremos térmicos o pluviométricos, las zonas que se distinguen son de vegetación masoterna.

De acuerdo con esta clasificación en Panamá se distinguen 5 tipos de clima.

Tabla No. 7 - Clasificación del Clima en Panamá según Köppen

TIPO DE CLIMA	NOMENCLATURA	CARACTERÍSTICAS
Tropical muy húmedo	Afi	Lluvia copiosa todo el año, temperatura media del mes más fresco es mayor 18°C; la diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y el mes más fresco es menor a 5°C.
Tropical Húmedo	Ami	Se caracteriza por presentar lluvias anuales frecuentes y la temperatura media registrada durante el mes más fresco es superior a los 18° C
Tropical de Sabana	Awi	La temperatura media del mes más fresco es mayor 18 °C, diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y el mes más fresco es menor 5°C.
Tropical muy Húmedo de Altura	Cfh	En el invierno del hemisferio norte; temperatura media del mes más cálido y el mes más fresco, menor de 5°C.
Tropical Húmedo de Altura	Cwh	Temperatura media del mes más fresco menores a 18 °C; diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y el mes más fresco menor a 5°C, determinado por la altura del lugar (mayor a 1,200)

Fuente: Matriz de Köppen

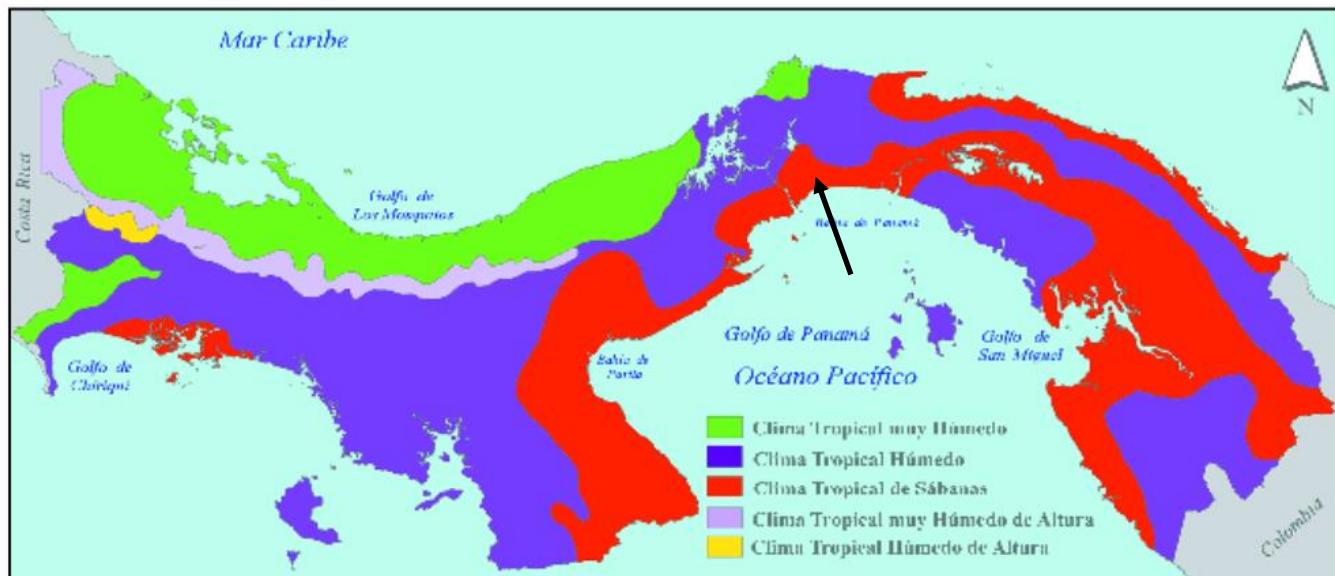


Imagen No. 7 - Clasificación de Climas en la Zona de Estudio Matriz de Köppen

La zona de estudio se encuentra dentro de una zona de clima tropical sábanas en donde la temperatura media mensual de todos los meses del año es mayor de 27°C.

7. VARIABILIDAD CLIMATOLÓGICA

El río Cabra pertenece a la cuenca N°144 denominada ríos entre Juan Díaz y Pacora, la estación meteorológica que estuvo activa hasta el año 2013, es la más cercana al área de drenaje del proyecto es la estación No. (144-002) de Tocumen. La estación se encuentra dentro de la misma cuenca y tiene registros de datos de 43 años. Con excepción con una estación de lluvia la No. (144-003) de Cerro Azul, la cual si está en el área de drenaje de río Cabra y mantiene registros de datos de 28 años. Hay que indicar que estas estaciones pertenecen al Instituto Meteorológico Hidrológico de Panamá (IMHPA), anteriormente llamada Hidromet de ETESA.

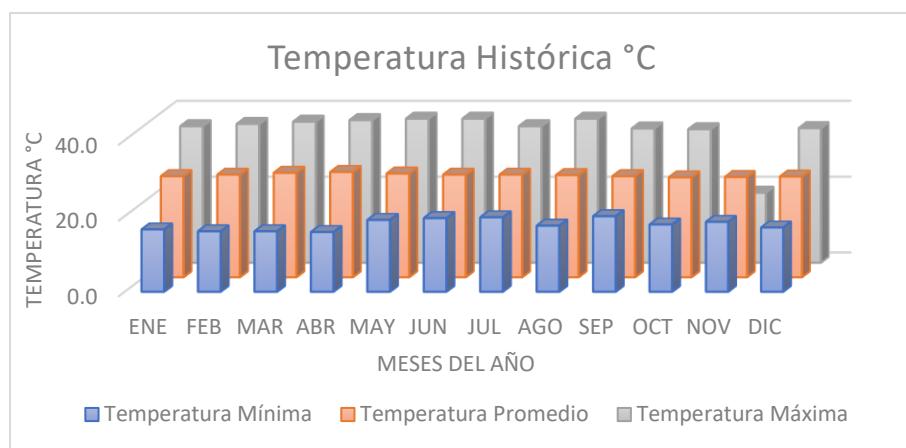
7.1. TEMPERATURA

Se estima una temperatura media anual del aire superficial de 27°C. La temperatura media máxima anual es de 38°C, y la temperatura media mínima anual es de 16°C.

Tabla No. 8 - Datos de Temperatura Promedio Mensual Estación (144-002)

Temperatura	Temperatura Histórica °C											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temperatura Mínima	16.5	16.0	16.0	15.8	19.0	19.5	19.7	17.5	20.0	17.8	18.5	17.0
Temperatura Promedio	26.7	27.1	27.6	27.8	27.4	27.1	27.1	27.0	26.7	26.4	26.5	26.6
Temperatura Máxima	36.0	36.6	37.2	37.6	38.0	38.0	36.0	38.0	35.4	35.2	18.5	35.5

Fuente: Instituto Meteorológico Hidrológico de Panamá (IMHPA)



Gráfica No. 3 - Datos de Temperatura Promedio Mensual en la Estación (144-002)

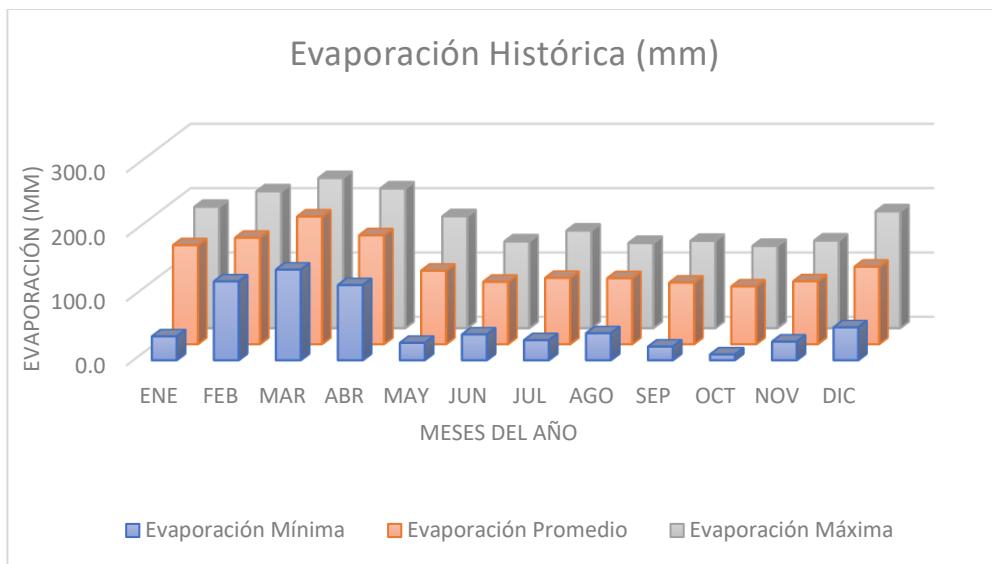
7.2. EVAPORACIÓN

Los datos de evaporación promedio anual es 124.8 milímetros, el mes de más evaporación es marzo con un promedio de 233.1 milímetros y el mes más bajo es octubre con 9 milímetros.

Tabla No. 9- Datos de Evaporación Promedio Mensual Estación (144-002)

Evaporación	Evaporación Histórica (mm)											
	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Evaporación Mínima	37.1	122.5	140.8	116.7	27.0	40.1	31.2	42.0	21.2	9.0	29.0	51.1
Evaporación Promedio	153.8	165.4	198.3	169.2	114.2	96.9	103.0	102.5	95.7	89.7	97.7	120.4
Evaporación Máxima	188.4	212.5	233.1	216.9	173.8	134.7	151.5	132.3	135.6	127.7	136.0	181.4

Fuente: Instituto Meteorológico Hidrológico de Panamá (IMHPA)



Gráfica No. 4 - Datos de Evaporación Promedio Mensual en la Estación (144-002)

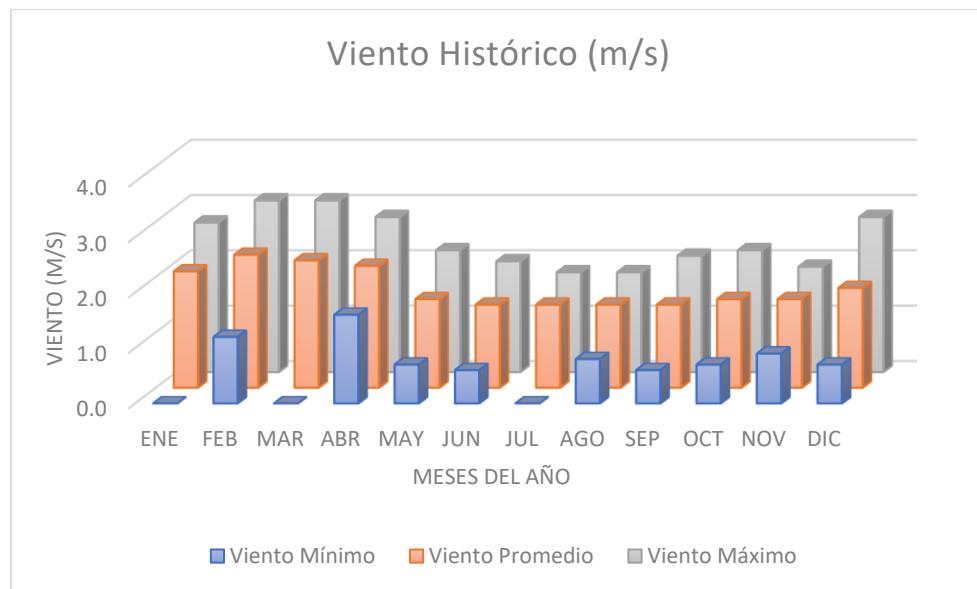
7.3. VIENTO

Los datos de velocidad promedio anual es 1.8 m/s, el mes de mayor velocidad es marzo con un promedio de 3.1 m/s y los meses más bajos son enero, marzo y julio con un promedio de 0.0 m/s.

Tabla No. 10- Datos de Vientos Promedio Mensual Estación (144-002)

Viento Histórico (m/s)												
Viento	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Viento Mínimo	0.0	1.2	0.0	1.6	0.7	0.6	0.0	0.8	0.6	0.7	0.9	0.7
Viento Promedio	2.1	2.4	2.3	2.2	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.8
Viento Máximo	2.7	3.1	3.1	2.8	2.2	2.0	1.8	1.8	2.1	2.2	1.9	2.8

Fuente: Instituto Meteorológico Hidrológico de Panamá (IMHPA)



Gráfica No. 5 - Datos de Viento Promedio Mensual en la Estación (144-002)

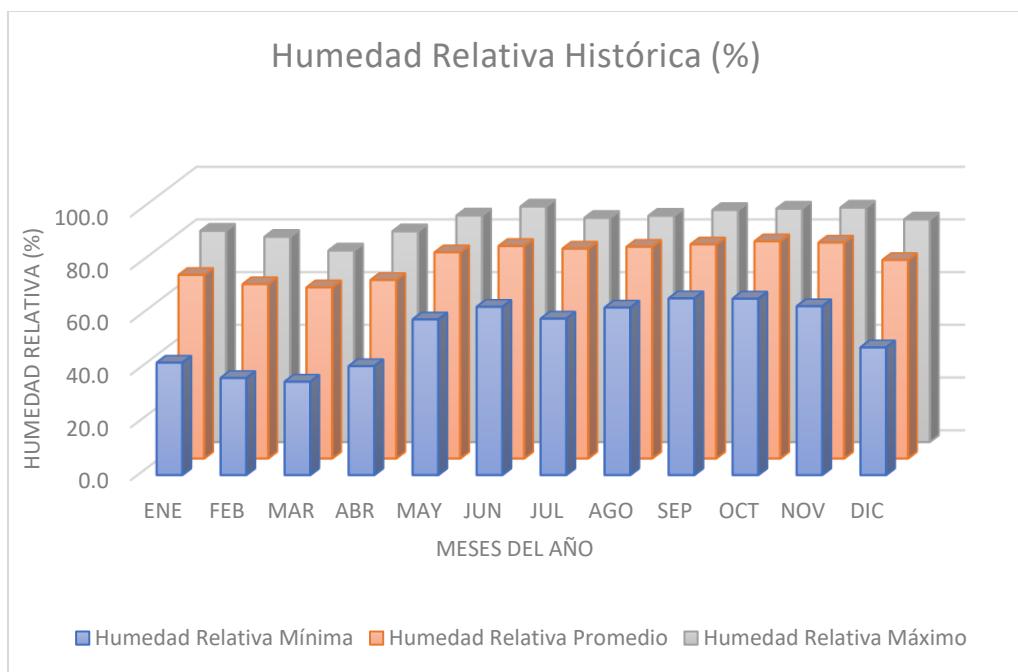
7.4. HUMEDAD RELATIVA

Los datos de porcentaje de humedad relativa promedio anual es 75.7%, el mes de mayor porcentaje es junio con un promedio de 89.3% y el mes de febrero es el más bajo con un promedio de 35.4%.

Tabla No. 11 - Datos de Humedad Relativa Promedio Mensual Estación (144-002)

Humedad Relativa Histórico (%)												
Humedad Relativa	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Humedad Relativa Mínima	42.6	36.8	35.4	41.3	59.0	63.8	59.3	63.5	67.0	66.9	64.0	48.4
Humedad Relativa Promedio	69.6	66.1	64.9	67.7	78.2	80.6	79.6	80.3	81.2	82.4	81.9	75.3
Humedad Relativa Máximo	80.1	77.8	72.6	79.9	85.9	89.3	85.0	85.8	88.0	88.5	88.9	84.4

Fuente: Instituto Meteorológico Hidrológico de Panamá (IMHPA)



Gráfica No. 6 - Datos de Humedad Relativa Promedio Mensual en la Estación (144-002)

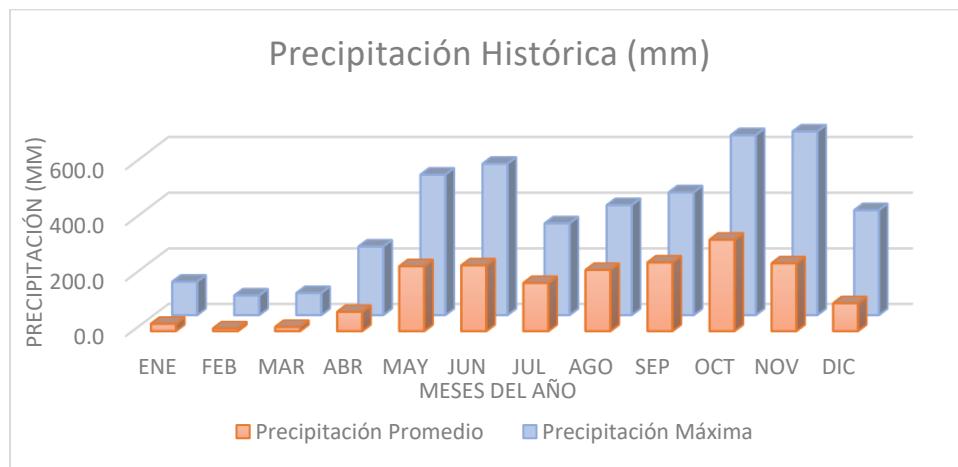
7.5. PRECIPITACIÓN

Los registros de datos son de los años 1970-2013, en el área de estudio se estima una precipitación media anual promedio entre las 2 estaciones de 297.4 milímetros, siendo los meses de junio y noviembre los de mayor precipitación y los meses de febrero y marzo los de menor precipitación. Para realizar esta modelación tomaremos únicamente los datos de precipitación del año 1978 hasta el 1997, debido a que en los últimos años la intensidad de lluvia ha cambiado, a continuación, mostraremos la lluvia promedio en este periodo descrito:

Tabla No. 12- Datos de Precipitación Promedio Mensual Estación (144-002)

Precipitación Histórica (mm) de la Estación (144-002)												
Precipitación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Precipitación Promedio	26.4	10.0	15.2	69.6	233.9	236.9	173.5	220.5	247.6	329.5	244.6	100.5
Precipitación Máxima	120.4	70.9	79.6	247.1	505.1	544.3	330.5	395.8	441.8	646.8	660.0	377.8

Fuente: Instituto Meteorológico Hidrológico de Panamá (IMHPA)

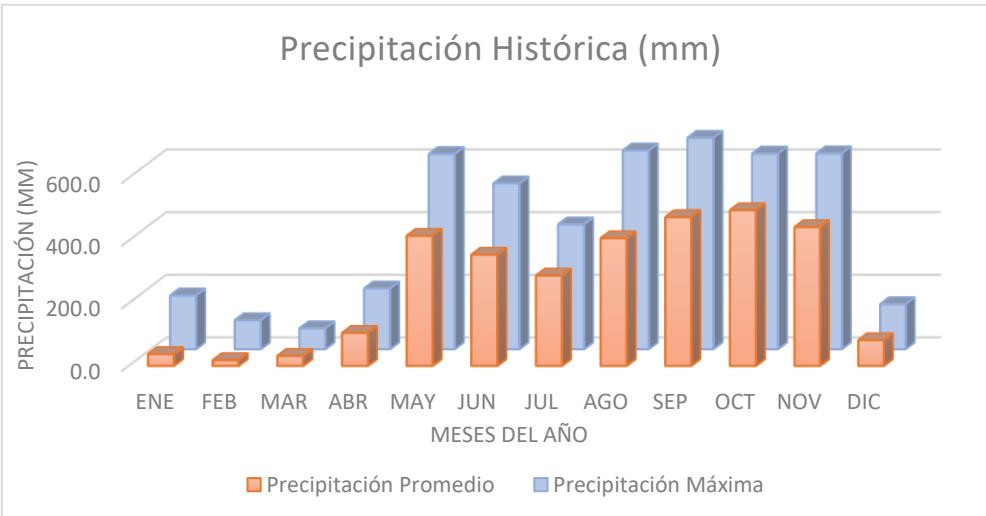


Gráfica No. 7 - Datos de Precipitación Promedio Mensual en la Estación (144-002)

Tabla No. 13 - Datos de Precipitación Promedio Mensual Estación (144-003)

Precipitación Histórica (mm) de la Estación (144-003)													
Precipitación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Precipitación Promedio	37.6	18.3	32.0	105.4	415.3	355.1	288.6	407.7	475.0	497.2	624.5	82.4	
Precipitación Máxima	171.6	92.6	66.7	194.1	623.2	529.4	398.4	634.5	683.9	624.5	625.5	143.7	

Fuente: Instituto Meteorológico Hidrológico de Panamá (IMHPA)



Gráfica No. 8 - Datos de Precipitación Promedio Mensual en la Estación (144-003)

8. HIDROLOGÍA

El desarrollo de este proyecto se encuentra específicamente en la cuenca N°144 río Juan Díaz y entre río Juan Díaz y río Pacora el cual tiene una superficie 351 Km² y una precipitación media anual de 3,000 l/m², el río donde se realiza el estudio es el río cabra, donde se han realizado en base a datos de lluvia, cobertura boscosa, red hídrica y otras series de datos para conocer el comportamiento de la Sub-Cuenca la cual se ubica específicamente en la 24 de Diciembre.

El río Cabra tiene una longitud de $L = 16.074$ km, y una red de 61 cauces entre ríos y quebradas con flujos permanentes o estacionarios que aportan y mantiene el caudal del río. El río mantiene una altura que van desde los $H_m = 737$ m.s.n.m. en la parte alta, y $H_m = 59$ m.s.n.m. en la parte baja. *El polígono donde se desea realizar el proyecto está a 35 metros del margen izquierdo del río Cabra el cual cuenta con una sección promedio de 15 metros.*

Existen diversos criterios desarrollados para establecer el orden de los cauces para cuantificar la magnitud de la red de drenaje en la escorrentía superficial directa. El criterio empleado en este estudio se basa en el modelo de Strahler que consiste en asignarle un número a cada uno de los cauces tributarios en forma creciente, desde el inicio de la línea divisoria de aguas hasta llegar al cauce principal de manera que el número final señale el orden de la red de drenaje en la cuenca. El río es una fuente de agua de Orden **Cuatro**. La razón de bifurcación se obtiene con la siguiente fórmula:

$$Rb = \frac{N_n}{N_{n+1}}$$

Ecuación (3)

N_n = Número de cauces de un orden dado

N_{n+1} = Número de cauces del orden inmediatamente superior

Como se ve en la Tabla No. 14, el área de drenaje se encuentra en una fuente de agua de Orden Cuatro. A continuación, mostramos la tabla donde sale la razón de bifurcación:

Tabla No. 14 - Razón de Bifurcación de río Cabra

Número de Orden	Números de Cauces	Razón de Bifurcación	Razón de Bifurcación Media (Rb)
Orden 1	50		11.7
		6.25	
Orden 2	8		
		4	
Orden 3	2		
		2	
Orden 4	1		
Total de Cauces	61		

Fuente: Elaboración propia

8.1. PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL

La influencia de la configuración topográfica en el proceso de erosión de una cuenca y en la formación de descargas altas, se presenta de acuerdo con los mayores o menores grados de pendiente (López Cadenas de Llano, 1998). Existen varios criterios para definir este parámetro. A continuación, se muestra la relación del criterio asumido:

$$Ic = \frac{HM - Hm}{10 \cdot L}$$

Ecuación (4)

Ic= Pendiente media del cauce en %

HM y **Hm**= Altitud máxima y mínima del cauce en msnm

L= Longitud del cauce en Km

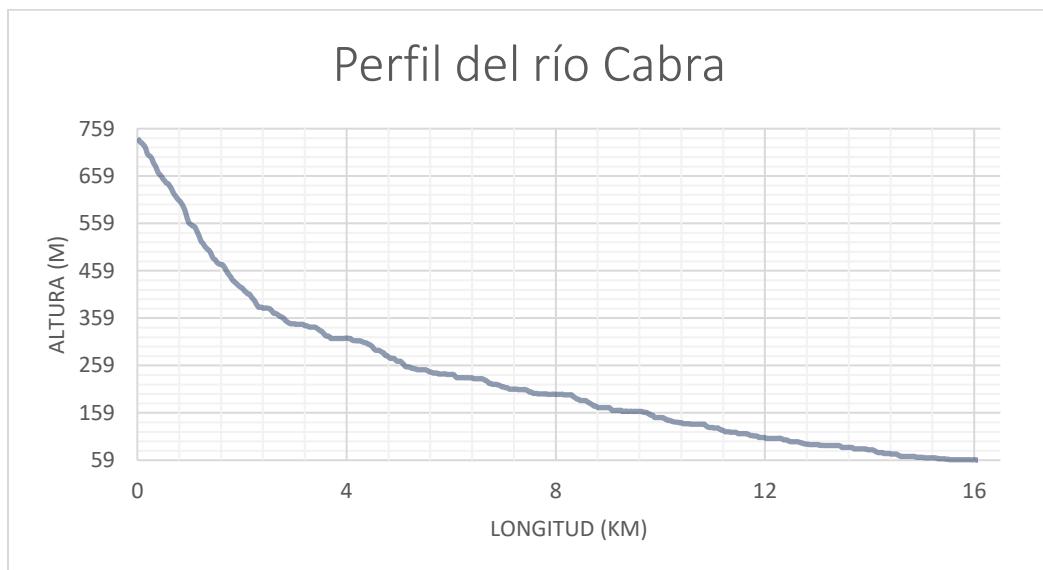
$$Ic = 4.21$$

Como se ve en la Tabla No. 15, la pendiente media del cauce principal se encuentra en una pendiente suave. A continuación, mostramos la tabla donde sale los rangos de pendiente según su porcentaje:

Tabla No. 15 - Rangos de pendientes según su porcentaje

Pendiente Media del Cauce Principal (%)	Clases
1 a 5	Suave
6 a 11	Moderado
12 a 17	Fuerte

Fuente: IBAL, 2009



Gráfica No. 9 - Datos de Precipitación Promedio Mensual en la Estación (144-003)

8.2. PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA

Criterios para el cálculo de la pendiente media. En la siguiente tabla se muestra la topografía adoptada por una cuenca según rangos aproximados de su pendiente media.

Tabla No. 16 -Clasificación de terreno de acuerdo con el porcentaje de la pendiente media

Pendiente media (%)	Terrenos
0 a 2	Llano
2 a 5	Suave
5 a 10	Accidentado medio

10 a 15	Accidentado
15 a 25	Fuertemente accidentado
25 a 50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Fuente: Pérez, 1979

Para la obtención de estos datos utilizaremos ArcGIS, en primer lugar, a partir del DEM obtenemos el mapa de pendientes con el módulo de Spatial Analyst de ArcGIS. Surface Analysis y seguido aplicamos la estadística zonal para obtener la pendiente media de la cuenca.

Paso 1: Obtención del mapa de pendientes. Utilizamos la función Slope que nos permite realizar un mapa de la variación de la pendiente del terreno.

Paso 2: Aplicación de estadística zonal. Como se explicó en el artículo Funciones Zonales en ArcGIS. Pendiente media de una línea, nos vamos a Spzial Analyst seguido de Zonal Statistics. Lo cual nos da el siguiente resultado:

Pm= 23.11 Fuertemente Accidentado

8.3. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN MÉTODO DE TÉMEZ

Se trata de un método utilizado en cuencas de tamaño muy variable, ampliamente utilizado en la península Ibérica. Válido para cuencas de 1 km² hasta 3.000 km² y con tiempos de concentración desde los 15 minutos hasta las 24 horas.

$$tc = 0,3 \left(\frac{L}{i^{0,25}} \right)^{0,76}$$

Ecuación (5)

L: longitud del cauce más largo en Km

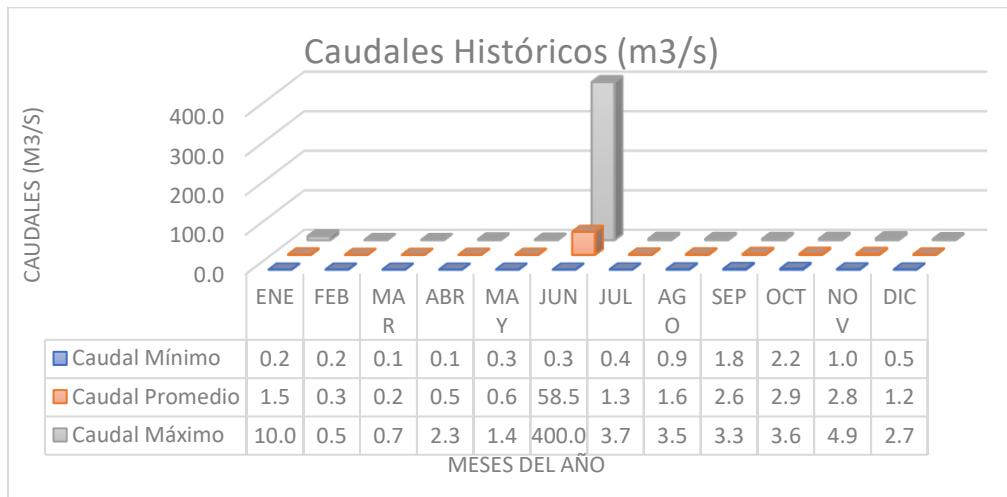
i: la pendiente media de la cuenca

tc: tiempo de concentración expresado en horas

$$P_m = 1.36 \text{ Horas}$$

8.4. CAUDALES MÍNIMO, MÁXIMO Y PROMEDIO ANUAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA N°144 RÍO JUAN DÍAZ Y ENTRE RÍO JUAN DÍAZ Y RÍO PACORA

Se ha podido identificar que la Sub-cuenca del río Cabra no cuenta con registros de caudales, por tal motivo se hará uso de las ecuaciones y registros de caudales con que cuenta Cuenca Hidrográfica N°144 río Juan Díaz y entre río Juan Díaz y río Pacora la estación que utilizaremos es la (144-01-01) de Tocumen la cual tiene un área de Drenaje de 26.60 Km².



Gráfica No. 10 - Datos de Caudales Promedio Mensual en la Estación (144-01-01)

8.5. CAUDAL AMBIENTAL

Fijar el caudal ambiental en los ríos del mundo contribuye a la preservación de ecosistemas fluviales y a la gestión del recurso hídrico, relacionado con lo social y económico; es el volumen de agua necesario para mantener un ecosistema fluvial sano capaz de brindar bienes y servicios.

Caudal Ambiental y caudal ecológico es el régimen hídrico en cantidad y calidad de agua requerida para los ecosistemas acuáticos continentales que aseguran la sostenibilidad a largo plazo de la estructura y funcionalidad del ecosistema y que

mantienen los servicios ecosistémicos en la cuenca hidrográfica. A continuación, realizaremos el cálculo del *caudal ambiental* el cual utilizamos el 10% del promedio del caudal mínimo.

Tabla No. 17 Cálculo del Caudal Ambiental

Cálculo del Caudal Ambiental en m ³ /s												
Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Caudal mínimo	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.9	1.8	2.2	1.0	0.5
Caudal Promedio	0.667											
Caudal Ambiental	0.067											

8.6. MÉTODO REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS

Para la elaboración del análisis regional de crecidas máximas, se analizó la información básica registrada en 63 estaciones hidrológicas convencionales (limnigráficas) y 16 estaciones hidrológicas limnimétricas operadas por la Gerencia de Hidrometeorología de ETESA Actualmente el (IMHPA); se analizaron, además, 6 estaciones hidrológicas convencionales manejadas por la Autoridad del Canal de Panamá, para un total de 85 estaciones hidrológicas.

Para establecer los límites de las regiones con igual comportamiento de crecidas, se tomó en consideración el área de drenaje que, de acuerdo con las investigaciones, está relacionada con el indicador de crecidas, y puede utilizarse como una base confiable para la estimación de la magnitud de las crecidas en cuencas no aforadas. Para esto, se relacionó el área de drenaje de la cuenca y el promedio de todas las crecidas máximas anuales registradas durante el periodo 1972-2007, en las 58 estaciones hidrológicas limnigráficas convencionales, operadas por ETESA (53 son estaciones limnigráficas activas y 5 son limnigráficas suspendidas con información confiable); y las 6 estaciones limnigráficas activas con un registro de varios años manejadas por la Autoridad del Canal de Panamá.

8.6.1 EJECUCIÓN DEL MÉTODO ANÁLISIS REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS

Para determinar la crecida máxima que se pueda presentar en un sitio para distintos periodos de recurrencia mediante este método, se procede de la siguiente manera:

- Se delimita y se mide el área de drenaje de la cuenca hasta el sitio de interés, en Km².
- Se determina a qué zona pertenece el sitio de interés de acuerdo con el mapa de la Figura
- Se calcula el caudal promedio máximo utilizando una de las 5 ecuaciones
- Se calcula el caudal máximo instantáneo para distintos períodos de recurrencia, multiplicando el caudal promedio máximo que se obtuvo en el punto anterior, por los factores que se presentan en el Cuadro 6, utilizando la Tabla correspondiente a la zona del sitio de interés.

Con el método, solo se requiere conocer el área de drenaje y la ubicación del sitio. Para este estudio utilizaremos la ecuación perteneciente a la Cuenca río Juan Díaz y entre río Juan Díaz y río Pacora (144), El área de drenaje del río Cabra corresponde a **30.451 km²**, y la ecuación de la imagen No. 8 correspondiente a la **Zona 3**:

$$Q_{máx.} = 25A^{0.59} \quad Q_{máx.} = 25 * (30.451 \text{ Km}^2)^{0.59} = 187.614 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ecuación (6)

En donde:

Qmáx. = caudal máximo en m³/s

14 = Constante (depende de la región o zona)

A = Área de drenaje de la Cuenca en Km²

ESTUDIO HIDROLÓGICO DE RÍO CABRA

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia
1	1	$Q_{máx} = 34A^{0.59}$	Tabla # 1
2	1	$Q_{máx} = 34A^{0.59}$	Tabla # 3
3	2	$Q_{máx} = 25A^{0.59}$	Tabla # 1
4	2	$Q_{máx} = 25A^{0.59}$	Tabla # 4
5	3	$Q_{máx} = 14A^{0.59}$	Tabla # 1
6	3	$Q_{máx} = 14A^{0.59}$	Tabla # 2
7	4	$Q_{máx} = 9A^{0.59}$	Tabla # 3
8	5	$Q_{máx} = 4.5A^{0.59}$	Tabla # 3
9	2	$Q_{máx} = 25A^{0.59}$	Tabla # 3

Imagen No. 8 – Ecuaciones para el Método Análisis Regional de Crecidas Máximas

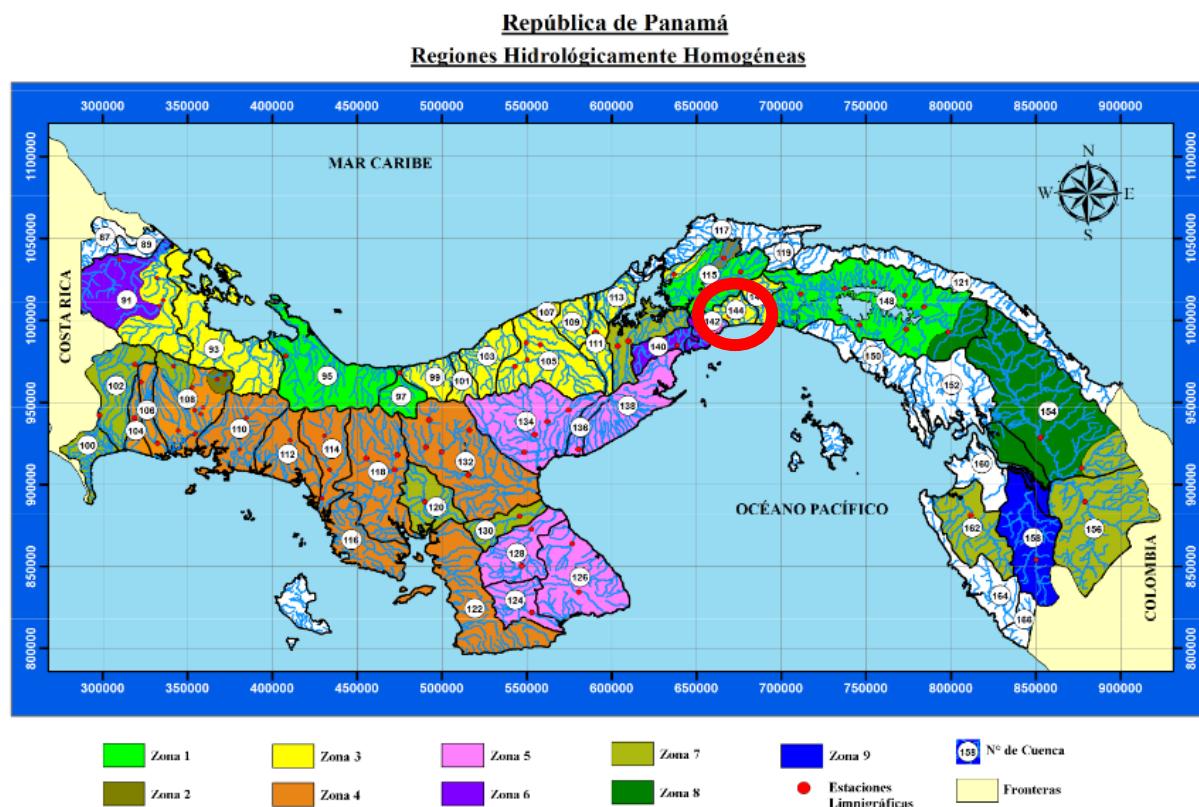


Imagen No. 9 – Regiones Hidrológicamente Homogéneas de Panamá

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos, se enunciarán las siguientes conclusiones:

Utilizando un Modelo de Elevación Digital (DEM) para la obtención del área de drenaje para la zona de estudio (30.451 Km²), así como todo lo relacionado a la geomorfología y parámetros hídricos en donde hemos realizado el análisis correspondiente del río Cabra.

Para la realización de capítulo 4 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DEL ÁREA DE DRENAJE DE RÍO CABRA utilizamos el artículo científico “PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS DE CUENCAS HIDROGRAFICAS, Manuel Córdova, 30 de abril de 2016”.

En la Geomorfología del área de drenaje, el índice de Gravelius es mayor a 1.4 lo cual indica que el tiempo de concentración de los diferentes afluentes del río Cabra no son iguales, lo que significa que las crecientes tendrán menor coincidencia debido a que es una cuenca alargada y los tiempos de concentración de los diferentes puntos de la cuenca no serán los mismos. Se aprecia que la pendiente del cauce principal es una pendiente suave y que estamos en la parte baja de la cuenca, esto puede interpretarse como que las velocidades del río no son fuertes.

La Sub-cuenca de río Cabra cuenta con un 69.62% de cobertura del área de drenaje correspondiente a Bosque Latifoliado Mixto Maduro y Secundario, y donde el uso de Pasto que representa el 9.18%, es significativamente media, considerando entonces un área de drenaje lo medianamente protegida y con leves afectaciones antropogénicas.

Aunque los datos de caudales no son propios de río Cabra, pero al ser de la misma Cuenca Hidrográfica y tener valores aproximados de Área de Drenaje se puede Concluir que los caudales pueden tener valores más próximos.

ANEXOS

