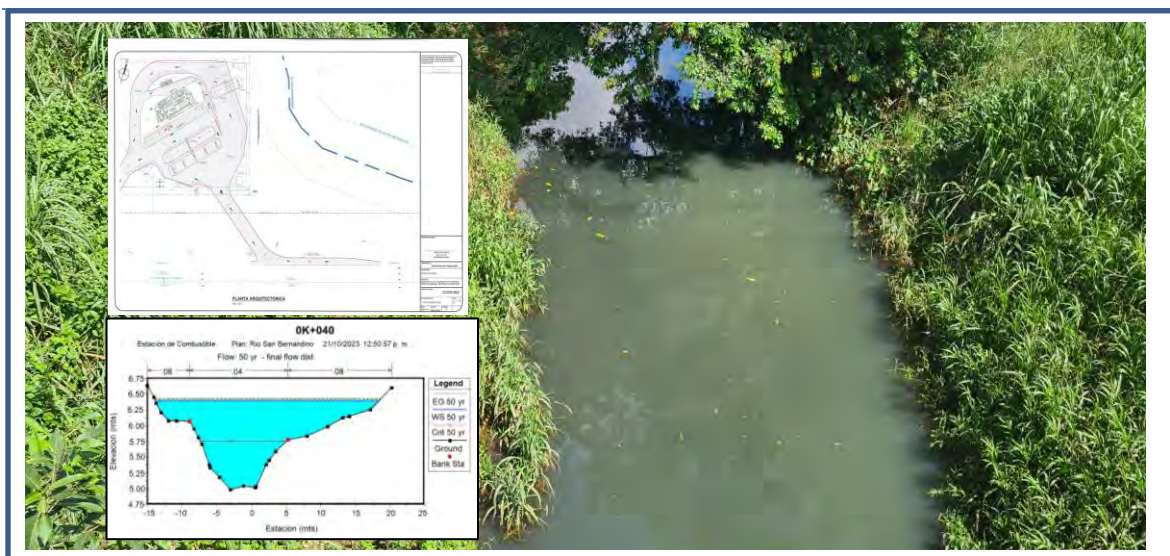


**ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNARDINO,
COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE
CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1**



**CORREGIMIENTO JUAN DEMOSTENES AROSEMENA,,DISTRITO DE
ARRAIJAN ,PROVINCIA DE PANAMA OESTE**

**Solicitado por
PETROLERA NACIONAL S.A.**

**Presentado por:
LANDSTAR DEVELOPMENT CORP.**


Ing Eberto Anguizola M.
Representante Legal
LANDSTAR DEVELOPMENT CORP


RODOLFO NAVAS LASSO
Ingeniero Civil
2014-006-219

RODOLFO NAVAS LASSO
INGENIERO CIVIL
Licencia N° 2014-006-219

FIRMA
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnico de Ingeniería y Arquitectura

Octubre 2023

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP.	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
---	--	---

Indice General

	Pág.
1.0 Introducción	2
2.0 Ubicación Geográfica.....	3
3.0 Topografía del Área de Influencia del proyecto.....	6
4.0 Característica de la Cuenca N°140.....	7
5.0 Aspectos Climáticos.....	7
5.0.1 Clasificación del Clima (Según Köppen y Mckay)	8
5.0.1.1 Clasificación del Clima Según Köppen.....	8
5.0.1.2 Clasificación del Clima Según Mckay.....	9
5.0.2 Cambio Climático.....	10
5.1 Temperatura.....	11
5.2 Humedad Relativa.....	12
5.3 Brillo Solar.....	13
5.4 Calculo de Evapotranspiración.....	14
5.5 Análisis de los Vientos	17
6.0 Precipitación	20
6.1 Determinación de las Tormentas para Niveles Seguros.....	25
6.1.1 Intensidad Duración Frecuencia.....	25
7.0 Caudales.....	39
7.1 Metodología del Calculo Caudales.....	40
7.2 Caudales Rio San Bernandino.....	41
7.3 Caudales Máximos.....	41
7.4 Cálculos Hidráulicos.....	46
7.5 Simulación Hidrológica e Hidráulica.....	46
8.0 Cálculo e Niveles de Terracería.....	51
9.0 Conclusiones y Recomendaciones	53
10.0 Bibliografía	55

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP.	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
---	--	---

Índice de Mapas

	Pág.
Mapa N°1 Área de Drenaje del Rio San Bernandino hasta el Proyecto	5
Mapa N°2 Topografía del Área de Influencia del proyecto	6
Mapa N°3 Zonas Hidrológicamente Homogéneas	42

Indice de Planos

Plano N°1: Planta de Proyecto Estación de Combustible	3
Plano N°2: Planta del proyecto respecto al Rio San Bernandino	4

Índice de Ilustraciones

Ilustración N°1 Rosa de los Vientos (Seca)	19
Ilustración N°2 Rosa de los Vientos (Lluviosa)	19

Índice de Cuadro

Cuadro N°5-1: Parámetros de SDSM Cambio Climático	10
Cuadro N°5-2 Humedad relativa Estación Caimito	13
Cuadro N°5-3 Porcentaje de Brillo Solar	14
Cuadro N°5-4 Calculo de Evatranspiración	17
Cuadro N°5-5 Velocidades de los Vientos (Calculada)	18
Cuadro N°5-6 Velocidad Media del Viento según su Dirección	18
Cuadro N°5-7 Información Estación Caimito	39
Cuadro N°5-8 Caudales Máximos Mínimo y Promedio (Base)	40
Cuadro N°5-9 Caudales Máx., Min, Prom (Rio San Bernandino)m3/s	41
Cuadro N°5-10: Aplicación de Zona Ecuación	43
Cuadro N°5-11 Distribución y frecuencia	43
Cuadro N°5-12 Valor de la tabla	44
Cuadro N°5-13 Caudales Máximos Instantáneo Rio San Bernandino	45

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP.	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
---	--	---

Índice de Gráficos

	Pág.
Gráfico N°5-1 Temperaturas Promedios Estación Caimito.....	11
Gráfico N°5-2 Temperaturas (Máxima) Estación Caimito.....	12
Gráfico N°5-3 Precipitación Estación Caimito.....	22
Gráfico N°5-4 Precipitación Cambio Climático Estación Caimito.....	24
Gráfico N°5-5 Precipitación Promedio 2022 Estación Caimito.....	24
Gráfico N°5-6: Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Enero (1-15)-140-005.....	27
Gráfico N°5-7 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Enero (16-31) 140-005.....	28
Gráfico N°5-8 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Febrero (1-15)-140-005.....	28
Gráfico N°5-9 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Febrero (16-28) 140-005.....	29
Gráfico N°5-10 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Marzo (1-15)-140-005.....	29
Gráfico N°5-11 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Marzo (16-31) 140-005.....	30
Gráfico N°5-12 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Abril (1-15)-140-00.....	30
Gráfico N°5-12 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Abril (16-30) 140-005.....	31
Gráfico N°5-14 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Mayo(1-15)-140-005.....	31
Gráfico N°5-15 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Mayo (16-31) 140-005.....	32
Gráfico N°5-16 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Junio(1-15)-140-005.....	32
Gráfico N°5-17 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Junio(16-30) 140-005.....	33
Gráfico N°5-18 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Julio(1-15)-140-005.....	33
Gráfico N°5-19 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Julio (16-31) 140-005.....	34
Gráfico N°5-20 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Agosto(1-15)-140-005.....	34
Gráfico N°5-21 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Agosto (16-31) 140-005.....	35
Gráfico N°5-22 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Septiembre (1-15)-140-005..	35
Gráfico N°5-23 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Septiembre (16-30) 140-005..	36
Gráfico N°5-24 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Octubre (1-15)-140-005.....	36
Gráfico N°5-25 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Octubre (16-31) 140-005....	37
Gráfico N°5-26 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Noviembre (1-15)-140-005...	37
Gráfico N°5-27 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Noviembre (16-30) 140-005..	38
Gráfico N°5-28 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Diciembre (1-15)-140-005...	38
Gráfico N°5-29 Precipitación (Prom) Gumbel Tipo I Diciembre (16-31) 140-005..	39

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP.	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
---	--	---

Índice de Imágenes

	Pág.
Imagen N°7-1 Secciones Simuladas	47
Imagen N°7-2 Sección 0K+000 del Rio San Bernandino.....	48
Imagen N°7-3 Sección 0K+020 del Rio San Bernandino.....	49
Imagen N°5-4 Sección 0K+040 del Rio San Bernandino.....	49
Imagen N°5-5 Sección 0K+060 del Rio San Bernandino.....	50
Imagen N°5-6 Sección 0K+080 del Rio San Bernandino.....	50
Imagen N°5-7 Sección 0K+120 del Rio San Bernandino.....	51

Tablas

Tabla N°1: Valores de Precipitación Estación Caimito 1992-2022.....	23
Tabla N°2: Resumen de Precipitación Estación Caimito 1992-2022.....	23

Siglas Utilizadas Primaras

CRRH	Comité Regional de Recursos Hídricos
IMHPA	Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá
ETP	Evapotranspiración Potencial
ETR	Evapotranspiración Real
FODA	Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas
GTZ	Cooperación Técnica Alemana.
PARCA	Plan Ambiental de la Región Centroamericana
PRRD	Plan Regional de Reducción de Desastres
SIG	Sistemas de Información Geográfica

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP.	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RÍO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
---	--	---

Definición de Términos

Aforo (de caudales): medición del caudal de un río o corriente.

Área (cuenca) de drenaje (hidrográfica): área que tiene una salida única para su escurrimiento superficial.

Caudal: volumen de agua que pasa a través de una sección transversal del río en la unidad de tiempo.

Acuífero. Material permeable a través del cual se mueve el agua del subsuelo.

Agua freática. Agua subterránea dentro de la zona de saturación.

Agua del subsuelo Agua que está bajo la superficie del terreno; también se conoce como agua subterránea.

Caudal máximo instantáneo: valor máximo de caudal registrado instantáneamente en un período determinado. Este período puede ser un mes, un año o todo el registro.

Caudal mínimo diario: caudal promedio diario más bajo registrado en un mes, un año o todo el registro.

Caudal promedio diario: volumen de agua que pasa a través de una sección transversal del río durante el día dividido por el número de segundos del día.

Código de la estación: número regional de las estaciones hidrológicas establecido a través del Proyecto Hidrológico Centroamericano (PHCA) de las Naciones Unidas (1968-1972)

Cuenca hidrográfica: superficie de la tierra en la que confluyen los distintos ríos y corrientes de agua en un río principal y que está limitada por un parteaguas o divisoria que coincide generalmente con la línea más alta de las montañas.

Elevación: distancia vertical entre un nivel, punto u objeto y una referencia especificada.

Escorrentía: volumen de agua que pasa por una sección de un río o corriente durante un período de tiempo. El período de tiempo generalmente usado es de un mes o un año.

Estación fluviográfica: estación para la determinación de caudales por medio del registro continuo de los niveles de agua de un río en forma digital y gráfica.

Estación hidrométrica: estación en la cual se obtienen datos del agua, en los ríos, lagos o embalses, de uno o varios de los elementos siguientes: niveles, flujos de las corrientes, transporte y depósito de sedimentos, temperatura del agua y otras propiedades físicas y químicas del agua.

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP.	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	--

Estación limnigráfica: estación que registra continuamente los niveles de agua de un lago o embalse en forma digital y gráfica.

Estación meteorológica: Lugar en el que se efectúan observaciones meteorológicas con la aprobación del miembro o miembros interesados de la Organización Meteorológica Mundial (OMM)

Estación meteorológica principal (Tipo A): mide lluvia (cantidad, duración e intensidad), temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica, vientos (velocidad y dirección), radiación solar, evaporación y temperaturas del suelo.

Estación meteorológica secundaria (Tipo B): mide lluvia (cantidad, duración e intensidad), temperaturas extremas, humedad relativa (07:00, 13:00 y 18:00 hrs)

Estación pluviográfica: estación en la que sólo se realizan observaciones continuas acerca de las precipitaciones.

Hidrograma: gráfica que muestra la variación del nivel, caudal, velocidad o de otras características de las corrientes de agua, con respecto al tiempo.

Nivel del agua: distancia de la superficie del agua de una corriente, lago o embalse con relación a un nivel de referencia determinado..

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
---	--	--

**ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN
BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO
ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE
CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1**

**Solicitado por:
PETROLER NACIONAL S.A.**

OCTUBRE 2023

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
---	--	--

1.0 Introducción

La República de Panamá, al igual que los países centroamericanos, de manera recurrente y con periodicidad inexacta, se ve afectada por anomalías climáticas de carácter inter-anual, originadas, tanto por condiciones locales, como por señales climáticas de alcance mundial, las cuales ejercen gran influencia en todas nuestras cuencas Hidrográficas. Estas condiciones climáticas inciden en el ciclo hidrológico en áreas específicas de la República de Panamá.

En este Estudio Hidrológico e Hidráulico del Rio San Bernandino , la cual se ubica en la parte Noreste del Polígono donde se construirá el Proyecto Estación de Combustible y tienda de conveniencia VA & VEN Autopista 1 , analizamos todos los componentes climáticos por medio de datos históricos en estaciones meteorológica e hidrológicas representativa del área. Presentamos de manera categórica los escenarios ambientales dentro de la cuenca, los cuales están en directa relación con el factor hídrico, haciendo énfasis en los períodos de alta intensidad de lluvia, con el fin de verificar los niveles seguros de la propiedad respecto a los caudales del Rio San Bernandino.

Los resultados de este Estudio Hidrológico e Hidráulico, servirá para la determinación de niveles de protección de 20 metros del Rio San Bernandino, el cual colinda con el Proyecto.

Se ha considerado además de los análisis anteriores, un componente de Cambio Climático, el cual presenta una posible variabilidad climática en los próximos 30 años - 30,40 y 50 años)

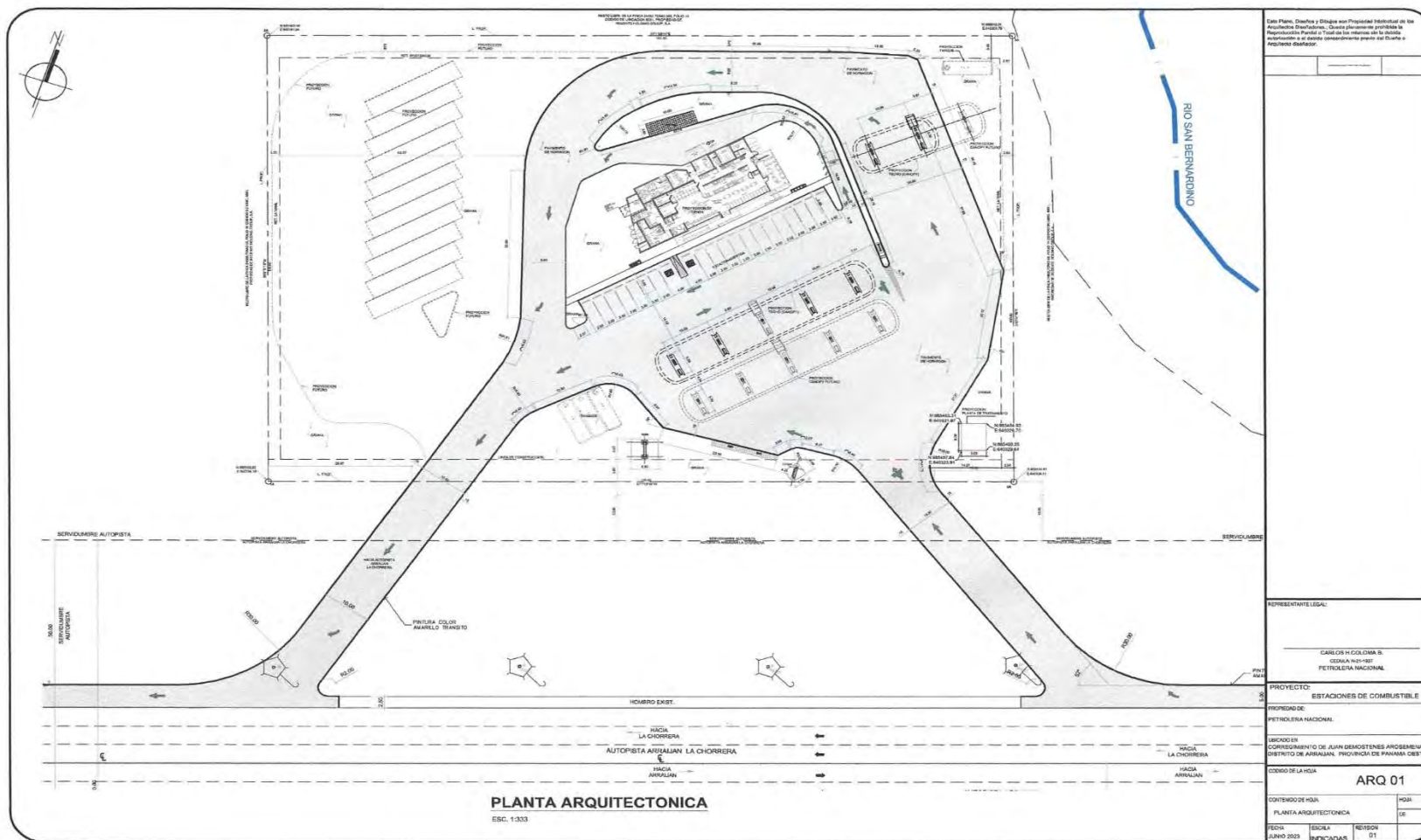
Al finalizar este estudio, presentamos nuestras conclusiones y recomendaciones con el fin de construir con niveles seguros el proyecto em mención .

REALIZADO POR:
LANDSTAR
DEVELOPMENT CORP

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN
BERNARDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO
ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE
CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1

SOLICITADO POR:
PETROLERA
NACIONAL S.A.

2.0 Ubicación Geografica (Coordenadas UTM-WGS-84)

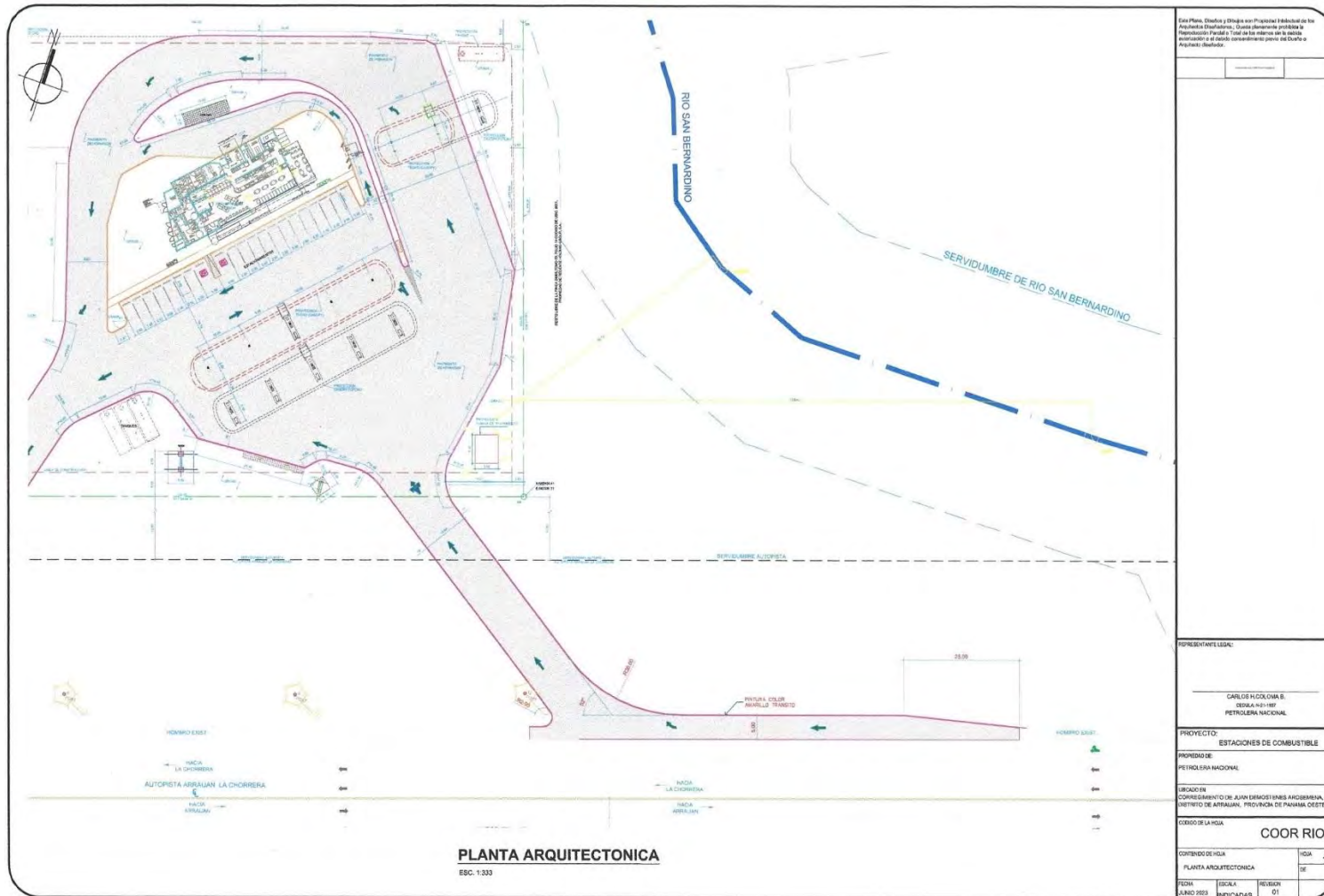


Plano N°1: Ubicación del Poligono del Proyecto Estacion de Combustible y Tienda de Conveniencia VA & VEN Autopista

REALIZADO POR:
LANDSTAR
DEVELOPMENT CORP

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNARDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1

SOLICITADO POR:
PETROLERA
NACIONAL S.A.

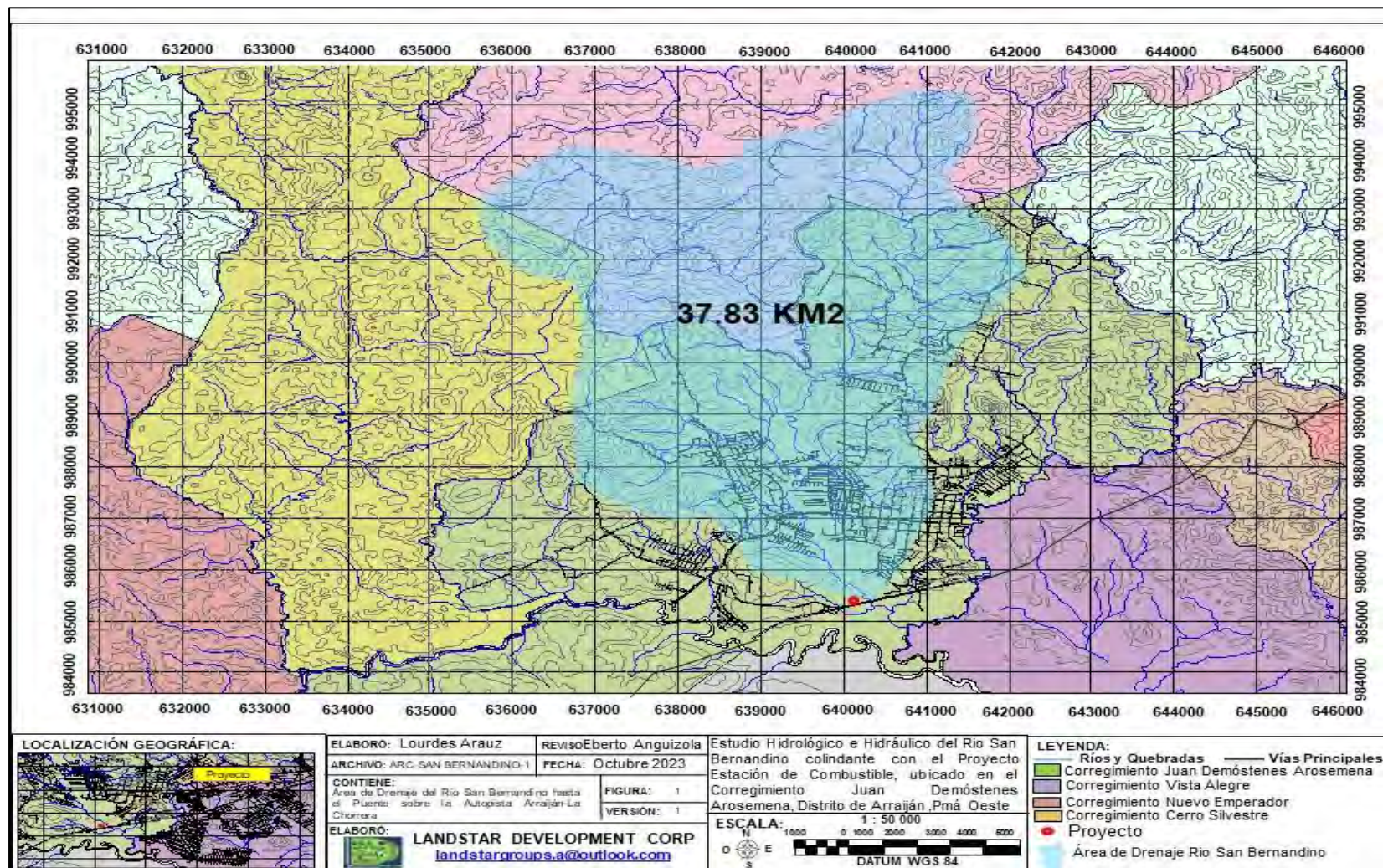


Plano N°2: Ubicación del Proyecto respecto al rio San Bernandino-2023

REALIZADO POR:
LANDSTAR
DEVELOPMENT CORP

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN
BERNARDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO
ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE
CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1

SOLICITADO POR:
PETROLERA
NACIONAL S.A.



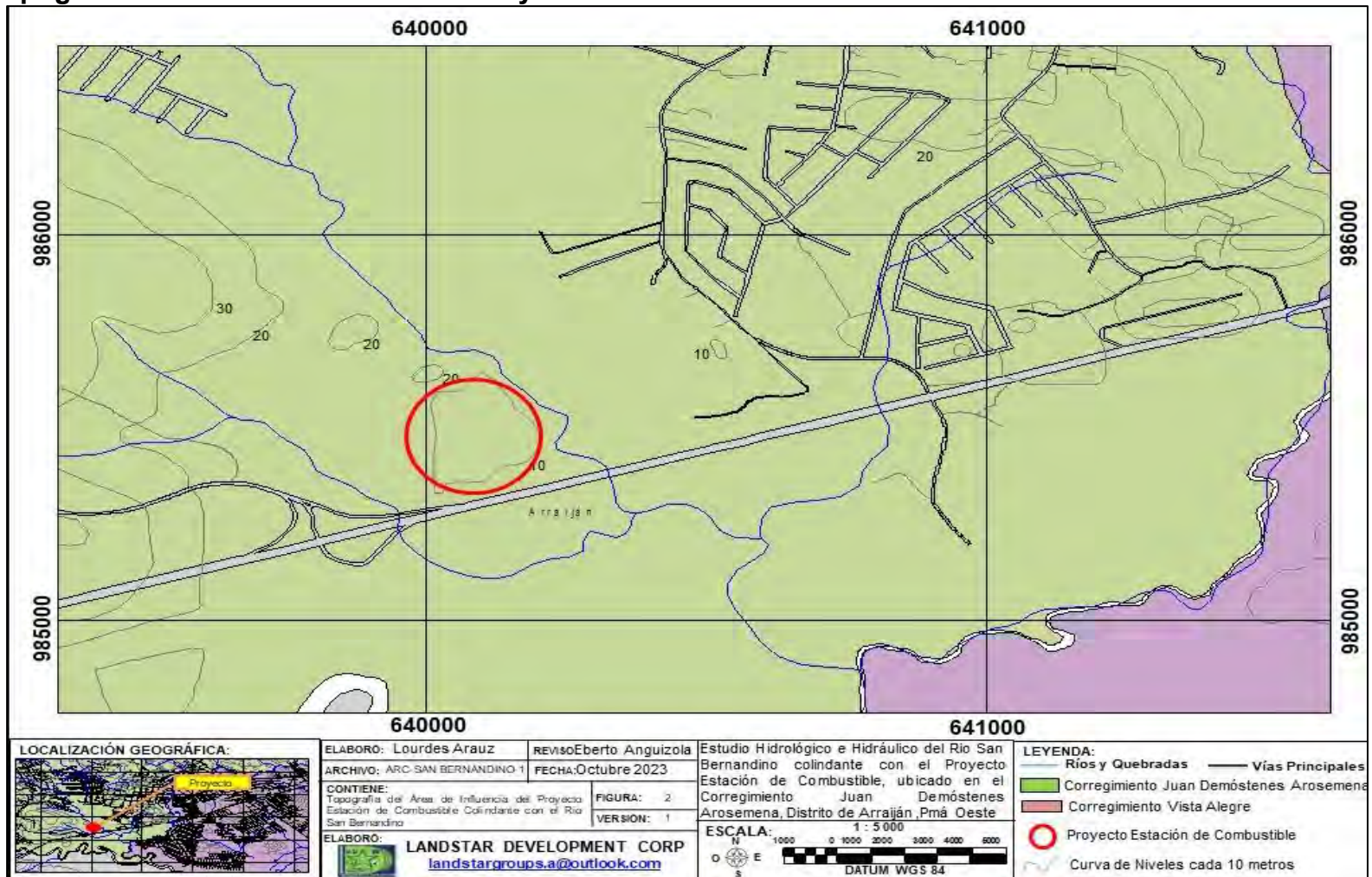
Mapa N°1: Area de Drenaje del Rio san Bernardino hasta el Puente Autopista Arraiján-Chorrera-2023 Escala Indicada

REALIZADO POR:
LANDSTAR
DEVELOPMENT CORP

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN
BERNARDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO
ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE
CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1

SOLICITADO POR:
PETROLERA
NACIONAL S.A.

3.0 Topografía del area de Influencia del Proyecto



Mapa N°2: Planta Topografica del area de Influencia del proyecto-Landstar Development Corp 2023

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

4.0 Característica de la Cuenca N°140

La cuenca en donde se localiza el proyecto de Estación de Combustible y tienda de conveniencia VA & VEN Autopista 1, colindante con el Río San Bernandino, es la **Cuenca N°140**, conocida como la cuenca del Río Caimito. Esta Cuenca se encuentra localizada en el sector Oeste de la provincia de **Panamá Oeste** entre las coordenadas **8° 35' 5"** de latitud Norte y **79° 45'25"** de longitud Oeste. El área total de drenaje de la cuenca es de **453 Km²** hasta su desembocadura en el mar y la longitud del río principal (Río Caimito) el cual tiene una longitud de **72 Km**, el cual es alimentado por cuatro afluentes en el Distrito de Arraiján y tres en el Distrito de La Chorrera. El río Caimito recorre desde el Distrito de Capira donde tiene su nacimiento, hasta su salida al mar. El principal afluente tributario del río Caimito es el río Caimitillo y otras quebradas de menor importancia. La elevación media de la cuenca es de **830.00 msnm**.

El río San Bernandino, la cual nace en las Coordenadas **UTM WGS 84 990,377 mN , 639,196 mE**, en una elevación de **80 m nmm**. La tributan una serie de Quebradas como Qda Seca, Baterla, Tinajas, San José y una red de Quebradas Sin Nombres y el Río Cope.

El río San Bernandino es tributario del río Aguacate y los mismos tributan del río Caimito el cual drena al Océano Pacífico.

5.0 Aspectos Climáticos

Panamá está ubicada en la zona intertropical próxima al Ecuador. Es una franja angosta orientada de Este a Oeste y bañada sus costas por los océanos Atlántico y Pacífico. Uno de los aspectos básicos en la definición del clima es la orografía del lugar, ya que el relieve no sólo afecta el régimen térmico, produciendo disminución de la temperatura del aire con la altura, sino que afecta la circulación atmosférica de la región y modifica el régimen pluviométrico general.

El rasgo climatológico central de la región de Panamá es la Zona de Convergencia Intertropical (**ZCIT**). Este rasgo tiene su influencia en el lado Oeste de la ciudad de

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

Panamá, cuando alcanza el mayor desplazamiento septentrional, entre **8° - 10° N** de Julio a septiembre donde las quebradas y ríos reciben más lluvia con la mayor descarga fluvial en **Septiembre---Noviembre**. Cuando esta Zona se encuentra en su posición Sur (Sur de Colombia hasta Perú), impera la estación seca (Diciembre hasta Abril). En su traslado hacia el Norte, la **ZCI** llega a Panamá a finales de abril o principio de mayo. A su posición Norte (sobre México) corresponde el receso de julio y agosto.

En los años hidrológicos mayormente, esta zona (**ZCI**) se desplaza meridionalmente, activando los vientos alisios del **NE** proveniente del pacifico los cuales soplan a través del istmo de Panamá, siendo predominantes desde diciembre hasta mayo. Durante esta estación la descarga fluvial se reduce a la mitad. Sin embargo, la presencia de fuertes vientos predomina durante estos meses.

El reconocimiento de las condiciones climáticas en el área donde se realizó este estudio es primordial para la interpretación general de las condiciones ambientales del área y su influencia durante el desarrollo del mismo.

Para este estudio hidrológico e hidráulico, utilizamos dos criterios de clasificación, debido al Cambio Climático que estamos enfrentando en esta década. Los criterios utilizados fueron los de **KOPPEN y MACKAY**

5.0.1 Clasificación del Clima (Köppen y Mckay)

Para este Estudio utilizamos dos criterios de Clasificación, debido al Cambio Climático que estamos enfrentando en esta década. Los Criterios utilizados fueron los de **KÖPPEN y MACKAY**.

5.0.1.1 Clasificación del Clima según Köppen

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

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

Este tipo de sistema o clasificaciones distingue zonas climáticas y, dentro de ellas, tipos de clima, de tal manera que resultan varios tipos fundamentales de climas. Para este estudio se ha definido básicamente en el área donde se localiza el polígono del proyecto de Estación de Combustible, con un clima Tropical de Sabana.

Según la clasificación de Köppen, el clima de la cuenca del río **Caimito N°140** y el río San Bernandino, se denomina tropical de sabana, la cual presenta una precipitación anual menor de **3,000 mm**, estación seca prolongada, temperatura media del mes menos caluroso, mayor de **18°C** y diferencia de temperatura entre los meses más y menos cálido, menor de **5°C**

5.0.1.2 Clasificación climática según A. McKay (2000)

El geógrafo historiador Dr. Alberto McKay (q.e.p.d), después de una serie de extensas investigaciones de todas las tipologías climáticas propuestas para Panamá desde 1920, logró identificar que existían serias inconsistencias en los diferentes tipos de climas asignados al país, y logró una adaptación corregida con las condiciones ambientales reales de Panamá.

El resultado de estas investigaciones fue una nueva clasificación de los climas de Panamá, en el año 2000, quedando compuesta por siete tipos de clima, a saber:

- ✓ Clima Tropical de Montaña baja
- ✓ Clima Subecuatorial con estación seca
- ✓ Clima Tropical Oceánico
- ✓ Clima Tropical Oceánico con estación seca corta
- ✓ **Clima Tropical con estación seca prolongada**
- ✓ Clima Oceánico de Montaña Baja
- ✓ Clima Tropicales de Montaña Media y Alta

Según la clasificación de McKay (2000), el área de Influencia donde se ubica el Polígono donde se realizará el proyecto , posee una categoría de “**Clima Tropical oceánico con estación seca prolongada**”. Este tipo de clima es cálido, con temperaturas medias de 27°C a 28°C. Los totales pluviométricos anuales, siempre inferiores a 2,500 mm, son los más bajos de todo el país.

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

5.0.2 Cambio Climático

La importancia del cambio climático tanto para el mundo como para la región donde se realizó este Estudio Hidrológico e Hidráulico del río San Bernardino, varía según los diferentes escenarios, en parte debido a las diferencias en las pautas de precipitación previstas (y especialmente su intensidad), y en parte debido a las diferencias en la evaporación proyectada. A continuación, presentamos los parámetros para la utilización del Software **STATISTICAL DOWNSCALING MODEL (SDSM)**

STATISTICAL DOWNSCALING MODEL (SDSM)	
Descripción	SDSM es un paquete de software amigable diseñado para implementar reducción de escala espacial mediante métodos estadísticos, lo que resulta en información climática mensual de alta resolución espacial a partir de información de modelos o datos con baja resolución espacial, como las de modelo de circulación general de la atmósfera. El software también permite, mediante un generador estocástico de tiempo, generar realizaciones sintéticas múltiples de eventos meteorológicos de tiempo, que ayudan a producir ensambles.
Uso Apropiado	SDSM puede ser usado por aquellos que requieren estimar impactos a partir de información de alto detalle espacial, considerando que se dispone de datos meteorológicos diarios de buena calidad y salidas diarias de GCMs con variable a gran escala
Alcance	Todos los lugares, todos los sectores
Salidas Clave	Escenario de variación meteorológica diaria (temperaturas máximas y mínimas, precipitación y humedad) para sitios específicos. Además, SDSM produce una serie de estadísticas de interés climático, con la varianza, frecuencia de eventos extremos y olas de sequías.
Entradas Claves	Se requieren datos diarios de calidad, tanto para las condiciones observadas localmente como para los datos de gran escala de reanálisis, para calibrar y validar los modelos estadísticos que genera SDSM . Por ello, se requieren los datos diarios de las salidas de los modelos con los que se alimentan las ecuaciones y se generan los escenarios de cambio climático.

Cuadro N°5-1: Parámetros de Statistical Downscaling MODEL (SDSM)

Presentación de Escenarios Climáticos en este estudio, con el fin de comprobar la variación de las temperaturas y precipitaciones en el área de influencia del Proyecto colindante con el Río San Bernardino

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

En las evaluaciones para el cálculo hidrológico se han empleados tres tipos distintos de escenarios climáticos: escenarios incrementales, escenarios analógicos, y escenarios del clima basados en modelos. Los escenarios incrementales son simples ajustes del clima de referencia con arreglo a cambios futuros previstos que pueda ofrecer una asistencia valiosa para ensayar la sensibilidad del sistema al clima. La representación analógica de un clima que ha cambiado a partir de registros anteriores o de otras regiones. Usaremos este último como herramienta científica para modelar y representar gráficamente el cambio climático dentro del área de influencia del Río San Bernandino colindante con el proyecto. Se ha utilizado este concepto de cambio climático para los parámetros de **Temperatura y Precipitación solamente.**

5.1 Temperaturas

Para este estudio se ha utilizado un criterio científico para determinar la variación en la temperatura para el área del proyecto. La temperatura es un factor importante para este análisis. Se ha utilizado la estación Caimito (N°140-005) Latitud 8° 48'49" y 79° 56'49" con una elevación de 180 msnm.

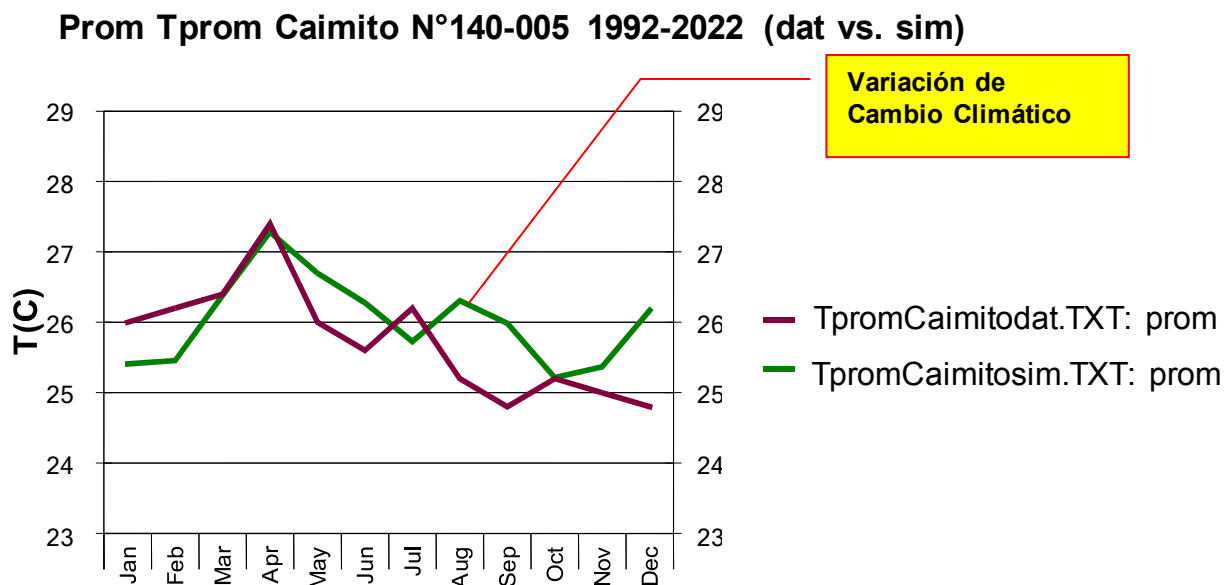


Gráfico N°5-1. Temperaturas Promedios Estación Caimito 140-005-Imhpa-2023

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

La estación **140-005** registra parámetros climatológicos tales como temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, etc. Esta estación, por su ubicación, orientación y elevación es la que mejor representa las condiciones climáticas del área de influencia del Proyecto el cual colinda con el río San Bernandino. En la **Gráfica N°5-1** se presenta la posible variación de la temperatura en un periodo recurrente de 30 años

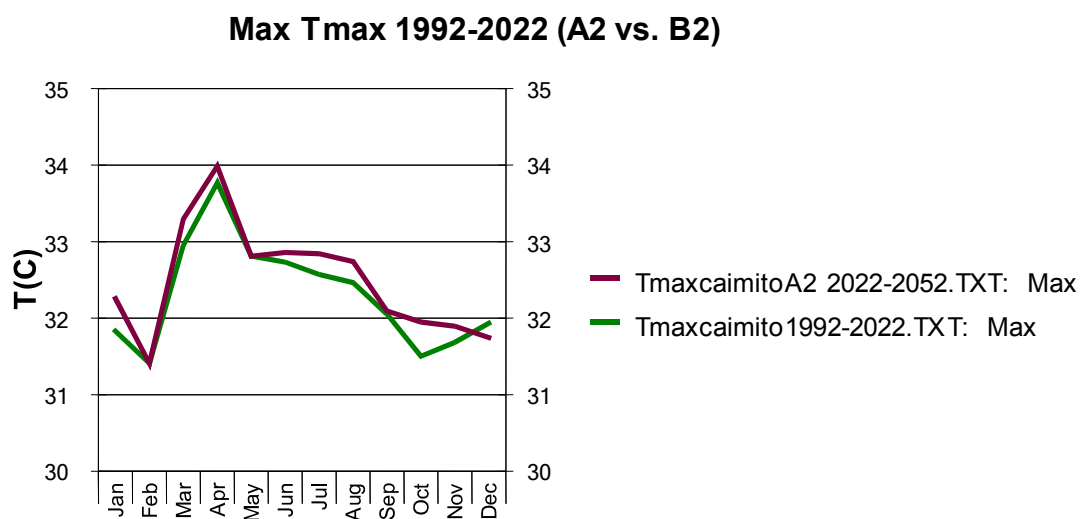


Gráfico N°5-2. Temperaturas Máximas Estación Caimito 140-005- Imhpa-2023

5.2 Humedad Relativa

La humedad relativa se encuentra muy relacionada con la precipitación, siendo en términos generales directamente proporcional; es decir, a mayor precipitación corresponde una mayor humedad relativa y viceversa.

Esta relación se puede apreciar en los datos de la Estación Río Caimito, donde se muestra que la menor humedad relativa se registró durante los primeros meses, o sea, en la temporada seca y estuvieron entre **83.1 % y 85.6%**. En tanto que los valores más elevados de humedad relativa fueron documentados en los meses de la estación lluviosa, encontrándose entre **89.5% y 99.3%**.

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

Mes	Estación Caimito 140-005	Estación SE Chorrera 140-006	Estación El Llano 140-007
Enero	68	67	68
Febrero	64	63	67
Marzo	65	63	67
Abril	72	68	72
Mayo	82	79	82
Junio	84	83	87
Julio	84	82	84
Agosto	85	83	86
Septiembre	86	85	88
Octubre	87	86	88
Noviembre	86	84	84
Diciembre	78	75	75

Cuadro N°5-2: Humedad relativa Promedio Mensual de Tres Estaciones Situadas en la Cuenca N°140-(en %) 2010-2022. Información Suministrada por el Imhpa-2023

Del Cuadro N°1 se desprende que el valor mínimo promedio en las tres estaciones ocurre en **Marzo** y el máximo en **Octubre**. Como ejemplo se puede mencionar que la estación David presenta el mínimo en el mes de **Marzo** con un promedio mensual de **65 %** y un máximo en octubre con un valor promedio de **87 %**.

5.3 Brillo Solar

El brillo solar manifiesta el patrón de las precipitaciones en el área. Es así como entre diciembre y abril es mayor el brillo solar, al existir una menor nubosidad. En el **Cuadro N°5-3** presenta el porcentaje promedio mensual de brillo solar para la Estación de Caimito 140-005 única estación que registra este parámetro

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

Mes	%	Mes	%
Enero	76	Julio	37
Febrero	78	Agosto	40
Marzo	73	Septiembre	39
Abril	60	Octubre	38
Mayo	45	Noviembre	48
Junio	34	Diciembre	62

Cuadro N°5-3: Porcentaje promedio mensual de brillo solar en la Estación de Caimito 140-005 –(2010-2022). Información Suministrada por el Imhpa-2023

5.4 Evapotranspiración Potencial

En este estudio se utilizó el método semiempírico de Penman para estimar la evapotranspiración potencial. Este método posee una base **físico-teórica** y su uso requiere varios elementos de los que no siempre se dispone en todas las estaciones meteorológicas. Da buenos resultados en regiones húmedas y semi-húmedas. La fórmula que se utilizó para el cálculo de la ETP es la siguiente¹:

$$ETP = \frac{(P_o/P * \Delta/r) \{ 0.75R_A(0.26 + 0.39n/N) - \sigma T k^4(0.56 - 0.079 \sqrt{ed})(0.10 + 0.90n/N) \} + 0.26(ea - ed)(1.00 + 0.54U)}{(P_o/P * \Delta/r) + 1}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial en mm/día

P_o = Presión atmosférica media expresada en milibares al nivel del mar

¹ Carlos A. Ortiz Solorio, Elementos de Agrometeorología Cuantitativa con aplicaciones en la república mexicana, 1984.

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

P = Presión atmosférica media expresada en milibares en función de la altitud de la estación.

Δ = gradiente de la presión de vapor saturante con respecto a la temperatura, expresada en milibares por grado centígrado.

r = Coeficiente psicrométrico, para el psicrómetro con ventilación forzada = 0.66.

0.75 = Factor de reducción de la radiación total de onda corta, que corresponde a un albedo de **0.25**.

R_A = Radiación de onda corta recibida en el límite de la atmósfera expresada en mm de agua evaporable (1 mm = 59 calorías) o tablas de valores de Angot.

n = Duración de la insolación durante el periodo que se estudia, expresada en horas y décimas de hora.

N = Duración de la insolación astronómica.

σT_k^4 = Radiación del cuerpo negro expresada en mm de agua evaporable para la temperatura prevaleciente del aire.

ea = Presión del vapor saturante, expresada en milibares.

ed = Presión del vapor durante el periodo que se estudia, expresada en milibares

U = Velocidad media del viento a una altura de 2 metros de la superficie, durante el periodo que se estudia y expresada en m/s.

El valor de $(P_o/P * \Delta/r)$ fue tabulado por Frere y Popov (1980) como una función de la temperatura media y la altura sobre el nivel del mar.

R_A es la tabla de los valores de Angot. El producto de $R_A(0.26 + 0.39n/N)$ es la estimación de **R_g**, la radiación global. Aquí es necesario aclarar que las constantes 0.26 y 0.39 fueron derivadas para Panamá por ETESA con datos provenientes del antiguo IRHE.

ea, presión del vapor saturante, se obtiene de la tabla Smithsonian obtenida en 1966, como una función de la temperatura.

ed, presión del vapor durante el periodo estudiado, es un dato que se obtiene directamente de la estación o se estima a partir de:

ed = Hr X ea

Donde:

Hr = humedad relativa, expresada en forma decimal, no en porcentaje, y

U = velocidad del viento, que es un dato directo de la estación.

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

Es importante hacer notar que el coeficiente de **U**, **0.54U**, puede modificarse en función de la diferencia entre la temperatura máxima y mínima medias, como sigue:

Temperatura mínima Coeficiente Mensual media	Diferencia entre la temperatura máxima y de U Mínima mensual media	
	$T_M - T_m \leq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.54
> 5°C	$12^{\circ}\text{C} \leq T_M - T_m \leq 13\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.61
> 5°C	$13^{\circ}\text{C} \leq T_M - T_m \leq 14\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.68
> 5°C	$14^{\circ}\text{C} \leq T_M - T_m \leq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.75
> 5°C	$15^{\circ}\text{C} \leq T_M - T_m \leq 16\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.82
> 5°C	$16^{\circ}\text{C} \leq T_M - T_m$	0.89

Una de las limitaciones del método de Penman es que no se cuenta con suficientes estaciones que midan la gran diversidad de parámetros que el método requiere.

Para pasar de la evapotranspiración potencial a la real se utilizó el diagrama de Holdridge² de movimiento de agua en asociaciones climáticas, la que nos permite encontrar la relación entre la Evapotranspiración real y la potencial, que depende fundamentalmente de la precipitación media de la cuenca.

² CRICA, UNESCO, Hidrología con información limitada, Caudales mínimos, San José Costa Rica, 1983.

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNARDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
---	--	--

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL –MÉTODO DE PENMAN ESTACION CAIMITO 140-005 Cálculos para el Estudio Hidrológico E Hidráulico del Río San Bernardino Colindante Con el Proyecto Estación de Combustible y Tienda de Conveniencia Va & Ven Autopista 1												
Latitud: 08°48'49"	Alt Anemómetro m											
Longitud: -79°56'22"	Presión Atms 101.16 Kpa											
Elevación 180 m. s.n.m.												
PARAMETRO	* ENERO 1	* FEBRE 2	* MARZO 3	* ABRIL 4	* MAYO 5	* JUNIO 6	* JULIO 7	* AGOST 8	* SEPTI 9	* OCTUB 10	* NOVE 11	* DICI 12
T media (°C)	26.66	27.26	28.04	28.81	28.46	27.73	27.43	27.49	27.21	27.06	26.95	26.71
H relativa min (%)	65	60	60	60	71	78	78	77	81	78	78	70
H relativa max (%)	76	71	68	74	85	86	91	86	88	87	87	84
U2 (0,5) (km/día)	96.27	119.00	120.17	110.36	76.58	59.69	55.37	57.34	62.05	66.65	59.25	72.41
n (horas)	7.99	7.52	8.01	6.88	3.79	3.51	4.20	4.70	3.41	4.23	4.50	5.61
Calor latente vaporización, λ	2.44	2.44	2.43	2.43	2.43	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44
Constante psicrométrica, γ	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Presión vapor saturación, ea (Kpa)	3.49	3.62	3.79	3.96	3.88	3.72	3.66	3.67	3.61	3.58	3.55	3.50
Pendiente curva presión vapor, d	0.21	0.21	0.22	0.23	0.23	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Declinación solar, σ	-0.37	-0.24	-0.04	0.17	0.33	0.41	0.37	0.24	0.04	-0.16	-0.33	-0.41
Angulo horas de sol, ws	1.52	1.54	1.57	1.59	1.62	1.63	1.63	1.61	1.58	1.55	1.52	1.51
Horas potenciales de luz (N)	11.57	11.73	11.96	12.18	12.37	12.47	12.43	12.26	12.05	11.82	11.63	11.53
Relación n/N	0.69	0.64	0.67	0.55	0.31	0.28	0.34	0.38	0.28	0.36	0.39	0.49
Distancia relativa sol-tierra (dr)	1.03	1.02	1.01	0.99	0.98	0.97	0.97	0.98	0.99	1.01	1.02	1.03
Radiación extra terrestre (Ra)	32.68	34.97	37.17	37.77	37.07	36.33	36.52	37.25	37.20	35.65	33.27	31.93
Radiación neta onda corta (Rns)	14.97	15.37	16.74	15.24	11.51	10.93	11.78	12.67	11.22	11.77	11.36	12.13
Presión vapor Temp. Pto. Rocio, ed	2.46	2.37	2.42	2.65	3.03	3.05	3.09	2.99	3.05	2.95	2.93	2.70
Radiación neta onda larga (Rb)	-3.43	-3.36	-3.45	-2.70	-1.47	-1.35	-1.52	-1.74	-1.35	-1.67	-1.78	-2.34
Radiación neta (Rn)	11.55	12.01	13.29	12.54	10.05	9.58	10.27	10.93	9.87	10.11	9.57	9.79
Flijo de calor del suelo (G)	-0.01	0.08	0.11	0.11	-0.05	-0.10	-0.04	0.01	-0.04	-0.02	-0.02	-0.03
Velocidad viento (U2) m/s	0.83	1.03	1.04	0.96	0.66	0.52	0.48	0.50	0.54	0.58	0.51	0.63
Constante psicrométrica modificada g*	0.086	0.091	0.091	0.089	0.082	0.079	0.078	0.079	0.080	0.080	0.079	0.082
Deficit presión de vapor, (ea-ed)	1.03	1.25	1.36	1.31	0.85	0.67	0.57	0.68	0.56	0.63	0.62	0.81
Eto (mm/día)	3.93	4.28	4.75	4.47	3.40	3.15	3.28	3.51	3.16	3.25	3.08	3.24
Eto (mm/mes)	121.92	119.96	147.18	134.03	105.55	94.43	101.81	108.83	94.85	100.88	92.31	100.45

Cuadro N°5-4: Evapotranspiración Potencial Calculada. Información Suministrada por el Imhpa-2023

5.5 Vientos

Los vientos predominantes del área son el Norte y el Sur, presentándose mayores velocidades durante la temporada seca, en que predominan los vientos del Norte. En abril, la ocurrencia de los vientos es tanto norte como sur, lo que indica la transición de la temporada seca a la lluviosa.

En el **Cuadro N°5-4** se presenta la velocidad promedio de los vientos, tomados en la estación Meteorológica de Caimito 140-005 y en el **Cuadro N°5-5**, las velocidades medias mensuales del viento, según su dirección.

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNARDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
---	--	--

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Prom	2.7	3.1	2.9	2.5	1.9	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.7	1.9	2.1
Máx.	3.4	4.0	3.8	3.3	2.1	1.9	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	2.7	2.6
Mín.	2.0	2.2	2.4	2.0	1.8	1.6	1.2	1.4	1.5	1.6	1.4	1.7	1.7

Cuadro N°5-5: Velocidad media, máxima y mínima mensual de los vientos en la estación Caimito 140-005 medidos a 10 m de altura (en m/s) (1993-2022) Fuente: Información Suministrada por el Imhpa-2023

DIR.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
N	4.4	4.6	4.2	3.0	1.7	1.6	1.5	1.6	1.6	1.5	1.6	2.4	2.4
NE	3.1	3.4	2.9	2.5	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.9	1.9
E	1.4	1.7	1.5	1.6	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3
SE	2.1	2.0	2.1	2.0	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.4	1.6	1.6
S	2.6	2.8	2.8	2.7	2.3	2.0	2.1	2.1	2.2	2.1	2.2	2.2	2.2
SW	2.4	2.4	2.5	2.2	2.2	2.1	2.0	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1
W	2.0	1.8	1.8	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.7	1.7
NW	2.1	2.1	2.2	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	1.6	1.4	1.6	1.6

Cuadro N°5-6: Velocidad Media del Viento Según su Dirección (Estación Caimito 140-005 m/s) (1993-2022) Fuente: Información Suministrada por el Imhpa-2023

En el **Cuadro N°5-5:** Se desprende que los vientos de mayor velocidad provienen del norte y ocurren entre enero y abril. Los vientos transiciones entre norte y sur presentan las velocidades menores.

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

Dirección de los Vientos (Estación Seca)—1993-2022

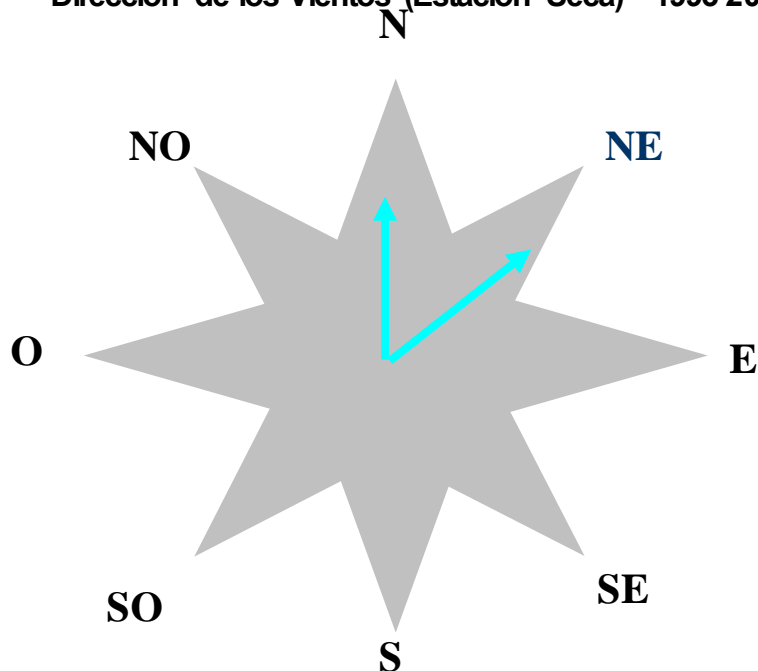


Ilustración N°5-1: Rosa de Los Vientos (Estación Caimito 140-005) Dirección de los Vientos (Estación Seca)—1993-2022 Imhpa-2023

Dirección de los Vientos (Estación Lluviosa)—1993-2022

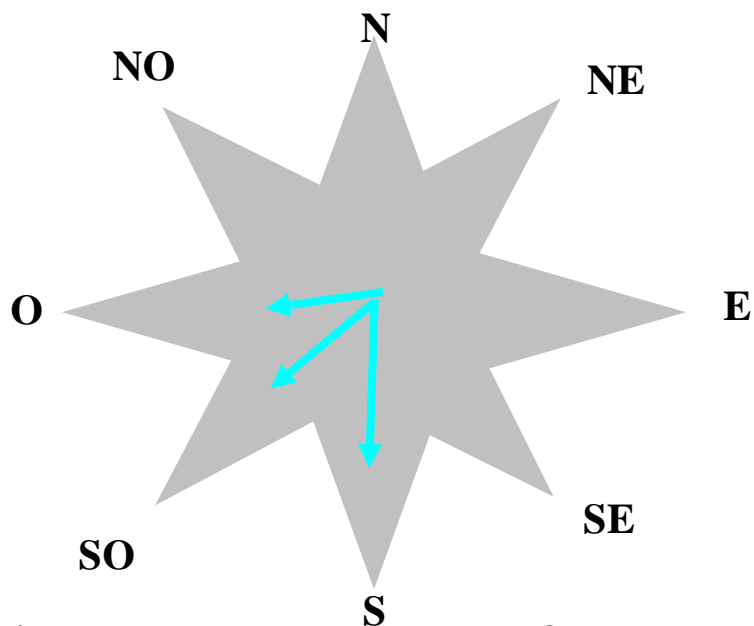


Ilustración N°5-2: Rosa de Los Vientos (Estación Caimito 140-005) Dirección de los Vientos (Estación Lluviosa)—1993-2022 Imhpa-2023

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

6.0 Precipitación

La migración estacional de las masas de aire tropical del Pacífico y Sub-Tropical del Atlántico que acompañan al sol en su curso anual constituye el control dominante sobre los patrones de precipitación en Panamá. Estas migraciones, en combinación con la orografía local, establecen áreas con totales anuales diferentes y da origen a regímenes de precipitación bien definidos.

En el área de influencia donde se ubica el proyecto el cual colinda con el río San Bernandino, hay una estación lluviosa extendida y única que empieza a fines del mes de abril o principios de mayo y persiste hasta mediados o fines de noviembre; en algunas áreas al Norte de la **cuenca N°140**, la estación tiene una duración mayor. Este período se caracteriza por los máximos de precipitación coincidentes con el paso de la zona de convergencia intertropical (**ITCZ**) en dirección al Norte (**junio**) y en sentido meridional (**octubre**) en su desplazamiento siguiendo la trayectoria de la declinación anual del sol.

En el área del Proyecto tiene una variación distinta del patrón estacional en la distribución de las lluvias. Se destaca la gran uniformidad de las precipitaciones a lo largo del año, presentando máximos y mínimos relativos en la lluvia mensual, pero con suficiente humedad durante todo el período para mantener la vegetación natural creciendo normalmente.

Las lluvias en toda la **cuenca N°140 (Río Caimito)** son muy intensas y de corta duración, aunque con cierta frecuencia se observan períodos con poca o ninguna precipitación en algunas áreas durante la temporada lluviosa. Estas características producen valores medios anuales comprendidos entre **1,000 y 3,000 mm**, cuya distribución en el mapa de Isoyetas muestran zonas bien definidas con mayores o menores precipitaciones.

Los datos de precipitación se verificaron, corrigieron y los faltantes, se estimaron antes de ser utilizados en la elaboración del mapa de isoyetas anuales. En algunas

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

estaciones la serie fue extendida hasta completar el período base de análisis, que en este caso fue de 30 años, período **1992-2022**.

En aquellos casos en donde faltaban algunos valores mensuales intermedios, con el fin de no desecharlos, se estimaron utilizando el método de Proporción Normal. En este método se ponderan las precipitaciones de las estaciones bases con las relaciones entre la precipitación anual normal de la estación en estudio con cada una de las estaciones utilizadas como referencia, lo que queda expresado en la fórmula siguiente:

$$P_x = 1/n (N_x/N_1 * P_1 + N_x/N_2 * P_2 + \dots N_x/N_n * P_n)$$

Donde:

P_x = Datos faltantes de precipitación que se desea obtener.

N₁, N₂,... N_n = la precipitación media multianual (promedio de los totales anuales del periodo de registro) de la estación base o índice.

P₁, P₂,... P_n = la precipitación en las estaciones bases durante el mismo período del tiempo del dato faltante.

N_x = precipitación anual normal de la estación en estudio.

n = número de estaciones base o índice.

En este tipo de análisis, la pendiente de la recta del tramo correcto se utiliza para la interpolación o estimación de los datos faltantes. Un estimado de un dato faltante puede llevarse a cabo utilizando la siguiente ecuación:

$$P_x = M * P_A$$

Donde:

P_x = Valor de la precipitación a ser estimada

P_A = Valor de precipitación en la estación patrón o base para el período correspondiente a **P_x**.

M = Pendiente de la recta del tramo correcto.

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

Cuando se produce cambio de pendiente y ambos tramos tienen más de cinco valores significa que en ambos periodos existe proporcionalidad, sin embargo, uno de los dos debe corregirse. Para poder utilizar los datos medidos después del quiebre con los del período más reciente, por lo general, se ajusta el período más antiguo según la razón de las pendientes:

$$Px = \frac{M1}{M2} * Pb$$

Donde,

Px: Precipitación que se desea estimar

M1: Pendiente del tramo correcto

M2: Pendiente del tramo incorrecto

Pb: Precipitación de la estación base

Simulación de Escenario de Cambio Climático PCP Caimito 1992-2022 (dat vs. sim)

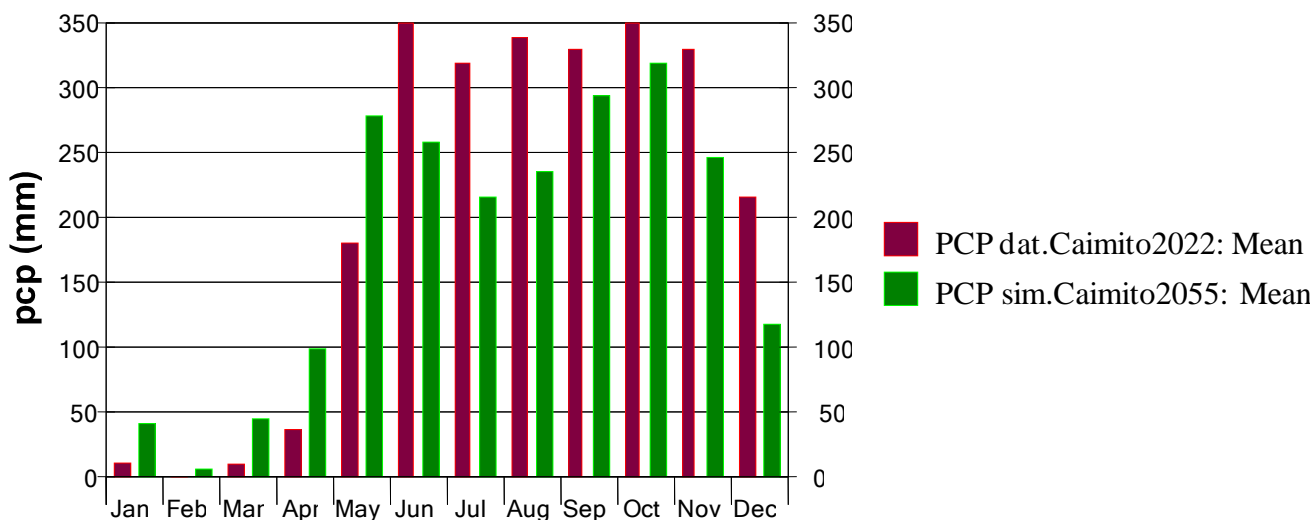


Gráfico N°5-3: Precipitaciones Estación Caimito N°140-005- Información Suministrada por el Imhpa-2023

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
---	--	--

Estación Caimito 140-005
Elevación: 140 m nmm
Tipo: CC

Longitud: 79° 56'21"
Latitud: 8° 48'48"

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	mm/año
1992	416.7	144.5	72.5	240	489.5	126	317	348	330.5	280	468.5	447.5	3680.70
1993	115.5	53.5	123	123.5	209	226	139.5	349.1	476.6	345.5	160	133.6	2454.80
1994	95.5	72.9	30.5	123	254.5	185.5	79	126	332	221	173.5	151.5	1844.90
1995	175	76	30	35	246.5	412	326	480	263.5	332	450	184	3010.00
1996	62	69	24	36	304	155	204	273	402	586	210	62.5	2387.50
1997	30	7.5	5	30.5	202.5	294	358.5	366.5	435	367.5	444	179	2720.00
1998	118	79.5	31.5	55.5	209.5	286	111.5	98.5	264.5	361.5	128	24.5	1768.50
1999	57.5	12	12	19	203.5	348.5	65.5	217	144.5	267.5	195.5	18.5	1561.00
2000	43.5	63	102	62	363.5	264	275	218	460.5	273.5	137.5	161	2423.50
2001	20.5	22	87.5	284.5	200.5	399.5	219.5	388	215	515	268	120	2740.00
2002	254	66	14.5	39.5	380.5	336.5	294	341.5	533.5	235.5	346	216	3057.50
2003	99.5	121	71	261.5	364.5	379	201.5	364.5	230.5	465.5	378	244	3180.50
2004	103.5	45	59	71.5	405.5	224.5	209	168.5	371	265	205.5	72.5	2200.50
2005	41	3.5	52.5	57	143	255	221.5	219.5	379	269.5	293.5	97.5	2032.50
2006	57	110.5	19	31	231	424	498	422.1	619.9	268.8	228.5	162	3071.80
2007	116	70.5	47	63.5	137.5	275.8	290	499.8	323.8	411.8	211.5	177	2624.20
2008	239.8	9.5	48	56	216.5	320.8	111	326.1	361.1	540.7	143.5	129.3	2502.30
2009	108	45.5	43	167.5	191	63.5	310	226	293.5	610.5	94.5	74.5	2227.50
2010	83.5	74.5	56	13.5	377.5	384.3	376.6	482.5	441	460.5	334	120	3203.90
2011	92	139.5	79	39	239.5	232	312.5	496.5	283	245.5	295.5	169	2623.00
2012	184.5	65	67.5	12	281.5	95.5	240.5	302.8	283.5	375.3	222.8	202.5	2333.40
2013	36.5	31.5	87.5	49	335.3	412.1	130	309	490	348	130.5	163	2522.40
2014	26.5	26	27.5	254	178	329	248.5	328	464	296	158.5	84.5	2420.50
2015	219	36	261	43	311.1	240.8	91.5	203.5	437.9	332.8	229.3	284.8	2690.70
2016	32	28	35.5	141.8	491.6	208.9	240.3	274.8	294.8	412.3	269.3	131.5	2560.80
2017	67	7	102.3	109.5	174.5	500.8	366.1	428.4	565.2	235	137	150	2842.80
2018	287.3	236	110	25.5	349	242.8	399.1	459.6	551.6	388	378.6	403.4	3830.90
2019	101.5	117	21	123.5	130.5	215.5	185.5	86.5	308.5	300.8	277.6	51.5	1919.40
2020	24.5	33	42	121.3	254.5	315	374.4	271.5	486.8	409.1	259.3	438.8	3030.20
2021	156.5	57.5	134.3	228.6	318	387.3	144.3	442.8	631.8	657.4	264	540.4	3962.90
2022	136.5	100.5	46	48	321.8	288.3	219.5	340	496.1	254.5	317	158.5	2726.70
Maximo	416.7	236	261	284.5	491.6	500.8	498	499.8	631.8	657.4	468.5	540.4	657.40
Minimo	20.5	3.5	5	12	130.5	63.5	65.5	86.5	144.5	221	94.5	18.5	3.50
Promedio	116.14	65.25	62.63	95.65	274.69	284.77	243.85	318.00	392.60	365.55	251.92	179.12	220.85

Tabla N°1: Valores de precipitación utilizados en la simulación de precipitación para cambio climático en la estación Caimito 140-005(1992-2022) Imhpa-2023

CAIMITO 140-005	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	mm/año
Lluvia Promedio	116.14	65.25	62.63	96.65	274.69	284.77	243.85	318	392.6	365.55	251.92	179.12	2651.17
Lluvia Máxima	416.7	236	261	284.5	491.6	500.8	498	499.8	631.8	657.4	468.5	540.4	5486.5

Tabla N°2: Resumen de los Valores de la precipitación (Máxima / Promedio) para cambio climático en la estación Caimito 140-005(1992-2022) Imhpa-2023

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

Comparación de lluvias utilizando la Simulación de Escenario de Cambio Climático (Variación de precipitación hasta 2052)

PCP CaimitoA2Had3 (1992-2022 vs. 2022-2052)

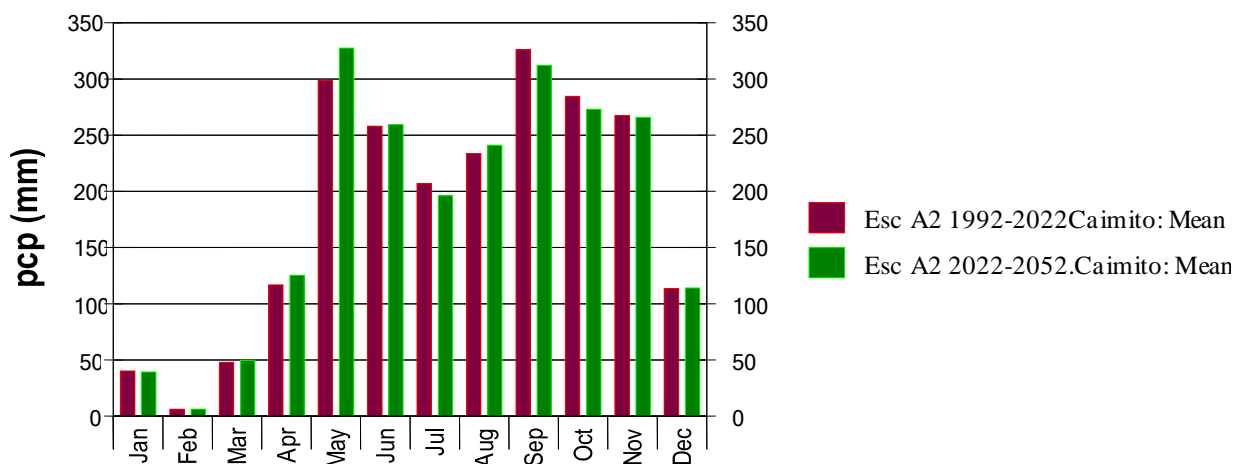


Gráfico N°5-4: Precipitaciones Estación Caimito N°140-005-Simulación. Imhpa-2023

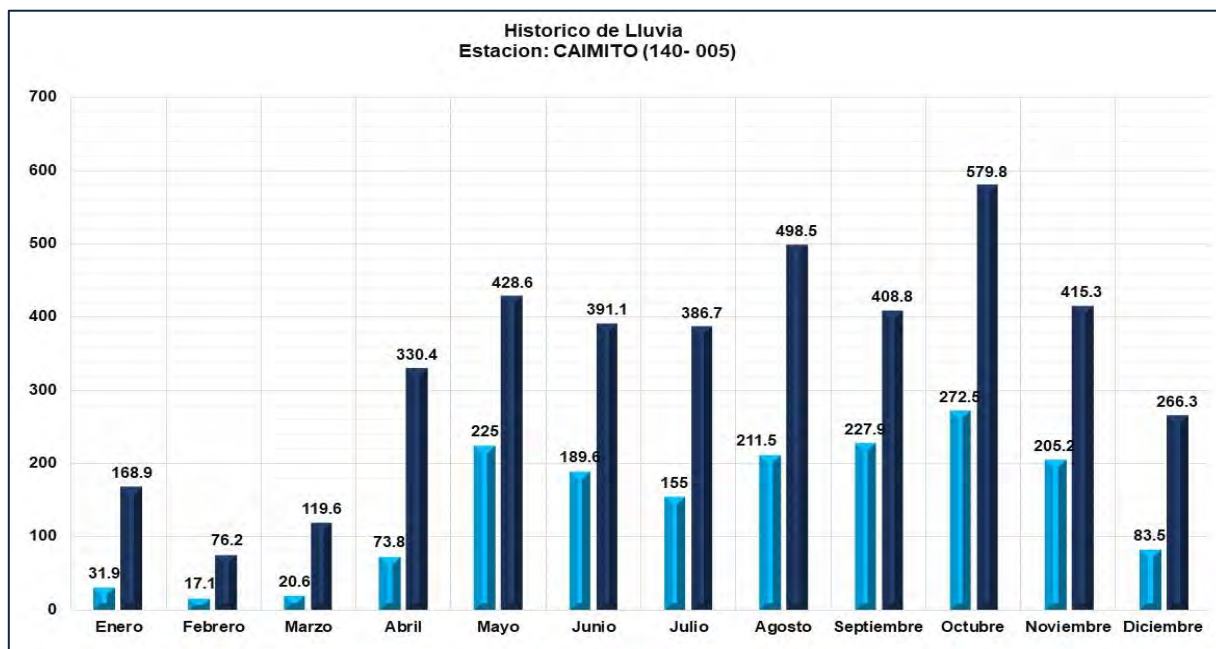


Gráfico N°5-5: Precipitaciones Estación Caimito N°140-005-(Máxima y Promedio) Año 2022 Imhpa-2023

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

6.1 Determinación de las Tormentas para el Calculo de los Niveles Seguros

La mayoría de los procesos climatológicos e hidrológicos son muy complejos y requieren por lo tanto ser explicados en términos probabilísticos. Son el resultado de eventos naturales e involucran muchas incertidumbres y responden con componentes estocásticos, que pueden ser investigados en registros de observaciones hidrológicas. Por otro lado, los datos históricos pueden ser observados solamente una vez y en este sentido nunca volverán a ocurrir.

En este estudio, se procedió a interpretar el registro histórico de un evento hidrológico en términos de una probabilidad futura de ocurrencia, no solamente a través de un análisis de frecuencia puntual, sino también a través de un análisis regional, considerando una región homogénea en términos de sus características. Además, se han aplicado los conceptos de probabilidad y estadística para predecir eventos futuros en relación con los objetivos de prevenir acontecimientos generados por la intervención humana.

Por experiencia obtenida a través de estaciones climatológicas de largo periodo de registro y por estar expresamente especificado en el alcance de este estudio, se establece que las Precipitaciones Máximas en **24 horas** se ajustan mejor a una distribución de probabilidades **Gumbel Tipo I**.

6.1.1 Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia

Para poder tomar medidas de mitigación ante la ocurrencia de lluvias intensas fue necesario conocer la variación de la lluvia en el tiempo. Siempre esta información es registrada a través de estaciones de medición que permiten conocer la intensidad de la lluvia. Para este caso utilizamos las estaciones **Caimito (140-005)**, **SE-c-Chorrera (140-006)** y **El Llano (140-007)**

Aplicando las relaciones referidas, el método usado en el presente estudio se resume en los siguientes puntos:

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

- ✓ Se realiza la curva de frecuencia puntual para la estación escogida.
- ✓ Se evalúa la curva Intensidad - Duración - Frecuencia considerando que las relaciones entre las intensidades de lluvia registradas en pluviógrafo para diferentes duraciones menores de una hora y la intensidad horaria son iguales a las obtenidas en otras latitudes y confirmando la característica universal de dichas relaciones. El anterior en la referencia N°1 se puede observar que en los Estados Unidos se utilizan las siguientes relaciones, respecto a la altura de lluvia para una hora de duración.

Duración (min)	Relación
5	0,29
10	0,45
15	0,57
30	0,79

En la referencia mencionada, Bell ha extrapolado estas relaciones a efectos de incluir la altura de la lluvia correspondiente a dos horas de duración, estableciendo una relación de **1,25** con respecto a la altura de lluvia de una hora.

De acuerdo con información registrada en las estaciones meteorológicas **Caimito (140-005)**, **SE-c-Chorrera (140-006)** y **El Llano (140-007)** se estableció una relación de **1,20** con respecto de una hora de duración, la cual se escogió para ser aplicada para el Rio San Bernandino, la cual colinda con el polígono del proyecto. Tal como se podrá observar, el primer paso es conocer la altura de lluvia durante una hora de duración; y en este sentido, de acuerdo con Bell se establece una

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

relación de **0.435** entre las intensidades correspondientes a **1 y 24 horas**. Este valor fue verificado, asimismo, en otros cálculos de cuencas vecinas.

Para duraciones mayores a dos horas, (referencia N°2) se presentan relaciones para **6 y 12 horas** correspondientes a períodos de retorno de **5, 10 y 25 años**, con respecto a la altura de lluvia de **24 horas** de duración. Es importante anotar que fue necesario realizar extrapolaciones, a efectos de obtener las relaciones para los otros períodos de retorno usados en el presente estudio, concretamente para **100 años**. Finalmente, estas relaciones fueron aplicadas a la curva de frecuencia de precipitaciones máximas en 24 horas, calculada para las estaciones consideradas a fin de obtener las gráficas de Intensidad - Duración - Frecuencia

A continuación, presentamos la Probabilidad de lluvia Gumbel Tipo I, se utilizó la Estación **Caimito (140-005)**, por ser la más representativa en el área de Estudio:

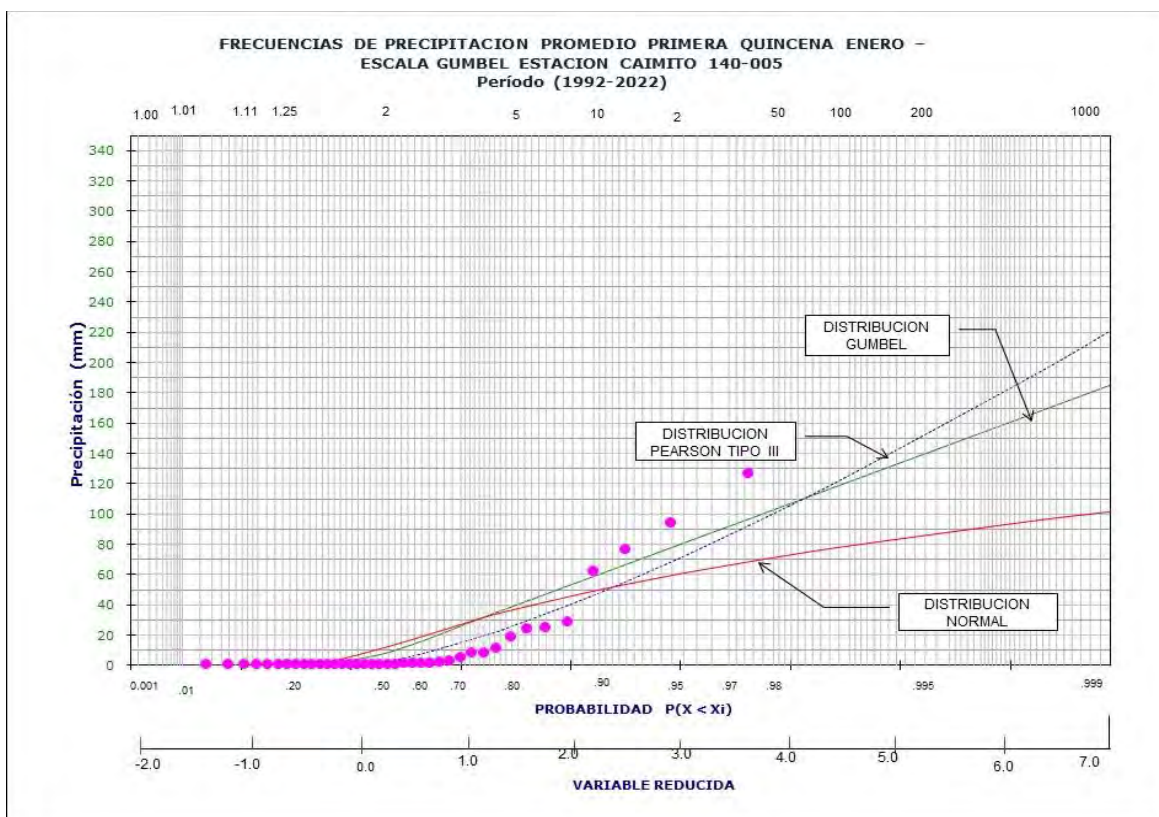


Gráfico N°5-6: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Enero (1-15) Estación 140-005

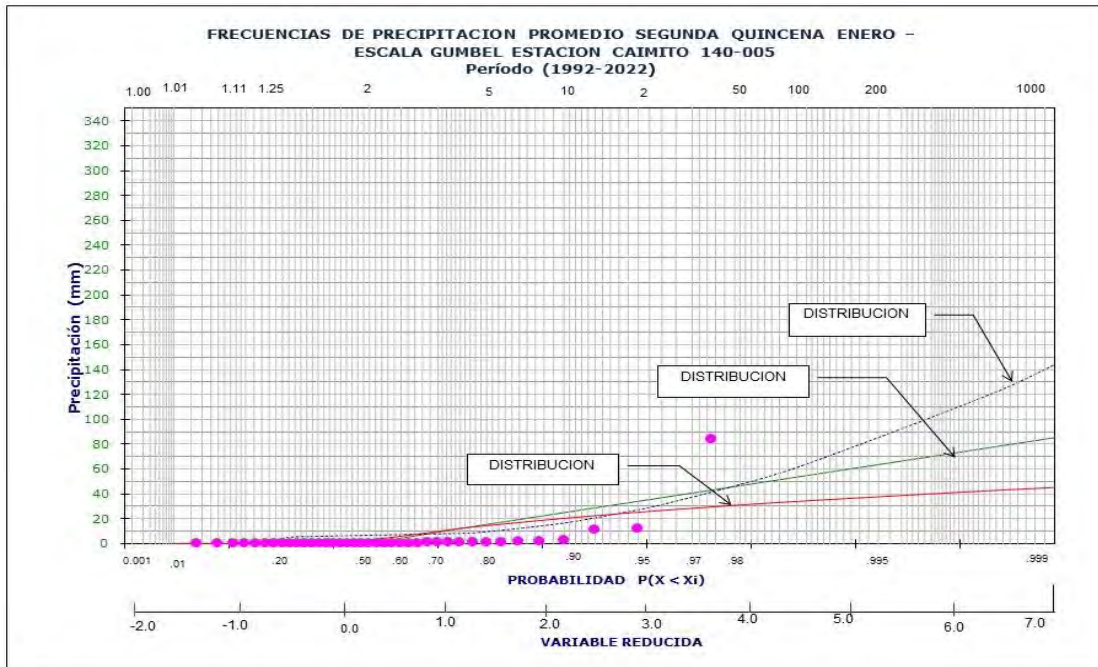


Gráfico N°5-7: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Enero (16-31) Estación 140-005

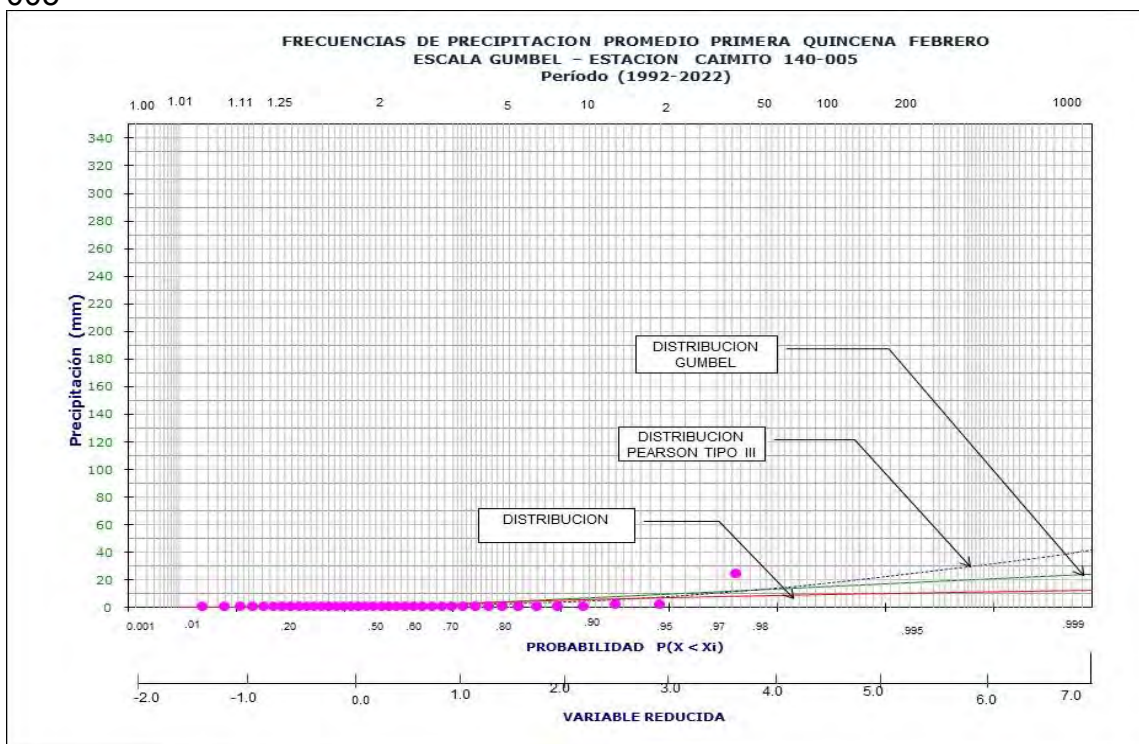


Gráfico N°5-8: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Febrero (1-15) Estación 140-005

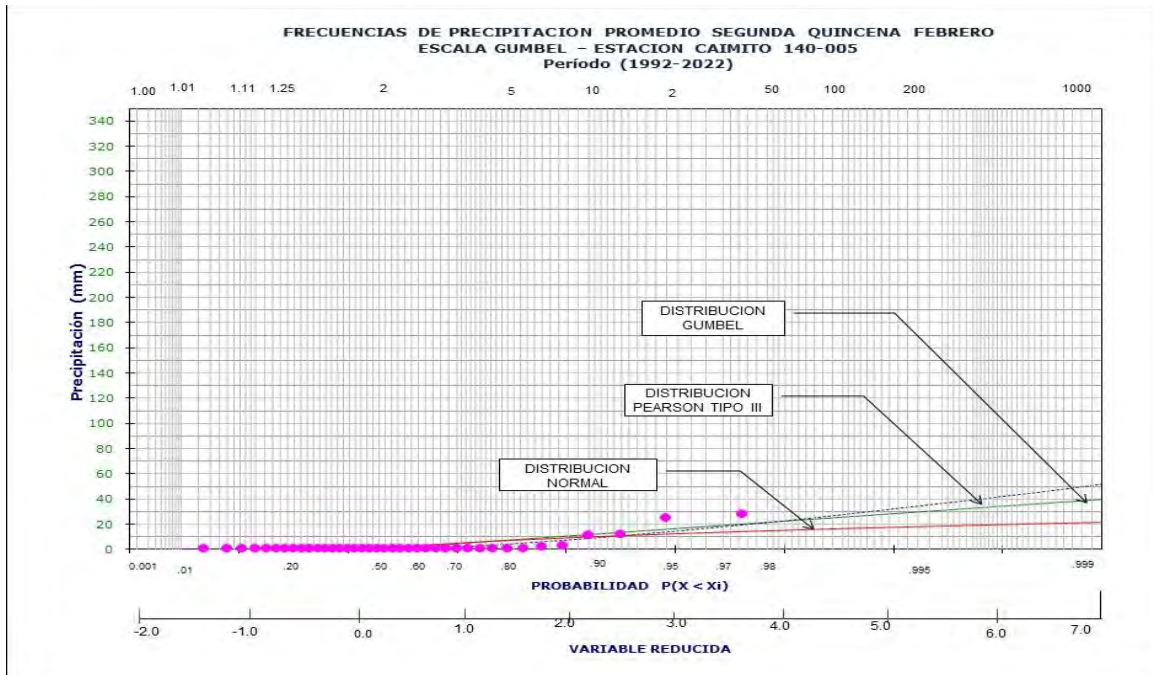


Gráfico N°5-9: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Febrero (15 - 28) Estación 140-005

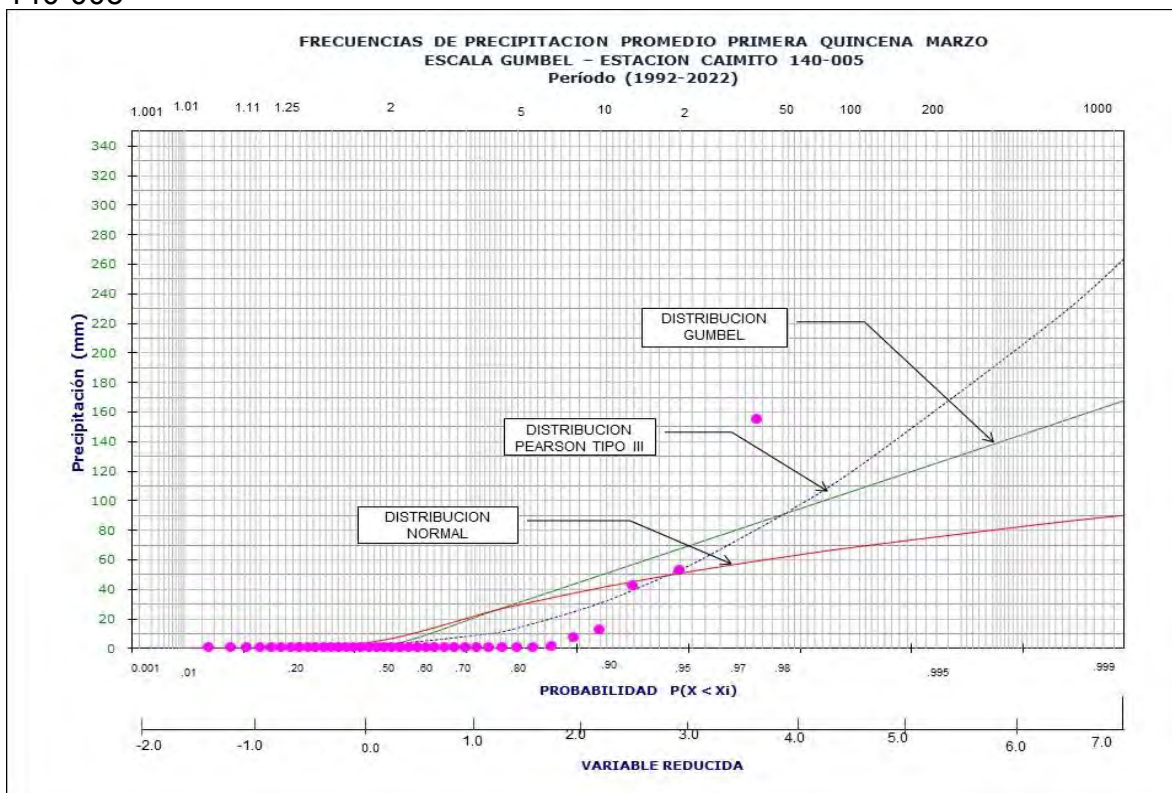


Gráfico N°5-10: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Marzo (1-15) Estación 140-005

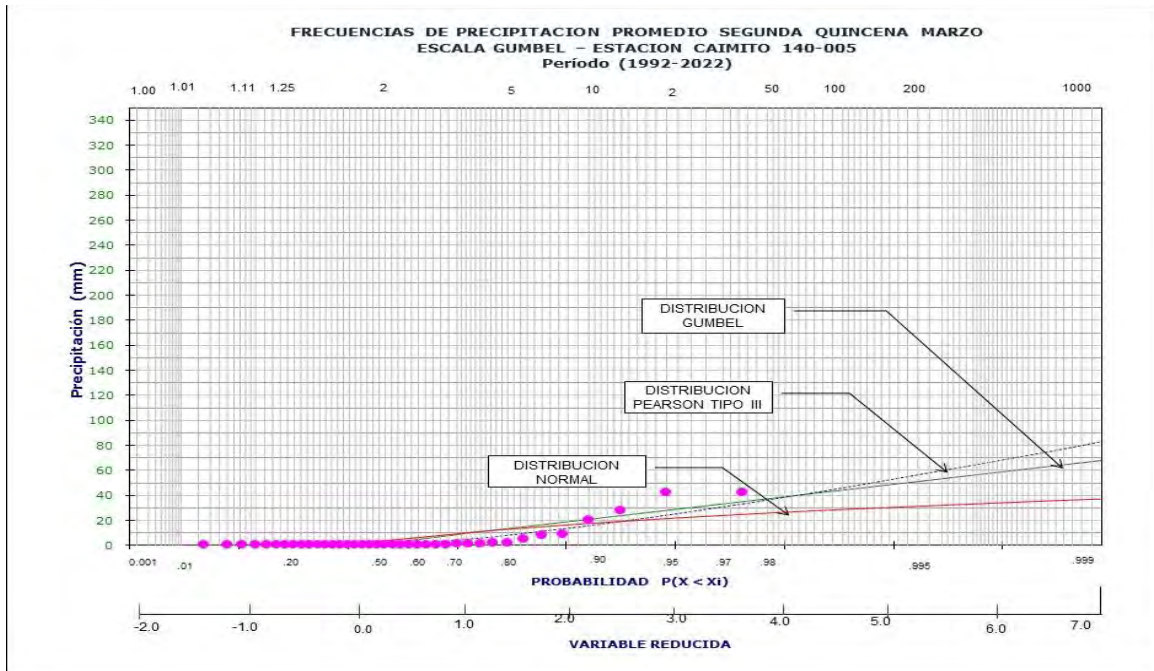


Gráfico N°5-11: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Marzo (16-31) Estación 140-005

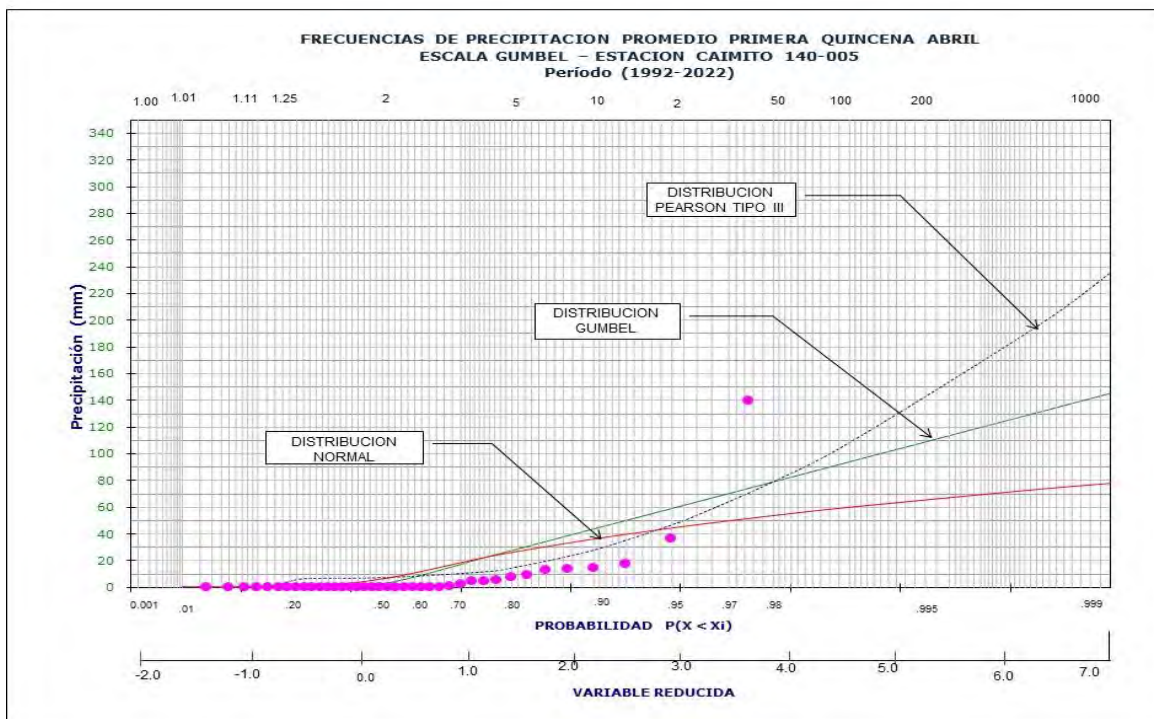


Gráfico N°5-12: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Abril (1-15) Estación 140-005

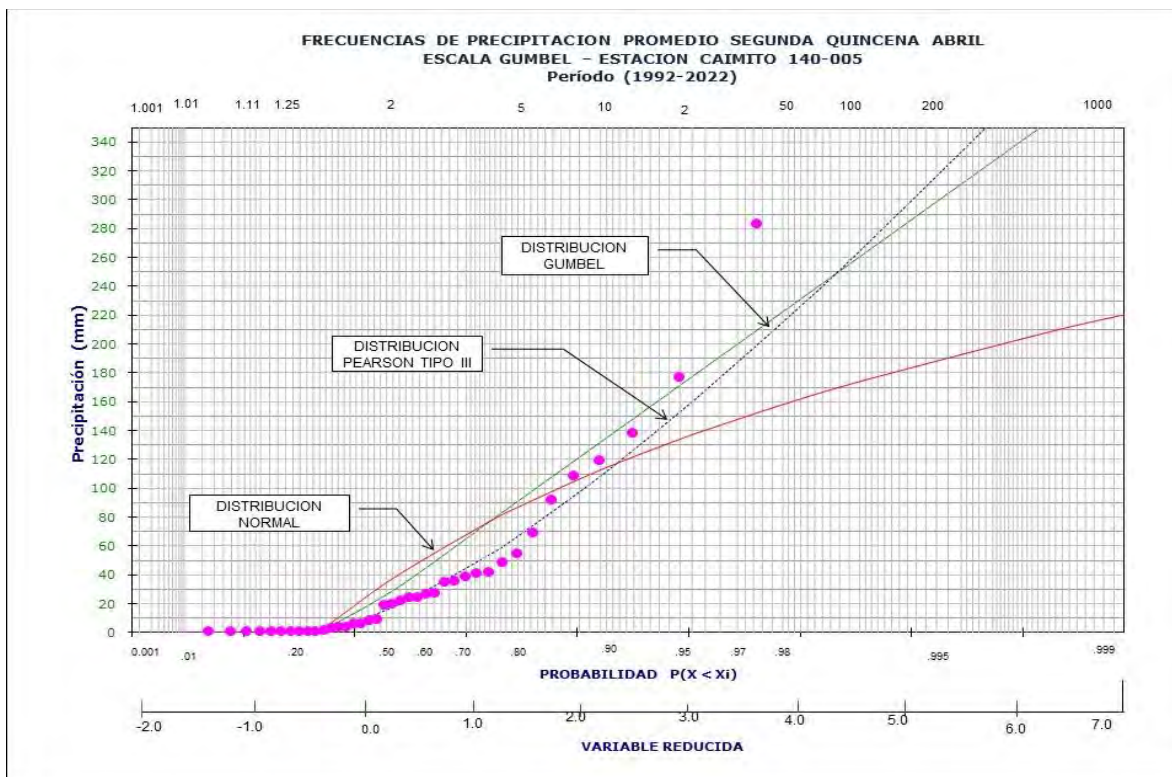


Gráfico N°5-13: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Abril (16-30) Estación 140-005

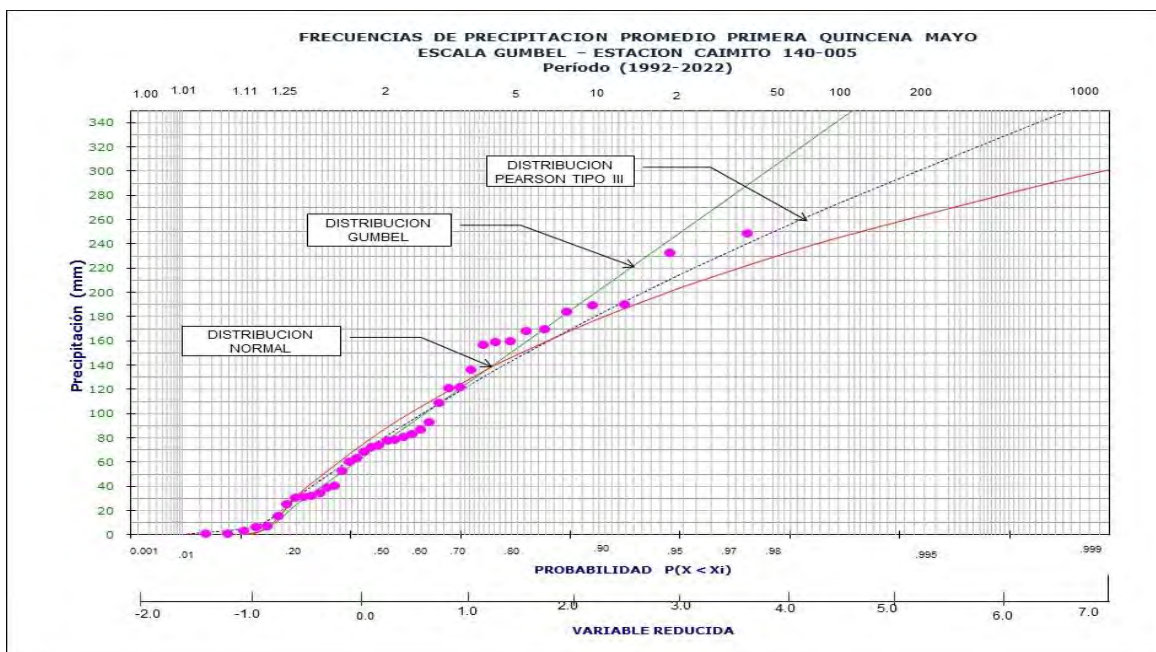


Gráfico N°5-14: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Mayo (1-15) Estación 140-005

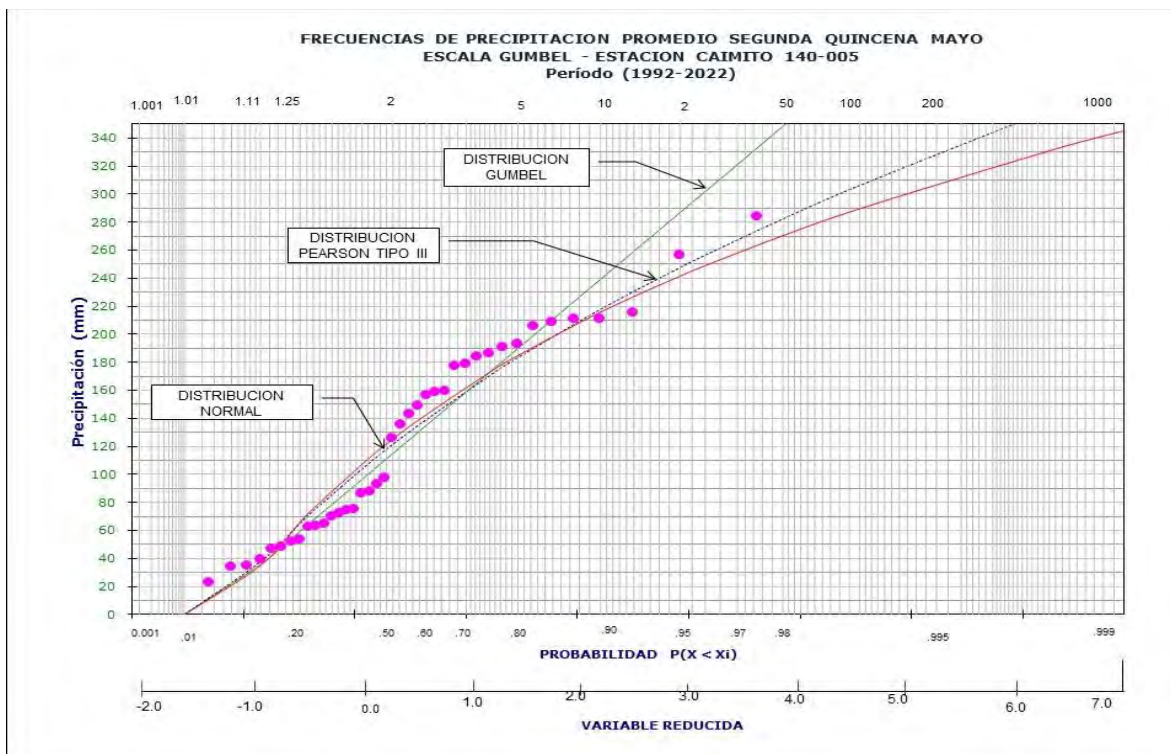


Gráfico N°5-15: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Mayo (16-31) Estación 140-005

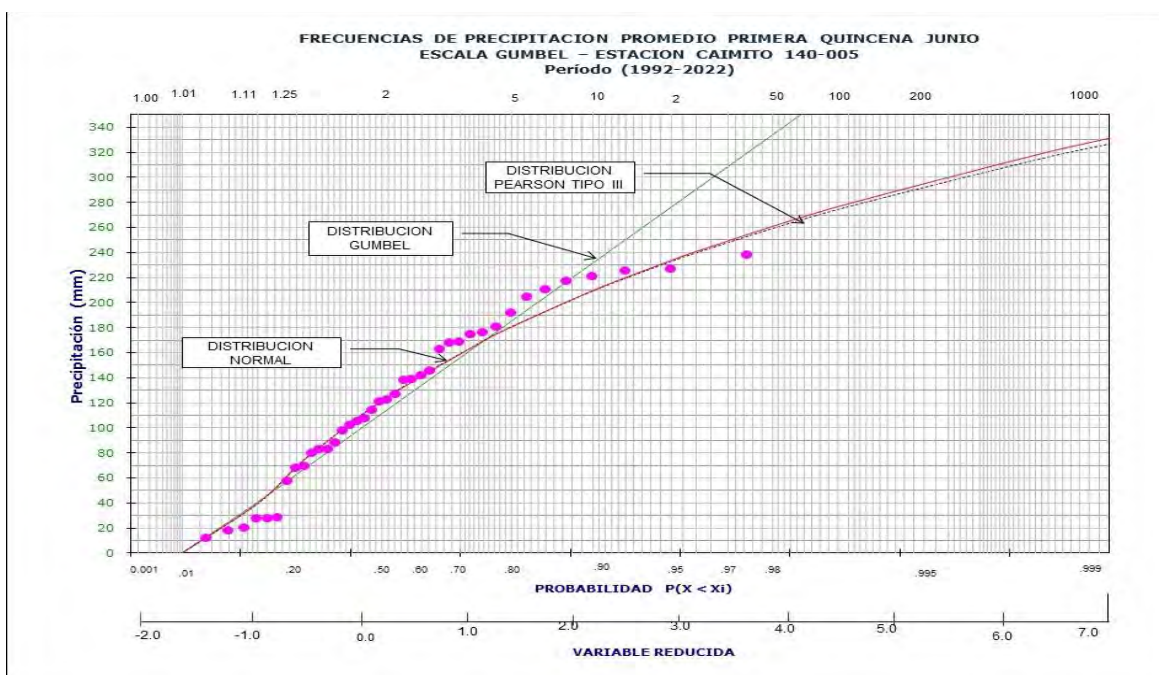


Gráfico N°5-16: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Junio (1-15) Estación 140-005

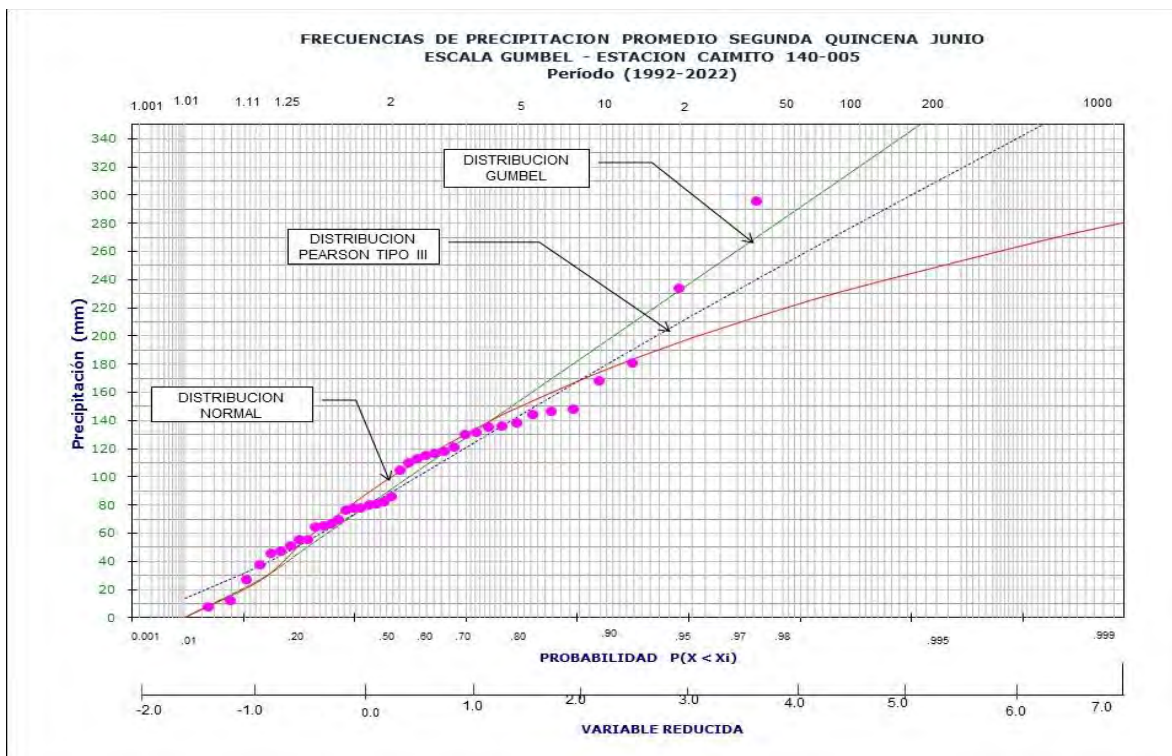


Gráfico N°5-17: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Junio (16-30) Estación 140-005

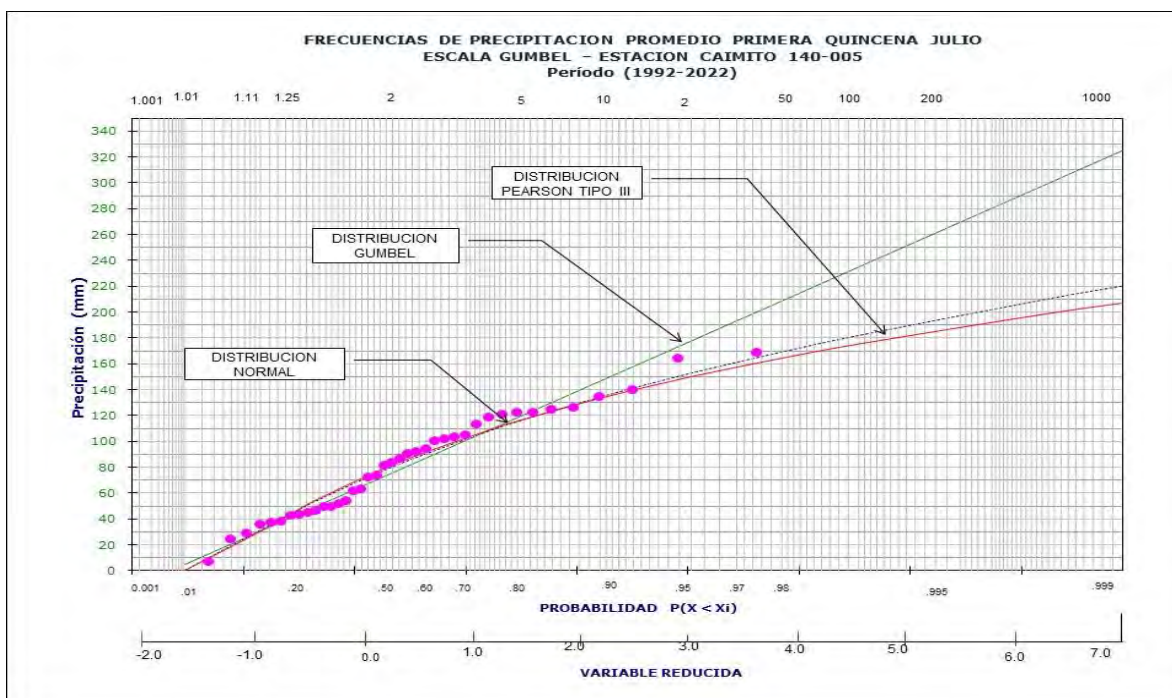


Gráfico N°5-18: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Julio (1-15) Estación 140-005

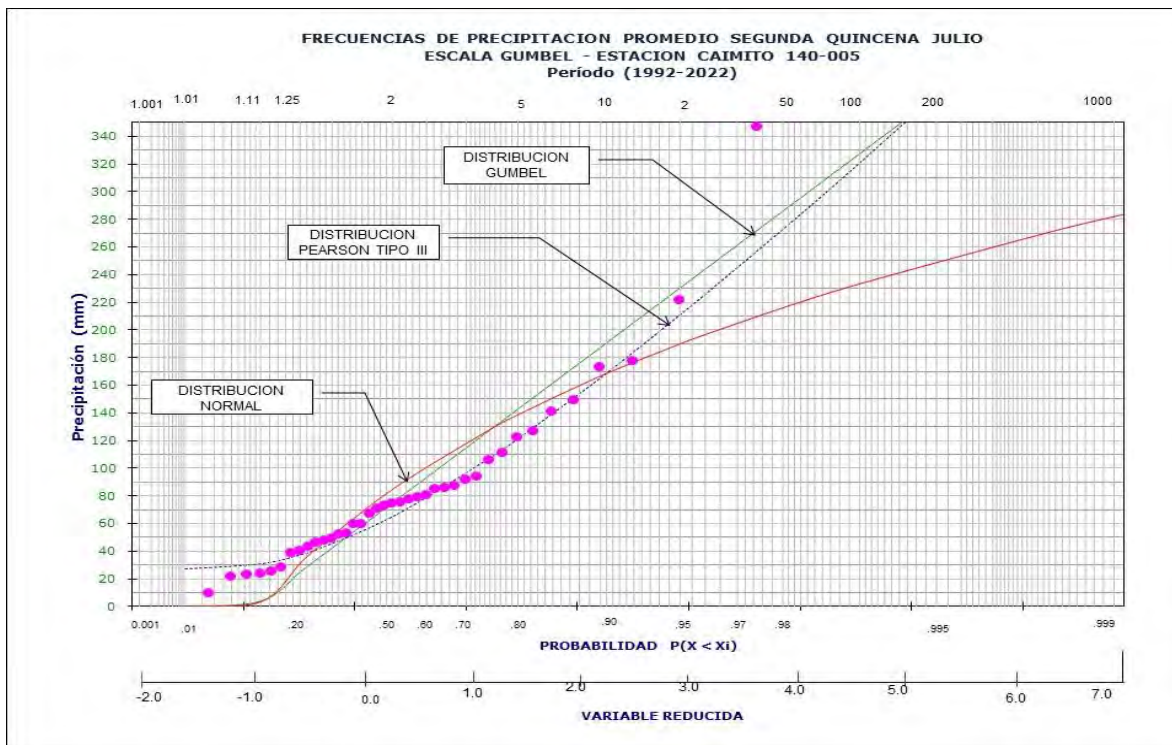


Gráfico N°5-19: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Julio (16-31) Estación 140-005

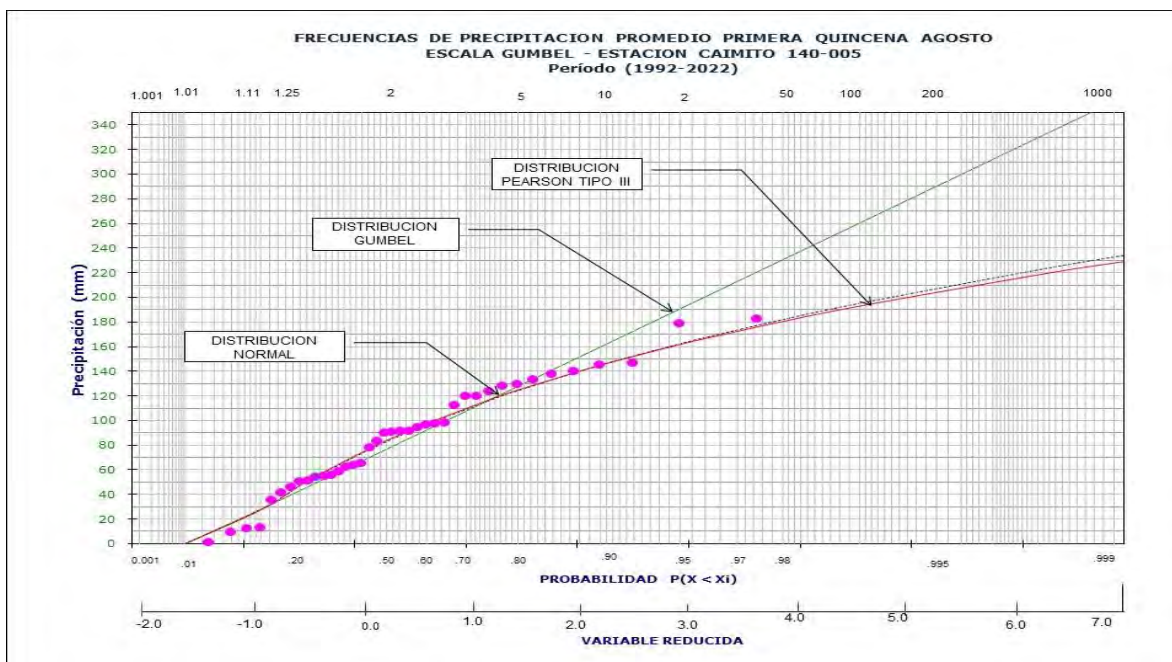


Gráfico N°5-20: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Agosto (1-15) Estación 140-005

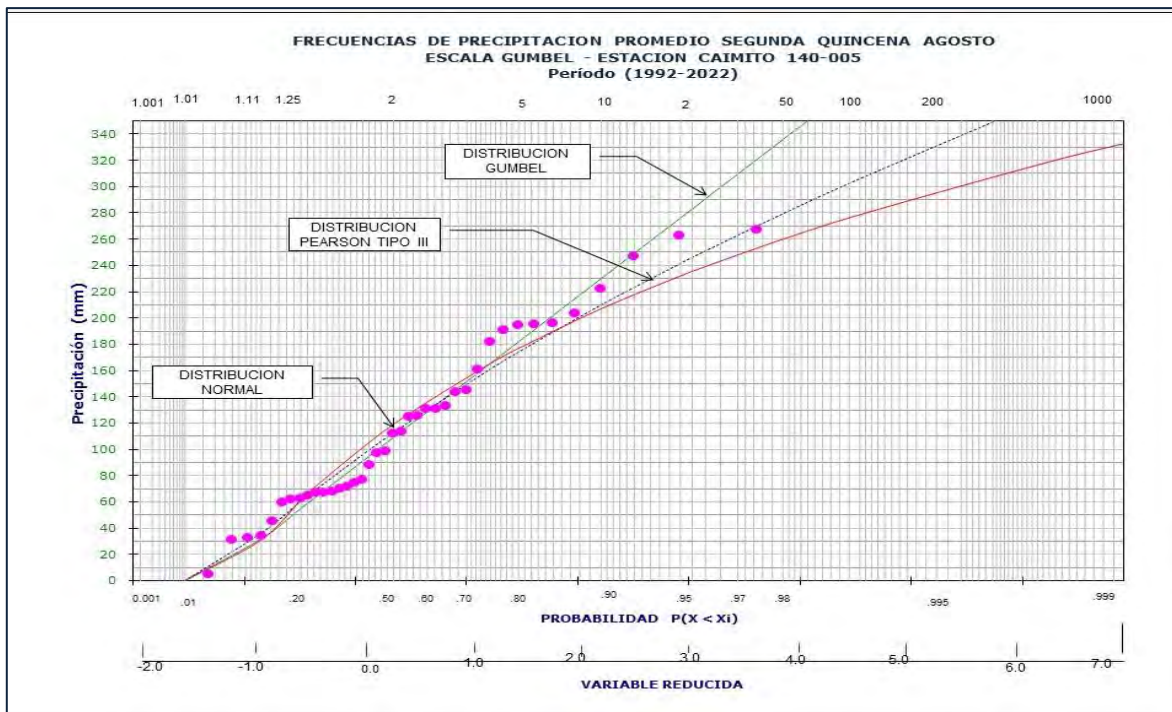


Gráfico N°5-21: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Agosto (16-31) Estación 140-005

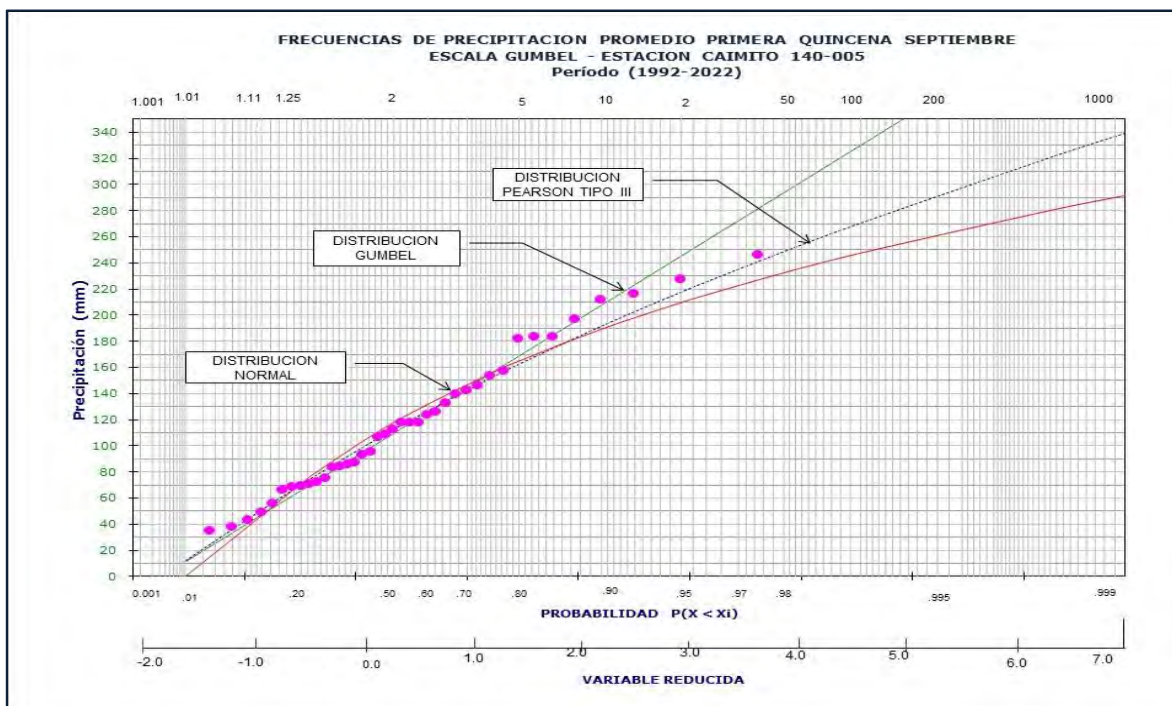


Gráfico N°5-22: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Septiembre (1-15) Estación 140-005

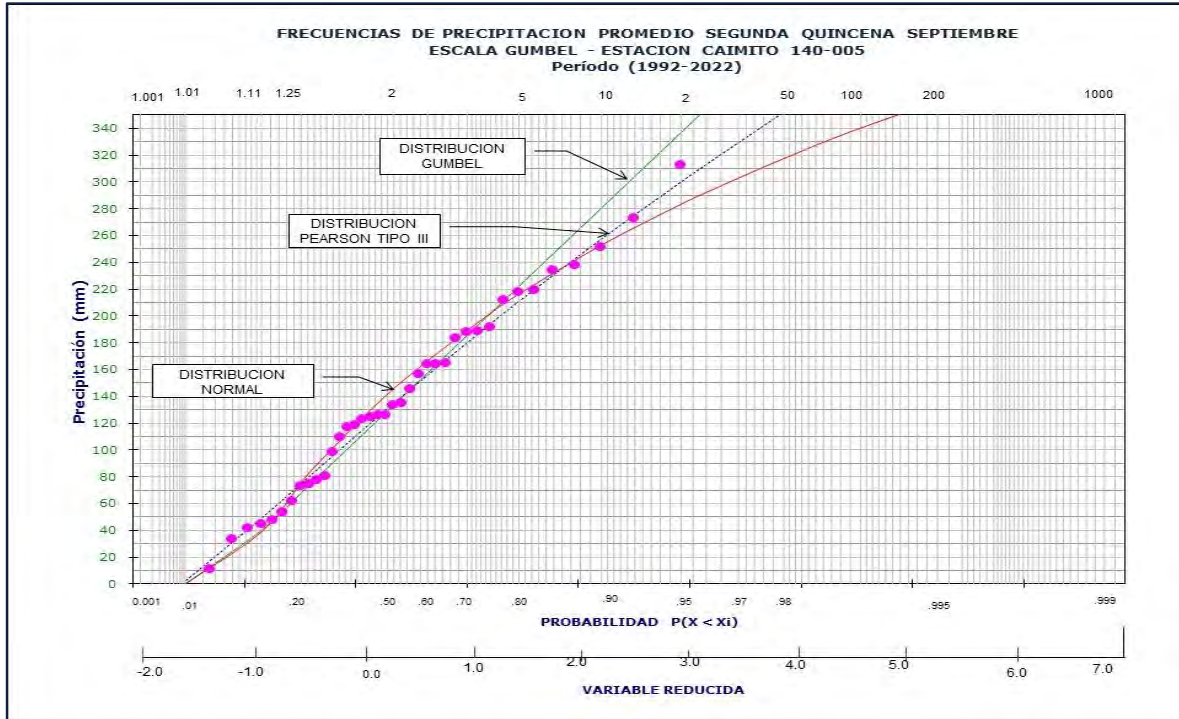


Gráfico N°5-23: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Septiembre (16-30) Estación 140-005

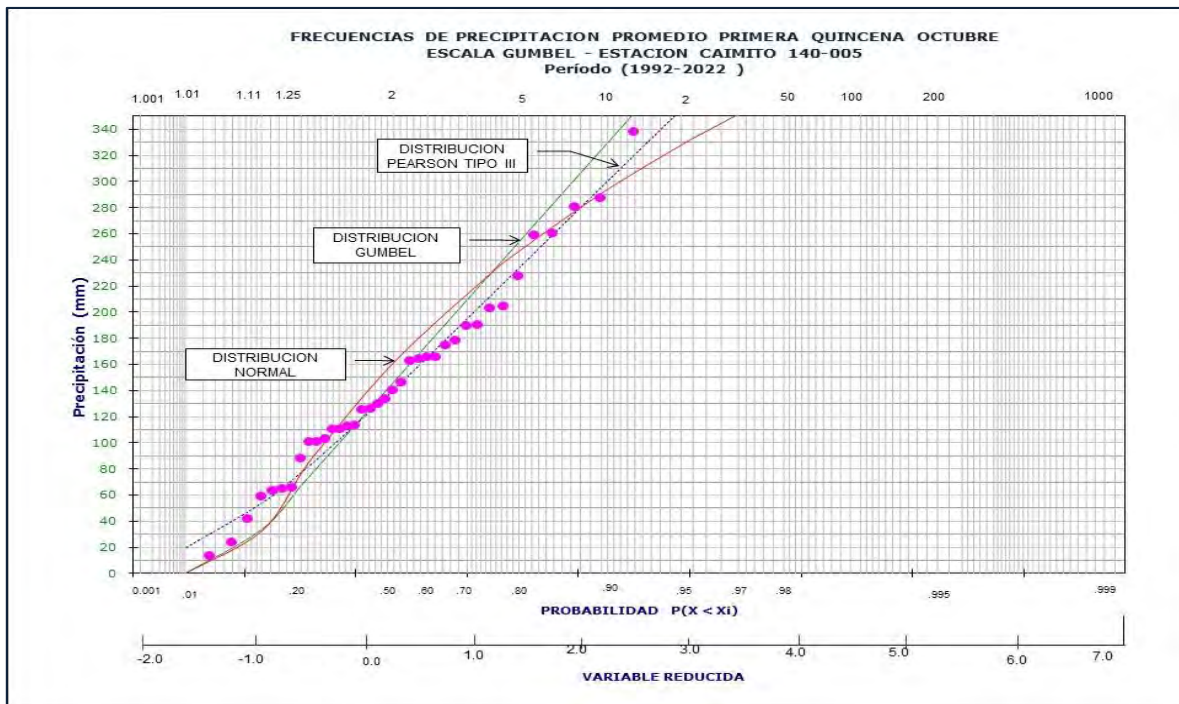


Gráfico N°5-24: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Octubre (1-15) Estación 140-005

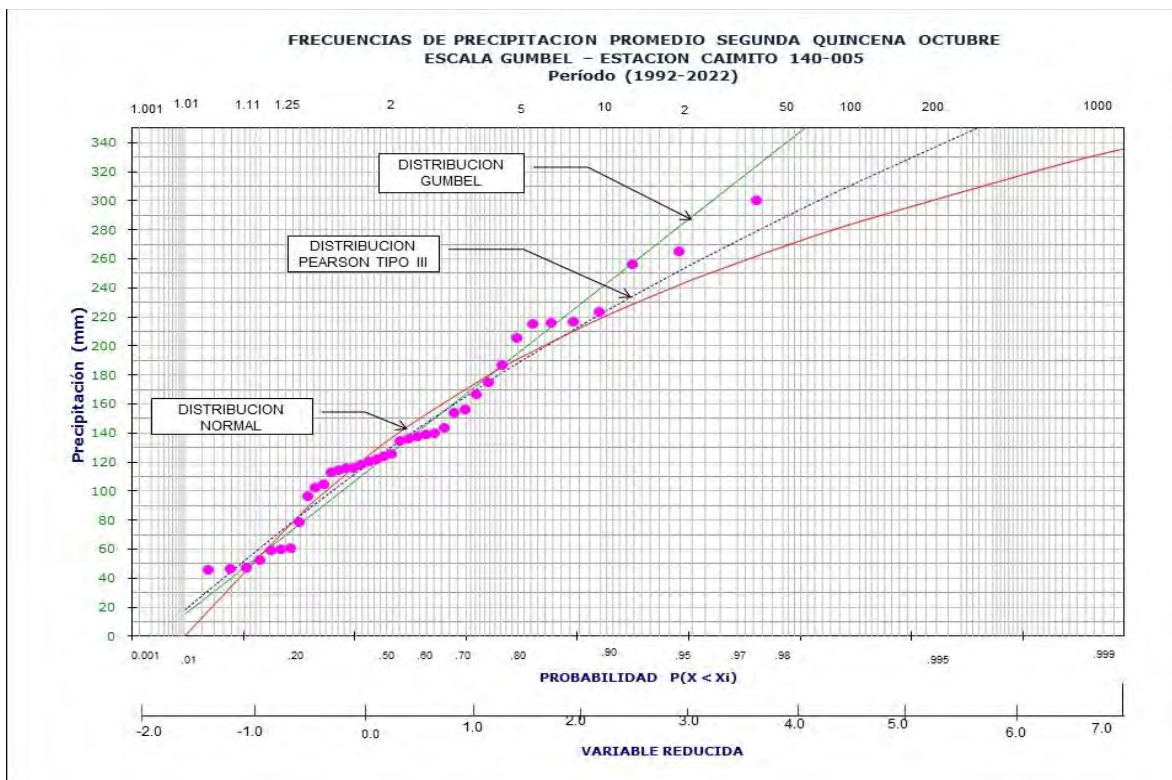


Gráfico N°5-25: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Octubre (16-31) Estación 140-005

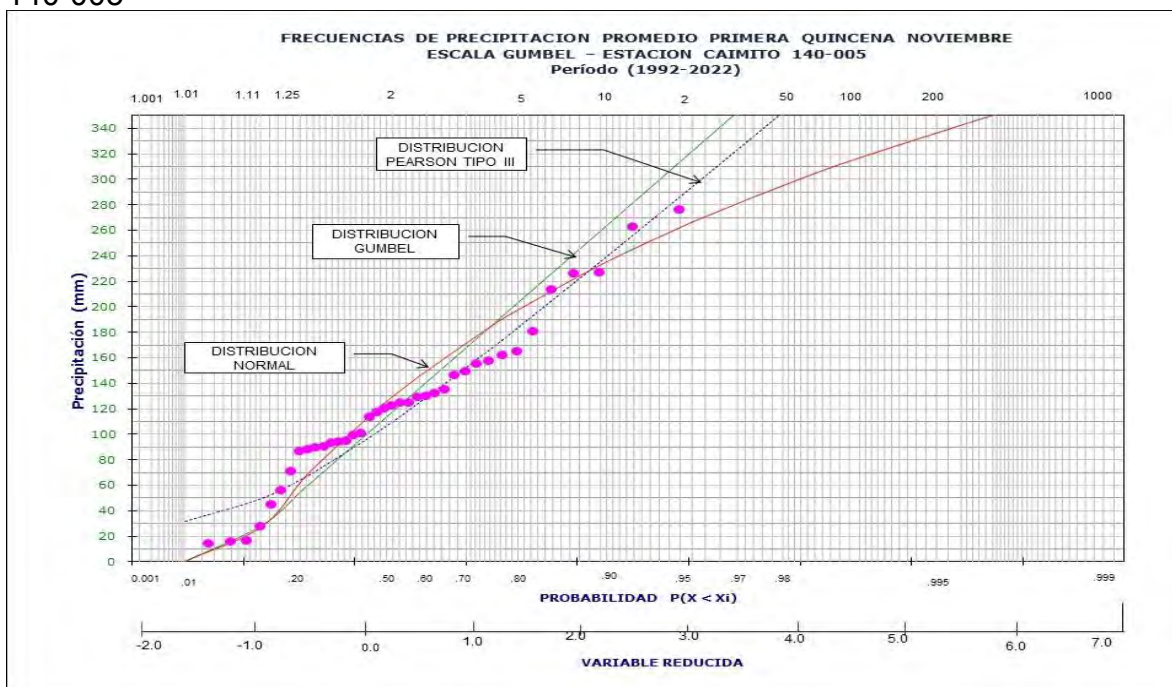


Gráfico N°5-26: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Noviembre (1-15) Estación 140-005

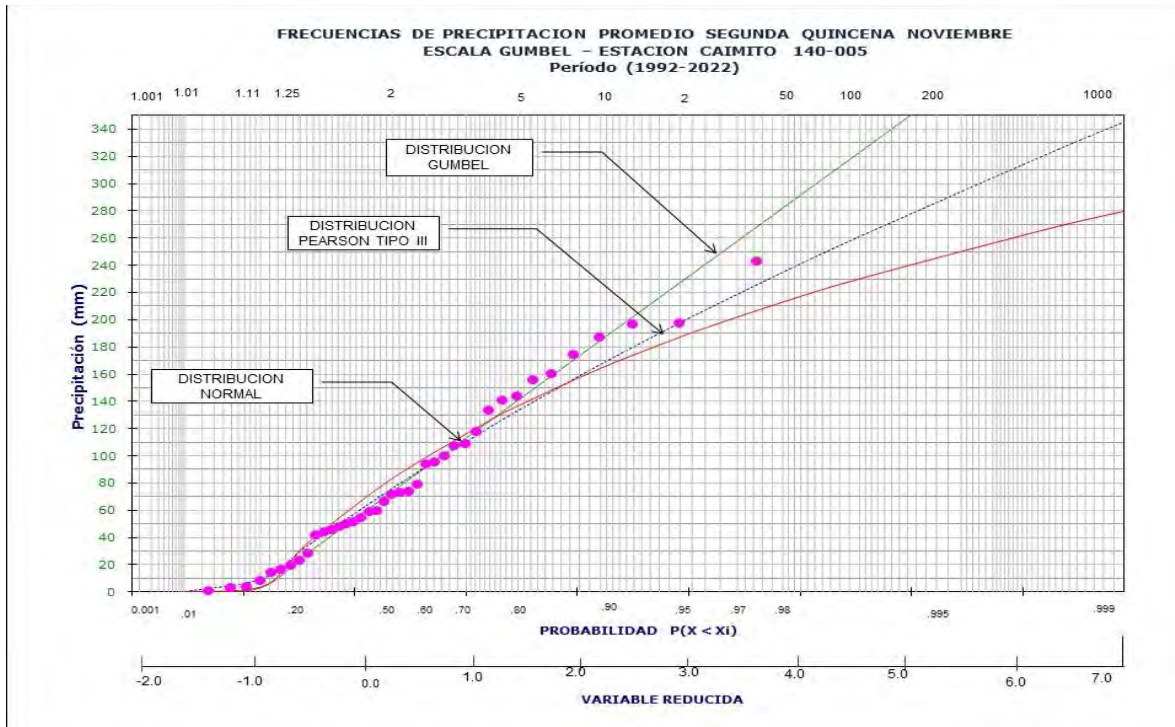


Gráfico N°5-27: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Noviembre (16-30) Estación 140-005

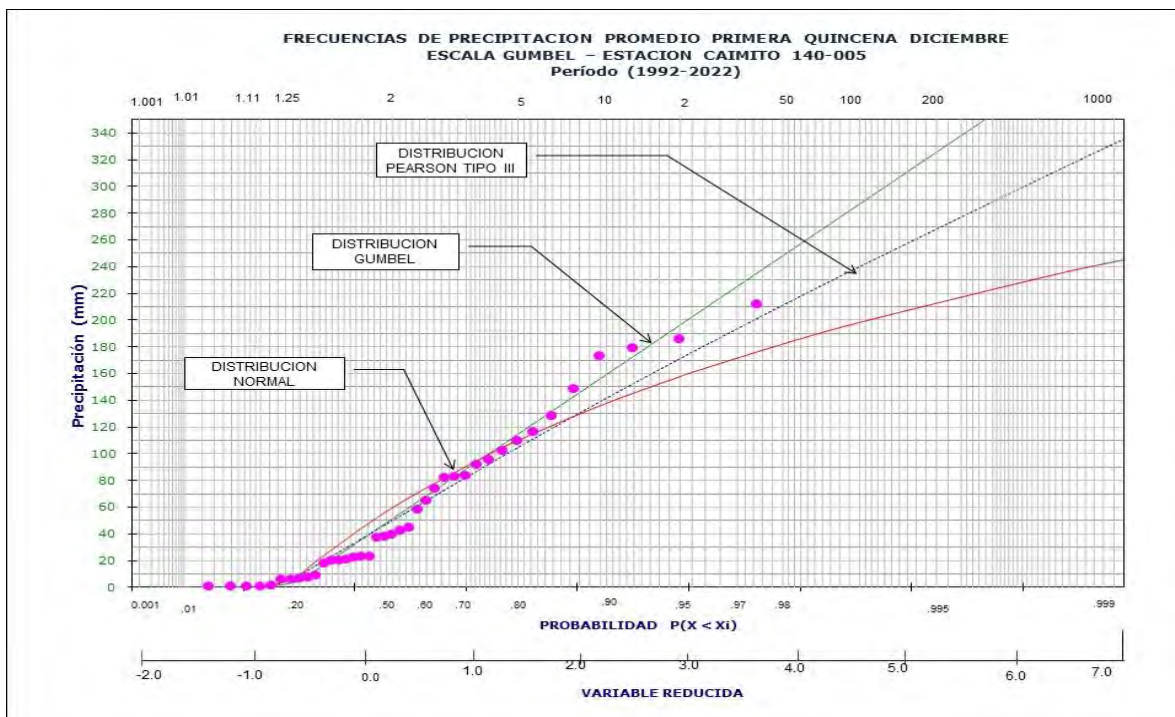


Gráfico N°5-28: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Diciembre (1-15) Estación 140-005

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

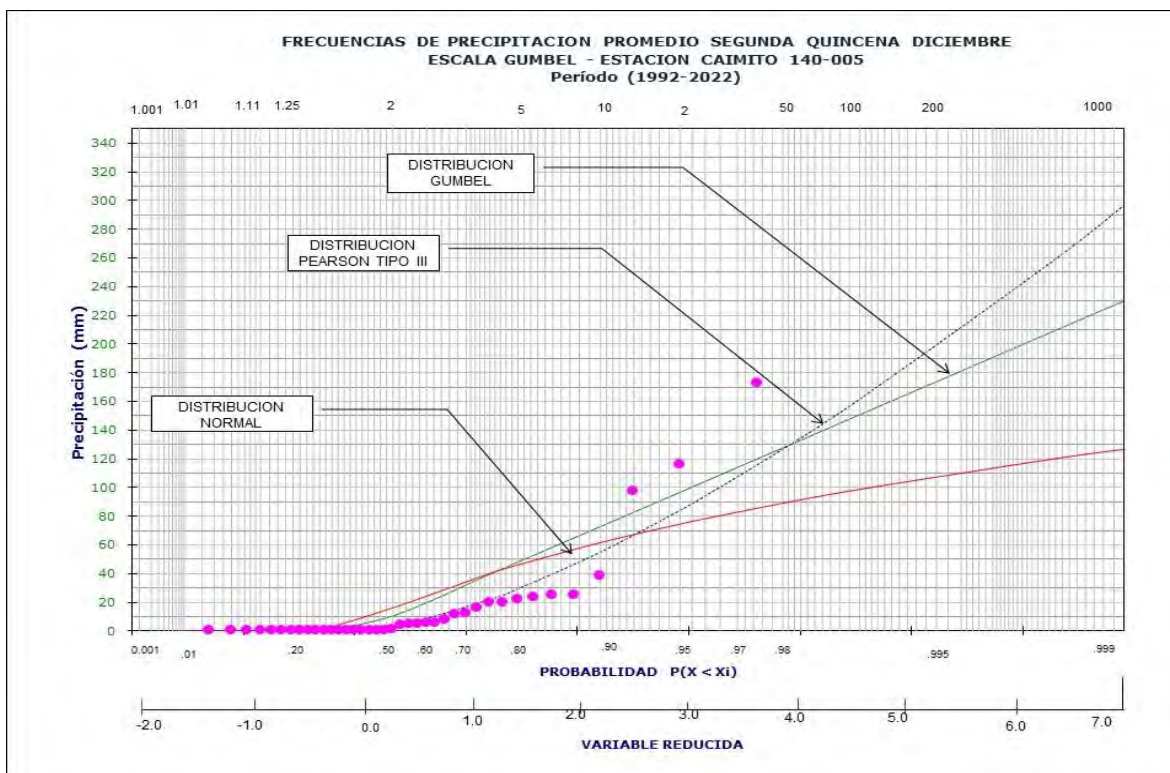


Gráfico N°5-29: Precipitación Promedio Gumbel Tipo I Diciembre (16-30) Estación 140-005

7.0 Caudales

Para el análisis de los caudales del Río San Bernandino, la cual colinda con el área del Polígono del proyecto, se utilizó la **Estación 140-01-03**, la cual se localiza sobre el río Caimito. A continuación, presentamos la información y ubicación de la estación utilizada en este estudio para el traslado de los caudales.

Numero	Rio	Lugar	Área de Drenaje Km2	Latitud	Longitud	Fecha de Inicio
140-01-03	Caimito	Mastranto	517.97	8° 54' 28''	79° 45' 44''	2014

Cuadro N°5-7: Información de la Estación de Referencia Utilizada en este Estudio- Información Imhpa-2023

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

7.1 Metodología para el cálculo de Caudales (Máximos, Mínimos y Promedios) para el Rio San Bernandino

El Método de transposición de caudales consiste en estimar el caudal desconocido de una cuenca (Subcuenca o Microcuenca) a partir del caudal conocido de otra, suponiendo que las condiciones hidrológicas de ambas son semejantes a gran escala, por lo que su producción hídrica sería proporcionalmente la misma teniendo en cuenta los parámetros mencionados. Por eso se implementa un factor para el caudal que es la relación entre los parámetros utilizados así:

Transposición por áreas:

$$\text{Caudal transpuesto} = \frac{(\text{Área de cuenca a transponer})}{(\text{Área de cuenca conocida})} * \text{Caudal conocido}$$

Transposición por áreas y precipitación:

$$\text{Caudal Transpuesto} = \frac{\text{Área de la cuenca a Transponer}}{\text{Área de la cuenca Conocida}} * \text{Caudal Conocido}$$

Transposición por áreas, precipitación y evapotranspiración

$$\text{Caudal transpuesto} = \frac{\text{Área} * (\text{Pptn.} - \text{Evap.}) \text{ de cuenca a transponer}}{\text{Área} * (\text{Pptn.} - \text{Evap.}) \text{ de cuenca conocida}} * \text{Caudal conocido}$$

RIO CAIMITO 140-01-03	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Caudal Máxima	6	3.6	1.7	2.3	3.5	6.1	8.5	10.3	9.9	15.9	24.9	8.9
Caudal Promedio	5	3	1.7	1.7	2.7	4.8	6.5	9.9	9.5	14.8	17.2	8.6
Caudal Minimo	3.9	2.4	1.6	1	2	3.5	4.4	9.5	9	13.7	9.6	8.3

Cuadro N°5-8: Caudales (Máximos Mínimos, Promedio) (m³/s) de la estación Base Rio Caimito -Imhpa-2023

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

7.2 Cálculos de Caudales Máximos Mínimos y Promedios de las (Rio San Bernandino hasta la Colindancia con el Polígono del Proyecto)

Caudales del Rio San Bernandino

$$QF = \frac{37.83 * (2651.17 - 1322.20)}{517.97 * (1501.92 - 1322.20)} = \frac{(37.83) * (1328.97)}{(517.97) * (179.72)} = \frac{50,274.93}{93,089.57}$$

Coefficiente de Traslado: 0.54007055

RIO SAN BERNANDINO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Máximo	3.240	1.944	0.918	1.242	1.890	3.294	4.591	5.563	5.347	8.587	13.448	4.807	13.448
Mínimo	2.700	1.620	0.918	0.918	1.458	2.592	3.510	5.347	5.131	7.993	9.289	4.645	0.918
Promedio	2.106	1.296	0.864	0.540	1.080	1.890	2.376	5.131	4.861	7.399	5.185	4.483	3.101

Cuadro N°5-9: Caudales (Máximos Mínimos, Promedio) m³/s (Metros Cúbicos por Segundo) Rio San Bernandino

7.3 Caudales Máximos

Uno de los métodos aplicados para determinar los caudales máximos para diferentes periodos de recurrencia fue el “**Análisis de Crecidas Máximas**”, estudio que realizo ETESA (Hoy El Instituto de Meteorología e Hidrologia de Panamá) por medio de análisis estadístico del registro de datos de caudales de la red de estaciones hidrometeorológicas, el primer estudio se hizo en 1986 por medio del IRHE pero fue hasta el año 2007 cuando el mismo fue actualizado utilizando un amplio registro de datos de más de **50 años**, el cual presenta el cálculo del caudal teniendo como variables el área de drenaje de la cuenca de estudio hasta el sitio de interés y una constante que varía dependiendo de la región en la que se ubique en el país.

La fórmula aplicada es la siguiente:

$$Q_{prom} = KA^{0.59}$$

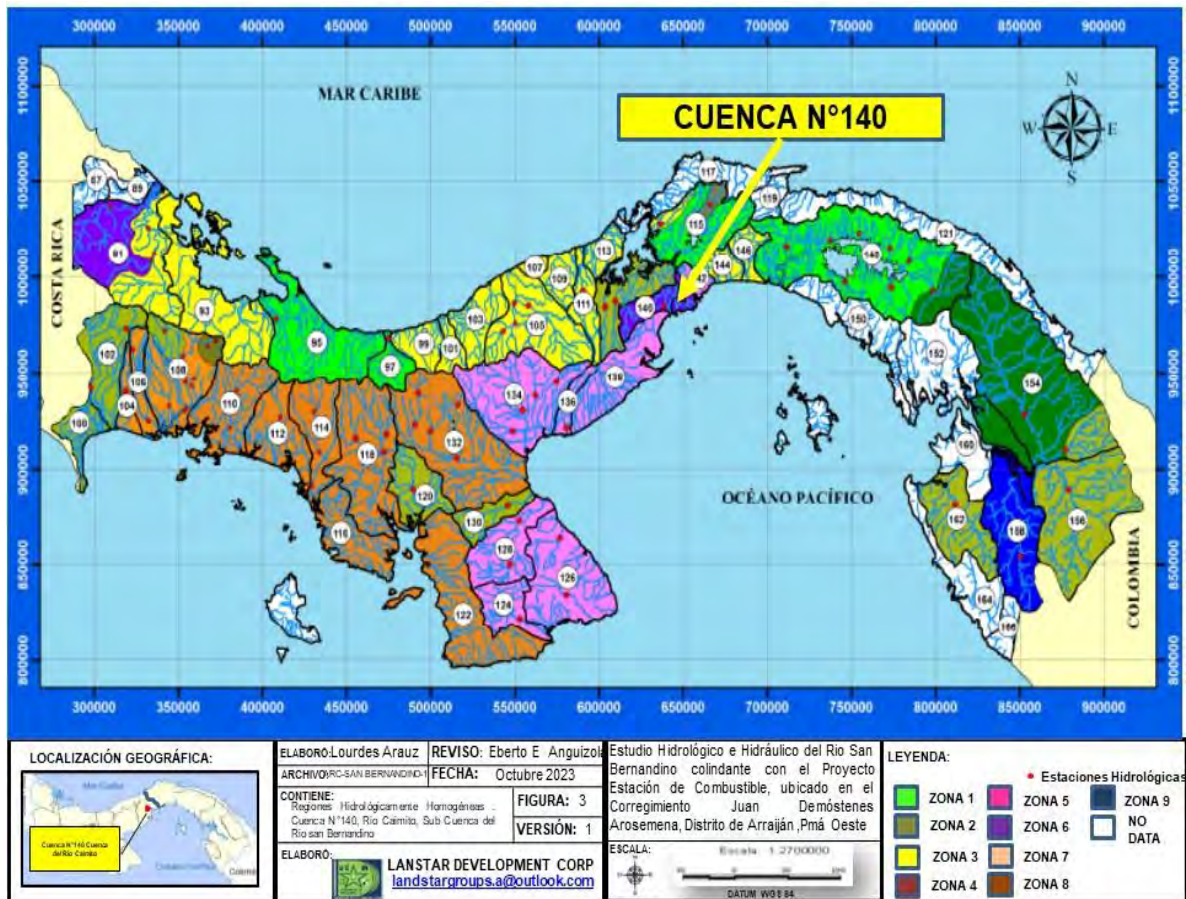
Donde,

Q prom = Caudal promedio en m³/s

K = Constante que depende de la región hidrológica

A = Área de Drenaje de la cuenca en Km²

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNARDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---



Mapa N°3: Regiones Hidrológicamente Homogéneas. Para la cuenca N°140 se aplica la Región N°5. Fuente: Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá 2023.

Según el **Mapa N°3**, de Regiones Hidrológicamente Homogéneas, la **Cuenca N° 140**, Subcuenca del Río San Bernardino se ubican dentro de la **Zona N°6**, por lo cual le corresponde la **Ecuación N° 3** como se muestra en el **Cuadro N°5-10**, cuya ecuación se establece en el **Cuadro N° 5-11** como $Q \text{ máx.} = 14 A^{0.59}$

Para este cálculo de crecidas máximas, utilizaremos los mismos valores y ecuación debido a que todos los afluentes hídricos están contenidos en la cuenca **N°140** y en la Subcuenca del Río San Bernardino.

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
---	--	--

Zona	Ecuación	Distribución de frecuencia
1	1	1
2	1	3
3	2	1
4	2	4
5	3	1
6	3	2
7	4	3
8	5	3
9	2	3

Cuadro N°5-10: Aplicación de la Zona, Numero de la Ecuación, y Distribución.
Fuente Fuente: Instituto de Meteorología e Hidrologia de Panamá 2023.

Análisis Regional de Crecidas Máximas.	Año 2007
Ecuación N° 1	Q máx. = 34A ^{0.59}
Ecuación N° 2	Q máx. = 25A ^{0.59}
Ecuación N° 3	Q máx. = 14A^{0.59}
Ecuación N° 4	Q máx. = 9A ^{0.59}
Ecuación N° 5	Q máx. = 4.5A ^{0.59}

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

Cuadro N°5-11: Zona, Ecuación y Distribución de la frecuencia. Fuente: Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá 2023.

Índices Q _{máx.} / Q _{prom.máx} para distintos Tr.				
Tr	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
1000	3.81	3.71	3.53	3.14
10000	5.05	5.48	4.60	4.00

Cuadro N°5-12: Valores de la Tabla N°2, Correspondiente a la Zona N°6. Fuente: Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá 2023

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
---	--	--

Periodo de retorno	Factor	Área de drenaje (Km²) RIO SAN BERNANDINO	Caudal máximo (m³/s) RIO SAN BERNANDINO
1.005	0.29	37.83	34.63
1.05	0.44	37.83	52.54
1.25	0.63	37.83	72.23
2	0.93	37.83	111.05
5	1.35	37.83	161.28
10	1.64	37.83	195.84
20	1.94	37.83	231.66
50	2.32	37.83	277.03

Cuadro N°5-13 Caudales Máximos Instantáneos del Rio San Bernandino colindante con el Proyecto, , con los diferentes periodos de retorno.2023

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

7.4 Cálculos Hidráulicos

Rio San Bernandino

$$Q = 277.03 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S_o = 0.0080 \text{ m/m}$$

$$n = 0.025 \text{ (taludes y fondos sin revestir)}$$

Tomando sección trapezoidal de 7.00 m de base y taludes 1.5;1, tenemos:

$$A = 1.5Yn^2 + 10Yn$$

$$p = 2Yn\sqrt{3.25} + 10$$

$$277.03 = \frac{1}{0.025} \left(\frac{1.5Yn^2 + 10Yn}{2Yn\sqrt{3.25} + 10} \right)^{2/3} \sqrt{0.0080} (1.5Yn^2 + 10Yn)$$

Resolviendo, obtenemos el valor de **Yn = 1.65 m.**

7.5 Simulación Hidrológico e Hidráulica del Rio San Bernandino en Secciones determinadas con Periodos de Retornos de 1:50

SIMULACIÓN HIDRÁULICA UTILIZANDO EL PROGRAMA HEC-RAS 6.0

El Programa HEC-RAS (Utilizado para esta Simulación)

El HEC-RAS es un modelo hidráulico que permite calcular los niveles de superficie del agua bajo condiciones de flujo permanente y para este caso especial de flujo continuo del Rio San Bernandino. Este programa tiene la capacidad de calcular las condiciones de flujo para regímenes fluyentes subcríticos, y supercríticos, y cuando se presente una mezcla de ambos. Igualmente, el programa presenta también opciones de cálculos para la simulación de diferentes estructuras hidráulicas como puentes, Box Culvert, canales abiertos y cerrados.

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNARDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
---	--	--

Este programa se fundamenta en la solución de la ecuación de energía, en la cual la pérdida de energía por fricción se calcula por la ecuación de manning y las perdidas locales por contracción y expansión del flujo, se calculan como una fracción del cambio en la cabeza de velocidad entre dos secciones. Para resolver lo anterior, se requiere como datos básicos de entrada la geometría del río, el caudal, los valores de coeficiente de pérdidas y las condiciones de fronteras para el cálculo de acuerdo con el régimen de flujo y los controles existente en el tramo analizado. Para este caso la geometría del Cauce del Rio San Bernardino , en las secciones determinadas (condiciones existentes) se define por las secciones transversales actuales tomadas en forma perpendicular a la dirección de línea de flujo, y por la separación longitudinal entre secciones adyacentes.

Este programa fue ejecutado por: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP.

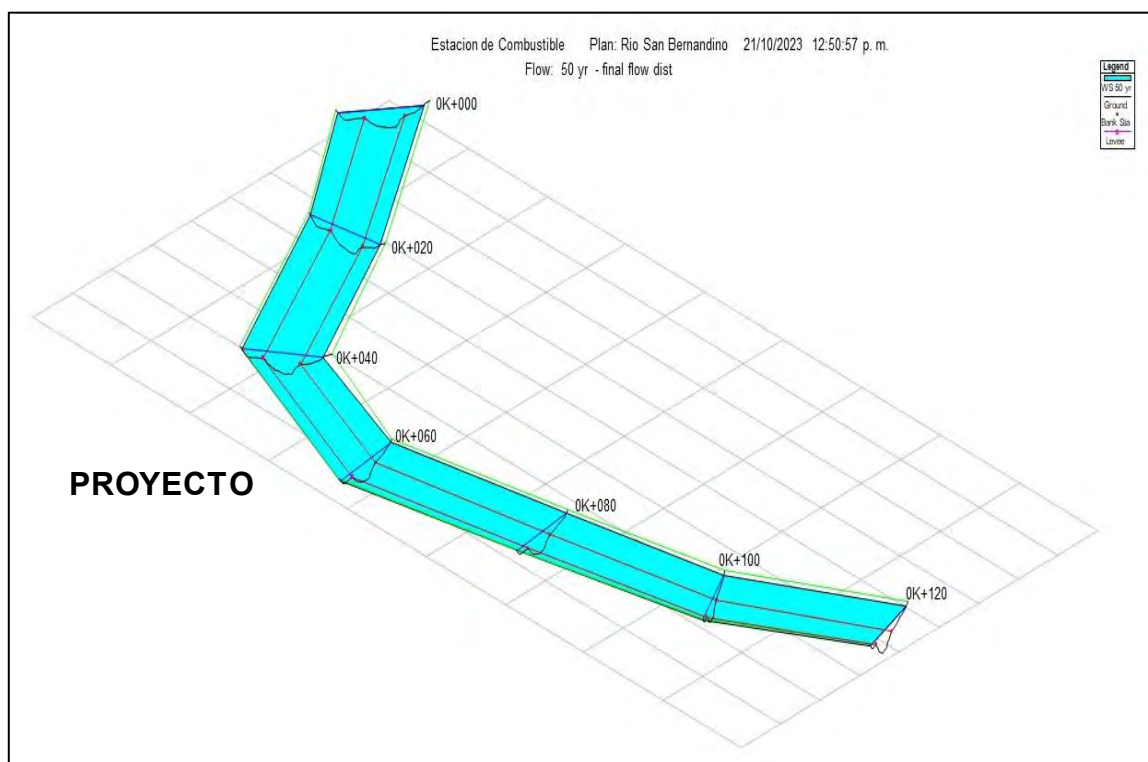


Imagen N°7-1: Simulación Hidrológica e Hidráulica Rio San Bernardino-Tr-50 años

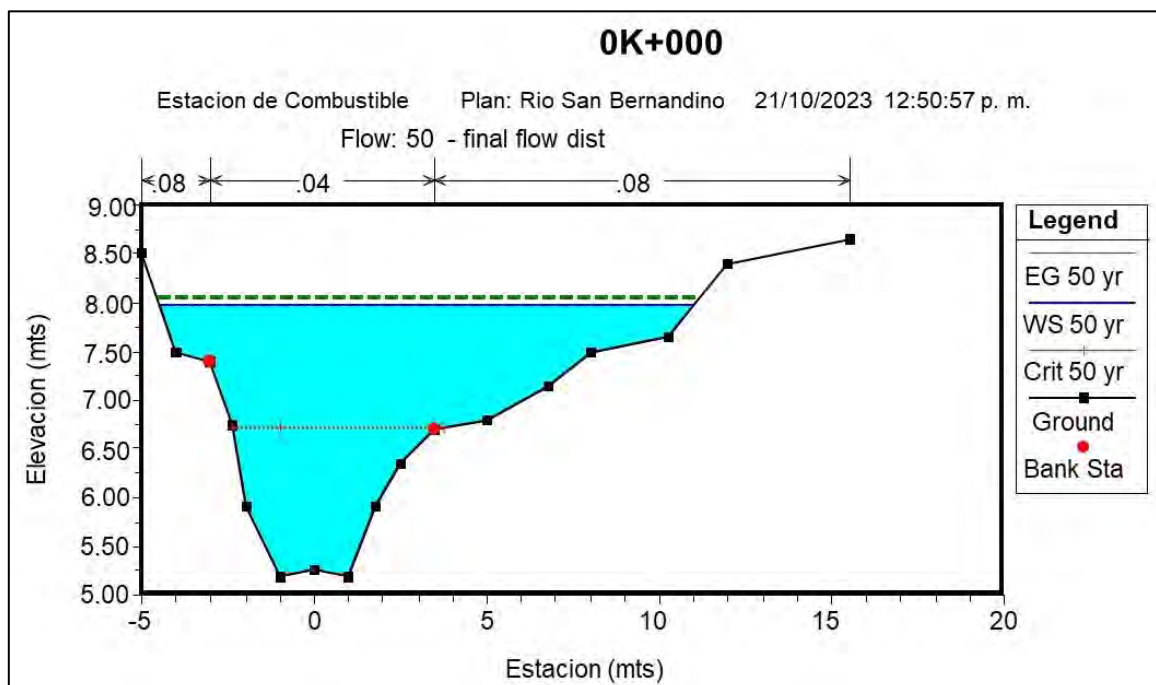


Imagen N°7-2:Sección 0K+000. Tiempo de Retorno 50 años-

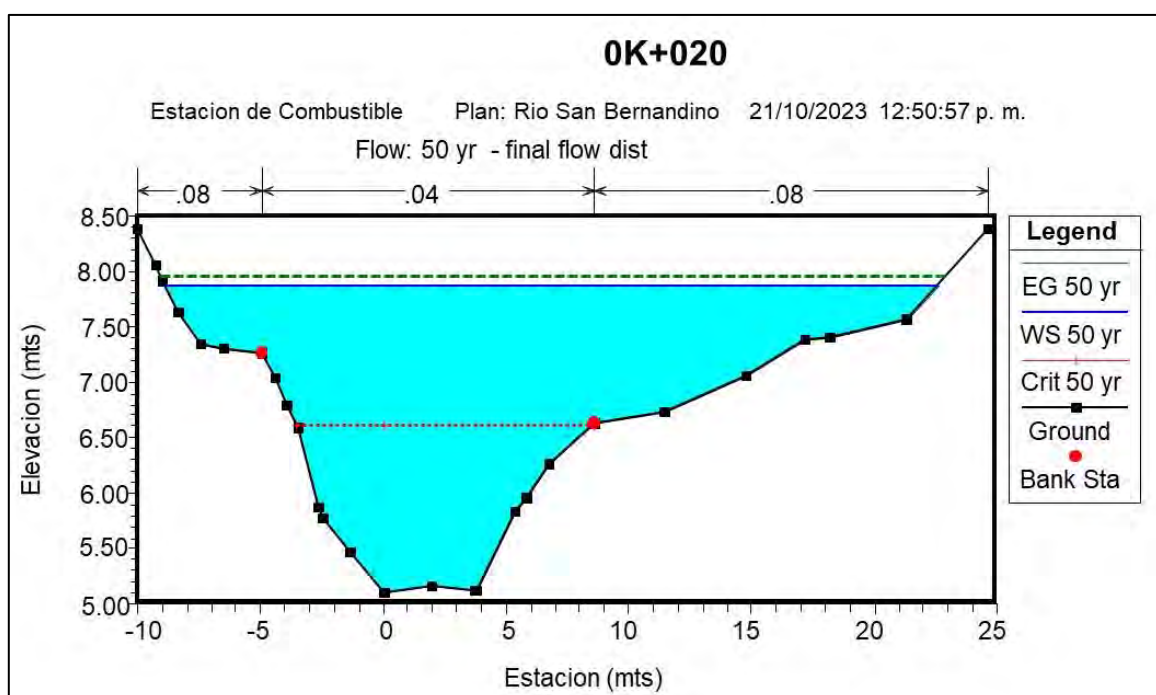


Imagen N°7-3:Sección 0K+020. Tiempo de Retorno 50 años-

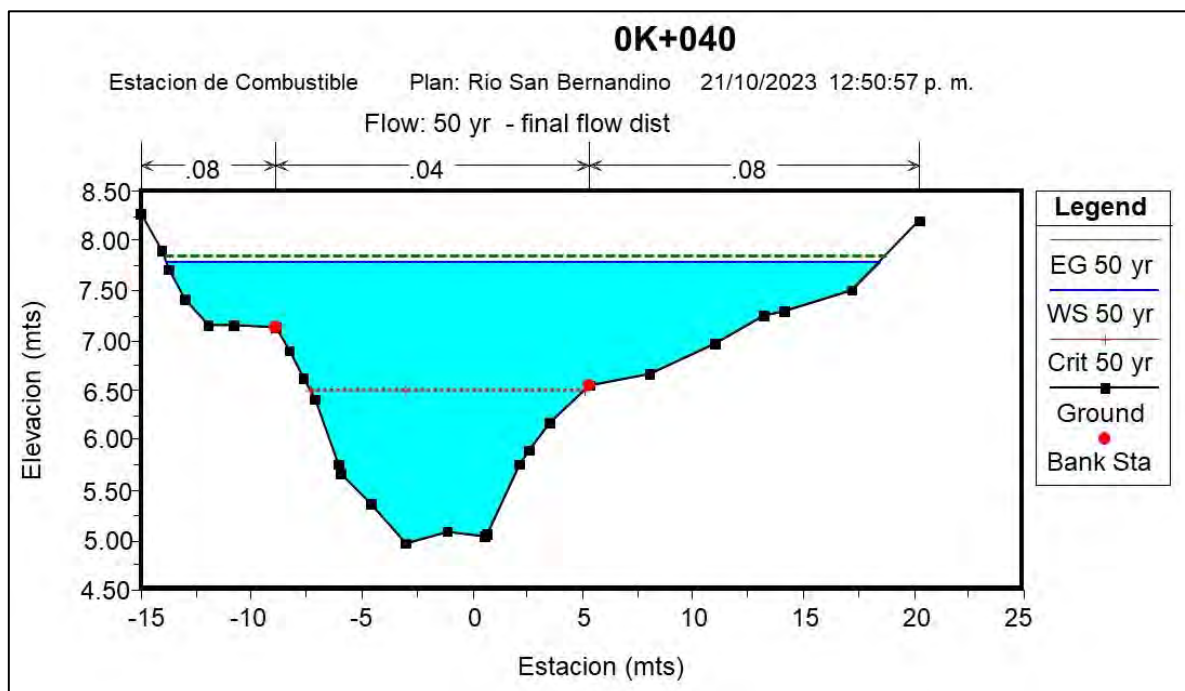


Imagen N°7-4:Sección 0K+040. Tiempo de Retorno 50 años-

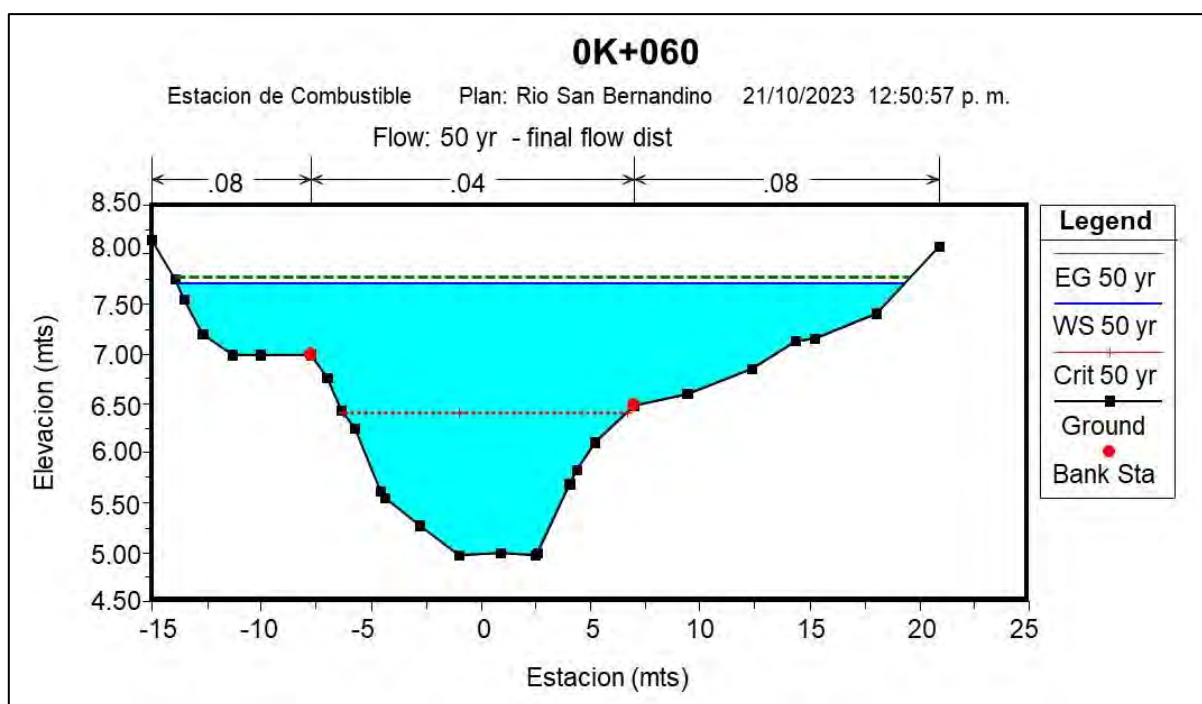


Imagen N°7-5:Sección 0K+060. Tiempo de Retorno 50 años-

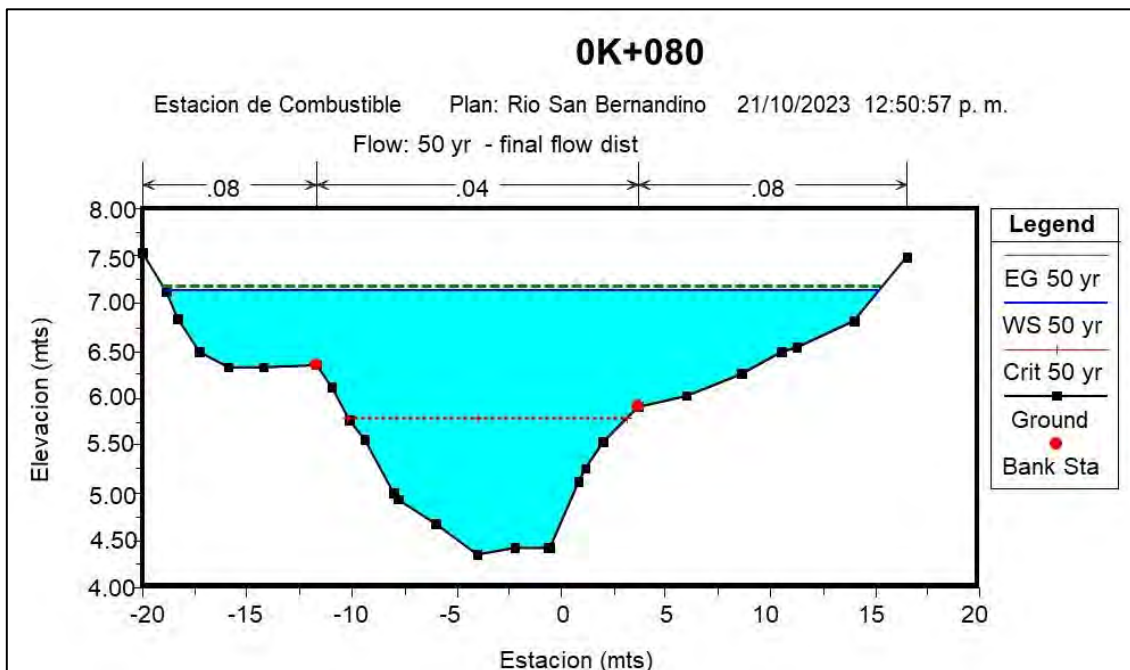


Imagen N°7-6:Sección 0K+080. Tiempo de Retorno 50 años-

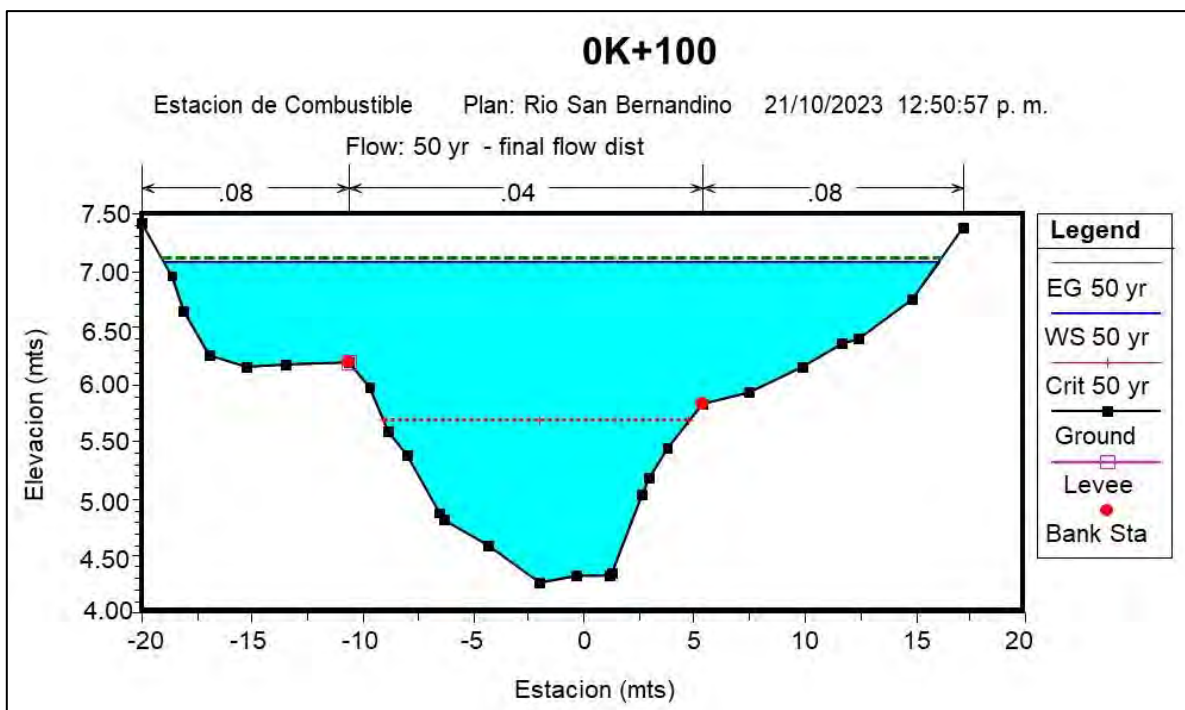


Imagen N°7-7:Sección 0K+100. Tiempo de Retorno 50 años-

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

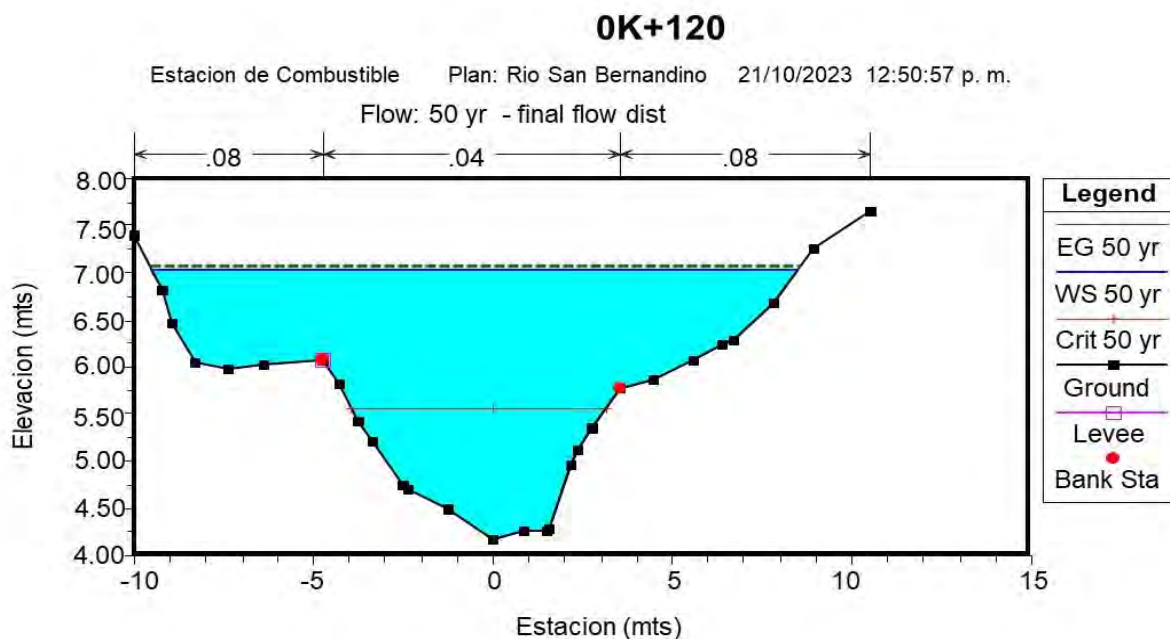


Imagen N°5-8:Sección 0K+120. Tiempo de Retorno 50 años-

8.0 Calculo de Niveles Seguros del Rio San Bernardino , respecto al Polígono donde se encuentra el Proyecto.

Estación 0K +000.00

$$\text{NAME} = \text{E.FDO} + Y_n$$

$$\text{NAME} = 5.10 + 1.65 = 6.75$$

$$\text{Nivel de Terracería} = \text{NAME} + 1.50$$

$$\text{N.T} = 6.75 + 1.50 = 8.25 \text{ m}$$

$$\text{N.T Recomendado} = 8.50 \text{ m}$$

Estación 0K +020.00

$$\text{NAME} = \text{E.FDO} + Y_n$$

$$\text{NAME} = 5.00 + 1.65 = 6.65$$

$$\text{Nivel de Terracería} = \text{NAME} + 1.50$$

$$\text{N.T} = 6.65 + 1.50 = 8.15 \text{ m}$$

$$\text{N.T Recomendado} = 8.50 \text{ m}$$

Estación 0K +040.00

$$\text{NAME} = \text{E.FDO} + Y_n$$

$$\text{NAME} = 4.90 + 1.65 = 6.55$$

$$\text{Nivel de Terracería} = \text{NAME} + 1.50$$

$$\text{N.T} = 6.55 + 1.50 = 8.05 \text{ m}$$

$$\text{N.T Recomendado} = 8.25 \text{ m}$$

Estación 0K +060.00

$$\text{NAME} = \text{E.FDO} + Y_n$$

$$\text{NAME} = 4.85 + 1.65 = 6.50$$

$$\text{Nivel de Terracería} = \text{NAME} + 1.50$$

$$\text{N.T} = 6.50 + 1.50 = 8.00 \text{ m}$$

$$\text{N.T Recomendado} = 8.10 \text{ m}$$

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

Estación 0K +080.00

NAME = E.FDO +Yn

NAME= 4.50 +1.65= 6.15

Nivel de Terracería = NAME +1.50

N.T = 6.15+1.50 = 7.65 m

N.T Recomendado = 7.70 m

Estación 0K +100.00

NAME = E.FDO +Yn

NAME= 4.20+ 1.65= 5.85

Nivel de Terracería = NAME +1.50

N.T = 5.85+1.50 = 7.35 m

N.T Recomendado = 7.50m

Estación 0K +120.00

NAME = E.FDO +Yn

NAME= 4.00+1.65= 5.65

Nivel de Terracería = NAME +1.50

N.T = 5.65+1.50 = 7.15

N.T Recomendado = 7.20 m

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

9.0 Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

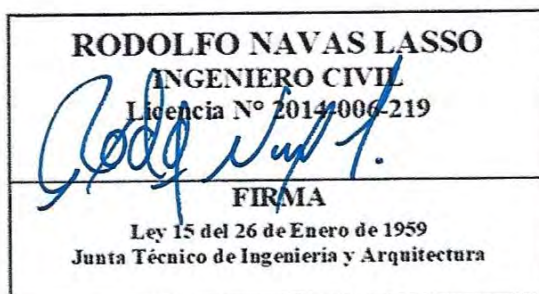
- a) El área de drenaje del Rio San Bernandino hasta la colindancia con el Proyecto es de 37.83 Kilómetros cuadrados, lo que representa un área de escorrentía superficial activa en temporada lluviosa.
- b) El Rio San Bernandino nace en la Coordenada del Polígono del proyecto en las coordenadas UTM WGS **UTM WGS 84 990,377 mN , 639,196 mE**, en una elevación de **80 m nmm**.
- c) Según el análisis Climatológico presentado en este documento, se observaron claramente las temporadas lluviosas y secas bien definidas en el área de influencia del Rio San Bernandino
- d) Se hizo un análisis de la climatología del área descrita en el párrafo anterior, determinando el comportamiento del clima; en particular del régimen de lluvias de la zona y los niveles de escorrentía superficial. Se analizó la Data histórica mensual y diaria de las Estaciones Meteorológicas de **Caimito (140-005)**, **SE-c-Chorrera (140-006)** y **El Llano (140-007)**.
- e) Se cálculo a nivel quincenal el comportamiento de las lluvias de la estación más representativa del área del proyecto, **(Caimito (140-005),)** por la metodología Gumbel Tipo I.
- f) Con respectos a los Caudales Promedios, Máximos y Mínimos, se pudo observar los valores consistentes a través de los años de registro.
- g) Se realizo una Simulación **TR-1:50 años**. Se observo que el rio San Bernandino toma un área de amortiguamiento en ambos lados de 10 metros.
- h) Se calculo los niveles de terracería segura, en el tramo evaluado.

REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNARDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
---	--	--

Recomendaciones

- a. Se debe preservar la servidumbre de 20 metros en ambas márgenes de la del Rio San Bernardino, con el fin de garantizar el área de amortiguamiento ya establecida por el rio San Bernardino
- b. Se debe cumplir con la cota recomendada de Niveles Seguros, con el fin de garantizar la seguridad del área construida ante crecidas máximas del Rio San Bernardino


RODOLFO NAVAS LASSO
Ingeniero Civil
2014-006-219



REALIZADO POR: LANDSTAR DEVELOPMENT CORP	ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RIO SAN BERNANDINO, COLINDANTE CON EL PROYECTO ESTACION DE COMBUSTIBLE Y TIENDA DE CONVENIENCIA VA & VEN AUTOPISTA 1	SOLICITADO POR: PETROLERA NACIONAL S.A.
--	--	---

10. Bibliografía

- ✓ Atlas nacional de la República de Panamá (1990). publicado por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.
- ✓ Mapa Hidrogeológico de Panamá. publicado por la empresa de Transmisión Eléctrica S.A. (1999)
- ✓ Datos de la dirección de estadística y censo de la contraloría general de la República de Panamá
- ✓ Chow, V. T., D. R. Maidment y L. W. Mays, 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill Publishing Co., New York.
- ✓ Chow, V. T., 1994. Hidráulica de Canales Abiertos. McGraw-Hill Interamericana, S.A.
- ✓ González, Diego A., 2008, Análisis de Crecidas Máximas en Panamá, ETESA, Panamá.
- ✓ USACE, 2008, HEC-RAS 4.0 River Analysis System User's Manual. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
- ✓ USACE, 2008, HEC-RAS 4.0 River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
- ✓ Manual de Aprobación de Planos. Ministerio de Obras Públicas, 2002. Actualizado-2013.
- ✓ Ministerio de Comercio e Industrias, Dirección General de Recursos Minerales.; Mapa Geológico de La República de Panamá. Escala 1: 250,000 y 1: 500,000.
- ✓ Struckmeier F.; Margat J.; Hydrogeological Maps a Guide and a Standard Legend; Internacional Contributions to Hydrogeology Founded by G. Castany, E. Groba, E. Romijn.
- ✓ UNESCO.; Primer Taller Sobre el Mapa Hidrogeológico del Istmo Centroamericano y México, 1988
- ✓ Weyl, R.; Geology of Central América, Berlin, Gebruder Borntraeger, 1980.