

# ESTUDIO HIDROLÓGICO

**MICRO CUENCA: QUEBRADA PEÑA – PROYECTO CALLE DE ACCESO AL PARQUE EÓLICO SANTA CRUZ.**

Lugar:

EL PIRAL – CHURUQUITA CHIQUITA  
DISTRITO DE PENONOMÉ - PROVINCIA DE COCLÉ  
EN LA REPÚBLICA DE PANAMÁ.

**ELABORADO POR: ING. ALPIDIO FRANCO**

**IDONEIDAD #: 5,438-06**

**JULIO 2021**

  
CONSEJO TÉCNICO NACIONAL  
DE AGRICULTURA  
ALPIDIO FRANCO P.  
ING. AGRÍCOLA C/OR.  
EN N. DE C. HIDRÓG.  
IDONEIDAD: 5,438-06 \*



## INTRODUCCIÓN:

La hidrología y climatología de influencia de la Quebrada Peña que se localiza en el área de influencia de la calle de acceso al Parque Eólico Santa Cruz, se encuentra comprendida en este estudio, con el propósito de caracterizar las variables climatológicas e hidrológicas que definen el comportamiento y tendencias que se presentan durante el ciclo hidrológico para el área de la micro cuenca de la Quebrada Peña.

### Conceptos Generales:

**-Área de Drenaje:** Área en km<sup>2</sup> de la superficie terrestre drenada por un único sistema pluvial.

**-Cuenca:** Para este documento se refiere a la cuenca principal o base (“#134 río Grande”) en la que se ubica el Proyecto

**-Micro Cuencas de estudio:** Se refiere al área de drenaje delimitada en estudio, hasta el sitio próximo al Proyecto. También se le puede llamar Cuenca de Aportación.

**-Proyecto:** Se refiere al Proyecto de calle de acceso al Parque Eólico Santa Cruz

**-Traslado de Caudales:** Metodología comúnmente utilizada en hidrología para estudiar numéricamente los valores de caudales registrados por una estación cercana en un sitio o punto de interés de la misma micro cuenca o vecinas con características hidrológicas similares.

## 1. UBICACIÓN EXACTA DEL PROYECTO.

### 1.1 MAPA DE LOCALIZACIÓN REGIONAL DEL PROYECTO

La ubicación político-administrativa corresponde al Corregimiento de Pajonal en el Distrito de Penonomé, Provincia de Coclé, en la República de Panamá.

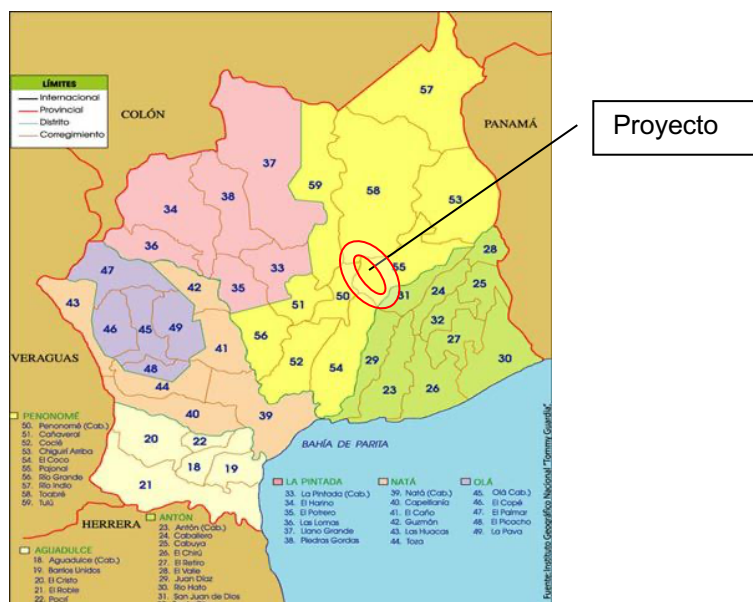


Figura #1. Mapa de ubicación geo-política del proyecto.

La ubicación del Proyecto se describe así: Para llegar al sitio se deberá ir desde la Interamericana hasta el poblado de Churuquita Chiquita y seguir hacia el Rincón de Las

Palmas recorriendo unos 1100 metros hasta llegar a la entra de un camino a mano derecha, se sigue por este hasta recorrer unos 1750 metros, pasando la Quebrada Peña se encuentra la entrada a otro camino a mano derecha, contiguo a esta entrada estará la calle de acceso al proyecto en un recorrido noroeste de unos 1100 metros, interceptando a su paso un tributario y el cauce más largo de la Quebrada Peña.



**Figura #2. Ubicación: imagen satelital del Proyecto y su cruce con las 2 Fuentes Hídricas en estudio.**

## 1.2 MAPA (HOJA TOPOGRÁFICA) A ESCALA 1:50,000

### Hoja Topográfica: “PENONOME” # 4141-IV DEL IGNTG

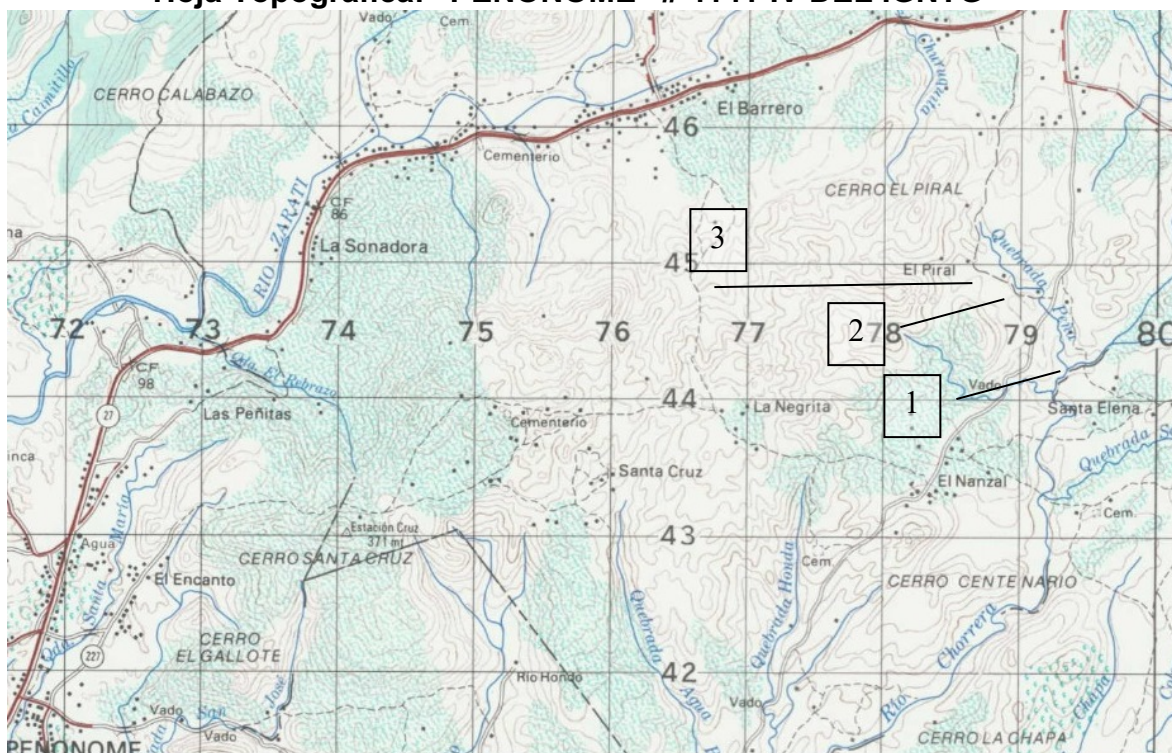


Figura #3. Mapa de localización del Proyecto (Hoja 1:50,000 de Tommy Guardia).

CUADRO 1. PUNTO DE INTERES E INFLUENCIA EN EL MAPA DE LOCALIZACIÓN 1:50,000

# en el mapa	LUGAR	COORDENADAS (UTM)	ELEVACIÓN Aproximada (M.S.N.M.)
1	Desembocadura de la Quebrada Peña en la Quebrada Chorrera	579391 mE 944437 mN	129
2	Punto de intercepción de tributario de la Quebrada Peña con la Calle del Proyecto	578784 mE 945013 mN	165
3	Punto de intercepción del cauce más largo de la Quebrada Peña con la Calle del Proyecto	578439 mE 945218 mN	202

Datum de Localización aproximada: WGS 84

## 1.2 Descripción General de la Cuenca en la que se ubica el Proyecto:

La cuenca del río Grande se encuentra localizada en la vertiente del Pacífico, al sureste de la provincia de Coclé entre las coordenadas 8°11' y 8°43' de latitud norte y 80°7' y 80°53' de longitud oeste.

El área de drenaje total de la cuenca es de 2515 km<sup>2</sup> hasta la desembocadura al mar y la longitud del río principal es de 94 km. La elevación media de la cuenca es de 150 msnm, y el punto más alto se encuentra en la cordillera central con una elevación máxima de 1448 msnm.

## 2. DEFINICIÓN DEL RÍO PRINCIPAL

El cauce principal de la cuenca # 134 denominada río Grande tiene como río principal el río Grande y tiene una longitud aproximada de 94 km.

**La Quebrada Peña** se encuentra dentro de la Cuenca 134 y tiene una longitud aproximada de 2400 metros desde su nacimiento hasta su desembocadura en la Quebrada Chorrera, la cual a su vez es un afluente del río Chorrera que desemboca en el Océano Pacífico.

### 2.1 Área de drenaje:

**Micro Cuenca del Proyecto:** Se define como la delimitación fisiográfica del área de drenaje tomando en cuenta el cauce principal, sus afluentes, curvas de nivel, parteaguas y drenajes pluviales. El área de drenaje de la micro cuenca de estudio es de 1.27 km<sup>2</sup>



Figura #4. Mapa con el área de drenajes de la micro cuenca del proyecto.

### 3. CAUDALES (de referencia en base a la estación hidrométrica más cercana)

El caudal es el volumen de agua que pasa a través de una sección transversal del río en la unidad de tiempo. El caudal medio diario es el volumen de agua que pasa a través de una sección transversal del río durante el día dividido por el número de segundos del día, mientras que el caudal medio mensual es la media aritmética de los caudales medios diarios del mes.

#### 3.1 Recopilación, verificación y validez de la información (metodología utilizada)

Según las bases técnicas y en el caso de este estudio se verificó la calidad de la estadística disponible efectuando su homogenización, relleno y extensión, utilizando los métodos hidrológicos convencionales para un período mínimo de 15 años consecutivos con una antigüedad de la estadística recopilada que no supera los últimos 20 años. A las series con datos faltantes se les denomina series originales, ya que no han sido rellenas ni alteradas desde su generación por parte del personal encargado del manejo de las estaciones hidrométricas.

Para el análisis de caudales se utilizaron una serie homologada de 43 años a partir del año 1969 hasta el año 2017 (información disponible), certificada por ETESA.

Para el caso del presente estudio, la información recopilada para generar los resultados objeto del análisis hidrológico, incluye:

Datos de Caudales Promedios Mensuales de Estación Cañaveral, río Coclé del Sur (134-03-01)

#### Estación Hidrológica Cañaveral, Río Coclé del Sur:

Localizada en la margen izquierda del río, a aproximadamente 500 metros aguas arriba del cruce del camino que va de Cañaveral a la población de Cermeño, en la provincia de Coclé, distrito de Penonomé, corregimiento de Cañaveral, entre las coordenadas 8°30' Latitud Norte y 80°26' Longitud Oeste. Su elevación es de 18 msnm y el área de drenaje es de 310 km<sup>2</sup>. En Junio de 1968, fue equipada con un limnigrafo Stevens A-35

#### 3.2 Variación Mensual de los Caudales en la micro cuenca de estudio. (metodología utilizada).

La variación mensual de los caudales en el sitio del Proyecto se aprecia en las dos épocas marcadas del año hidrológico para la república de Panamá.

El caudal promedio multianual en el sitio de colindancia e influencia con el Proyecto para el período de 43 años analizados corresponde a 29 Litros/segundo (L/s)

En la determinación de los caudales promedios anuales hasta el sitio del Proyecto, se utilizó el método de la Transposición o traslado de caudales, el cual considera los caudales medios registrados en una Cuenca Base con características de vegetación y forma similares. Como cuenca base se utilizó la Estación Cañaveral – río Coclé del Sur con un área de drenaje: 310 km<sup>2</sup> y el área de drenaje de la micro cuenca de estudio hasta el sitio del Proyecto con un área de drenaje de 1.27 km<sup>2</sup>

$$Factor\ de\ área = \frac{Area\ Sub\ Cuenca\ de\ estudio}{Area\ Cuenca\ Base} * \frac{Ppt\ Sub\ de\ Cuenca\ (en\ estudio)}{Ppt\ Cuenca\ (base)}$$

**Cuadro 2.** Caudales Promedios en L/s trasladados hasta el sitio de colindancia del proyecto con la Quebrada Peña. Período: 1969- 2017.

Caudales Trasvasados al área en estudio													Promedios		
Año	Época Lluviosa								Época Seca				Prom.	Prom.	Prom.
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual	E.Lluv	E.Seca
<b>PRIMERA DÉCADA</b>															
1969	8	37	13	53	73	95	92	19	8	4	3	4	34	49	5
1970	20	51	99	81	41	79			20	9	7	8	42	62	11
1971	16	12	9	23	92	95	59	16	26	13	12	11	32	40	15
1972	6	5	4	4	11	6	5	3	8	4	3	4	5	5	5
1973	4	32	36	52	116	187	87	37	2	1	1	1	46	69	1
1974	6	13	11	22	58	133	27	10	11	6	4	3	25	35	6
1975	7	10	14	31	76	110	185	43	5	3	2	1	41	60	3
1976	3	4	5	3	16	58	15	4	15	7	4	3	11	14	7
1977	3	11	8	17	20	48	45	11	2	2	1	1	14	20	2
1978	24	25	11	18	27	58	35	25	10	8	8	10	21	28	9
Prom.	10	20	21	30	53	87	61	19	11	6	4	5	27	38	6
<b>SEGUNDA DÉCADA</b>															
1979	19	44	23	69	74	72	37	19	9	5	2	5	32	45	5
1980	4	13	12	36	28	57	72	14	11	5	2	2	21	30	5
1981	32	52	38	64	52	74	93	50	11	6	4	7	40	57	7
1982	12	20							10	6	4	5	9		6
1983	3	34	38	68	81	77	65			3	3	1	37	52	2
1985	3	7	7	24	25	54	37	19	17	17	9	3	19	22	12
1986	3	15	15	6	25	147	36	5	6	4	2	4	22	31	4
1987	5	2	14	38	13	95	20	7	2	1	1	2	17	24	2
1988	14	50	39	90	95	178	73	12	3	2	1	1	47	69	2
1989	17	26	51	26	43	30	59	61	6	4	3	2	27	39	4
Prom.	11	26	26	47	48	87	55	23	9	5	3	3	29	41	5
<b>TERCERA DÉCADA</b>															
1990	5	3	6	13	40	69	62	34	5	3	7	2	21	29	4
1991	7	9	9	13	60	37	12	7	2	1	1	2	13	19	2
1992	12	47	11	35	42	33	17	7	8	4	3	3	18	25	4
1993	3	3	3	3	46	28	63	38	44	44	44	44	30	23	44
1994	44	29	9	13	48	110	62	7	2	2	5	6	28	40	4
1995	12	33	11									1	14	19	1
2000	4	10	21	34	30	18	41	17					22	22	
2001			3	9		44							19	19	
2002			25	31	47	106							52	52	
2003		25	31										28	28	
Prom.	12	20	13	19	45	56	43	18	12	11	12	10	23	28	10
<b>CUARTA DÉCADA</b>															
2004			29	31	106			12					44	44	
2005	16	25	18	57	44	81	48	15	16	7	6	4	28	38	8
2006	6					42	110	21	8	6	6	4	25	45	6

2007	17	43	32				71		6			3	29	41	5
2008		19	49	50	36	71		24					41	41	
2009	7	30	21	32	29				12	12	10	3	17	24	9
2010	18	68	105	107	134	92	132	112			8	11	79	96	10
2011	13	110	36	43	64	76	45	40	54	19	11	11	43	53	24
2012	91	79	39	105	98	169	141	115	17	22	11	12	75	105	16
2013	10	11	56	22	52	98	45	14	5	5	9	4	28		6
Prom.	22	48	43	56	70	90	85	44	17	12	9	6	42	54	10
QUINTA DECADA															
2014	7	13	14	13	34	36	28	14	8	7	7	3	15	20	6
2015	7	7	10	10	12	16	72		9	8	4	4	15		6
2017		36	26										31	31	
Prom.	7	19	17	12	23	26	50	14	9	8	5	4	20	25	6
													Multianual		
Prom	13	27	25	37	53	78	60	26	12	8	6	5	29	40	8
Max	91	110	105	107	134	187	185	115	54	44	44	44	187	187	44
Min	3	2	3	3	11	6	5	3	2	1	1	1	1	2	1
Desv	15	22	19	26	29	44	37	26	10	8	7	7	12	9	2

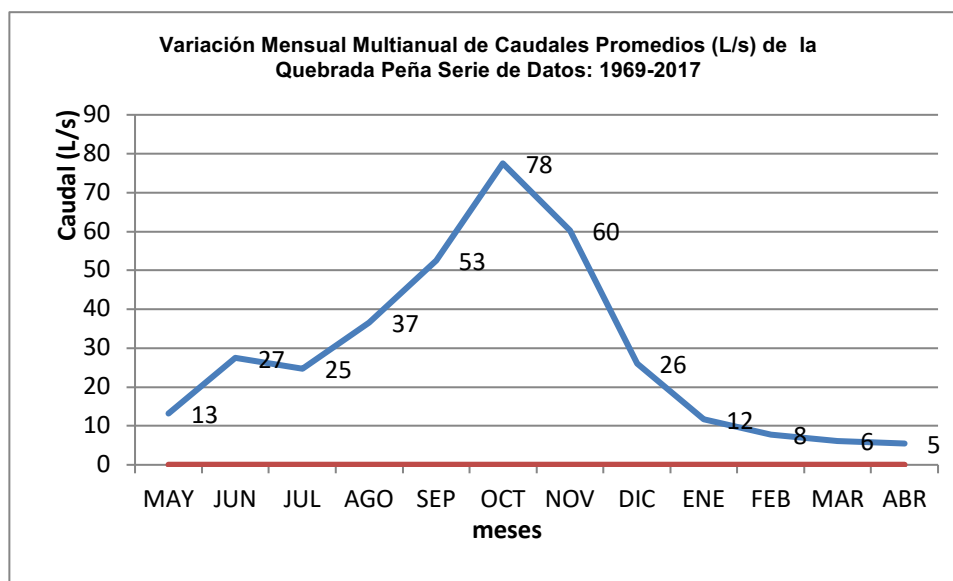


Figura #5. Gráfico de variación mensual de los caudales promedios en el sitio del proyecto

En el Cuadro 2 se puede observar el resultado completo de los valores teóricos correspondientes al traslado de caudales utilizando la metodología con factores de ajustes de área y precipitación utilizando datos confiables certificados por Etesa.

El promedio multianual de caudales promedios para 43 años de registros corresponde a **29 L/s**, con una marcada distinción de las dos estaciones características del año hidrológico en la república de Panamá: época seca (enero a abril) y época lluviosa (mayo a diciembre)

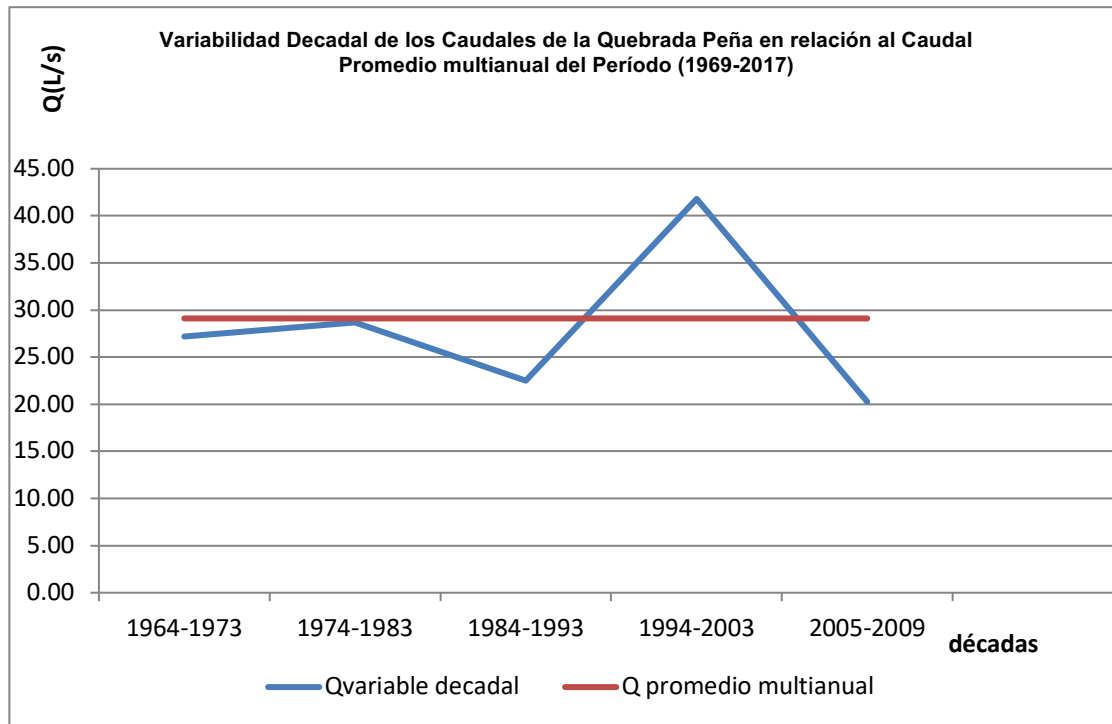


Figura #6. Gráfico de comparación de la variabilidad del caudal decadal vs el caudal promedio multianual hasta el sitio de colindancia con el Proyecto

### Curva de duración de caudales en el sitio del proyecto.

Por medio de esta curva se selecciona el caudal adecuado para el diseño de una central hidroeléctrica, es una presentación gráfica en la que se ubican en la ordenada los caudales medios de mayor a menor y en las abscisas se ubican los porcentajes de ocurrencia; se gráfica sobre este plano el caudal contra su probabilidad de ocurrencia. El mayor Caudal registrado tiene la menor probabilidad de ocurrencia y el mínimo registrado la mayor probabilidad de ocurrencia

### ***Año Hidrológico completo (Enero a Diciembre)***

La curva de duración de caudales medios para el año hidrológico completo de enero a diciembre para **la Quebrada Peña** hasta el sitio del proyecto corresponde a los valores totales mensuales para la serie de los años 1969 a 2017, observándose en la Figura #7 que los caudales más probables de entre un 75 y 90% de probabilidad corresponde a caudales medios por el orden de los **6.06 y 2.84 L/s respectivamente**



Figura #7. Curva de duración para año hidrológico (ene-dic) en el Proyecto (Quebrada Peña).

### Época Seca (Enero a Abril)

En la curva de duración (Figura #8) de caudales medios para época seca que va de enero a abril para la Quebrada Peña hasta el sitio del proyecto se puede observar que los caudales más probables de entre un 75 y 90% de probabilidad corresponde a caudales medios por el orden de los **2.63 y 1.55 L/s respectivamente**.



Figura #8. Curva de duración para época seca (ene-abr) en el Proyecto (Quebrada Peña)

### Época Lluviosa (Mayo a Diciembre)

En la curva de duración (Figura #9) de caudales medios para época lluviosa que va de mayo a diciembre para la Quebrada Peña hasta el sitio del Proyecto se puede observar que los caudales más probables de entre un 75 y 90% de probabilidad corresponde a caudales medios por el orden de los **12.36 y 5.97 L/s respectivamente**.

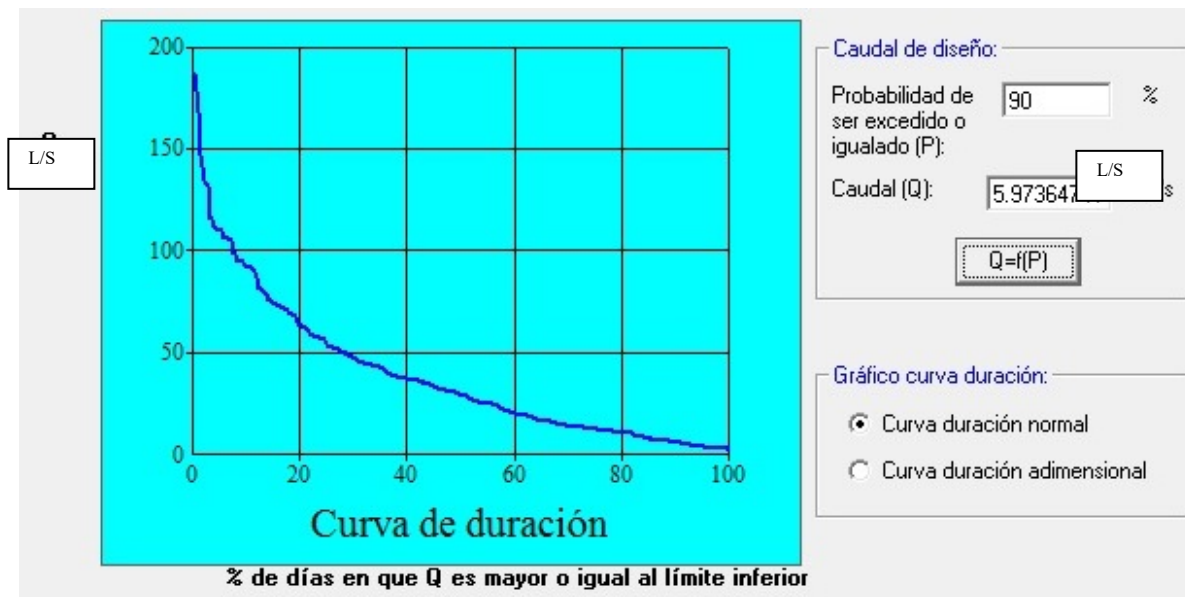


Figura #9. Curva de duración para época lluviosa (may-dic) en el Proyecto (Quebrada Peña)

### Análisis de Frecuencia.

El diseño y la planificación de obras hidráulicas están siempre relacionados con eventos hidrológicos futuros. El análisis de frecuencia de información hidrológica relaciona los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad.

Para el análisis de Frecuencia de Caudales en el Proyecto se dividió el año hidrológico en sus marcadas estaciones características: época seca y época lluviosa.

### Época Seca:

En el Cuadro 3 se presentan las probabilidades de ocurrencia de caudales promedios para la época seca producto del análisis de frecuencia, mediante el cual se compararon tres métodos comúnmente utilizados, como lo son: la Distribución Normal y Gumbel;

Se tiene que para una probabilidad de excedencia del 75% de ocurrencia segura de que ocurra un evento cada 1.33 año; los valores de los caudales promedios para este período de retorno es de 1.45 L/s para la Quebrada Peña en época seca.

**Cuadro 3.** Períodos de Recurrencia con Probabilidades, para los Caudales Promedios de época seca (ene-abr) en el Proyecto.

Probabilidad de Ocurrencia (%)	Periodo de Retorno en años	Distribución Normal Q = L/s	Gumbel Q = L/s
0.50	200	30.42	40.19
1.0	100	28.21	35.38
2.0	50	25.80	30.56
4.0	25	23.11	25.71
10.0	10	18.96	19.16
20.0	5	15.06	13.98
25.0	4	13.58	12.22
33.3	3	11.42	9.85
50.0	2	7.61	6.15
66.7	1.5	3.79	2.97
75.0	1.33	1.58	1.33
80.0	1.30	1.09	0.98
90.0	1.1	0	0

### ***Época Lluviosa:***

En el Cuadro 4 se presentan las probabilidades de ocurrencia de caudales promedios para la época lluviosa producto del análisis de frecuencia, mediante el cual se compararon tres métodos comúnmente utilizados, como lo son: la Distribución Normal y Gumbel;

Se tiene que para una probabilidad de excedencia del 75% de ocurrencia segura de que ocurra un evento cada 1.33 año; los valores de los caudales promedios para este período de retorno es de 14.27 L/s para la Quebrada Peña en época lluviosa

**Cuadro 4.** Períodos de Recurrencia con Probabilidades, para los Caudales Promedios de época lluviosa (may-dic) en el Proyecto.

Probabilidad de Ocurrencia (%)	Periodo de Retorno en años	Distribución Normal Q = L/s	Gumbel Q = L/s
0.50	200	131.48	171.00
1.0	100	122.54	151.56
2.0	50	112.77	132.05
4.0	25	101.91	112.40
10.0	10	85.09	85.91
20.0	5	69.31	64.94
25.0	4	63.32	57.84
33.3	3	54.58	48.25
50.0	2	39.16	33.27
66.7	1.5	23.74	20.40
75.0	1.33	14.79	13.75
80.0	1.30	12.78	12.34
90.0	1.1	8	7

## 4 ANÁLISIS CLIMÁTICO (Cuenca#134)

La Cuenca registra una precipitación media anual de 2046 mm, las lluvias se distribuyen gradualmente desde el centro de la cuenca con un aproximado de 3000 mm/año, hacia el litoral con 1500 mm/año. El 92% de la lluvia ocurre entre los meses de mayo a noviembre y el 7% restante se registra entre los meses de diciembre a abril.

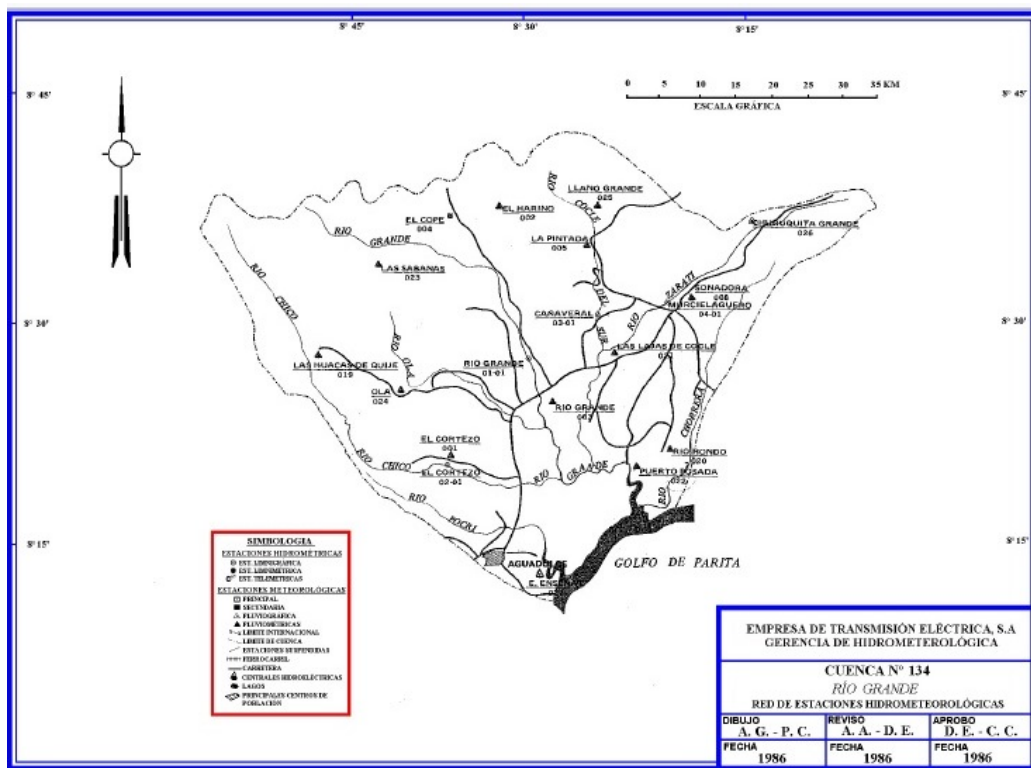


Figura #19. Mapa de red de estaciones Hidrometeorológicas de la Cuenca #134

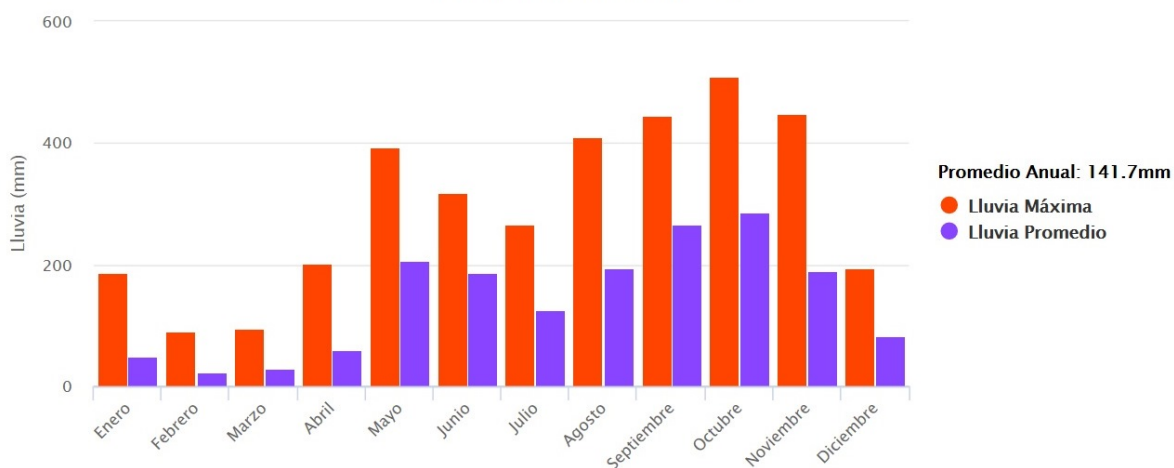
No.	CUENCA	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ELEVACIÓN MSNM	TIPO	ESTADO
025	134	Llano Grande	100	CC Tipo C Convencional	Desactiva
002	134	El Harino	185	CC Tipo C Convencional	Desactiva
005	134	La Pintada	60	CC Tipo C Convencional	Desactiva
008	134	Sonadora	168	CC Tipo C Convencional	Activa

**DATOS DE PRECIPITACIÓN DE INFLUENCIA EN EL ÁREA DE ESTUDIO DE LA MICRO CUENCA QUEBRADA PEÑA.**

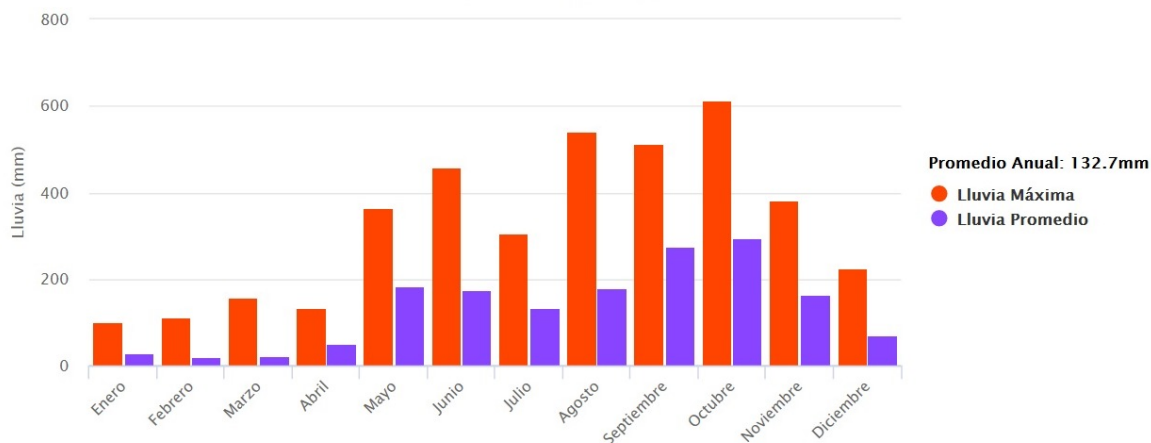
	Época lluviosa								Época seca					
ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Prom.	Total
Llano Grande 134-025	205.2	186.7	126	195.2	264.5	287	189	84	48.8	24.3	28.9	60.1	141.6	1699.7
El Harino 134-002	183.6	174.2	133.8	179	275.2	293.1	164.1	69.1	28.5	19	22.7	50.4	132.7	1592.7
La Pintada 134-005	162.1	182.8	125.7	186.9	259.8	300.6	166.7	71.9	21.6	11.5	15	44.5	129.1	1549.1
Sonadora	198.4	229.8	192.5	238.3	288.9	324.1	221.9	721	21.3	4.6	10.4	49.7	208.4	2500.9
<b>PROMEDIO</b>	187.3	193.4	144.5	199.8	272.1	301.2	185.4	236.5	30.0	14.8	19.2	51.2	152.9	1835.6

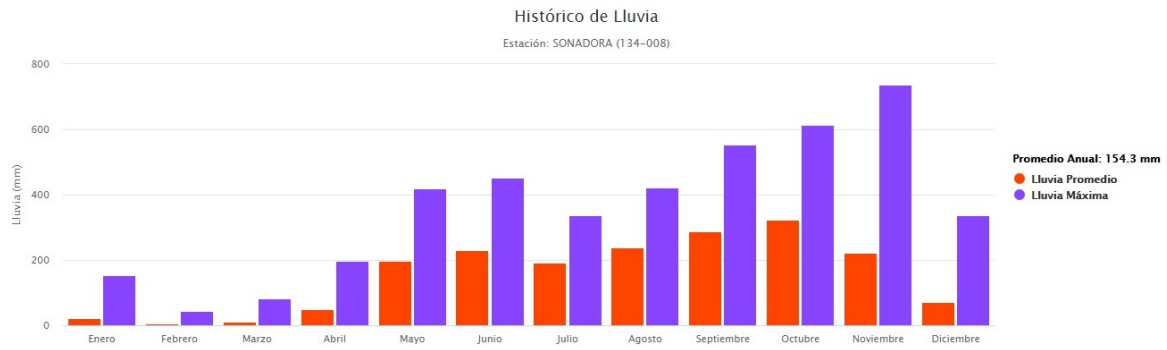
**Histórico de Lluvias**

Estación: LLANO GRANDE (134-025)



Estación: EL HARINO (134-002)





## 4.2 ISOYETAS

### Variación espacial de la precipitación. Mapa de Isoyetas en el Sitio de Estudio.

El mapa general de isoyetas para la República de Panamá presenta las líneas que unen puntos de igual precipitación, la precipitación media anual en la micro cuenca de estudio, oscila entre 125 y 150 mm mensual ó 1800 mm promedio anual

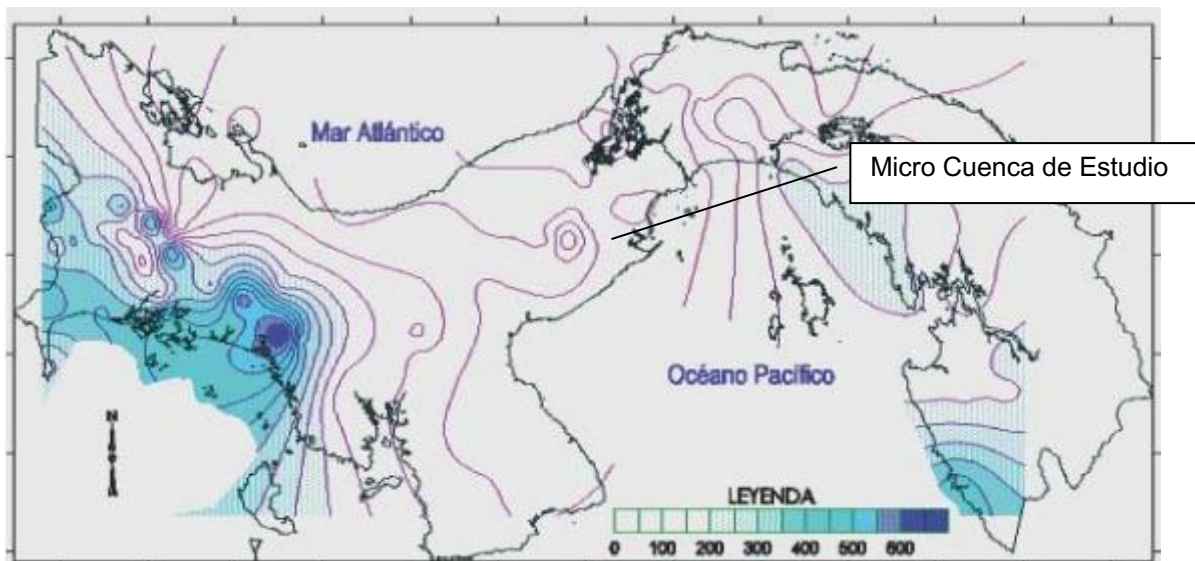


Figura #10. Mapa de isoyetas para las Micro Cuenca de estudio con influencia en el proyecto.

## 5. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO en la fuente hídrica en Estudio:

### Análisis Regional de Crecidas Máximas

Metodología que permite estimar la frecuencia de crecidas máximas que pueden ocurrir en un sitio determinado de un río. Su uso es adecuado especialmente para aquellas cuencas no controladas, ya que sólo se requiere conocer el área de drenaje de la cuenca hasta el sitio en estudio (punto de control) y su ubicación en el país (región o zona hidrológicamente homogéneas). Este análisis se basó fundamentalmente en la información de 58 estaciones limnigráficas o de registro continuo de nivel, de las cuales 49 eran operadas por el entonces IRHE y 6 por la ACP.

#### Caudal Máximo Promedio. (Según zona hidrológica)

$$Q_{\text{máx.}} = K * A^{0.59}$$

$Q_{\text{máx.}}$  = Caudal máximo promedio en m<sup>3</sup>/s.

K = Constante (depende de la región o zona)

A = Área de drenaje de la cuenca en Km<sup>2</sup> (1.27)

**Cuadro 5.** Ecuaciones para determinar crecidas máximas según zonas hidrológicamente homogéneas

ZONA (VER MAPA)	ECUACIÓN	TABLA A USAR PARA FACTOR SEGÚN Tr
1	$Q_{\text{máx.}} = 34 * A^{0.59}$	Tabla #1
2	$Q_{\text{máx.}} = 34 * A^{0.59}$	Tabla #3
3	$Q_{\text{máx.}} = 25 * A^{0.59}$	Tabla #1
4	$Q_{\text{máx.}} = 25 * A^{0.59}$	Tabla #4
5	$Q_{\text{máx.}} = 14 * A^{0.59}$	Tabla #3
6	$Q_{\text{máx.}} = 14 * A^{0.59}$	Tabla #1
7	$Q_{\text{máx.}} = 9 * A^{0.59}$	Tabla #3
8	$Q_{\text{máx.}} = 4.5 * A^{0.59}$	Tabla #3
9	$Q_{\text{máx.}} = 25 * A^{0.59}$	Tabla #3

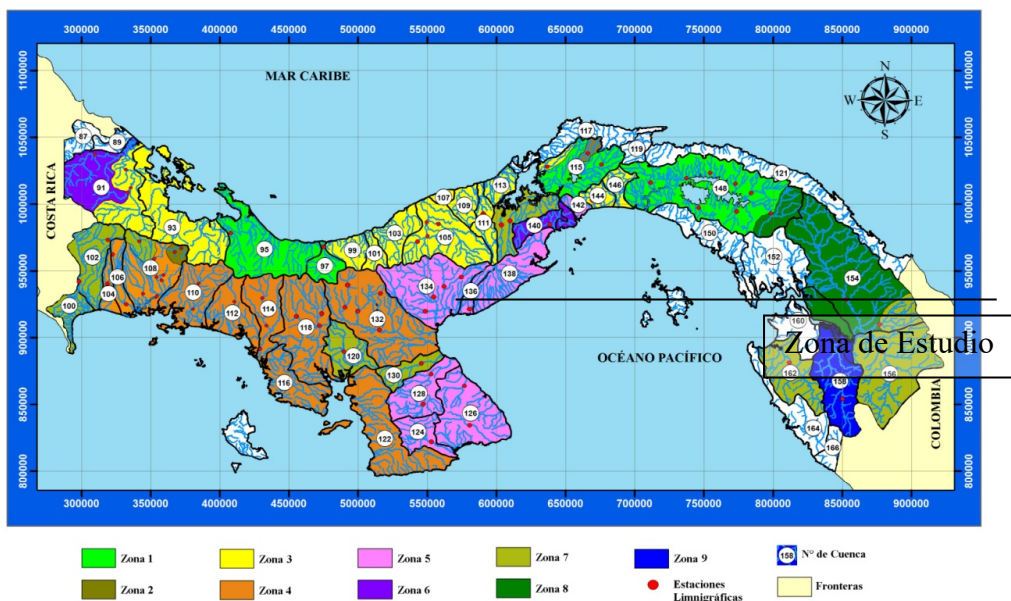


Figura #11. Mapa de Zonas Hidrológicas de Panamá

Zona Hidrológica 5 (Zona en la que se ubica la micro cuenca de estudio)

$$Q_{\text{máx.}} = 14 \cdot A^{0.59} = 14 \cdot 1.27^{0.59} = 16 \text{ m}^3/\text{s}$$

### **Caudal Máximo.**

$$Q_{\text{máx.}} = \text{Índice} (Q_{\text{máx.}})$$

$Q_{\text{máx.}}$  = Caudal máximo en  $\text{m}^3/\text{s}$

Factor = Constante (depende del período de retorno) ver Cuadro 6.

$Q_{\text{máx.}}$  = Caudal máximo promedio en  $\text{m}^3/\text{s}$

**Cuadro 6. Índices  $Q_{\text{máx.}}/Q_{\text{máx}}$  para distintos períodos de retorno ( $T_r$ )**

TR (AÑOS)	TABLA #1	TABLA #2	TABLA #3	TABLA #4
1.005	0.28	0.29	0.30	0.34
1.05	0.43	0.44	0.45	0.49
1.25	0.62	0.63	0.64	0.67
2	0.92	0.93	0.92	0.93
5	1.36	1.35	1.32	1.30
10	1.66	1.64	1.60	1.55
20	1.96	1.94	1.88	1.78
50	2.37	2.32	2.24	2.10
100	2.68	2.64	2.53	2.33
1,000	3.81	3.71	3.53	3.14
10,000	5.05	5.48	4.60	4.00

Utilizando el factor según períodos de retorno de la Tabla #3 del Cuadro 6 se tiene:

**Cuadro 7. Caudales máximos según período de retorno para la micro cuenca de estudio hasta el sitio del Proyecto.**

Factor K (Cuadro 6 – Tabla #4)	0.30	0.45	0.64	0.92	1.32	1.60	1.88	2.24	2.53	3.53	4.60
$T_r$ (período de retorno)(años)	1.005	1.05	1.25	2	5	10	20	50	100	1000	10000
Caudal máximo promedio ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
( $Q_{\text{máx.}}$ ) en $\text{m}^3/\text{s}$	<b>4.8</b>	<b>7.2</b>	<b>10.2</b>	<b>14.7</b>	<b>21.1</b>	<b>25.6</b>	<b>30.1</b>	<b>35.8</b>	<b>40.5</b>	<b>56.5</b>	<b>73.6</b>

La estimación del caudal máximo hasta la intercepción con la carretera tomando en cuenta el método Crecidas Máximas del Irhe permitió obtener valores para un período de retorno de 50 años de 35.8  $\text{m}^3/\text{s}$  para la Quebrada Peña

## 6. BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL (de la micro cuenca de estudio)

### 5.1 Estimación de la Temperatura:

El cálculo de la temperatura se hace en base a la ecuación altotérmica, la cual en base a ecuaciones estimadas por mes utiliza la elevación en el sitio de estudio

#### TEMPERATURAS EN EL SITIO DE ESTUDIO

Elevación Promedio: 172 m.s.n.m.

Meses	Temp. Media °C	T.Máx Prom °C	T.Min. Prom °C
ENERO	25.49	30.27	20.71
FEBRERO	25.94	30.98	20.92
MARZO	26.52	31.53	21.49
ABRIL	26.68	31.44	21.99
MAYO	26.31	30.49	22.13
JUNIO	25.88	29.73	21.98
JULIO	25.99	29.74	21.84
AGOSTO	25.95	29.79	22.78
SEPTIEMBRE	25.72	29.60	21.49
OCTUBRE	25.63	29.43	21.46
NOVIEMBRE	25.60	29.31	21.47
DICIEMBRE	25.63	29.81	21.13
<b>Promedio</b>	<b>25.95</b>	<b>30.18</b>	<b>21.62</b>

\* En base a las ecuaciones altotérmicas.

### 6.2 Estimación de la Evapotranspiración Potencial (ETP) y Evapotranspiración Real (ETR)

En el sistema de Zonas de Vida la Evapotranspiración Potencial es una función de la Bio-temperatura ( $T_{bio}$ ) y una constante (58.93) definida en el sistema, de acuerdo a la relación siguiente:  $ETP = 58.93 * T_{bio}$

Por lo tanto se hace necesario definir la bio-temperatura así como una manera práctica para estimarla. Por consiguiente el concepto de bio-temperatura en el sistema de Zonas de Vida se refiere al rango de temperaturas en las que el ecosistema está efectivamente fotosintetizando.

El mismo sistema de zonas de vida propone los valores de cero y treinta grados para ese rango. La lógica de estos valores es que a temperaturas por debajo de cero la actividad fotosintética está paralizada y para valores por encima de treinta la eficiencia neta de la fotosíntesis es negativa. Esto último es especialmente cierto para las especies con un sistema de fijación de carbono C3, el cual incluye a la mayoría de las especies forestales en el trópico húmedo.

Para el cálculo de la bio-temperatura los valores por encima o por debajo del rango tienen valores de cero. Por lo tanto para estimar la bio-temperatura se requiere información detallada (horaria) de la localidad o localidades de interés. Dicha información no está normalmente disponible y para poder aproximarla el mismo sistema de Zonas de Vida propone una ecuación empírica que estima una corrección para la temperatura media, mensual o anual, basada en la latitud a la que está ubicada la localidad de interés. Dicha relación se incluye a continuación:

$$T_{bio} = T - (3 * \text{Latitud} / 100) * (T - 24)^2$$

Dónde T es la temperatura en grados centígrados y la latitud se expresa en formato decimal. La relación debe aplicarse solamente a temperaturas mayores de 24 grados centígrados.

$$T_{bio} = T - (3 * \text{Latitud} / 100) * (T - 24)^2$$

$$T_{bio} = 25.95 - (3 * 8.55 / 100) * (25.95 - 24)^2$$

$$T_{bio} = 24.97$$

#### Estimación de la Evapotranspiración real anual media.

En la estimación de la **evapotranspiración potencial** anual media para la sub cuenca de estudio, se obtuvo a partir de la siguiente fórmula propuesta por Holdridge:

$$ETP = 58.93 * T_{bio}$$

Donde,

$T_{bio}$  = Biotemperatura anual media en °C. (Entre 0 y 30)

Para el cálculo de la relación de la evapotranspiración potencial (RE) se utilizó la siguiente expresión:

$$RE = ETP / Ppt$$

Donde,

RE = Relación de Evapotranspiración potencial (mm)

ETP = Evapotranspiración potencial anual media (mm)

Ppt = Precipitación Anual media.(mm)

El valor de RE entra al nomograma para el cálculo del movimiento de agua en las asociaciones climáticas y se obtiene el factor F que es la relación entre la ETR y la ETP. Del nomograma de Holdridge (ICE, Costa Rica) se obtienen las siguientes expresiones analíticas para el factor F.

$$F = ETR / ETP$$

$$F = 7.4617 (RE)^3 - 10.46 (RE)^2 + 4.63 (RE) + 0.273; \text{ para } RE = (0.026 \leq RE < 0.45)$$

Finalmente se obtiene la ETR, de la siguiente expresión:

$$ETR = F * ETP$$

Donde,

F = Factor de relación ETP y ETR

ETP = Evapotranspiración potencial anual media (mm)

ETR = Evapotranspiración real anual media (mm)

**Cuadro 8.** Estimación de la Evapotranspiración Real anual media en la cuenca de estudio.

Variable	Micro Cuenca de estudio
Climática	T = 25.95 °C
T bio	24.97
Ppt	1835 mm
ETP	1471 mm
RE	0.39
F	0.93
ETR	1368 mm

Llamamos escorrentía a la lámina de agua que circula en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros de agua de lluvia escurrida y extendida uniformemente. Normalmente se

considera como la precipitación menos la evapotranspiración real. Para el cálculo del balance hídrico medio de la Micro Cuenca de Estudio (hasta el Proyecto), se utilizó la siguiente ecuación simplificada:

$$\langle Q \rangle = \langle P \rangle - \langle ETR \rangle$$

Donde,

**Q = Escorrentía anual media (mm/año)**

**P = Precipitación Anual promedio (mm/año)**

**ETR = Evapotranspiración real media (mm/año)**

$$\langle Q \rangle = 1835 \text{ mm/año} - 1368 \text{ mm/año}$$

$$\langle Q \rangle = 1010 \text{ mm/año}$$

**Q promedio Multianual:  $0.029 \text{ m}^3/\text{s} = 720 \text{ mm}$  para un área de  $1.27 \text{ km}^2$  (micro cuenca de estudio)**

**Coefficiente de escorrentía de la micro cuenca de estudio: 0.40**

**Rendimiento:  $23 \text{ L/s/Km}^2$**

## CONCLUSIONES

La Quebrada Peña mide aproximadamente 2400 metros, desde su nacimiento hasta su desembocadura en la Quebrada Chorrera, mantiene un caudal promedio multianual de 29 Litros /seg, teniendo un promedio 40 L/seg en época lluviosa y 8 L/seg en época seca.

La Quebrada Peña es un afluente de la Quebrada Chorrera y esta a su vez del río Chorrera, para el proyecto de calle de acceso al Parque Eólico Santa Cruz, la misma puede tener influencia en un tributario menor de la misma cerca de su nacimiento y en un punto el cauce o brazo más largo de la Quebrada Peña.

La micro de la Quebrada Peña hasta el sitio de estudio presenta una precipitación promedio multianual de 1800 mm/año, con un escurrimiento entre los 700 y 1000 mm/año en promedio.

Para un periodo de retorno de 50 años la Quebrada Peña mantiene un caudal teórico máximo de  $36 \text{ m}^3/\text{s}$ .