

**PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DOS PUENTES VEHICULARES": EN LA VÍA GORGONA HACIA CABUYA: PUENTE N°1 QUEBRADA BARRANTE/CONEJO Y PUENTE N°2, QUEBRADA, DISTRITO DE CHAME, PROVINCIA DE PANAMA OESTE.**

**ESTUDIO HIDROLÓGICO DE SIMULACIÓN DE CRECIDA PARA UN CAUCE TRIBUTARIO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA N° 138 DEL RÍO CHAME, PARA SOLICITUD DE OBRA EN CAUCE COMO REQUISITO DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CATEGORÍA II DEL PROYECTO:**

**PROVINCIA DE PANAMA OESTE-DISTRITO DE CHAME  
QUEBRADA BARRANTE /CONEJO**

**PROMOTOR:  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

ELABORADO POR	REGISTRO
<b>ING. YIREH. A. CONCEPCIÓN INGENIERO AMBIENTAL. ESPECIALISTA EN MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, UNIVERSIDAD DE PANAMÁ</b>	<b>CTNA - 7,853 15</b>
<b>M.Sc. EN HIDROLOGÍA. ESPECIALISTA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS Y CALIDAD DE AGUAS. BEN GURION UNIVERSITY OF THE NEGEV, ISRAEL.</b>	<b>BGU- 850312711</b>
<b>FIRMA</b>	



**OCTUBRE 2023**

**Ben-Gurion University of the Negev  
M.Sc. in Hydrology, Underground Water and Water Quality  
YIREH ARISTIDES CONCEPCIÓN ARAÚZ  
יריה אריסטידס קונספסיון אראוז  
ID: 850312711**

**CONSEJO TÉCNICO NACIONAL  
DE AGROPECUATURA  
YIREH A. CONCEPCIÓN ARAÚZ  
EN MANEJO DE CUENCAS Y AGUAS  
IDOMUSID N° 7,853-15**

## Tabla de Contenido.

1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. OBJETIVO GENERAL .....	5
2.1. Objetivos Específicos.....	5
3. METODOLOGÍA .....	6
4. CONTENIDO DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	10
4.1. Cartografía de la solicitud de obra en cauce.....	10
4.1.1. Mapa regional incluyendo el punto o polígono a intervenir georreferenciado con sus respectivas coordenadas.....	10
4.1.2. Mapa del área de drenaje hasta el sitio de la intervención.....	10
❖ Microcuenca 1. Quebrada Barreto. Afluente del Río Chame. ....	10
4.1.3. Identificar si el proyecto o alguna infraestructura de la obra en cauce, o los trabajos a realizar están dentro de alguna área protegida. ....	11
4.2. Caracterización de la fuente hídrica.....	11
4.2.1. Descripción geomorfológica.....	11
4.2.1.1. Área de la cuenca y Pendiente promedio.....	11
• Perfil de elevación del sitio .....	12
4.2.1.2. Índice de compacidad de Gravelius.....	12
4.2.1.3. Curva hipsométrica, orden de la fuente a intervenir.....	12
4.2.1.3. Curva Hipsométrica.....	13
❖ Curva Hipsométrica Microcuenca Quebrada Barreto. ....	14
4.2.2. Hidrometría.....	15
4.2.2.1. Si existe estación hidrológica: Caudales promedio mensuales (últimos 10 años disponibles), caudales máximos mensuales (Últimos 10 años), caudales mínimos mensuales.....	16
4.2.2.2. No existe estación hidrológica: Un aforo esporádico en temporada seca (enero a abril), dos aforos esporádicos en temporada lluviosa (mayo a diciembre) en el sitio preciso de la obra en cauce solicitada.....	18
❖ Afluente Quebrada Barreto. ....	19
4.2.3. Descripción climática de la cuenca: Precipitación media, precipitaciones máximas registradas en la estación meteorológica más cercana. ....	19
❖ Zonas de vida.....	20
❖ Clima .....	21
❖ Datos climáticos.....	22

• Temperatura.....	22
• Humedad Relativa.....	24
• Vientos.....	25
❖ Precipitación .....	25
❖ Eventos extremos de precipitación registrados.....	27
• Hietograma de lluvias máximas por día generado para el evento máximo. .	27
4.2.4. Demarcar en mapa antecedentes de inundación .....	28
4.2.4.1. Simulaciones Hidrológicas de Crecidas para cada uno de los afluientes y microcuenas estudiadas.....	29
4.2.4.2. HIDROGRAMA DE CRECIDA Y SIMULACIÓN HIDROLÓGICA PARA LA MICROCUENCA, CON SU RESPECTIVO AFLUENTE DONDE SE DESARROLLARÁN LAS OBRAS EN CAUCE. ....	30
❖ MICROCUENCA DE ESTUDIO. QUEBRADA BARRETO. ....	30
❖ Hidrograma de caudal máximo .....	30
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	33
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
7. ANEXOS .....	36
7.1. REGISTROS DE SALIDA DE LA SIMULACIÓN .....	36
• MICROCUENCA DE ESTUDIO. QUEBRADA BARRETO. ....	36

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente Estudio Hidrológico tiene como finalidad conocer el potencial de escorrentía máximo de un afluente o cauce intermitente situado dentro de la CUENCA HIDROGRÁFICA N° 138 denominada CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CHAME, microcuenca que fue debidamente delimitada, y mediante los correspondientes cálculos, se obtuvieron las superficies, pendientes, perímetros, y demás componentes hidrogeográficos de la microcuenca, indispensable para obtener los datos de entrada para alimentar los softwares de simulaciones de crecidas HEC – HMS 4.0 y HEC – RAS 6.3.1. Mediante estas herramientas, fue posible calcular el caudal máximo de escurrimiento o avenida, representado por el pico máximo de descarga en metros cúbicos por segundo, que transcurre por el sitio de interés y estudio para las obras en cauce.

Se realizó el aforo a inicios de la estación lluviosa para el cauce estudiado, cuyo dato de caudal es indispensable para el comando *BASEFLOW* de los softwares de simulación anteriormente descritos.

Actualmente el cauce estudiado no dispone de alguna actividad, ni de índole recreativa, comercial o agrícola. Se desea conocer si ante la posibilidad de algún evento extremo de precipitación, existe el riesgo de crecida producto de avenidas propias de eventos hidrológicos extremos de lluvias, y su posible mancha de inundación, que pudiese afectar las obras civiles a construir sobre el mismo. Por ello, se realizarán las simulaciones de crecida ante eventos extremos de lluvia que hayan tenido lugar previamente en el sitio, para conocer el comportamiento climático e hidrológico que predomina en el sitio. El contenido del presente Estudio Hidrológico se rige por la Resolución N° DM 0431 – 2021 del 16 de agosto de 2021, “*Por la cual se establecen los requisitos para la autorización de las obras en cauces naturales en la República de Panamá y se dictan otras disposiciones*”, así como la Resolución AG-0145- 2004 “QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA SOLICITAR CONCESIONES TRANSITORIAS O PERMANENTES PARA DERECHO DE USO DE AGUAS Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES” y de

acuerdo a los términos de referencia de la Dirección de Seguridad Hídrica sobre los “REQUERIMIENTOS INDISPENSABLES DE LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS PARA SOLICITUDES DE CONSECIÓN DE AGUA (TODOS LOS USOS)”, según lo establece el Ministerio de Ambiente, y la Ley 35 de 1966, sobre EL USO DE LAS AGUAS en Panamá.

## **2. OBJETIVO GENERAL.**

- Realizar un estudio hidrológico detallado y simular la crecida máxima posible de un cauce natural dentro de la microcuenca delimitada para el sitio de estudio, utilizando los softwares HEC-HMS 4.0 y HEC-RAS6.3.1. (versiones descritas anteriormente), con el fin de evaluar el potencial de escorrentía y determinar el caudal pico que podría fluir por el sitio de intervención debido a eventos extremos de precipitación y su comportamiento ante las obras en los cauces.

### **2.1. Objetivos Específicos.**

- Realizar el aforo del afluente dentro de la microcuenca de estudio, obteniendo datos precisos de caudales y características hidrológicas para la estación del año aforada (Inicios de estación seca).
- Utilizar el software HEC-HMS 4.0 para desarrollar modelos hidrológicos que representen el comportamiento de las cuencas ante diferentes escenarios de precipitación y condiciones hidrológicas y generar el Hidrograma de crecidas máximas para la microcuenca de estudio. (Afluente Quebrada Barreto)
- Emplear el software HEC-RAS 6.3.1. para realizar simulaciones de crecidas en el cauce, considerando las características geomorfológicas y topográficas de la zona y el cauce, así como los correspondientes períodos de retorno solicitados por la autoridad competente.

- Evaluar el potencial de escorrentía de la microcuenca delimitada y determinar los caudales máximos pico que podrían fluir por el sitio de intervención como resultado de la obra planificada en el cauce.
- Generar las simulaciones hidrológicas sobre el terreno de influencia del proyecto, mostrando así la llanura o polígono de inundación con su respectiva crecida según las características hidrológicas del cauce estudiado.

### 3. METODOLOGÍA

- Los datos climáticos fueron adquiridos de la Red de Hidrometeorología de ETESA, obteniendo el histórico de precipitación y caudales registrados para las estaciones meteorológicas más cercanas al sitio de estudio. De esta forma, se emplearon los registros meteorológicos de precipitación para la estación meteorológica del Valle de Antón (136-001). A su vez, se emplearon registros meteorológicos anuales de la NASA, obtenidos por los diferentes satélites y modelos hidrológicos globales.
- Los registros históricos y de los caudales promedios mensuales, fueron obtenidos de la estación meteorológica del Valle de Antón (136-001), Río Antón, perteneciente a la cuenca 136 (Río Antón), como cuenca vecina de referencia, y la descripción cualitativa – cuantitativa simple de los caudales del río chame generada por el Consultor Hidrólogo del presente estudio, dada la falta de información para la cuenca y la falta de estaciones meteorológicas en la región.
- Es conocido que el área de drenaje de una cuenca está muy correlacionada 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. Por ello se realizó el aforo al cauce estudiado de interés, para ingresar el dato dentro del comando *BASEFLOW* en los softwares HEC – HMS 4.0 y HEC – RAS 6.3.1., y que sirviese de caudal de flujo base y referencia para realizar la simulación junto con el Hidrograma máximo de descarga. Para el cálculo del caudal, respectivamente, se siguieron los siguientes pasos:

- La sección transversal escogida fue inspeccionada minuciosamente y se limpió de cualquier posible material que imposibilitase la medición, principalmente malezas o restos de árboles que se encontrasen en el banco o rivera, pero procurando no afectar la morfología original de la sección.
- Cada sitio fue georreferenciado mediante un GPS marca Garmin modelo Etrex 10.0.
- Se hizo el trazado de cada sección mediante una cinta de medir desplegable, para poder hacer las aforaciones por sección.
- Las secciones se aforaron a distancias equidistantes correspondientes al ancho de la sección y la creación de subestaciones (10), para la medición de las profundidades y el perfil de velocidad dentro del cauce en cada una de ellas.
- Se midió el ancho del perímetro mojado del cauce, el ancho de la cresta de desbordamiento, la profundidad de la cresta de desbordamiento y la pendiente a secciones dentro de las estaciones 0+00 y 0+500, es decir en el punto de aforo y a 500 metros aguas arriba del sitio de aforo, como dato primordial de entrada para la simulación hidrológica y generar la llanura de inundación en el HEC RAS 6.3.1.
- Se levantaron las debidas secciones transversales mediante los métodos topográficos empleados por un profesional topógrafo que levantó la información de campo necesaria para las simulaciones hidrológicas.
- El aforo se realizó por el método de vdeo mediante un Caudalímetro Molinete medidor de velocidad del agua marca FLOWATCH JDC ELECTRONICS S.A. debidamente calibrado por 24marine.com para su uso en afluentes de bajo a intermedio caudal, puesto que no se trataba de un afluente caudaloso, y especialmente porque se trataba de inicios de la estación seca (*Ver sección de aforo*).
- Se delimitó y se midió el área de drenaje y el perímetro de la cuenca hasta el sitio de interés, en Km<sup>2</sup>.
- Los parámetros edafológicos fueron obtenidos a partir de muestras de suelo tomadas en el sitio y analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Facultad

de Ciencias Agropecuarias. El dato de textura es indispensable para calcular el número de curva de la microcuenca estudiada.

- Las hojas topográficas escala 1: 50, 000 empleadas para ubicar regionalmente el sitio de estudio fueron obtenidas del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardias y el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos Nacionales (INEC), de Panamá.
- Los mapas de áreas protegidas, clima, fueron tomados del Atlas Ambiental del SINIA – MIAMBIENTE de Panamá.
- El mapa de delimitación de la microcuenca fue confeccionado por el autor mediante el uso de los Sistemas de Información Geográficas ARCGIS, GOOGLE EARTH, BING y SAS PLANET.
- Los datos del Digital Elevation Model (DEM), empleados para las simulaciones hidrológicas fueron obtenidas de las bases de datos de la NASA, disponibles en el portal web [https://urs.earthdata.nasa.gov/oauth/authorize?response\\_type=code&client\\_id=BO\\_n7nTIIIMljdvU6kRRB3g&redirect\\_uri=https://auth.asf.alaska.edu/login&state=https%3A%2F%2Fsearch.asf.alaska.edu](https://urs.earthdata.nasa.gov/oauth/authorize?response_type=code&client_id=BO_n7nTIIIMljdvU6kRRB3g&redirect_uri=https://auth.asf.alaska.edu/login&state=https%3A%2F%2Fsearch.asf.alaska.edu). El presente consultor hidrólogo se mantiene activamente registrado en dicho portal para el uso de las galerías de ortofotos de la NASA, evitando así el plagio de contenido digital.
- Los modelos hidrológicos empleados para los cálculos correspondientes al estudio hidrológico fueron: El método del Hidrograma Unitario y el Hidrograma SCS del Modelo Hidrológico del Soil Conservation Service USA, actualmente NRCS.
- El software de compilación de datos y corrida o simulación hidrológica empleado para la interacción de ambos modelos hidrológicos descritos en el párrafo anterior fue el software completo HEC – HMS 4.0, el cual nos permitió realizar la simulación de la escorrentía superficial bruta y su posterior corrección para el cálculo del pico máximo de descarga, así como su integración al Modelo HEC – RAS 6.3.1.

- El método de simulación de crecidas en el cauce y la generación de la llanura de inundación fue ejecutado mediante el software HEC – RAS 6.3.1, empleando como período de retorno 100 años de excedencia, según lo establece el Ministerio de Obras Públicas (M.O.P.) y el Ministerio de Ambiente de Panamá.
- El período de retorno de lluvias, su probabilidad de excedencia y lámina de precipitación e intensidad de lluvias fueron calculados mediante el Modelo Probabilístico de la Función de Gumbel.
- Los cálculos correspondientes al tratamiento de la información de entrada al Software HEC – HMS 4.0 y el HEC – RAS 6.3.1 fueron procesados mediante hojas de cálculo de Excel previamente elaboradas por el Consultor Hidrólogo de este estudio.
- Se hizo la medición de cada componente de la sección transversal (ancho, profundidad, cresta) mediante una cinta de medir desplegable, así como equipos de posicionamiento satelital y GPS, empleando el sistema métrico decimal.
- La topografía y estudio de las secciones transversales para cada cauce estudiado fue procesada mediante el uso del software ARCGIS 10.8, empleando como comandos de procesos el DEM (Digital Elevation Model), KML to Shape, Ortho Mapping, etc. La adquisición de los segmentos de topografía se realizó mediante las bases de datos de *imagery* del ESRI de ARCGIS y bases de datos DEM de la NASA.
- Se utilizó el sistema métrico decimal, anotando los datos en números enteros y con al menos tres cifras decimales, al igual que los resultados de campo.
- Los resultados de caudales se expresan en  $m^3/s$  y en L/s.

## 4. CONTENIDO DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO

### 4.1. Cartografía de la solicitud de obra en cauce

#### 4.1.1. Mapa regional incluyendo el punto o polígono a intervenir georreferenciado con sus respectivas coordenadas.



Fuente: Datos suministrados por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.  
Mapas Topográficos 1:50,000 hoja CHAME.

#### 4.1.2. Mapa del área de drenaje hasta el sitio de la intervención.

❖ **Microcuenca 1. Quebrada Barreto. Afluente del Río Chame.**

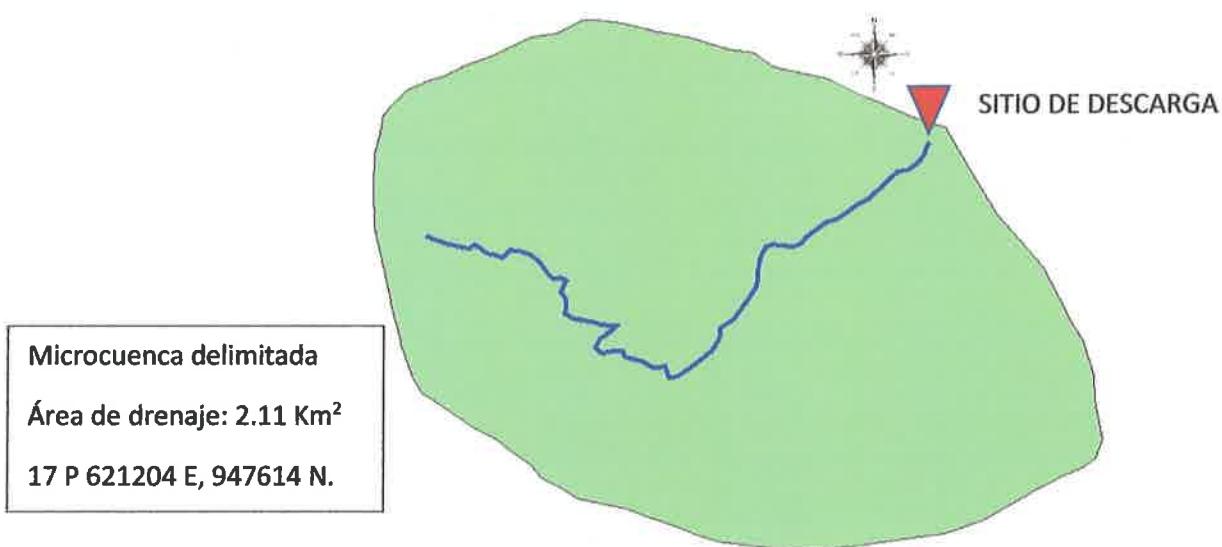


Imagen 2. Delimitación de la microcuenca realizada por el consultor hidrólogo.

#### **4.1.3. Identificar si el proyecto o alguna infraestructura de la obra en cauce, o los trabajos a realizar están dentro de alguna área protegida.**

Ninguna infraestructura u obra a realizar se encuentra dentro de áreas protegidas, parques nacionales o alguna reserva nacional que pueda verse afectada por la obra en cauce. No obstante, el único sistema de área protegida más adyacente al sitio de estudio es el Parque Nacional Altos de Campana, caracterizado según la nomenclatura del SINIA como Parque Nacional, el cual se encuentra a aproximadamente 12,314 metros del sitio, en dirección norte del sitio a intervenir.



Fuente: SINAP, MIAMBIENTE, 2023.

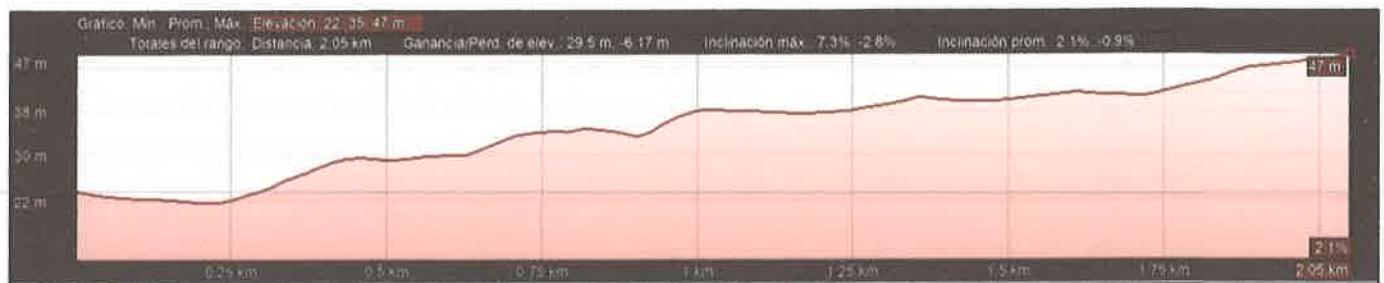
#### **4.2. Caracterización de la fuente hídrica.**

##### **4.2.1. Descripción geomorfológica**

###### **4.2.1.1. Área de la cuenca y Pendiente promedio.**

Nº	MICROCUENCA	Área (km <sup>2</sup> )	Pendiente (m/m)
1	Quebrada Barreto	2.11	0.0122

- **Perfil de elevación del sitio**



#### 4.2.1.2. Índice de compacidad de Gravelius

Nº	Microcuenca	Área (km2)	Perímetro (km)	Índice de Compacidad de Gravelius
1	Quebrada Barreto	2.11	5.46	1.060

#### Rangos de índice de compacidad de Gravelius

Clase	Rango	Descripción
Kc1	1 a 1.25	Forma casi redonda a oval – redonda
Kc2	1.25 a 1.5	Forma oval – oblonga
Kc3	> 1.5	Forma oval – oblonga a rectangular - oblonga

El índice de compacidad de Gravelius proporciona una valiosa indicación sobre la forma de la cuenca hidrográfica, lo cual tiene implicaciones significativas para el comportamiento del flujo de agua y los procesos hidrológicos en la microcuenca de la Quebrada Barreto, tributario del Río Chame. Una cuenca con forma casi redonda a oval - redonda, como sugiere su índice de compacidad en el rango de 1.0 a 1.25, tiende a presentar ciertas características hidrológicas distintivas.

En primer lugar, la forma casi redonda a oval - redonda sugiere una mayor eficiencia en la captura y el transporte de agua dentro de la cuenca. Las lluvias tienden a converger hacia el centro de la cuenca y luego fluir hacia los extremos, lo que puede resultar en una respuesta hidrológica rápida ante eventos de precipitación. Esto significa que la microcuenca Quebrada Barreto podría experimentar rápidos

aumentos en los caudales de los afluentes y arroyos en comparación con cuencas de formas menos compactas.

Además, la forma casi redonda a oval - redonda también puede influir en la distribución espacial de la infiltración y la escorrentía. Las áreas más estrechas de la cuenca pueden experimentar una mayor concentración de escorrentía superficial, mientras que las áreas más amplias pueden permitir una mayor infiltración de agua en el suelo. Esta variabilidad en la respuesta hidrológica a lo largo de la cuenca puede afectar la disponibilidad de agua para la recarga de acuíferos, la alimentación de manantiales y la interacción con otros procesos hidrológicos.

Además, la forma casi redonda a oval - redonda de la microcuenca puede influir en la distribución de la erosión y la sedimentación. Las áreas más estrechas y pronunciadas de la microcuenca pueden experimentar una erosión más intensa debido a la mayor velocidad del flujo de agua, mientras que las áreas más amplias pueden ser más propensas a la acumulación de sedimentos. Esto puede tener impactos significativos en la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos dentro de la cuenca.

En resumen, el índice de compacidad de Gravelius proporciona información valiosa sobre la forma de la microcuenca hidrográfica y, junto con otras características geomorfológicas, puede ayudar a los especialistas a comprender mejor el comportamiento del flujo de agua y los procesos hidrológicos en la microcuenca Quebrada Barreto, y por ende ayuda a tomar las mejores decisiones de diseño para este proyecto y, en especial, para obras en cauce. A su vez, este conocimiento es fundamental para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la mitigación de riesgos relacionados con inundaciones, erosión y degradación del agua en la microcuenca.

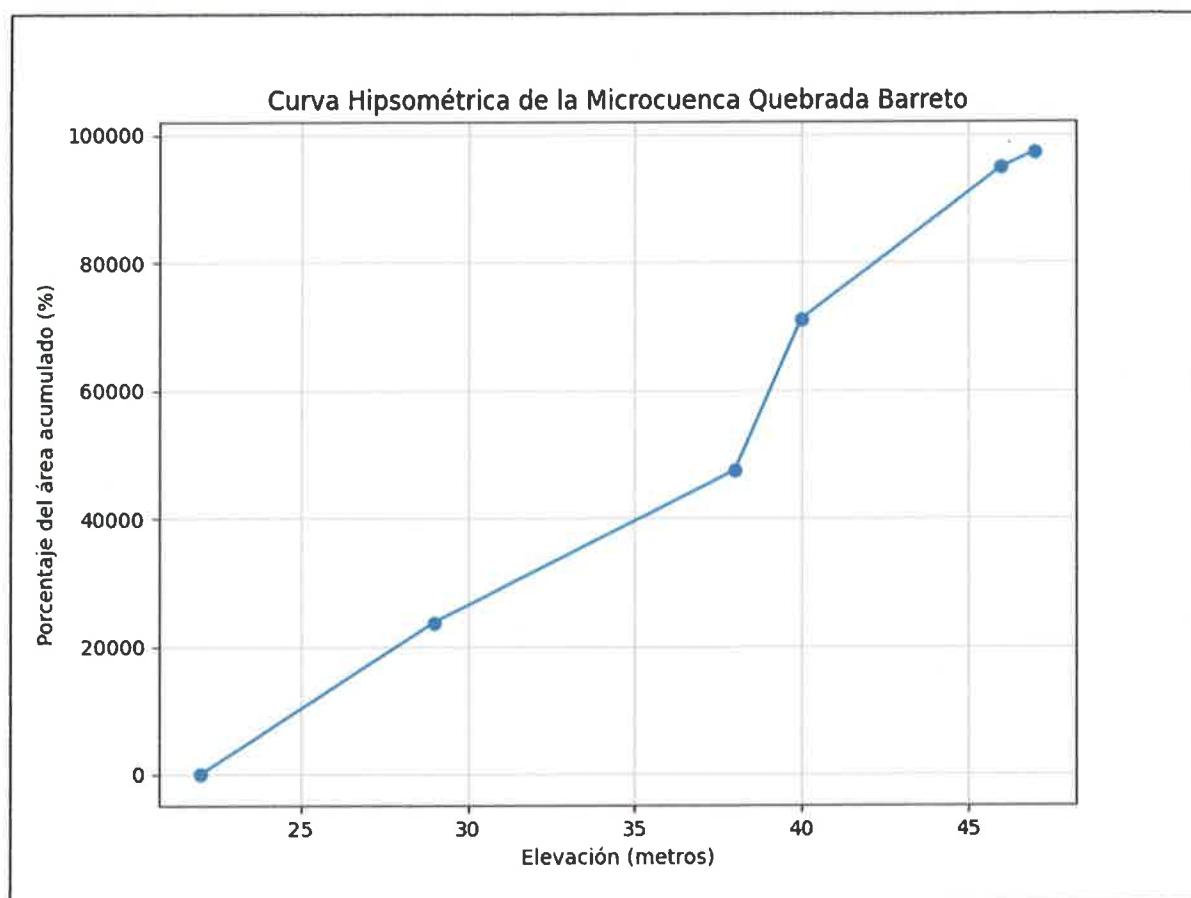
#### **4.2.1.3. Curva Hipsométrica.**

Se muestra a continuación, las curvas Hipsométricas para la microcuenca estudiada, correspondiente a la Quebrada Barreto, así como el orden de río, según su hidrogeomorfología.

En el gráfico de la curva Hipsométrica, se aprecia en el eje X, la elevación en metros y en el eje Y, el porcentaje del área acumulado en función del área a cubrir por elevación y el perímetro por área cubierta según elevación.

❖ **Curva Hipsométrica Microcuenca Quebrada Barreto.**

Orden de río: afluente tributario orden 1



Para analizar la distribución espacial de las alturas versus las distancias a lo largo del afluente y de la microcuenca en general, primero observamos la curva hipsométrica generada. La curva hipsométrica representa la relación entre la elevación y el área acumulada de una cuenca hidrográfica.

En el caso de la microcuenca Quebrada Barreto, podemos observar que la curva hipsométrica muestra un patrón ascendente sin suavizado en la parte alta, propio de su incremento en altura. Las elevaciones varían desde los 25 a los 45 metros

sobre el nivel del mar, y se evidencia que las pendientes en su tramo alto son mayores al 10 %, lo que indica cambios altitudinales más pronunciados en esa región.

La pendiente de la curva hipsométrica proporciona información sobre la variación de altitud en la cuenca. Dado que la pendiente es una medida de la tasa de cambio de la elevación respecto a la distancia, una pendiente pronunciada indica cambios altitudinales más rápidos en la cuenca.

En el caso de la microcuenca Quebrada Barreto, la cual fue debidamente delimitada, se obtuvo un área total de 2.11 km<sup>2</sup> y un perímetro de 5.46 km, la pendiente de la curva hipsométrica es del orden de 0.0122 metros/metro. Aunque la pendiente general es relativamente baja, en su tramo alto tiende a aumentar, lo que sugiere una topografía accidentada y cambios altitudinales más marcados en esa región. Esta información es crucial para comprender la distribución del flujo de agua y los procesos hidrológicos en la cuenca. Una pendiente baja puede influir en la velocidad y el comportamiento del flujo de agua, incidiendo de forma directa en la erosión, la sedimentación y la disponibilidad de agua en la cuenca.

#### **4.2.2. Hidrometría.**

El área de estudio se encuentra dentro de la Cuenca Hidrográfica N° 138, Cuenca Hidrográfica del Río Chame. Por ende, el cauce y afluente estudiado es un tributario natural de dicha cuenca, teniendo como río Principal el Río Chame.

Es importante mencionar que, la cuenca No. 138 tiene como cauce principal el río Chame, contempla un área de 1,432.08 km<sup>2</sup> y abarca el distrito de Antón, provincia de Coclé, y los distritos de San Carlos, Chame, Capira y La Chorrera, en Panamá Oeste.

Es oportuno destacar que actualmente dicha cuenca presenta carencia de información hidrológica y meteorológica, ya que las estaciones hidrometeorológicas existentes datan de la administración del antiguo IRHE y muchas de ellas ya no existe, producto del vandalismo, falta de mantenimiento y actualización de las

instituciones actuales encargadas de dar el monitoreo y seguimiento a las condiciones hidrometeorológicas de nuestro país. Por ello los datos climáticos para esta región son limitados.



Imagen 6. Delimitación de la Cuenca Hidrográfica dominante en el área de estudio.

Fuente: Delimitación de Cuencas creada por el Autor. Enero, 2024.

#### **4.2.2.1. Si existe estación hidrológica: Caudales promedio mensuales (últimos 10 años disponibles), caudales máximos mensuales (Últimos 10 años), caudales mínimos mensuales.**

Puesto que se carece de información precisa para el Río Chame, se muestra a continuación diferentes registros de caudales registrados en estaciones hidrometeorológicas vecinas al sitio de estudio, en diferentes escenarios y períodos de registro, complementarios y de referencia para la panorámica holística del presente estudio.

A continuación, los registros históricos de los caudales promedios mensuales, de la estación meteorológica del Valle de Antón (136-001), Río Antón, perteneciente a la cuenca 136 (Río Antón).

EMPRESA DE TRASLADO ELÉCTRICO, S.A. GERENCIA DE HIDROMETEOROLOGÍA CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m³/s)												
RÍO ANTÓN -- EL VALLE							Estación : 136-01-01 Provincia : COCHABAMBA Distrito : ANTÓN Corregimiento : EL VALLE Tipo Estación : Limnometría					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1955						2,853	2,991					
1956	1,627	0,89	0,751		006.855 i	3,811	2,088	3,872	4,376	3,59		
1957	0,905	0,721	0,628	0,62	2,798	2,066	1,584	2,162	3,051	3,332	3,3	1,794
1958	1,199	1,029	0,659	0,738								
1964	0,789	0,631	0,575	0,688	1,387	2,709	4,163	4,153	3,848	3,898	2,932	1,38
1965	0,965	0,746	0,699	0,655	0,731	0,947	1,133	2,68	2,044	2,648	1,811	1,232
1966	0,659	0,502	0,512	0,592	1,42	2,419	3,1	2,565	3,204	3,169	3,075	2,794
1967	1,062	0,758	0,735	0,785	0,746	3,007	1,682	1,988	3,349	2,814	2,448	1,586
1968	0,851	0,957	0,663	0,584	1,567	3,199	2,791	2,189	2,829	4,123	2,478	1,351
1969	0,715	0,589	0,519	0,633	1,647	2,294	1,345	2,609	4,447	3,49	3,741	1,703
1970	1,198	0,809	0,741	0,822	1,975	2,177	2,176	3,342	3,338	3,529	2,447	3,281
1971	1,76	0,951	0,807	0,69	2,148	2,671	1,957	3,143	3,183	3,471	2,923	1,064
1972	0,851	0,575	0,491	1,061	1,015	1,699	1,09	1,225	2,164	1,767	1,395	0,743
1973	0,561	0,46	0,402	0,402	0,868	2,279	1,833	2,421	3,571	4,171	3,886	1,965
1974	1,028	0,721	0,643	0,554	0,939	2,159	1,683	2,303	3,102	3,618	2,139	1,562
1975	0,733	0,464	0,545	0,528	2,912	1,989	2,242	2,213	3,072	6,833	9,847	4,402
1976	1,702	0,881	0,762	0,69	1,177	3,141	1,06	3,069	3,583	6,235	2,842	0,712
1977	0,605	0,589	0,53	0,518	2,035	4,095	4,066	1,254	6,673	1,504	1,445	0,889

Fuente: ETESA, 2022.

### Continuación de los registros de caudales

1978	0,716	0,58	0,587	0,614	2,89	2,554	2,005	2,33	2,26	2,832	2,812	1,155
1979	0,776	0,562	0,412	0,755	1,503	2,113	1,978	2,714	3,577	3,308	2,17	1,431
1980	1,078	0,65	0,406	0,375	0,835	1,718	1,721	2,863	2,559	3,69	4,051	1,495
1981	1,057	0,711	0,505	1,331	2,866	5,399	2,988	3,14	3,621	5,78	3,479	2,958
1982	1,066	1,068	0,602	0,937	1,379	2,951	1,967	1,184	2,763	3,375	2,827	0,888
1983	1,043	0,474	0,403	0,347	1,596	1,893	1,347	1,79	3,951	3,602	2,643	2,81
1984	0,961	0,665	0,588	0,441	1,403	3,325	3,137	4,007	4,407	5,212	3,543	1,052
1985	0,996	0,703	0,587	0,417	0,985	2,987	2,142	3,797	4,516	4,035	2,358	1,818
1986	0,855	0,602	0,478	0,55	1,056	1,477	0,972	0,96	3,062	5,113	3,25	1,001
1987	0,644	0,563	0,445	0,482	1,914	2,396	1,719	2,721	2,859	4,947	2,369	1,193
1988	0,799	0,674	0,525	0,469	1,331	3,433	2,791	3,655	4,276	4,736	4,563	1,618
1989	1,208	0,761	0,628	0,383	1,164	1,279	2,368	3,508	3,346	4,403	4,057	2,775
1990	1,174	0,858	0,828	0,566	2,002	0,892	2,715	2,134	4,445	7,153	4,372	3,266
1991	0,945	0,581	0,448	0,382	1,518	3,214	1,469	1,134	001.264 *	003.799 *	2,234	1,265
1992	0,484	0,264	0,252	0,329	1,154	4,331	2,741	3,074	5,486	2,608	3,011	1,415
1993	1,115	0,754	0,44	0,366	0,646	1,038	1,312	2,016	3,385	2,709	004.435 *	1,225
1994	0,605	0,442	0,534	0,429	1,263	3,136	2,522	2,522	3,506	3,234	1,981	0,996
1995	0,732	0,616	0,366	0,373	1,547	2,503	2,07	003.252 *	003.044 *	4,382	2,387	1,466
1996	002.025 i				002.044 i	004.433 i	2,777	006.043 i	4,696			
1997	1,223	1,062	0,605	0,443	0,584	1,552	0,954	0,883	1,981	1,928	3,083	0,985
1998	0,656	0,503	0,323	0,287	1,356	3,952	003.846 i	5,046	6,316	6,246		

Fuente: ETESA, 2022.

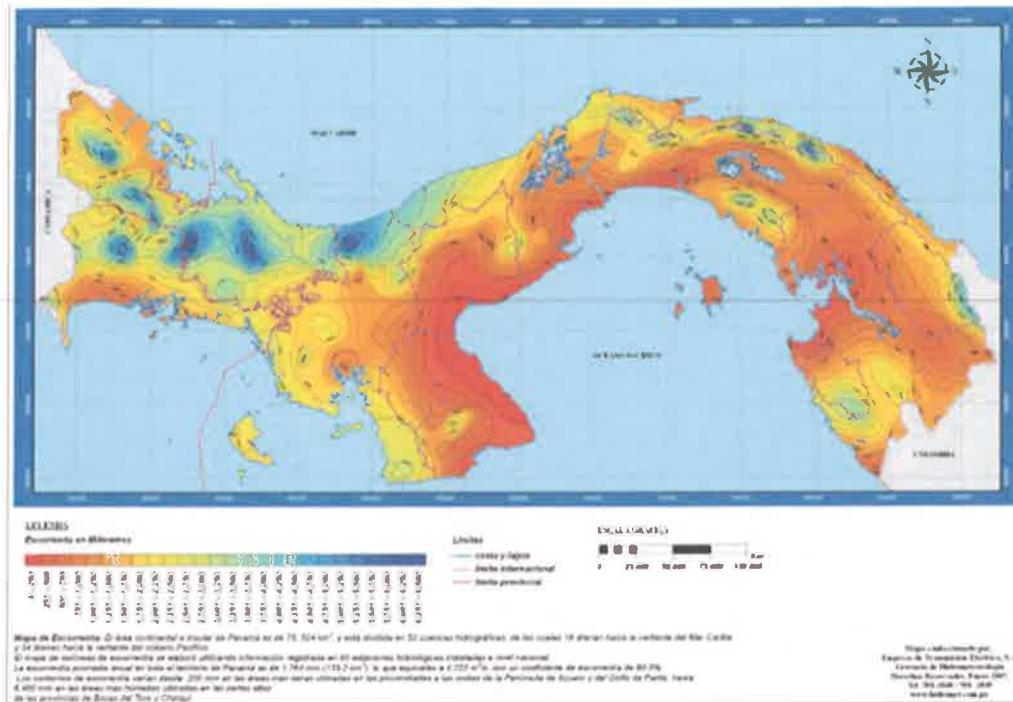


Imagen 7. Mapa de escorrentías anuales, período 1971 – 2010

**Fuente:** Atlas Ambiental del Panamá. 2010.

**4.2.2.2. No existe estación hidrológica: Un aforo esporádico en temporada seca (enero a abril), dos aforos esporádicos en temporada lluviosa (mayo a diciembre) en el sitio preciso de la obra en cauce solicitada.**

A continuación, se muestra el aforo realizado durante inicios de la estación seca, para el afluente de interés en este estudio.

- Fecha de aforo: 11 de enero del 2024.
  - Aforador: Ing. Yireh A. Concepción. Ing. En Manejo de Cuencas Hidrográficas y Ambiente. M.Sc. en Hidrología. Especialista en Aguas Subterráneas y Calidad de Aguas. Ben Gurion University of the Negev, Israel. Idoneidades CTNA - 7,853-15 y BGU- 850312711.

❖ Afluente Quebrada Barreto.

Coordenada del punto de aforo: UTM 17 P 621204 E, 947614 N.

Sitio de aforo: Puente sobre Quebrada Barreto.

Estación	Profundidad (cm)	Ancho (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
0	0	0.14	0	0	0.0000
1	0	0.14	0	0	0.0000
2	2	0.14	0.0028	0.2	0.0006
3	6	0.14	0.0084	0.1	0.0008
4	9	0.14	0.0126	0.1	0.0013
5	11	0.14	0.0154	0.1	0.0015
6	12	0.14	0.0168	0.1	0.0017
7	11	0.14	0.0154	0	0.0000
8	8	0.14	0.0112	0	0.0000
9	4	0.14	0.0056	0	0.0000
10	0	0.14	0	0	0.0000
	X:5.73		$\Sigma: 0.08820$	X:0.05	<b>0.0059</b>
					<b>5.88</b>
					<b>M<sup>3</sup>/s</b>
					<b>L/s</b>

**Nota:** Es importante mencionar que los caudales obtenidos mediante los respectivos aforos fueron empleados como datos de entrada para los simuladores de crecidas HEC – HMS y HEC – RAS. En ambos, el caudal de aforo se ingresa en el comando *BASEFLOW*, o flujo base, lo que indica el escurrimiento de referencia dentro de la microcuenca que se toma en cuenta para el modelado hidrológico con escenarios extremos de precipitación – escorrentía y los posteriores hidrogramas de caudal máximo generados en la simulación.

**4.2.3. Descripción climática de la cuenca: Precipitación media, precipitaciones máximas registradas en la estación meteorológica más cercana.**

## ❖ Zonas de vida.

El bosque seco tropical, según la clasificación de L.R. Holdridge, es característico de áreas como Chame, en Panamá. Este tipo de bioclima se encuentra marcado por una temporada de lluvias corta y una prolongada estación seca. Las precipitaciones suelen ser escasas, concentrándose principalmente durante la temporada de lluvias, con una media anual de 500 a 1000 mm. Las temperaturas son cálidas durante todo el año, con una media anual que oscila entre los 24°C y 28°C.

La humedad relativa tiende a disminuir durante la estación seca, lo que contribuye a la sequedad del ambiente. En cuanto a las especies forestales dominantes en esta región, encontramos árboles adaptados a la sequía, como el guayacán (*Tabebuia guayacan*), el cedro espino (*Bombacopsis quinata*), el cuipo (*Cavanillesia platanifolia*) y el madroño (*Calycophyllum candidissimum*).

Los ecosistemas terrestres en esta zona se caracterizan por la presencia de bosques tropicales caducifolios, donde los árboles pierden sus hojas durante la estación seca para conservar agua. Por otro lado, los ecosistemas marinos en Chame pueden incluir manglares, que son adaptaciones especiales a la salinidad y la fluctuación del nivel del agua.

El régimen de lluvias en esta región sigue un patrón estacional, con la mayor parte de las precipitaciones concentradas en los meses de mayo a noviembre, mientras que la estación seca abarca de diciembre a abril. Este patrón de lluvias influye en la flora y fauna adaptadas a estos ciclos estacionales, dando lugar a ecosistemas únicos y biodiversos en la región de Chame.

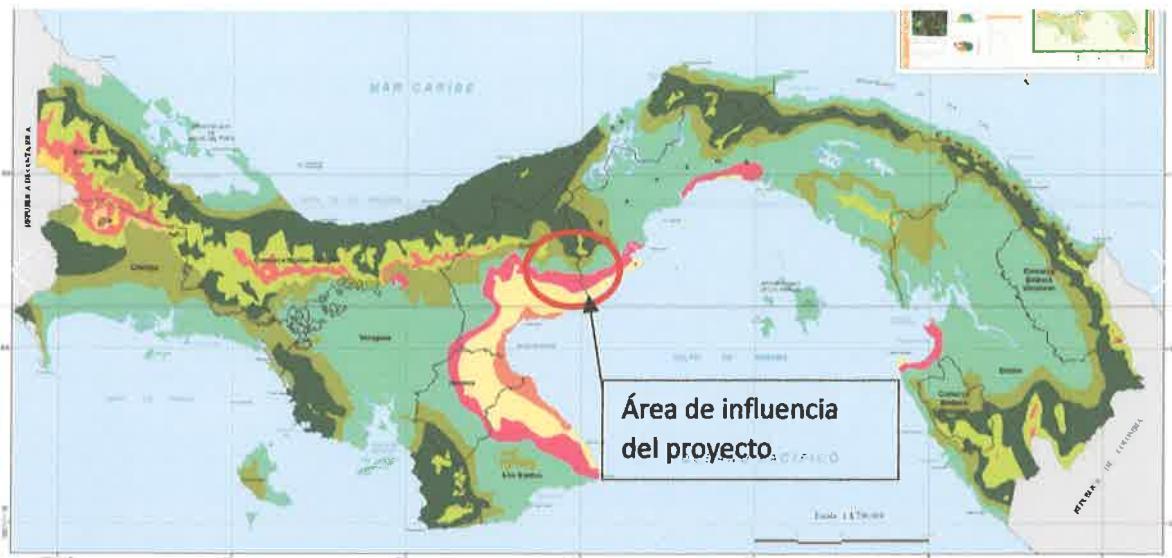


Imagen 8. Modelo de zonas de vida de Panamá, de L.R. Holdridge.

Fuente: Atlas Ambiental de Panamá.

#### ❖ Clima

- Cuenca Hidrográfica del Río Chame (Cuenca N° 138).

La Cuenca Hidrográfica del Río Chame presenta un clima seco tropical, aunque con algunas variaciones notables. Esta región experimenta una estación seca y una estación lluviosa bien definida.

La estación seca abarca de diciembre a abril, durante la cual las lluvias son mínimas y el sol presenta una alta intensidad. El clima es más cálido y seco en esta temporada, lo que favorece actividades agrícolas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que incluso en los meses secos, el clima puede ser relativamente húmedo en comparación con regiones más áridas, esto debido a la incidencia de la humedad procedente del pacífico sur.

La estación lluviosa, que ocurre de mayo a noviembre, trae consigo un aumento significativo de las precipitaciones. Los meses de octubre y noviembre suelen ser los más lluviosos. Esto puede dar lugar a tasas altas de escorrimiento y el aumento del nivel de ríos en la cuenca, lo que impacta en la gestión de recursos hídricos y la

planificación del desarrollo en la región.

Esta cuenca hidrográfica, debido a su clima seco tropical con estaciones bien definidas, juega un papel fundamental en la regulación del flujo de agua, recarga de acuíferos para la disponibilidad del recurso hídrico en los diferentes tipos de consumo local y la conservación de los recursos hídricos en la región Oeste de Panamá, además de influir en la biodiversidad y la actividad económica local, así como en los ecosistemas marino – costeros de Chame.

❖ Datos climáticos.

• Temperatura.

Se presenta a continuación el historial de datos climáticos procedentes de la NASA, para el período de registro 2012 – 2022.

**Cuadro 6. Temperaturas máximas, mínimas y promedio registradas para el sitio de estudio, datos climáticos de la NASA. Período 2012 – 2022.**

Parámetro	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temperatura máxima (°C)	2012	28.72	30.93	32.55	32.07	30.24	30.4	29.32	29.23	29.82	28.9	29.82	29.58
T2M_MAX	2013	29.91	31.94	33.18	33.31	33.51	30.27	29.8	29.68	29.98	29.73	29.62	29.58
T2M_MAX	2014	30.39	32.23	32.98	33.08	31.15	30.39	29.92	29.86	30.33	29.35	29.7	29.57
T2M_MAX	2015	29.98	32.26	32.69	33.55	33.23	31.71	31.92	30.22	30.81	30.78	29.55	30.15
T2M_MAX	2016	29.98	31.92	34.48	34.65	32.38	30.32	29.3	29.91	29.48	29.67	29.91	29.33
T2M_MAX	2017	29.88	31.27	33.57	33.58	31.04	31.05	30.22	29.86	29.68	30.06	29.51	29.59
T2M_MAX	2018	29.14	29.11	32.01	32.26	31.52	29.78	30.31	30.05	29.88	29.57	29.76	29.6
T2M_MAX	2019	30.32	32.01	32.19	33.73	32.08	30.58	30.36	30.13	29.52	29.53	30.01	29.9
T2M_MAX	2020	29.98	31.58	32.23	32.58	31.26	30.23	29.52	30.19	29.73	30.42	29.33	29.07
T2M_MAX	2021	29.22	30.37	31.92	31.69	30.75	30.45	29.73	29.05	29.76	30.3	29.98	29.52
T2M_MAX	2022	29.3	31.05	32.76	31.94	30.67	29.08	29.71	29.51	29.18	30.01	29.89	29.34
Temperatura mínima (°C)													
T2M_MIN	2012	22.42	21.91	22.36	23.05	23.93	24.14	24.3	24	22.9	23.47	23.85	23.37
T2M_MIN	2013	22.68	21.98	23.6	23.71	23.71	24.21	24.19	23.34	23.97	23.77	23.4	22.05
T2M_MIN	2014	22.12	22.23	22.98	23.98	24.38	24.67	24.84	23.89	24.1	24.05	23.62	22.78
T2M_MIN	2015	22.97	22.33	22.98	24.12	24.47	24.37	24.43	24.8	24.33	24.7	24.13	24.67
T2M_MIN	2016	22.65	21.97	22.33	24.01	24.28	24.37	24.38	24.25	24.15	23.87	23.34	23.39
T2M_MIN	2017	22.05	21.48	22.54	23.3	24.34	24.52	24.26	23.99	24.27	23.69	23.63	23.21
T2M_MIN	2018	22.73	21.83	21.73	22.05	24.26	24.16	24.51	24.17	23.86	23.34	23.44	23.19
T2M_MIN	2019	22.31	21.64	22.4	23.94	24.76	24.9	24.72	24.53	24.04	23.97	23.83	24.23
T2M_MIN	2020	22.25	22.01	22.14	22.92	24.59	23.96	24.05	23.91	24.37	24.15	22.98	23.11

T2M_MIN	2021	22.31	22.53	21.12	23.53	24.15	23.93	24.11	23.62	23.9	24.12	23.65	23.86
T2M_MIN	2022	22.11	22.02	22.81	24	24.58	23.87	24.38	24.06	24.14	24.16	23.9	23.16
<b>Temperatura promedio (°C)</b>	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T2M_PROM	2012	25.57	26.42	27.46	27.56	27.08	27.27	26.81	26.62	26.36	26.19	26.34	25.75
T2M_PROM	2013	26.3	26.96	28.39	28.51	28.61	27.24	27	26.51	26.97	26.85	26.51	26.32
T2M_PROM	2014	26.26	27.23	27.98	28.53	27.76	27.03	27.38	27.37	27.21	26.7	26.66	26.35
T2M_PROM	2015	26.48	27.3	27.84	28.84	28.85	28.04	28.17	27.51	27.57	27.24	26.84	26.91
T2M_PROM	2016	26.32	26.94	28.41	29.33	28.33	27.34	26.84	27.08	26.81	26.77	26.62	27.01
T2M_PROM	2017	26.46	26.38	28.05	28.44	27.69	27.29	27.24	26.92	26.98	26.88	26.57	26.39
T2M_PROM	2018	25.94	25.47	26.87	27.16	27.89	27.47	27.41	27.11	26.87	26.45	26.6	25.93
T2M_PROM	2019	26.32	26.83	27.3	28.83	28.42	27.74	27.54	27.33	26.78	26.75	26.92	26.32
T2M_PROM	2020	26.12	26.79	27.18	27.75	28.93	27.1	26.79	27.05	27.05	27.29	26.16	25.59
T2M_PROM	2021	25.76	26.45	27.52	27.61	27.45	27.19	26.92	26.34	26.83	27.21	26.82	25.57
T2M_PROM	2022	25.71	26.53	27.79	28.97	27.62	26.48	26.05	26.29	26.16	26.59	26.4	25.89

Fuente: NASA. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> Usuario Registrado.

Analizando los tres cuadros de temperaturas máximas, mínimas y promedios proporcionados, se pueden extraer importantes conclusiones sobre el clima de la región en cuestión.

En primer lugar, observamos que las temperaturas máximas presentan una variabilidad moderada a lo largo de los años, con valores que oscilan entre los 28°C y los 34°C en la mayoría de los meses. Sin embargo, se puede notar un ligero incremento en las temperaturas máximas durante los meses de febrero a abril, seguido de una leve disminución hacia el final del año.

Por otro lado, las temperaturas mínimas muestran una tendencia similar a lo largo de los años, con valores que se mantienen en un rango estrecho entre los 21°C y los 25°C en la mayoría de los meses. Sin embargo, se observa una ligera variación estacional, con mínimas ligeramente más altas durante los meses de mayo a septiembre y más bajas hacia finales de año.

Finalmente, al calcular las temperaturas promedio para cada año y mes, podemos

obtener una visión más completa del clima en la región. Se observa que las temperaturas promedio reflejan las tendencias de las temperaturas máximas y mínimas, mostrando un ligero aumento durante los meses más cálidos y una disminución hacia finales de año. Este análisis sugiere una estabilidad relativa en el clima de la región, con variaciones estacionales predecibles y un rango de temperaturas moderado.

En resumen, los datos proporcionados muestran un patrón climático consistente a lo largo de los años, con temperaturas máximas y mínimas que varían dentro de rangos predecibles y temperaturas promedio que reflejan estas tendencias estacionales. Este análisis es fundamental para comprender y predecir el clima en la región, lo que puede ser de gran utilidad para diversas actividades humanas, como la agricultura, la planificación urbana y la gestión de recursos naturales.

- **Humedad Relativa.**

A su vez, se presenta a continuación el historial de datos climáticos procedentes de la NASA, para el período de registro 2012 – 2022, de los datos de humedad relativa (HR), valor en porcentaje (%).

**Cuadro 7. Registro histórico de humedad relativa (%), recopilado por la NASA, período 2012 – 2022.**

Humedad relativa (%)	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANN
RH2M	2012	83.69	77.06	73.62	80.12	86.56	86.12	89.06	87.38	85.94	87.69	88.5	86.94	84.44
RH2M	2013	81.25	75.31	72.88	76.31	80.12	86.38	87.44	87.62	87.25	87.69	86.62	85.31	82.88
RH2M	2014	80.88	74.38	69.44	73.25	83.94	88.12	87.69	85.81	84.81	87.88	86.75	86.56	82.5
RH2M	2015	81.81	74.88	70.31	74.56	80.19	85.56	85.62	87.25	86.19	85.5	87.5	86.88	82.25
RH2M	2016	83.19	76.19	71.25	74.75	85.5	86.5	88.69	88.06	86.81	88.5	88.75	86.5	83.75
RH2M	2017	82.06	76.88	71.44	75.88	85.75	86.56	87.69	85.88	87.06	87.38	87.62	87.06	83.5
RH2M	2018	87.12	81.12	75.19	78.12	84.19	86.5	88.12	86.69	85.94	87.69	87.38	84	84.38
RH2M	2019	79.62	73.75	69.94	71.56	83.25	86.56	87.69	87.25	87.88	86.94	87.5	87.06	82.5
RH2M	2020	83.69	76.44	70.5	77.56	85.31	86.5	87.75	87.56	85.94	88.12	89.12	86.44	83.75
RH2M	2021	84.56	81.62	76.12	81.25	85.19	85.38	88.19	87.5	86.44	87.94	87.12	87.25	84.88
RH2M	2022	83.31	75.94	73.31	81.88	85.88	89.19	88.88	88.25	87.81	87.94	88.75	85.5	84.75

- **Vientos.**

Por otra parte, se presenta a continuación el historial de datos climáticos procedentes de la NASA, para el período de registro 2012 – 2022, de los datos de velocidad del viento (WS), valor dado en metros por segundo (m/s.).

**Cuadro 8. Registro histórico de vientos (m/s), recopilado por la NASA, período 2012 – 2022.**

Velocidad Viento (m/s)	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANN
WS2M	2012	3.39	3.22	3.52	1.89	1.63	1.58	1.93	1.55	1.5	2.22	2.35	2.6	2.28
WS2M	2013	3.47	2.91	3.24	2.48	2.13	1.62	1.65	1.63	1.69	1.59	1.72	2.64	2.23
WS2M	2014	3.21	3.03	3.17	2.88	1.93	1.9	2.07	1.6	1.4	1.7	2.06	2.76	2.3
WS2M	2015	3.71	3.34	3.35	2.67	2.4	1.84	2.11	2.01	1.61	1.44	1.98	2.54	2.41
WS2M	2016	3.07	3.7	2.9	2.54	1.9	1.49	1.74	1.59	1.46	1.92	2.4	2.3	2.24
WS2M	2017	3.24	2.77	3.07	2.13	1.6	1.45	1.59	1.44	1.62	1.7	1.75	2.75	2.09
WS2M	2018	2.73	3.23	3.23	2.13	1.76	1.58	1.86	1.65	1.37	2.19	1.95	3.15	2.23
WS2M	2019	3.45	3.1	3.7	2.7	1.56	1.61	2.02	1.62	1.88	1.57	1.98	2.52	2.3
WS2M	2020	3.34	3.66	3.39	2.63	2.05	1.55	1.91	1.84	1.47	1.89	2.48	2.91	2.43
WS2M	2021	3.42	3.2	3.21	2.56	2.29	1.54	1.99	1.66	1.49	1.77	2	2.65	2.31
WS2M	2022	3.23	3.38	3.13	2.2	1.54	2.36	1.88	1.72	1.73	1.95	1.84	2.7	2.3

- ❖ **Precipitación**

Las condiciones meteorológicas imperantes en Panamá dan lugar a cinco tipos de clima que favorecen la formación de nubes (cúmulo nimbos) responsables de las intensas precipitaciones. La precipitación anual promedio en el país alcanza los 2,685 milímetros. De este total, se registran aproximadamente 1,006 milímetros en la vertiente del Pacífico y 1,797 milímetros en la vertiente del Caribe.

Se muestra a continuación, los registros históricos de precipitación colectados por el sistema de satélites climáticos de la NASA, período de registro 2012 – 2022.

**Cuadro 9. Registro histórico de precipitación (mm), recopilado por la NASA, período 2012 – 2022.**

Precipitación (mm)	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANN
PRECTOTCORR_SUM	2012	0	0	5.27	200.39	395.51	348.05	321.68	200.39	200.39	205.66	163.48	52.73	2093.55
PRECTOTCORR_SUM	2013	0	5.27	0	131.84	100.2	263.67	332.23	237.3	258.4	216.21	226.76	42.19	1814.06
PRECTOTCORR_SUM	2014	42.19	0	0	21.09	421.88	268.95	137.11	152.93	305.86	295.31	131.84	79.1	1856.25
PRECTOTCORR_SUM	2015	0	0	5.27	36.91	142.38	137.11	210.94	142.38	268.95	284.77	290.04	131.84	1650.59
PRECTOTCORR_SUM	2016	5.27	5.27	0	158.2	321.68	316.41	258.4	353.32	216.21	290.04	348.05	42.19	2315.04
PRECTOTCORR_SUM	2017	10.55	10.55	10.55	100.2	411.33	290.04	395.51	348.05	200.39	242.58	253.12	189.84	2462.7
PRECTOTCORR_SUM	2018	73.83	0	5.27	137.11	221.48	316.41	210.94	105.47	474.61	337.5	337.5	15.82	2235.94
PRECTOTCORR_SUM	2019	0	0	5.27	52.73	342.77	379.69	205.66	163.48	290.04	374.41	290.04	68.55	2172.66
PRECTOTCORR_SUM	2020	5.27	0	15.82	137.11	279.49	263.67	237.3	195.12	532.62	205.66	358.59	84.38	2315.04
PRECTOTCORR_SUM	2021	36.91	52.73	21.09	215.52	268.35	228.72	229.7	420.84	191.38	398.84	178.93	169.37	2412.38
PRECTOTCORR_SUM	2022	19.4	6.37	21	410.13	313.61	416.63	339.12	564.68	461.71	452.99	559.84	59.84	3625.33

Se muestra a continuación el mapa de Isoyetas de Panamá, con las regiones de humedad imperantes en el área de estudio.

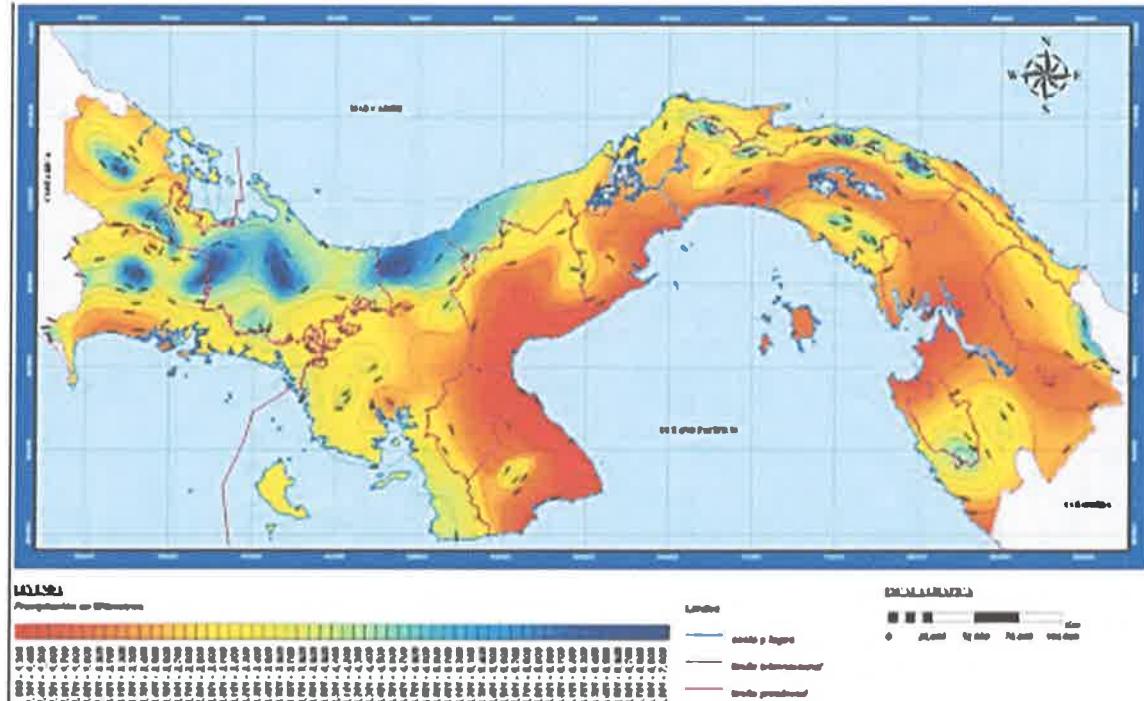


Imagen 9. Mapa Nacional de Isoyetas, Período 1971 – 2010.

Fuente: OEA, 2002. Balance Hídrico para Panamá.

❖ **Eventos extremos de precipitación registrados.**

- Pico de Precipitación: 856.7 mm/mes
- Precipitación máxima diaria: 27.05 mm
- Intensidad media: 1.19 mm/ hora.
- Mes de ocurrencia: Agosto.
- Año: 1996.
- Modelo meteorológico de la NASA corrido con datos climáticos de la estación Meteorológica Río Antón puente para el sitio de estudio.
- **Hietograma de lluvias máximas por día generado para el evento máximo.**

Cuadro 10. Precipitación máxima vs precipitación acumulada según el hietograma de lluvia generado para el evento máximo registrado.

Tiempo (Horas)	Precipitación máx. (mm/hora)	Precipitación acumulada (mm/hora)
1	28.56	1.19
2	27.37	2.38
3	26.18	3.57
4	24.99	4.76
5	23.80	5.95
6	22.61	7.14
7	21.42	8.33
8	20.23	9.52
9	19.04	10.71
10	17.85	11.90
11	16.66	13.09
12	15.47	14.28
13	14.28	15.47
14	13.09	16.66
15	11.90	17.85
16	10.71	19.04
17	9.52	20.23
18	8.33	21.42
19	7.14	22.61
20	5.95	23.80
21	4.76	24.99

22	3.57	26.18
23	2.38	27.37
24	1.19	28.56

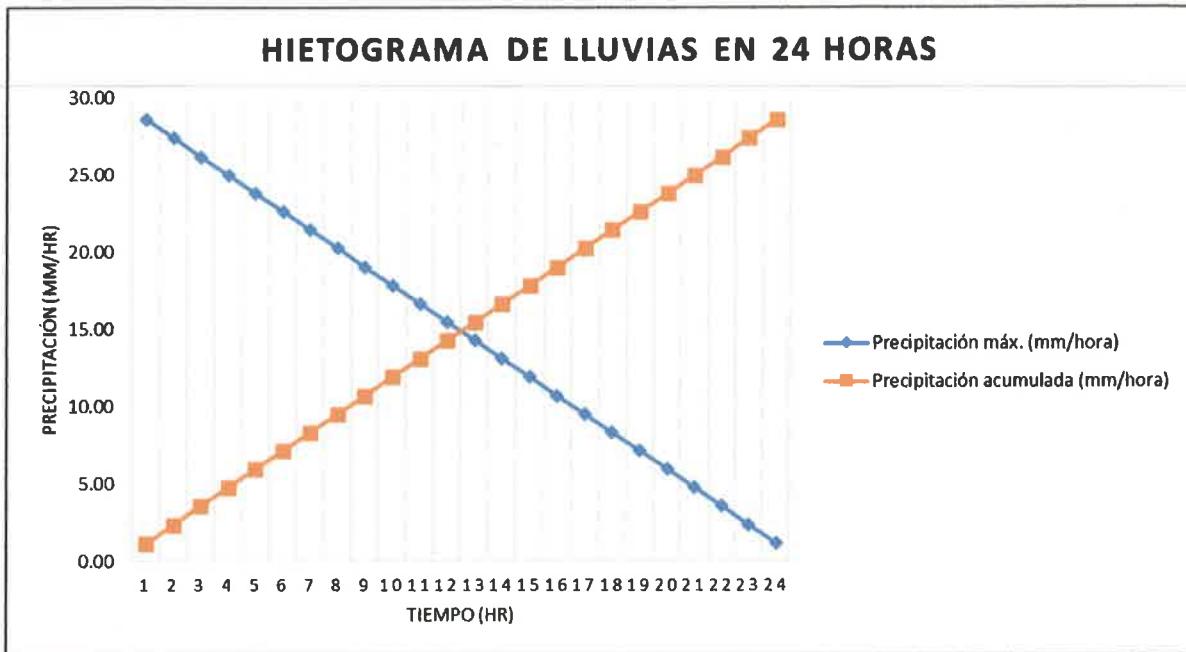


Imagen 10. Gráfico de hietograma de lluvia, donde se aprecia la precipitación máxima (mm/h) en 24 horas, para un evento extremo de lluvias en función de la lámina acumulada (mm/h).

#### 4.2.4. Demarcar en mapa antecedentes de inundación

No existen registros ni antiguos ni actualizados de eventos de avenidas máximas, ni tampoco se habían generado anteriormente simulaciones de crecidas para el cauce estudiado, salvo en el presente estudio hidrológico.

#### **4.2.4.1. Simulaciones Hidrológicas de Crecidas para cada uno de los afluentes y microcuenca estudiadas.**

Con el fin de garantizar un diseño apropiado y seguro de las obras civiles a construirse sobre el cauce estudiado, se llevó a cabo un minucioso trabajo de simulación hidrológica que abarcó el afluente intermitente tributario del Río Chame (Quebrada Barreto), perteneciente a la Cuenca Hidrográfica del Río Chame N° 138. Este estudio se basó en la aplicación de dos destacados softwares de simulación hidráulica, el HEC-HMS 4.0 y el HEC-RAS 6.3.1., que se utilizaron para evaluar el comportamiento de las avenidas fluviales generadas en respuesta a eventos máximos de precipitación, considerando escenarios con períodos de retorno (TR ó PR) de 100 años.

El principal objetivo de este exhaustivo trabajo de simulación fue determinar el pico máximo de descarga que dicha microcuenca podría generar como respuesta a condiciones climáticas extremas y la relación precipitación - escorrentía. Esto reviste una importancia crítica, ya que dicho pico de descarga define el caudal máximo que deberá ser manejado por cualquier infraestructura civil a construirse en el sitio, como puentes y obras en el cauce, que se planifique construir en estas áreas.

Mediante la utilización de los modelos hidrológicos del HEC-HMS 4.0., se realizó un análisis detallado de las características hidrológicas la microcuenca, considerando las condiciones topográficas, las características de uso del suelo y la información climática histórica. Esto permitió ingresar eventos de precipitación de alta intensidad - duración y calcular los hidrogramas correspondientes para cada escenario.

Posteriormente, se empleó el software HEC-RAS 6.3.1. para modelar hidráulicamente el comportamiento del cauce y evaluar cómo se comportará frente a los caudales máximos previamente determinados. Este paso es esencial para entender la interacción entre las aguas fluviales y la infraestructura civil, como puentes y obras en el cauce.

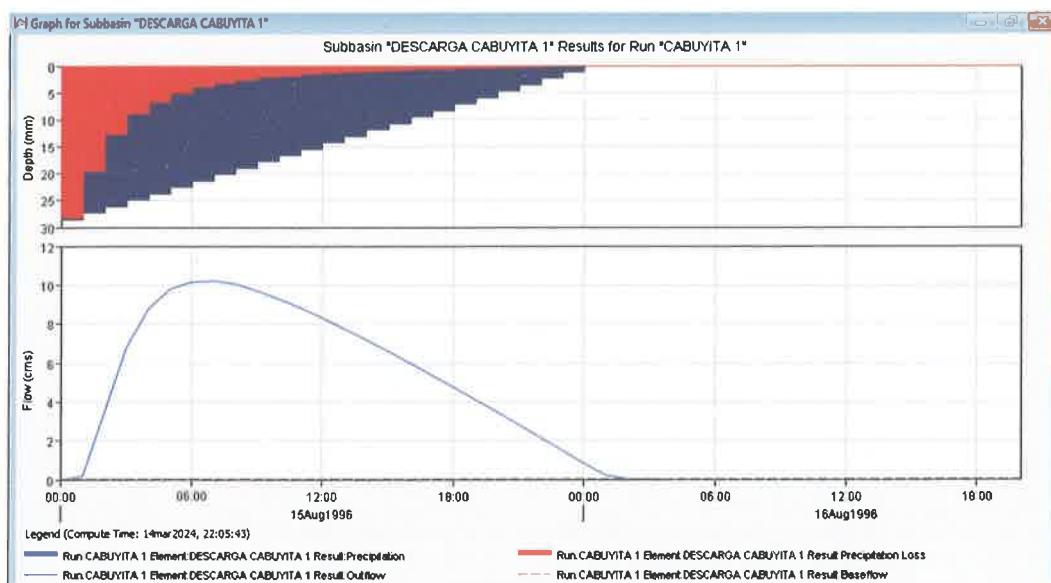
El resultado de este minucioso proceso de simulación fue la obtención de información precisa sobre los límites críticos cubiertos por las avenidas en la

microcuenca estudiada. Además, se determinó el caudal máximo que el afluente pueda alcanzar en situaciones extremas. Estos datos son esenciales para el diseño y la planificación de obras civiles, ya que permiten establecer los parámetros de seguridad y capacidad necesarios para garantizar que las estructuras sean resistentes y funcionales bajo las condiciones más adversas.

En resumen, el trabajo de simulación hidrológica llevado a cabo en el afluente (Quebrada Barreto), de la microcuenca tributaria del Río Chame es un componente esencial de los estudios hidrológicos y de ingeniería civil requeridos para el diseño apropiado de puentes y obras en el cauce. Esta labor garantiza que las futuras construcciones en el cauce estudiado sean seguras, eficientes y capaces de hacer frente a las variaciones climáticas extremas que puedan afectar la región, contribuyendo así al desarrollo sostenible y al bienestar de la comunidad local.

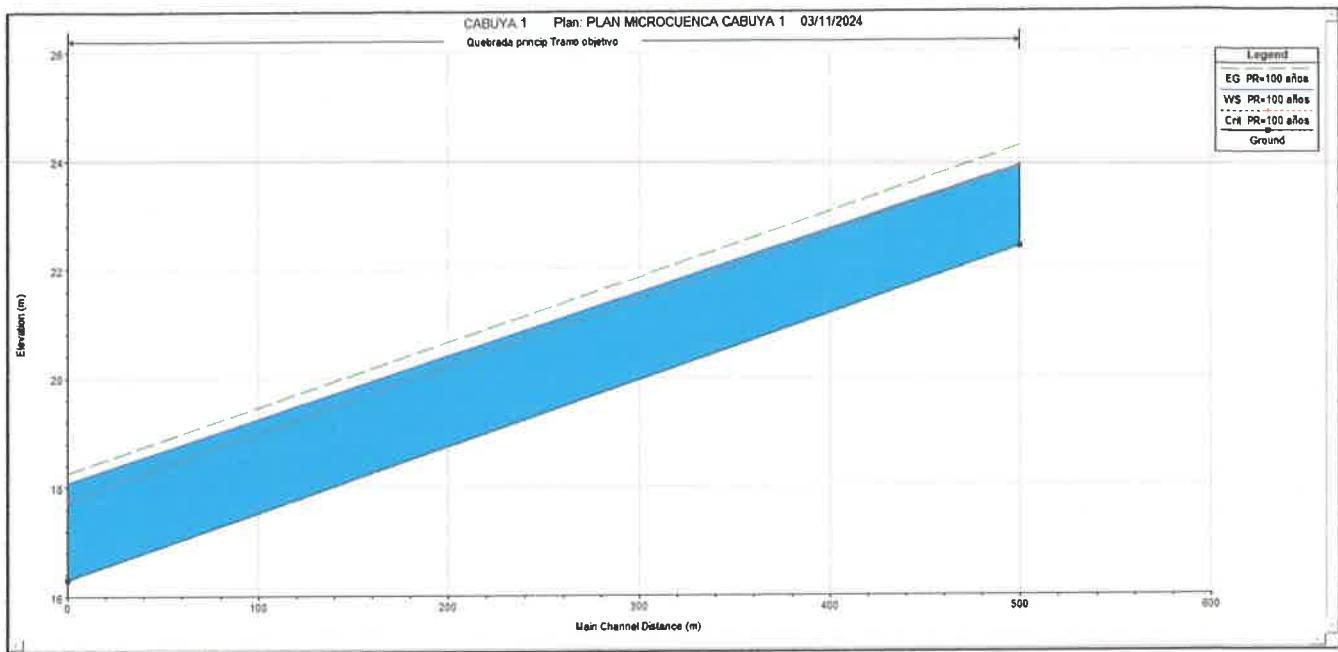
#### 4.2.4.2. HIDROGRAMA DE CRECIDA Y SIMULACIÓN HIDROLÓGICA PARA LA MICROCUENCA, CON SU RESPECTIVO AFLUENTE DONDE SE DESARROLLARÁN LAS OBRAS EN CAUCE.

- ❖ **MICROCUENCA DE ESTUDIO. QUEBRADA BARRETO.**
- ❖ **Hidrograma de caudal máximo**

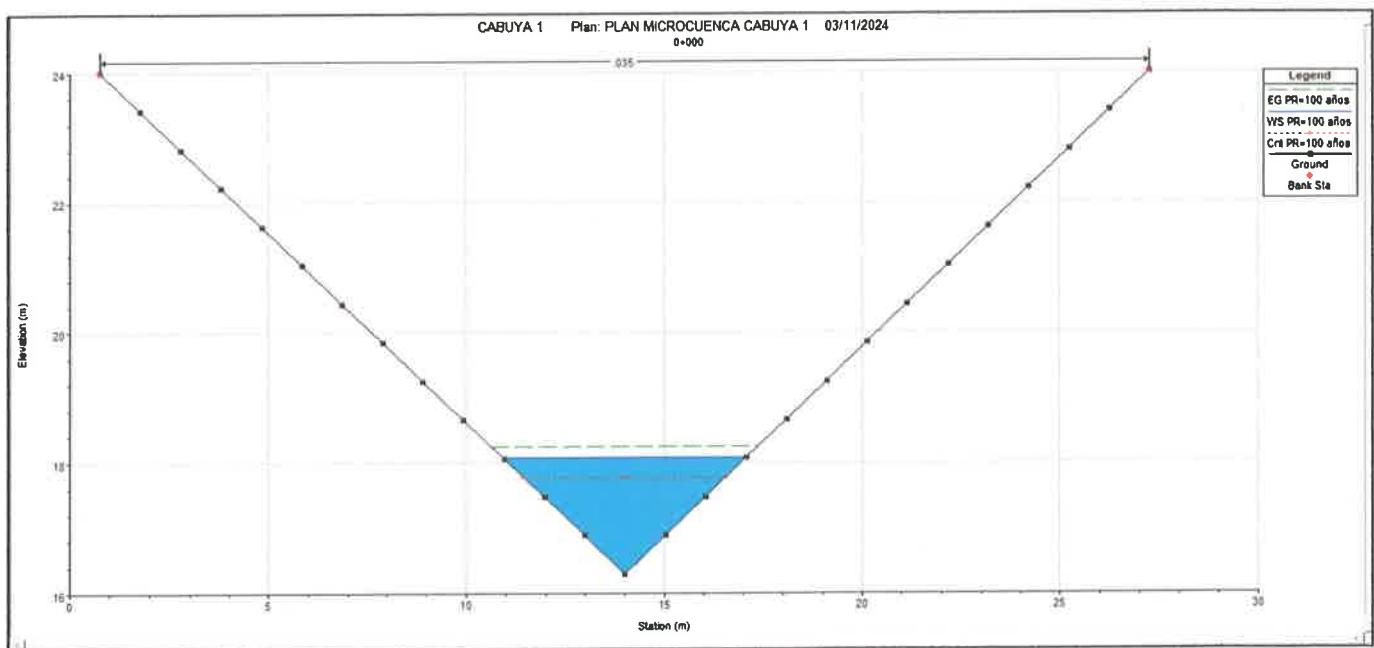


- Pico máximo de descarga simulado:  $10.2 \text{ m}^3/\text{s}$

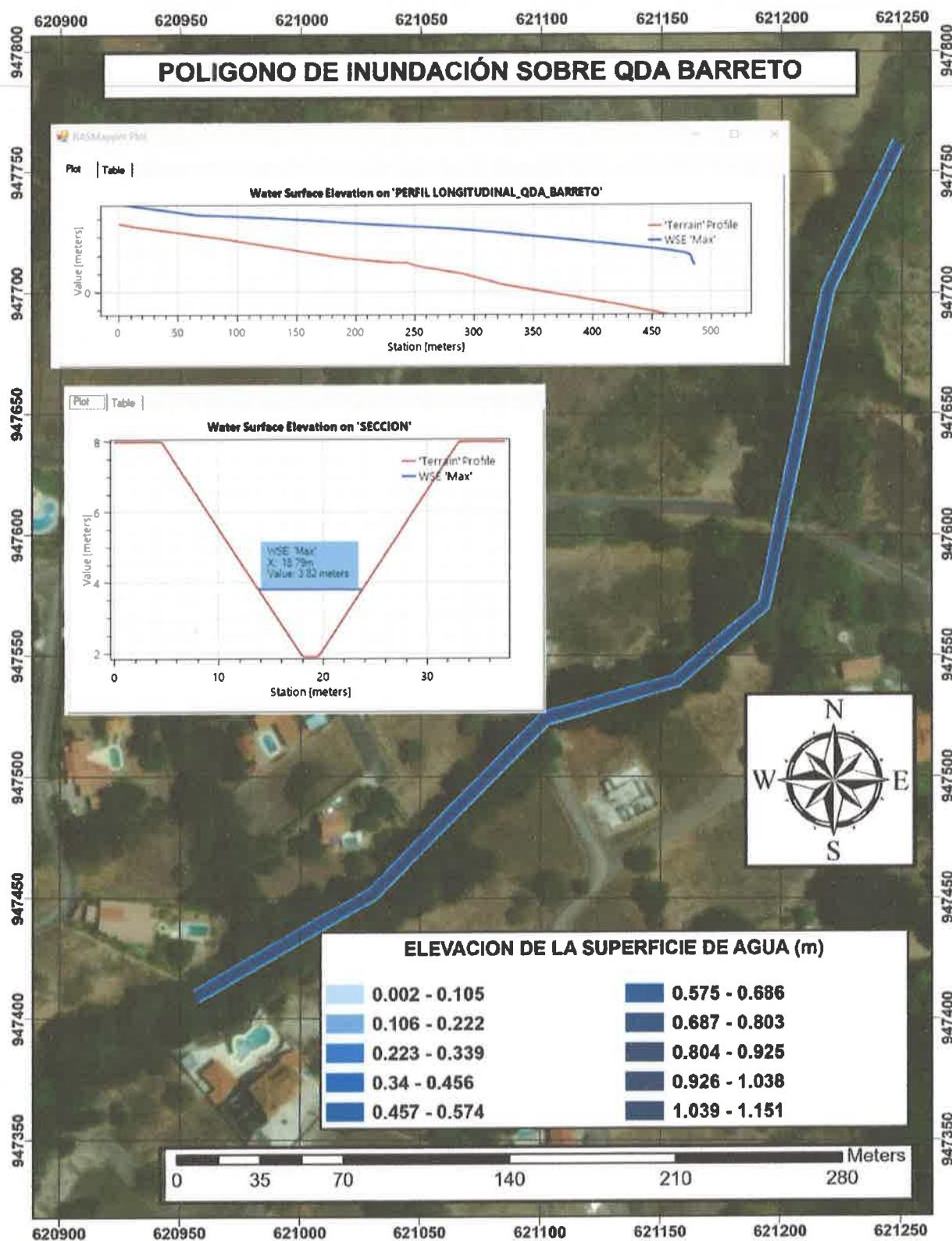
- Perfil de perspectiva del lecho simulado (Tr: 100 años)



- Vista de la sección transversal simulada. Tr: 100 años



❖ LLANURA CON SIMULACIÓN HIDROLÓGICA SOBRE LA SUPERFICIE DEL TERRENO EN EL ÁREA DE INFLUENCIA.



## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El caudal máximo calculado, expresado en la simulación de la escorrentía de la microcuenca como “*Pico máximo de descarga simulado*”, el cual para este estudio hidrológico fue de 10.2 m<sup>3</sup>/s puede ser tomado en cuenta para el diseño de las obras civiles a realizarse, como es el caso de vados, puentes o futuros proyectos de ingeniería civil, siempre y cuando las obras civiles no desvíen el cauce natural y las obras de contención correspondan a muros, empotramiento de cauces, cajones de concreto, etc, según el diseño de los Ingenieros civiles y arquitectos del proyecto a ejecutarse. Es decir que, para todas las obras de diseño, se deberá emplear el caudal pico máximo de descarga calculado mediante los softwares de simulación HEC – HMS 4.0 y HEC – RAS 6.3.1, más un 27% de probabilidad de excedencia (Según especificaciones técnicas de diseño de puentes). Para las obras civiles de encauce, de forma general, se pueden emplear gaviones galvanizados rellenos de piedras, con una adecuada cimentación que soporte las crecidas por presentarse. La obra civil, que incluya los sistemas de contención de la máxima crecida posible debe ser calculada con el caudal máximo de ocurrencia presentado en este informe, y tomando en cuenta estudios topográficos, de batimetría, cálculo de taludes, etc, para el diseño de las obras civiles (Muros, gaviones, etc.). Se recomienda mantener las condiciones naturales del cauce original, principalmente el ancho de la ribera o banco del cauce junto con su cresta máxima de desbordamiento. En caso de realizarse obras civiles que ameriten encauzar el afluente estudiado, se debe evitar la reducción del área efectiva de descarga, para que la avenida o escorrentía fluya con naturalidad. Evitar la acumulación de tierra, restos de vegetación, caliche u otro material que obstruya el cauce estudiado, así como la reducción del ancho del cauce, en forma de garganta para evitar las obstrucciones por escombros de arrastre del tramo alto del curso intermitente durante las crecidas. A su vez, se debe prohibir la construcción de viviendas, comercios, bodegas u otra obra civil sobre el lecho del cauce y su cresta de desbordamiento en el sitio de intervención. En la

sección de ANEXOS se presentan los registros de salida de los resultados de la simulación mediante el software HEC – RAS 6.3.1, como velocidad del flujo, elevación de la cota de la cresta, caudal total, ancho del cauce y ancho crítico de anegamiento en caso de inundación. Se pueden realizar estudios de infiltración y percolación efectiva en el terreno previo a la construcción de la obra civil, para conocer el perfil de humedad del suelo y así poder determinar la compactación y firmeza del terreno a construir.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Aguilar, N. 2011. Métodos para el cálculo de la ETP. Guía de Laboratorio para el curso de Hidrología. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 10p.
- ARCGIS 10.8. Comandos de procesos: DEM (Digital Elevation Model), KML to Shape, Ortho Mapping y bases de datos de *imagery* del ESRI de ARCGIS.
- Atlas Ambiental de la República de Panamá, 2010.
- Atlas Geográfico Nacional de Panamá, 2007. Instituto Nacional Tommy Guardias. Panamá. Consultado el 02-02-2024, a las 05:00 a.m.
- Concepción, Y. 2021. Study of the underground hydraulic connection in water harvesting systems and its effect on the water regime in Dudaim Forest, Beersheba, Israel. Ben Gurion University of the Negev. Midreshet, Ben Gurion, Israel.
- ETESA, 2023. Registros históricos de los caudales promedios mensuales, de la estación meteorológica del Río Antón – Interamericana (136-01-01).
- ETESA, 2008. Resumen Técnico. Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá Periodo 1971-2006.
- Holdridge, L. Ecología basada en Zonas de Vida. Quinta revisión 1996: Costa Rica. Servicio editorial e imprenta IICA, S.A. 216 págs.
- Mapas Topográficos 1:50,000 hoja topográfica CHAME. Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.
- MEAD INSTRUMENTS CORPORATION, 2010. Curva de calibración de equipos de aforo por vadeo.

- MIAMBIENTE, 2024. Dirección de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas. Mapa de delimitación de la cuenca Hidrográfica N°138, Cuenca Hidrográfica del Río Chame.
- McKay, 2000. Clasificación de climas de Panamá.
- Monteith J.L. (1981) Evaporation and surface temperature. Quarterly J.Royal Meteo. Soc.107:1-27.
- Monteith and Penman (1965). Evaporation and the environment. In: The State and Movement of Water in Living Organisms. XIXth Symposium. Soc. for exp. Biol., Swansea. Cambridge University Press. pp. 205-234.
- OEA, 2002. Balance Hídrico para Panamá.
- Resolución N° DM 0431 – 2021 del 16 de agosto de 2021, “*Por la cual se establecen los requisitos para la autorización de las obras en cauces naturales en la República de Panamá y se dictan otras disposiciones*”.
- Resolución AG-0145- 2004 “QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA SOLICITAR CONCESIONES TRANSITORIAS O PERMANENTES PARA DERECHO DE USO DE AGUAS Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES”.
- SINAP, MIAMBIENTE, 2023. Mapas de áreas protegidas de Panamá.
- Soil Conservation Service USA. Hidrograma SCS.
- Software de uso libre **HEC – HMS 4.0**.
- Software de uso libre **HEC – RAS 6.3.1**.
- Theis, 1935. Recent advances in ground-water hydrology, First C.V. Theis Symposium: American Institute of Hydrology; p. xix-xxi.

## 7. ANEXOS

### 7.1. REGISTROS DE SALIDA DE LA SIMULACIÓN

- **MICROCUENUCA DE ESTUDIO. QUEBRADA BARRETO.**

Plan: 01 Quebrada princip Tramo objetivo RS: 0000 Profile: PR=100 años					
E.G. Elev (m)	18.25	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.18	Wt. n-Val.		0.035	
W.S. Elev (m)	18.07	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	17.78	Flow Area (m2)		5.44	
E.G. Slope (m/m)	0.006111	Area (m2)		5.44	
Q Total (m3/s)	10.20	Flow (m3/s)		10.20	
Top Width (m)	6.13	Top Width (m)		6.13	
Vel Total (m/s)	1.87	Avg. Vel. (m/s)		1.87	
Max Chl Dpth (m)	1.77	Hydr. Depth (m)		0.89	
Conv. Total (m3/s)	130.5	Conv. (m3/s)		130.5	
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		7.08	
Min Ch El (m)	16.30	Shear (N/m2)		46.05	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		86.29	
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			