

2022

**ESTUDIO HIDROLOGICO-HIDRAULICO EN DIFERENTES
PARTES DE AGUAS EN EL MUNICIPIO DE GUERRA,
PROVINCIA SANTO DOMINGO, R.D.**

Realizado por:

Ing. Yudith Alt. Javier M.sc.

Ing. Jose Alberto Cruz M.sc.

PREFACIO

El presente estudio fue elaborado para la Planta Solar Fotovoltaica Guincho Municipio Guerra Provincia Santo Domingo. Por los siguientes profesionales:

- Ing. Yudith Altagracia Javier Morillo M.sc., cédula dominicana 093-0041397-9, ingeniero civil, Maestría en hidrología. Cel. 829-554-2602, email: javieryudith@hotmail.com.
- Ing. José Alberto Cruz Marte M.sc., Cedula, ing. Civil maestría en sanitaria Cel. 829-941-2841, email: jcruzmartel1@gmail.com.

Ing. Yudith Alt. Javier Morillo

Ing. Jose Alberto Cruz Marte

CONTENIDO

Prefacio.	i
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Objetivo General.	4
1.2. Objetivo Específico.	4
2. DESCRIPCION DE LA CUENCA.	5
2.1. Característica de la Cuenca.	6
2.1.1 Tiempo de Concentración.	6
2.1.2. Numero de Curva.	7
3. DESCRIPCION DEL CLIMA.	10
3.1. Clima.	10
3.2. Estación Climática.	10
3.3. Pluviometría.	10
4. ANALISIS DE FRECUENCIA.	12
4.1. Selección de las Estación y sus registros de Datos.	15
4.2. Serie de tiempo.	15
4.3. Función de Distribución de Probabilidad.	15
4.4. Software Utilizado en el Análisis.	15
4.5. Periodo de Retorno.	16
5. ESTIMACIÓN DE CRECIDA DE DISEÑO.	18
5.1. Caudales de Diseño por Modelo Precipitación Escorrentía.	19
5.2. Resultados del modelo Hec Hms.	19
5.3. Hidrograma de Avenida.	20
6. CONCLUSION Y RECOMENDACIÓN.	26

INTRODUCCIÓN

El estudio tiene como punto central la determinación del caudal Máximo de Avenida de las diferentes Lagunas en el municipio de Guerra para un periodo de recurrencia el cual debe ser compatible con la vida útil esperada de las estructura a instalar para la planta Solar Fotovoltaica Guincho

- Para los análisis hidrológicos de las lagunas primero se delimitaron las áreas que drenan a cada cuerpo de agua con el programa **global mapper**, luego se aplicó el modelo precipitación-escorrentía empleando el programa **HEC-HMS**. Se derivaron tormentas de diseño para diferentes periodos de retorno con base en la información de precipitación disponible en la estación pluviométrica Ozama Santo Domingo. La caracterización morfológica de la cuenca, así como sus condiciones actuales fueron la base para definir los parámetros de los modelos de abstracciones y de transformación que utiliza el programa HEC-HMS. Como resultado de la aplicación del modelo a las cuencas de las diferentes lagunas y se obtuvieron hidrogramas de crecientes y sus respectivos caudales pico para los diferentes periodos de retorno.

- El análisis hidráulico de las lagunas se realizó mediante la aplicación del modelo Hec Ras para esto se utilizaron secciones transversales derivadas del levantamiento topográfico del sitio, así como el levantamiento de las conducciones de las aguas del pueblo hacia la laguna principal. Se realizaron simulaciones a régimen permanente con el fin de determinar los niveles de agua en las lagunas en las diferentes secciones transversales para los diferentes caudales de diseño obtenidos por medio del análisis hidrológico. Como resultado de las simulaciones se obtuvieron, para cada una de las lagunas, elevación del nivel del agua, entre otras variables usuales en un modelo de este tipo.

1.1. Objetivo General.

El objetivo de este estudio es establecer las características hidrológicas del régimen de avenida máximas y extraordinarias para las diferentes lagunas.

1.2. Objetivos Específicos.

El objetivo hidrológico de este informe es conocer el caudal máximo asociado a la avenida producida en las lagunas que pertenecen al municipio de Guerra en la provincia Santo Domingo. Se han considerado los períodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años respectivamente.

El siguiente estudio compila las informaciones y valoraciones implementadas, a fin de valorar el caudal de tránsito, bajo las premisas Normativas existentes en nuestro país, que permitan definir los caudales de avenida que podrán circular de forma segura en el Proyecto planta Solar Fotovoltaica Guincho.

2. Descripciones de las cuencas en las diferentes Lagunas.

Cuerpo de agua 1 nace en el municipio de San Antonio de Guerra en la elevación 24 m.s.n.m. con una longitud de 0.84 km y un área de aporte de 0.35 km², localizado en la coordenada UTM 426565 m E y 2052599 m N, a una elevación de 23 m.s.n.m, esta laguna son endorreica, y se mantiene con una pendiente 0.12%.

Cuerpo de agua 2 nace en el municipio de San Antonio de Guerra en la elevación 27 m.s.n.m. con una longitud de 0.36 km y un área de aporte de 0.15 km², localizado en la coordenada UTM 426924 m E y 2052790 m N, a una elevación de 20 m.s.n.m, esta laguna son endorreica, y se mantiene con una pendiente 1.1%.

Cuerpo de agua 3 nace en el municipio de San Antonio de Guerra en la elevación 26 m.s.n.m. con una longitud de 0.43 km y un área de aporte de 0.17 km², localizado

en la coordenada UTM 426840 m E y 2053034 m N, a una elevación de 22 m.s.n.m, esta laguna son endorreica, y se mantiene con una pendiente 0.93%.

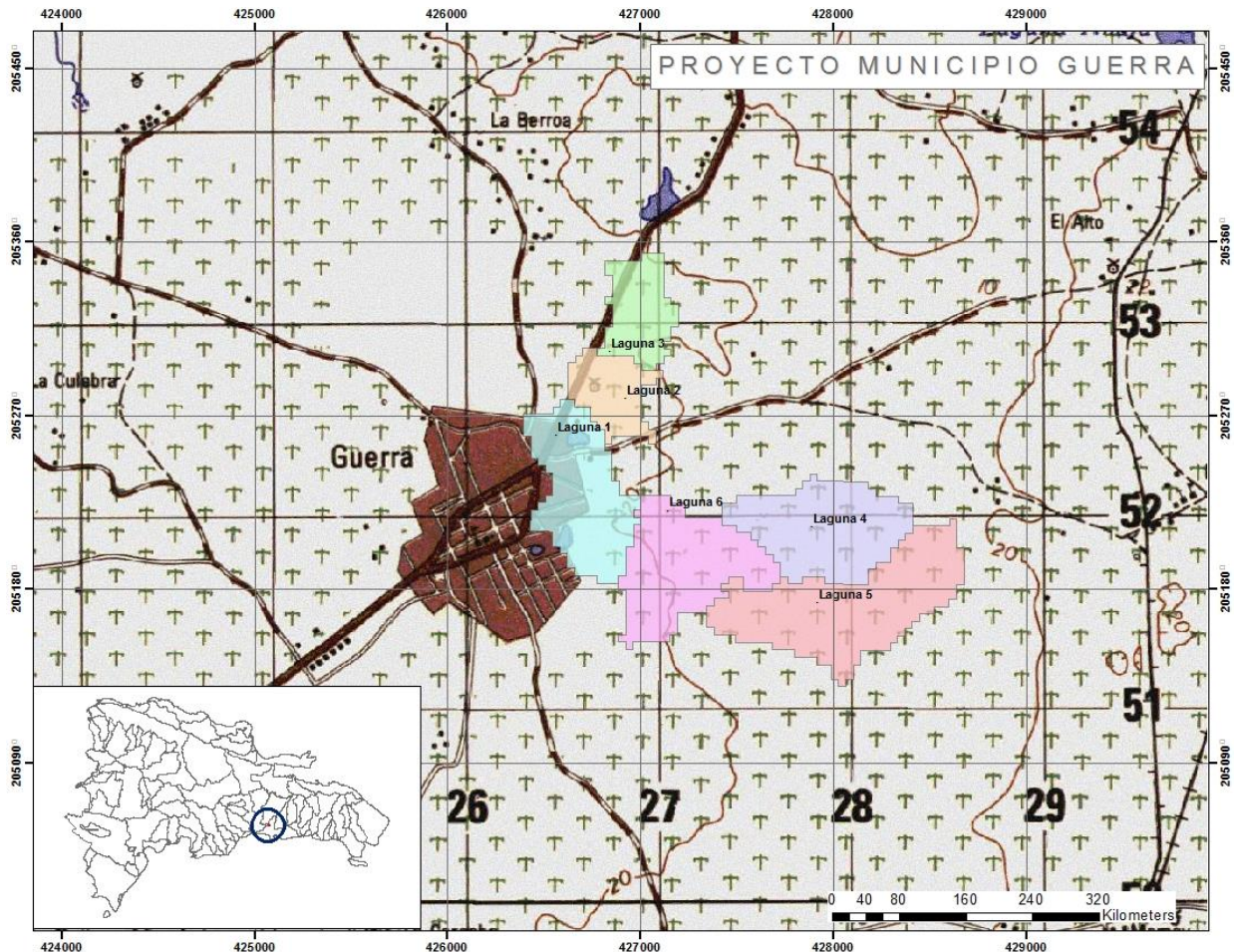


Imagen No. 2.1. Mapa topográfico de las localizaciones de Las Lagunas en el Municipio de Guerra.

Cuerpo de agua 4 nace en el municipio de San Antonio de Guerra en la elevación 24 m.s.n.m. con una longitud de 1.04 km y un área de aporte de 0.36 km², localizado en la coordenada UTM 427891 m E y 2052125 m N, a una elevación de 18 m.s.n.m, esta laguna son endorreica, y se mantiene con una pendiente 0.58%.

Cuerpo de agua 5 nace en el municipio de San Antonio de Guerra en la elevación 27 m.s.n.m. con una longitud de 0.88 km y un área de aporte de 0.51 km², localizado en la coordenada UTM 427920 m E y 2051731 m N, a una elevación de 15 m.s.n.m, esta laguna son endorreica, y se mantiene con una pendiente 1.4%.

Cuerpo de agua 6 nace en el municipio de San Antonio de Guerra en la elevación 27 m.s.n.m. con una longitud de 0.88 km y un área de aporte de 0.38 km², localizado en la coordenada UTM 427145 m E y 2052208 m N, a una elevación de 19 m.s.n.m, esta laguna son endorreica, y se mantiene con una pendiente 0.36%.

2.1. Característica física de la Cuenca.

2.1.1. Tiempo de Concentración (Tc)

El relieve y otras condiciones topográficas definen el tiempo de repuesta de la cuenca a los eventos de tormenta. Este tiempo de repuesta es medido a través del tiempo de concentración (tc) que representa el tiempo en que la cuenca responde, como sistema, a un evento de lluvia. Los parámetros físicos que definen el tiempo de concentración varían de un método a otro, pero suelen ser: la longitud hidráulica del cada una de las lagunas (L), las pendientes del cauce (s). En esto caso obtuvimos los valores de Tc de.

Lagunas	Tc (horas)
Cuerpos de agua 1	0.77
Cuerpos de agua 2	0.17
Cuerpo de agua 3	0.21
Cuerpo de agua 4	0.50
Cuerpo de agua 5	0.31
Cuerpo de agua 6	0.37

Usando el Método de Kirpich, se calculó el tiempo de concentración utilizando la fórmula,

$$T = 0,02L^{0,77}S^{-0,385}$$

2.1.2. Número de curva (CN)

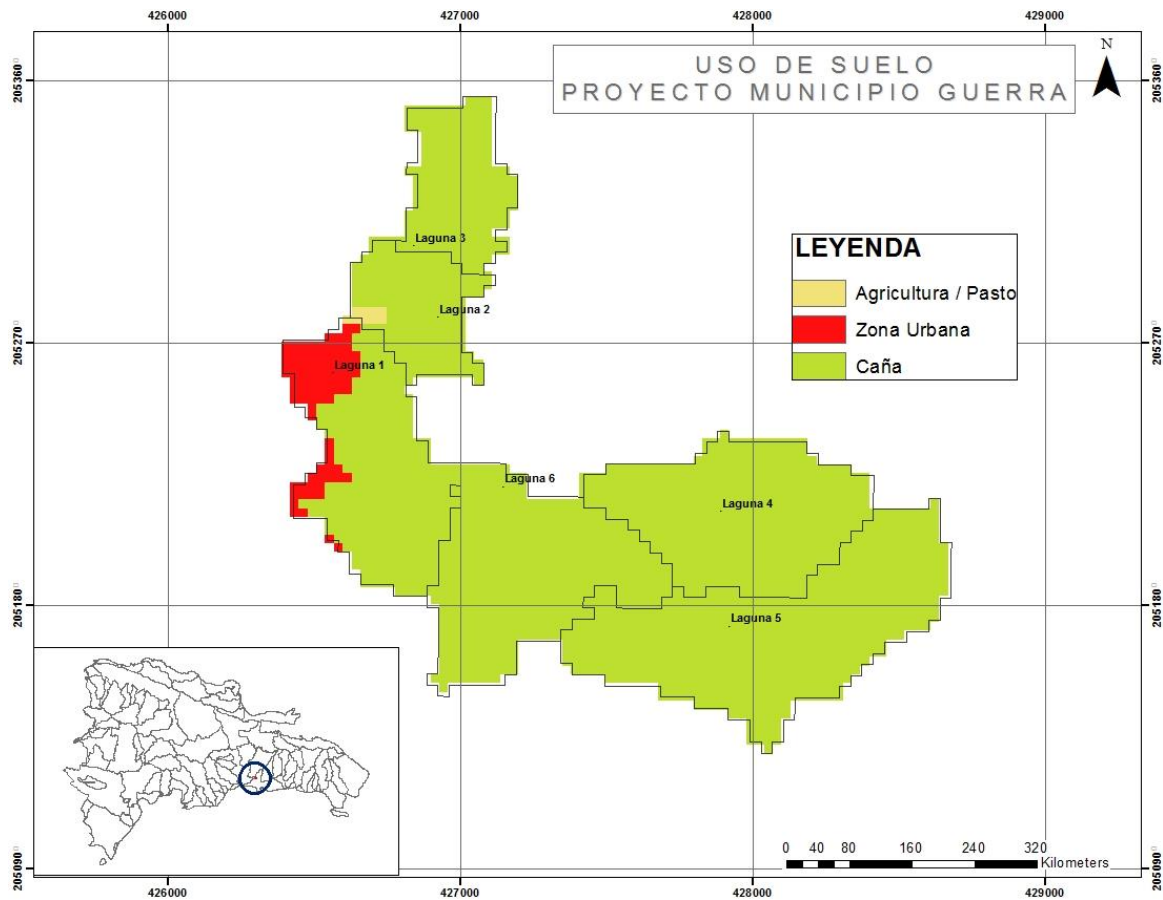


Imagen No. 2.2. Usos de los suelos de las cuencas de las Lagunas.

Para el análisis de crecida se ha calculado el Número de Curva (**CN**) para aplicar el método de Soil Conservation Services (**SCS**), el cual está en función de la condición de humedad antecedente, del uso y tipo de suelo y la cobertura vegetal del medio, estas informaciones las obtenemos del mapa Hidrogeológico Nacional, y de Uso y Cobertura de la tierra en la República Dominicana, respectivamente.

Los datos de la cobertura boscosa de suelo de la cuenca que estudiamos a continuación son el resultado del estudio de actualización del uso y cobertura de la tierra del año 2012, realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recurso Naturales.

Entre las clasificaciones de las coberturas boscosas y sus extensiones tenemos el 90 % de Caña, 2% Agricultura y Pasto, 8% Zona Urbana.

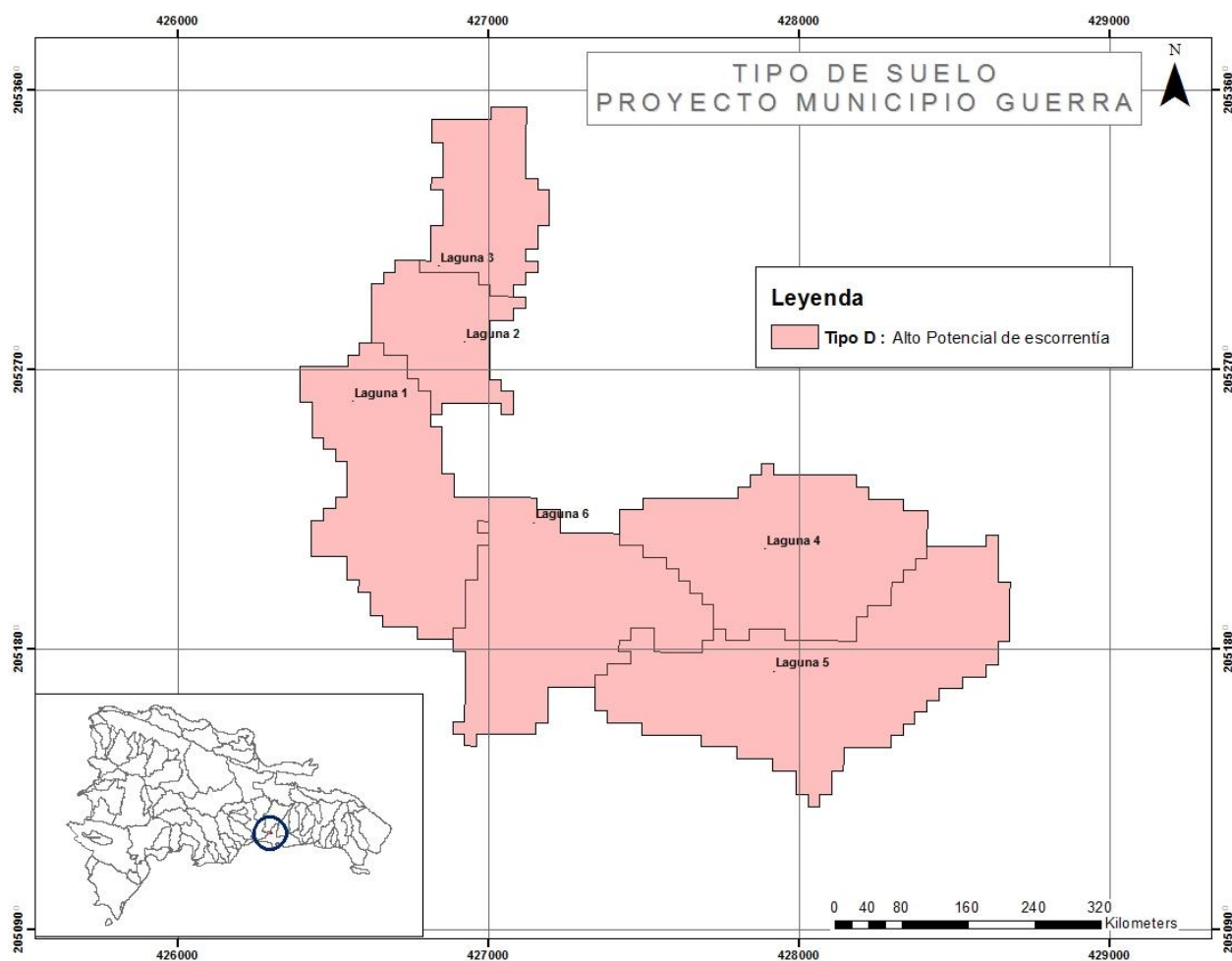


Imagen No. 2.3. Clasificación del suelo de las cuencas de las Lagunas.

En la clasificación del suelo tenemos el grupo D, que está dentro de los cuatro grupos de las clasificaciones que son A, B, C y D el cual nos permitirá identificar la permeabilidad del suelo.

Tipo D: (Alto potencial de escorrentía). Suelo con tasas de infiltración muy baja. Son suelos arcillosos con alto potencial de expansión.

Cuadro No 2.2. Cálculo de la cobertura Vegetal CN en el punto a estudiar

Cuencas	Área (km2)	CN
Cuerpo de agua 1	0.35	82.72
Cuerpo de agua 2	0.15	84.09
Cuerpo de agua 3	0.17	84
Cuerpo de agua 4	0.36	84
Cuerpo de agua 5	0.51	84
Cuerpo de agua 6	0.38	84

3. Descripción Climática:

3.1. Clima.

En San Antonio de Guerra, los veranos son cálidos y mayormente nublados; los inviernos son calurosos, secos y mayormente despejados y está opresivo durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 20 °C a 32 °C y rara vez baja a menos de 18 °C o sube a más de 34 °C

La temporada calurosa dura 3.7 meses, del 15 de junio al 5 de octubre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 32 °C. El mes más cálido del año en San Antonio de Guerra es julio, con una temperatura máxima promedio de 32 °C y mínima de 23 °C.

La temporada fresca dura 3.1 meses, del 4 de diciembre al 7 de marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 30 °C. El mes más frío del año en San Antonio de Guerra es enero, con una temperatura mínima promedio de 20 °C y máxima de 29 °C.

3.2. Estación Climática.

En el país existen varias estaciones meteorológicas de la Oficina Nacional de Meteorología miden parámetros como precipitaciones, temperaturas, humedad relativa, evaporación, velocidad y dirección del viento, irradiación solar, presión atmosférica. Pero todas las estaciones no registran todos los parámetros y por consecuencia, faltan numerosos datos. La estación Ozama Santo Domingo existente en el municipio de Santo Domingo provincia Santo Domingo de la cuenca del río Ozama.

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) maneja también un número de estaciones que registran precipitaciones y caudales de algunos ríos en varias cuencas hidrológicas.

3.3. Pluviometría.

Para la descripción de la lluvia en la zona se cuenta con la estación pluviométrica Ozama Santo Domingo, ubicada en la latitud 403223.75, Longitud 2043906.45 a una

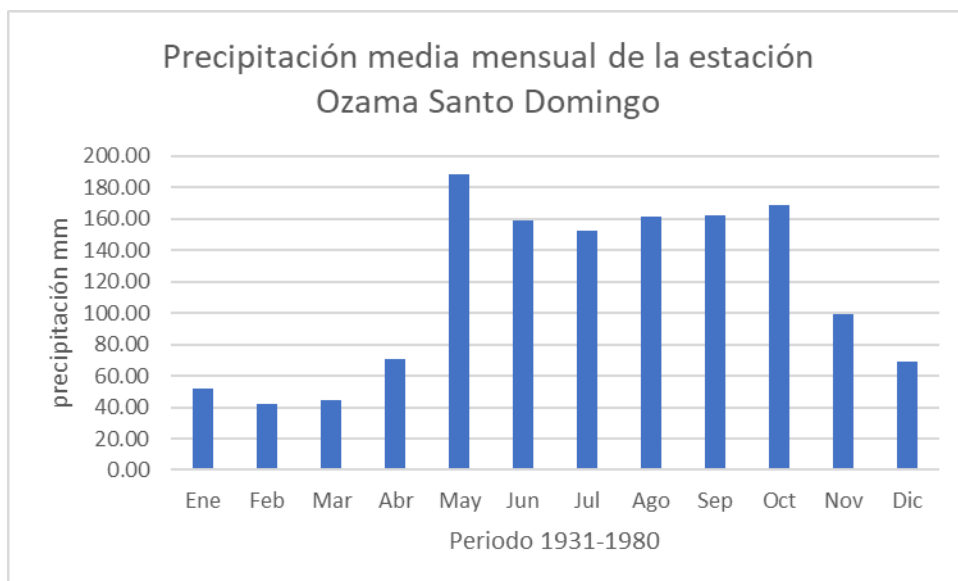
elevación 47 m.s.n.m, cuyo valor medio mensual de lluvia aparece en el cuadro No. 3.1. y en el gráfico No.3.1.

La estación Ozama Santo Domingo es la más representativa a la cuenca Ozama, teniendo un periodo de registro de lluvia desde el 1931 hasta 1980, con valor de precipitación media anual de 1342 mm de lluvia respectivamente registrada.

A continuación, se muestran los valores promedio mensual de la precipitación y sus gráficos para la estación antes mencionada.

Cuadro No. 3.1. Precipitación media mensual de la estación Ozama Santo Domingo

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Ozama Santo Domingo	51.66	42.24	44.42	70.66	188.49	158.63	152.78	161.47	162.15	168.49	99.62	69.01



4. Análisis de frecuencia

La dificultad en la predicción de eventos hidrológicos extremos se debe a la falta de datos para los eventos muy raros. Las estimaciones estadísticas requieren una cierta cantidad de datos para poder obtener una deseada precisión en la predicción. En el caso de eventos extremos, la data por definición es muy rara, y estos eventos pueden ser generados por circunstancias no usuales y por esto siguen una distribución diferente a la de eventos comunes. Ejemplo de estas son la precipitación de grandes tormentas y la de sistemas de traslación lenta.

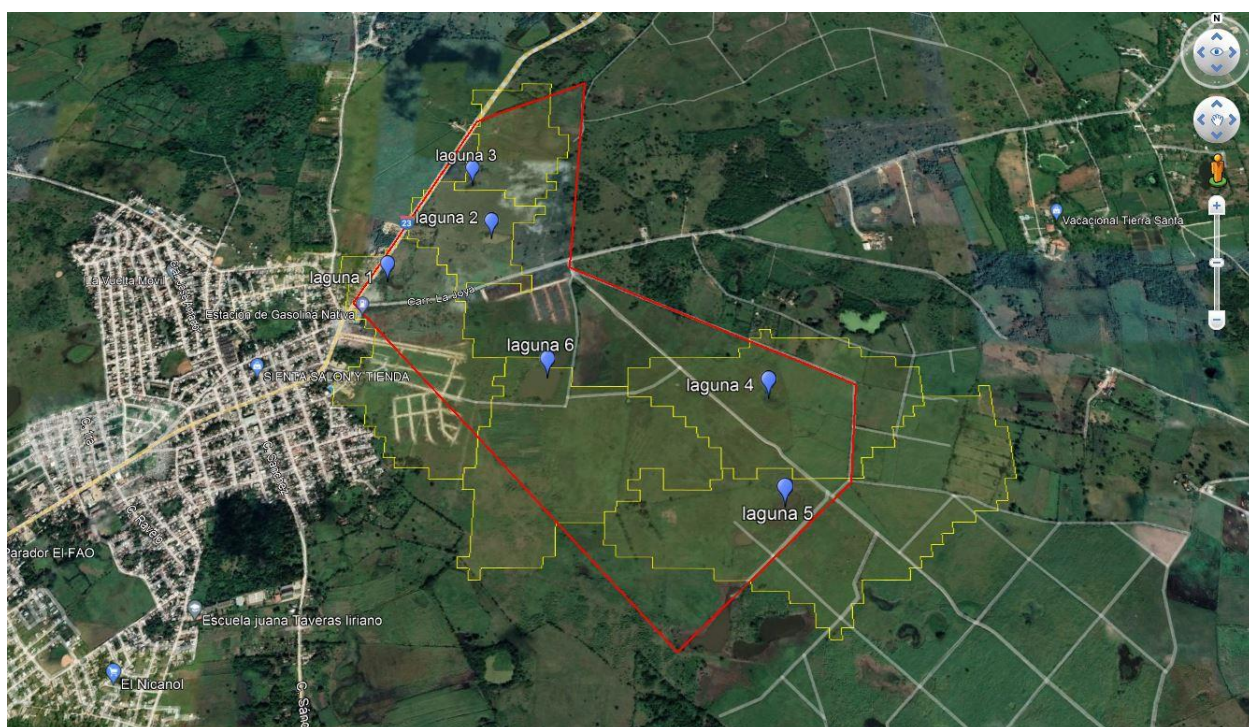


Imagen No.4.1. Imágenes de la ubicación de la estación.

Tabla No. 4.1. Datos de precipitación máxima en 24 horas

Precipitación máxima en 24 Horas			
Años	Precipitación mm	Años	Precipitación mm
1931	136.9	1956	58.9
1932	85.1	1957	68.6
1933	128.3	1958	178.7
1934	85.6	1959	59
1935	65.5	1960	200.7
1936	118.5	1961	102.9
1937	81.6	1962	132.2
1938	174.2	1963	113.3
1939	81.3	1964	69.4
1940	281.5	1965	60
1941	151.9	1966	84
1942	125.2	1967	49.5
1943	124.5	1968	62.2
1944	210.2	1969	59.3
1945	40.6	1970	96
1946	107.2	1971	166.8
1947	132.2	1972	96.2
1948	129	1973	74.4
1949	93.6	1974	60.4
1950	136.9	1975	243
1951	85.1	1976	78.5
1952	128.3	1977	172.8
1953	85.6	1978	140.4
1954	111.5	1979	58.9
1955	155.7	1980	68.6

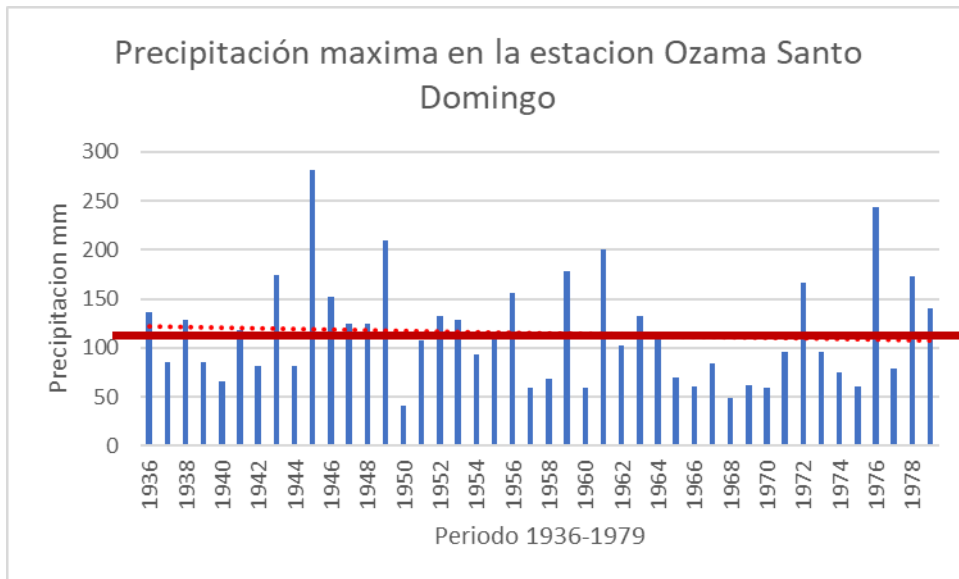


Gráfico No. 4.1. Precipitación Máxima (Estación Ozama Santo Domingo).

Podemos Observar que en los periodos de los registros de lluvia máxima en el año 1945 se obtuvo precipitación de 281.5 mm y cuando la tormenta Noel y Olga la lluvia fueron de alrededor de 277 mm esa precipitación fue registrada en la estación Santo Domingo, los datos recogidos por el Instituto de Nacional de Recursos Hidráulico (INDRHI)

4.1. Selección de las Estación y sus registros de Datos.

4.1.1. Series de Tiempo.

La serie de tiempo que predomina es derivada de la lluvia anual extrema en 24 horas (máximos diarios anuales).

Para el análisis de frecuencia fue seleccionada la estación Ozama Santo Domingo del Banco de Datos del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos INDRHI, con un periodo de registro de 46 años.

Una vez que se construye la serie de datos de máximo anual, esta es sometida a una cuidadosa revisión para detectar cualquier inconsistencia entre la data y la magnitud de la lluvia. La primera prueba de revisión es observar si los valores en la serie pertenecen

a la misma población. Para esto se llevó a cabo una prueba de desviación estándar y luego una prueba de la media.

4.1.2. Funciones de Distribución de Probabilidades

La función de distribución de probabilidad escogida fue la considerada por Long Gumbel, por ser la que más se ajusta en el análisis.

4.1.3. Software utilizado en el Análisis:

En la elaboración del cálculo de lluvias-escorrentías, fue utilizado el programa de HIDRO ESTA2 es una aplicación que sirve para realizar diversos cálculos hidrológicos y estadísticos que se aplican mayormente en la hidrología que permite analizar datos como precipitaciones, caudales, temperatura y evaporación, este programa destinado para el Análisis estadístico de distribución de lluvia. Con éste se obtuvo una tabla de distribución de frecuencia para la estación, usando el método **Long Gumbel**.

El objetivo del análisis de valores extremos es evaluar, dada una muestra de una variable aleatoria, la probabilidad de eventos o valores más extremos que los observados previamente. Por esa razón el análisis de valor extremo se usa ampliamente en muchas disciplinas, como la ingeniería estructural, el análisis del riesgo financiero, las ciencias geológicas, la ingeniería sísmica e hidrológica o la predicción del tráfico.

La distribución Long Gumbel. (1891-1966) es utilizada para modelar la distribución del máximo (o el mínimo), por lo que se usa para calcular valores extremos. Por ejemplo, sería muy útil para representar la distribución del máximo nivel de un río a partir de los datos de niveles máximos durante 10 años. Es por esto que resulta muy útil para predecir terremotos, inundaciones o cualquier otro desastre natural que pueda ocurrir.

La aplicabilidad potencial de la distribución de Gumbel para representar los máximos se debe a la teoría de valores extremos que indica que es probable que sea útil si la muestra de datos tiene una distribución normal o exponencial.

La función de distribución acumulada de Gumbel es:

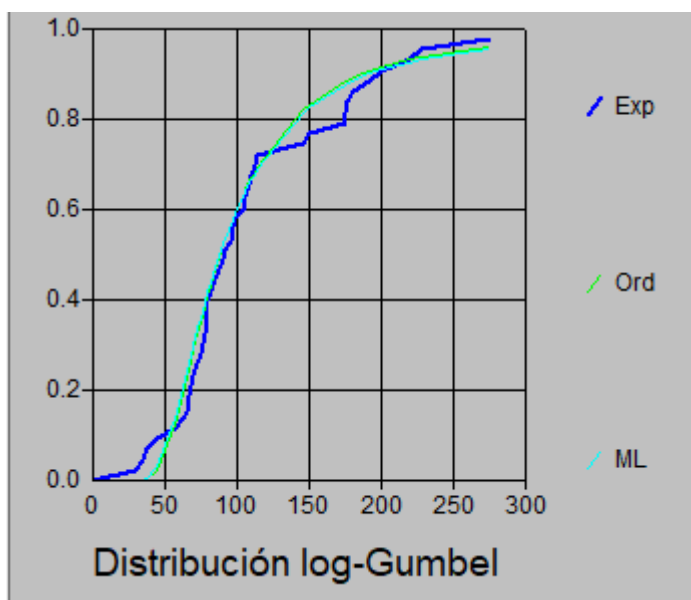
La mediana es

La media es donde $=$ Constante de Euler-Mascheroni
0.5772156649015328606.

La desviación estándar es:

La moda es μ .

OZAMA



Graf. No. 4.2. Entre los diferentes análisis de probabilidades, Long-Gumbel es el más representativo por ser el más ajustado en comparación a los demás métodos en el análisis de frecuencia realizado por el programa de HIDROESTA2.

4.5. Periodos de Retorno:

Los periodos de retorno analizados fueron los correspondiente a 10, 25, 50 y 100 años respectivamente.

El resumen de los resultados está contenido en el cuadro No. 4.1. Donde los períodos de retorno correspondiente se encuentran sombreados debido a los que se han

solicitado, los demás años se han hecho para cualquier uso que se le quiera dar en el futuro.

Cuadro No. 4.2. Resultado del análisis de distribución.

Probabilidad de no Excedencia	Periodo de Retorno (Tr) años	Precipitación mm Generada por el análisis de distribución.
0.9	10	200
0.9	20	215
0.98	50	275
0.98	100	300

5. Estimación de crecida de diseño.

Los caudales máximos o de diseño generados se obtuvieron mediante la aplicación del programa del US Army Corps of Engineers: Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), por sus siglas en inglés. El HEC-HMS es un programa complejo que calcula el hidrograma producido por una cuenca si se le facilitan los datos físicos de la misma, además de los datos hidroclimáticos como son los de precipitación, caudales, etc.

El software realiza la separación de lluvia neta, calcula la escorrentía directa producida por dicha precipitación, suma a la escorrentía directa la escorrentía básica, si existía previamente; además que calcula la evolución del hidrograma a medida que discurre a lo largo de un cauce a través de un depósito o embalse, es decir, el tránsito de hidrogramas.

Estudio Hidrológico para el vertido de las lagunas en San Antonio de Guerra en la Provincia Santo Domingo R.D.

El programa HEC-HMS incluye en su formulación modelos de eventos y modelos continuos, que permiten abordar el tratamiento de ambos tipos de situaciones. Además, incluye diferentes alternativas consideradas en la modelación de los diferentes cuerpos de agua y en la modelación de los diferentes componentes específicos que intervienen en el proceso general de transformación de precipitaciones en caudales.

Cuadro No. 5.1. Geometría y precipitaciones asociadas al período de retorno para los diferentes cuerpos de aguas en San Antonio de Guerra.

Características de la cuenca					
Cuerpos de aguas	Área	Tiempo de Concentración	CN	Período de	Precipitación.
	(km ²)	(hora)		retorno (años)	(mm)
1	0.35	0.77	82.72	10	200
2	0.15	0.17	84.09	25	215
3	0.17	0.21	84	50	275
4	0.36	0.50	84	100	310
5	0.51	0.31	84		
6	0.38	0.37	84		

Con el conjunto de estos datos se obtienen los caudales picos para los períodos de retorno deseado. **Ver el cuadro No.5.2.**

Para el correcto funcionamiento del programa se requiere la definición de los siguientes aspectos:

- Precipitación Ponderada en mm de la cuenca a estudiar, usando los datos de precipitación máxima en 24 horas, para los períodos de retorno que se desea analizar (10, 25, 50 y 100 años generalmente).
- Número de Curva (**CN**) para aplicar el método de Soil Conservation Services (**SCS**).
- Área de la cuenca de estudio en Km².
- Tiempo de Concentración en horas.

5.1. Resultados del modelo HEC-HMS.

Las simulaciones con el modelo HEC-HMS se realizaron, tal como se ha descrito en los apartados anteriores, con las siguientes condiciones:

- Modelo de precipitación: Hietograma determinado por el modelo HIDROESTA2.

Modelo de abstracciones de precipitación del SCS. Número de curva para la cuenca según cobertura y tipo de suelo, para condiciones antecedentes de humedad tipo II. Abstracciones iniciales del 20% de la retención potencial máxima S de la cuenca.

- Modelo de transformación precipitación-escorrentía adimensional del SCS. Tiempos de concentración y retardo calculados mediante la ecuación de Kirpich. Discretización temporal de 10 minutos para las simulaciones.

Los resultados obtenidos del modelo se resumen en el **Cuadro 5.2**. Donde se refieren el caudal máximo instantáneo para los períodos de retorno analizados.

El detalle de los resultados del modelo HEC-HMS se incluye en el Anexo.

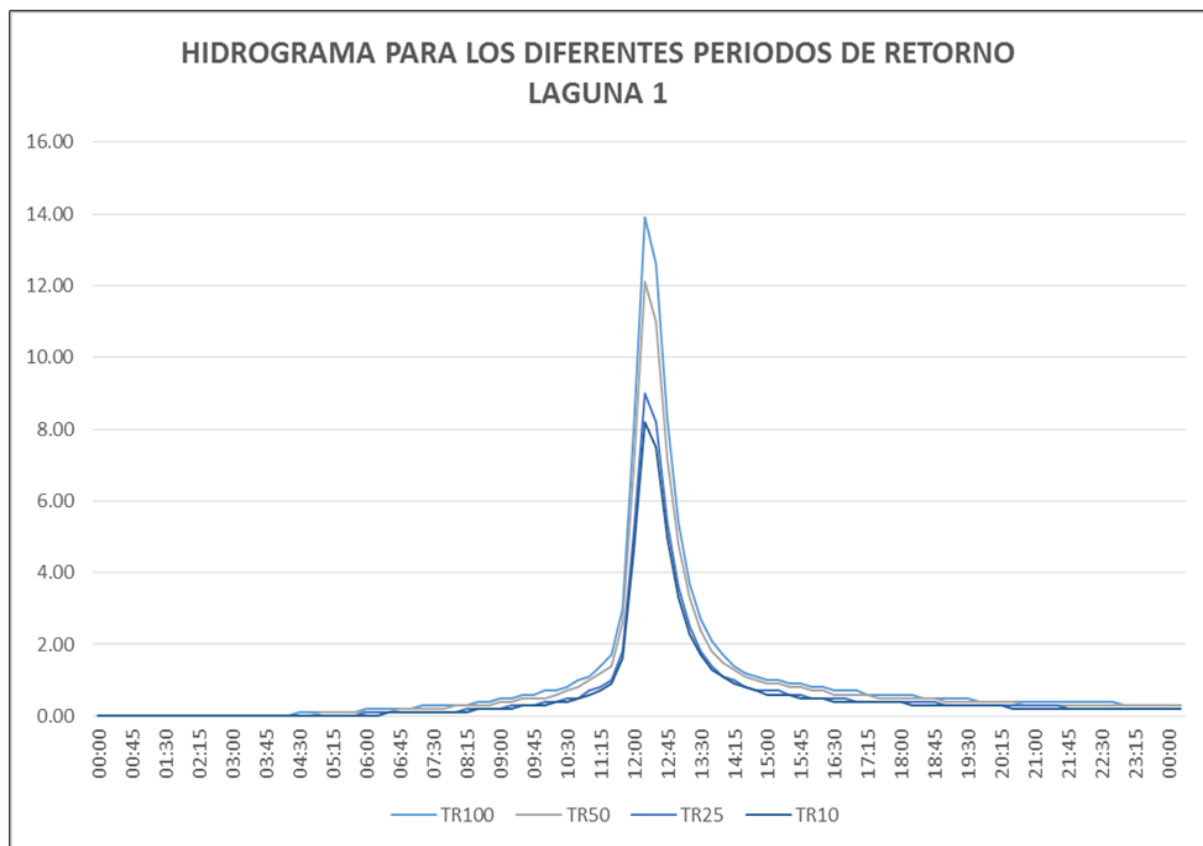
Cuadro No. 5.2. Caudales Pico Modelado con el programa HEC-HMS para diferente período de retorno.

Periodo de retorno (Tr)	Precipitación mm	Cuerpos de aguas						
años		Caudales m3/s	1	2	3	4	5	6
10	200		8.2	6.4	7.5	10.5	18.5	12
25	215		9	7	8.2	11.4	20.2	13.1
50	275		12.1	9.3	10.9	15.2	26.9	17.5
100	310		13.9	10.6	12.5	17.4	30.88	20.1

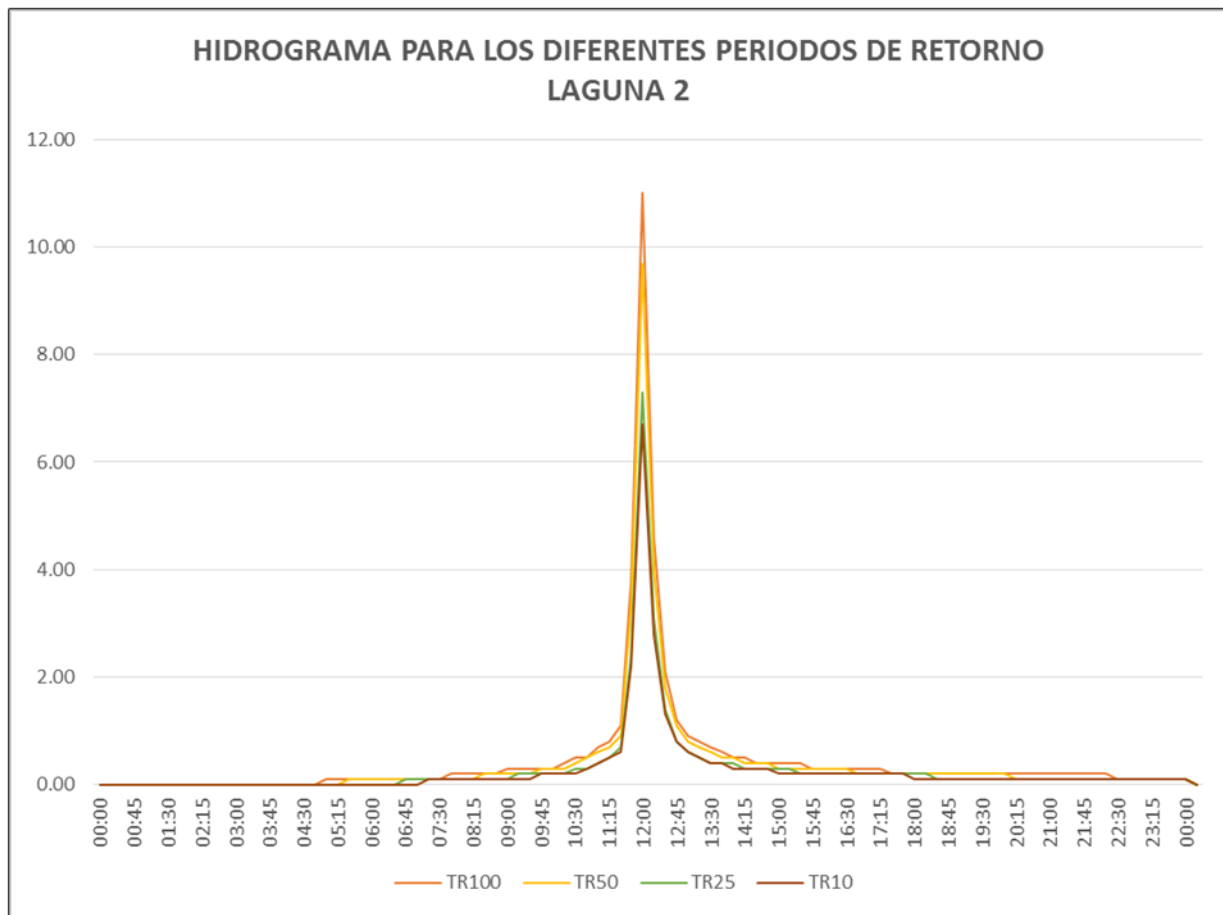
5.2. Hidrogramas de Avenidas

Luego de realizar los análisis anteriormente expuestos, obtuvimos los valores de los caudales de crecida para los diferentes periodos de retornos, El caudal pico resultante de este análisis correspondiente a los cuerpos de agua para el diseño del proceso de construcción, con un caudal definido a **50 años**

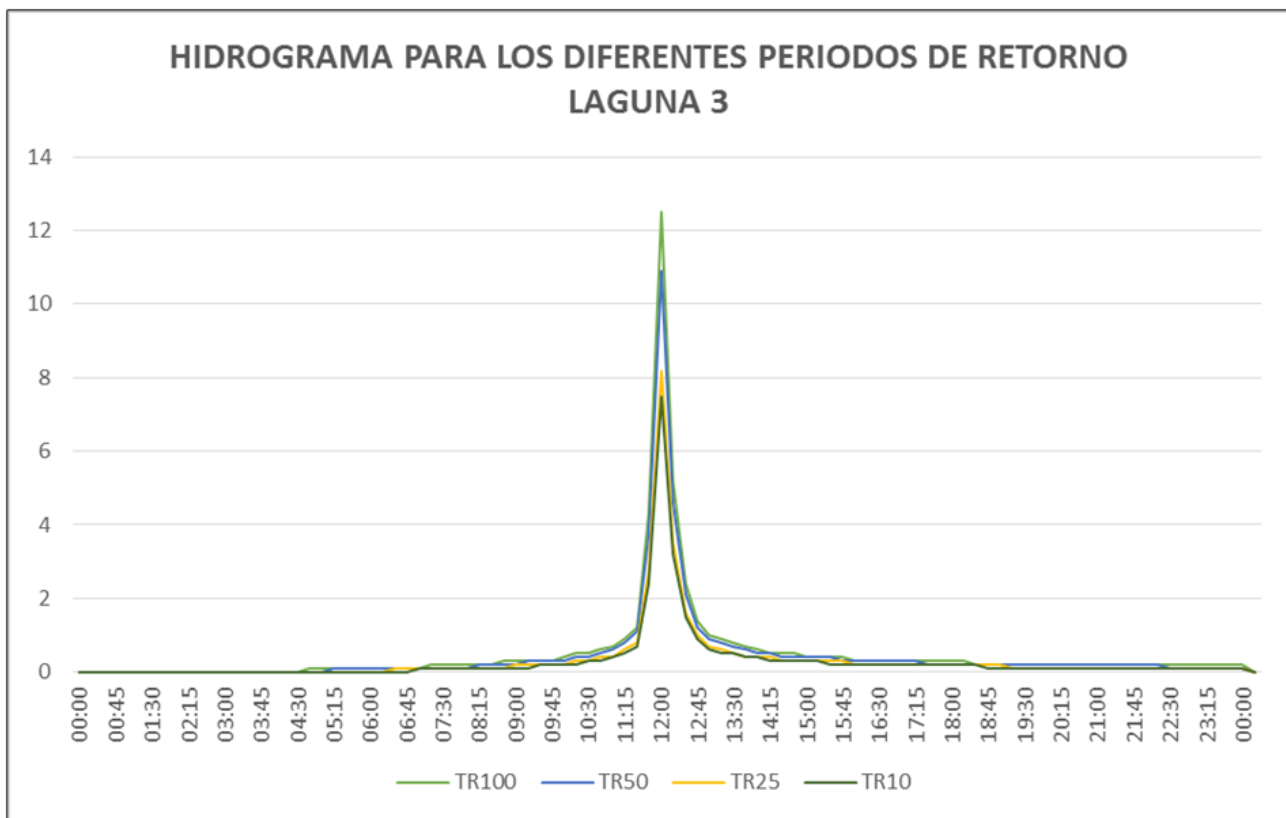
A continuación, se muestra los gráficos donde se puede observar el comportamiento de la crecida.



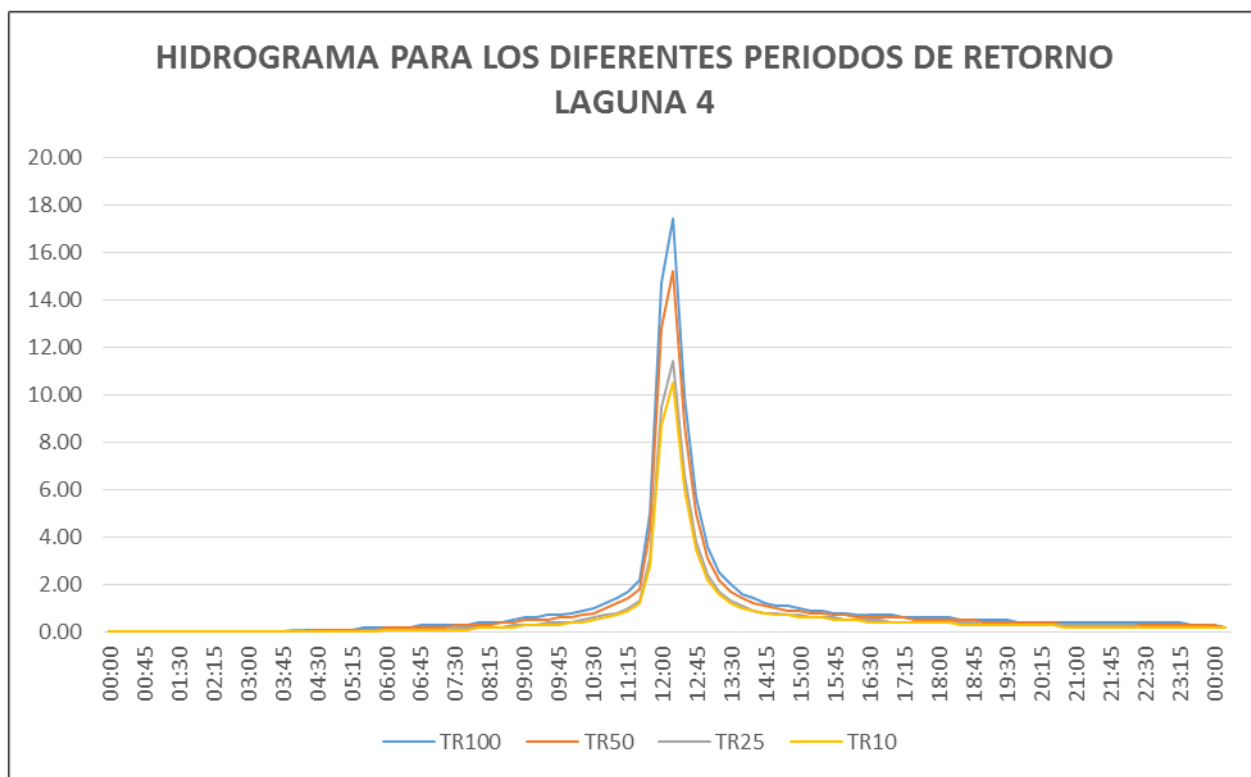
Graf. 5.1. Hidrogramas de avenida para los diferentes periodos de retorno TR Cuerpos de agua 1.



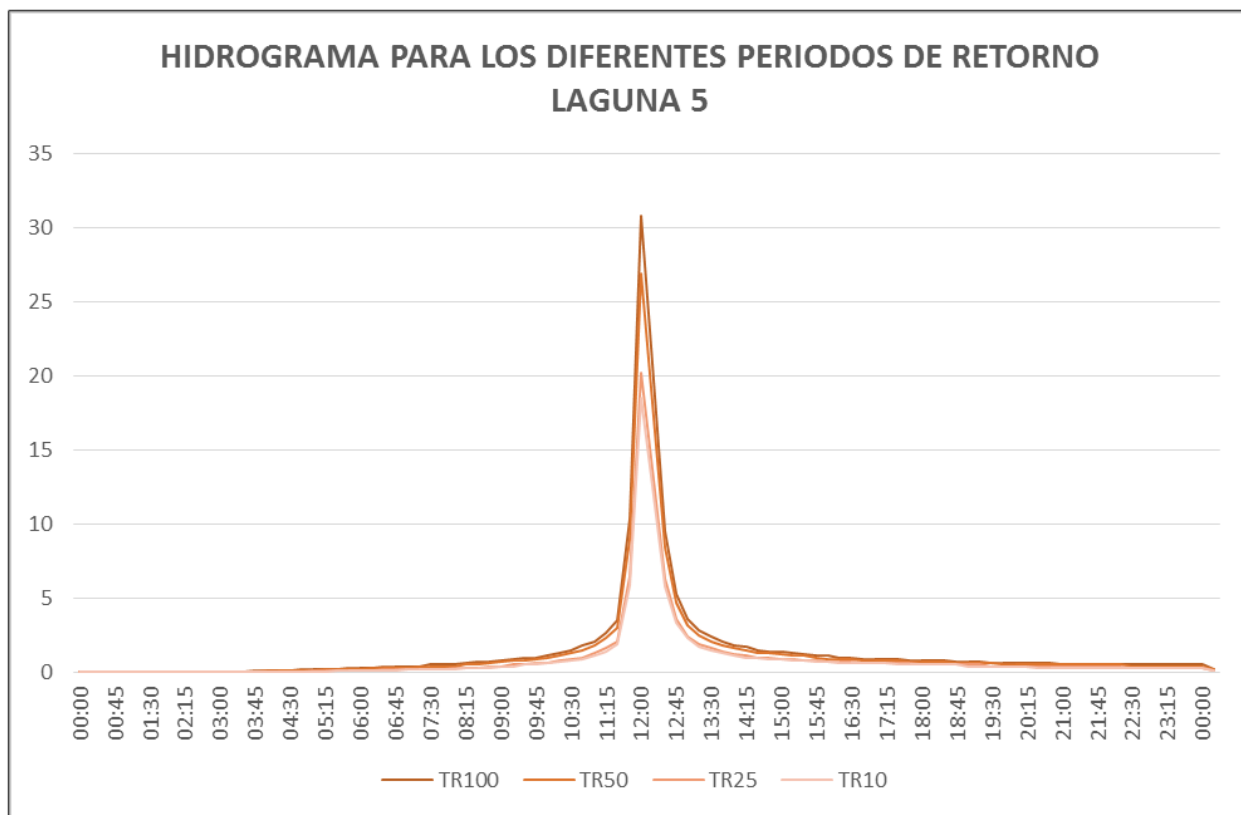
Graf. 5.2. Hidrogramas de avenida para los diferentes periodos de retorno TR Cuerpo de agua 2.



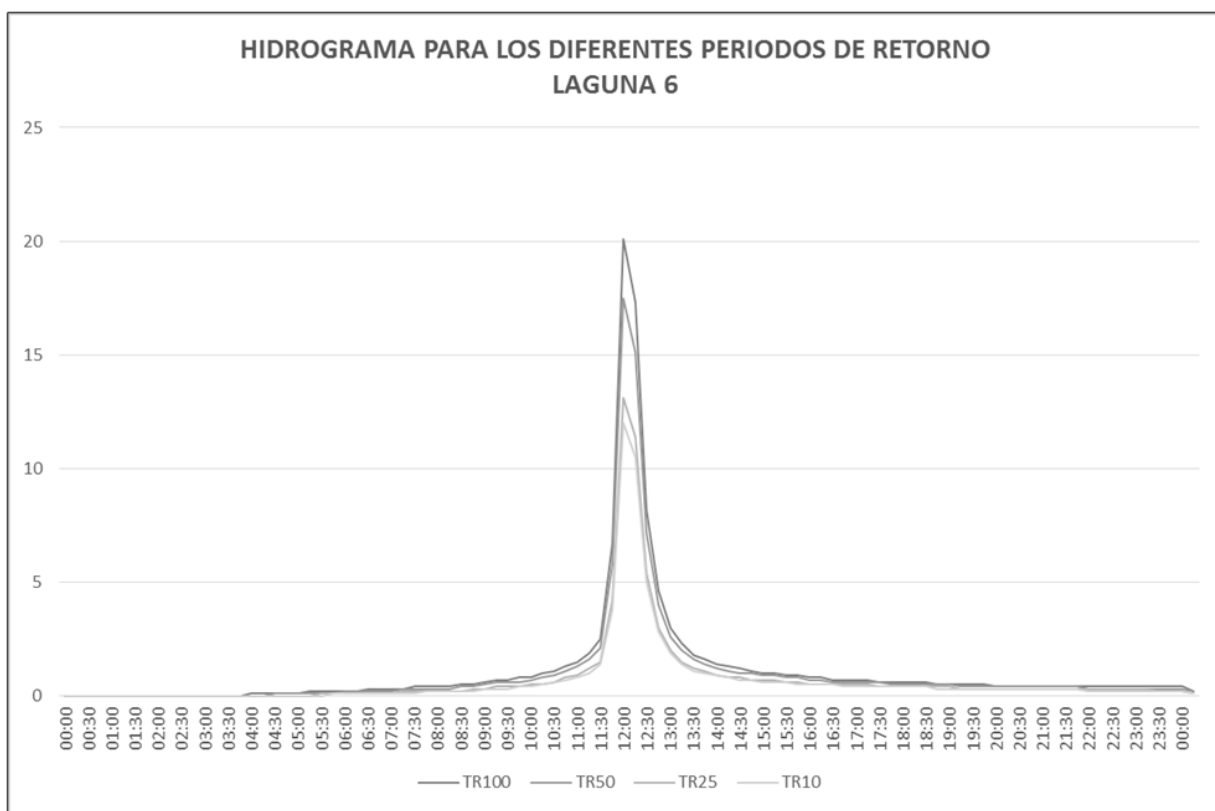
Graf. 5.3. Hidrogramas de avenida para los diferentes periodos de retorno TR Cuerpo de agua 3.



Graf. 5.4. Hidrogramas de avenida para los diferentes periodos de retorno TR Cuerpo de agua 4.



Graf. 5.5. Hidrogramas de avenida para los diferentes periodos de retorno TR Cuerpo de agua 5.



Graf. 5.6. Hidrogramas de avenida para los diferentes periodos de retorno TR Cuerpo de agua 6.

Estos caudales se estimaron a partir de los datos de precipitación; considerando como primer paso el cálculo de la lluvia efectiva o precipitación neta (agua que se transforma en escorrentía a superficial) como la resta entre la precipitación y las pérdidas por infiltración y evaporación; este paso genera un nuevo hietograma de precipitación efectiva que fue transformado a un hidrograma unitario (respuesta de la cuenca ante los excesos de precipitación) arrojando los diferentes caudales ya mencionado en el **cuadro 5.2.** siguiendo la metodología que se desarrolló paso a paso en este documento.

6. Conclusión y Recomendación.

En el Estudio Hidrológico se han analizado las principales variables hidrometeorológicas correspondientes al área de influencia en los diferentes cuerpos de agua en la zona de San Antonio de Guerra con el propósito de cuantificar las aguas y los parámetros de diseño requerido para el desarrollo del proyecto

Para precisar las principales variables hidrométricas se ha recopilado la información de precipitación y descarga de la misma que son proporcionada en forma oficial por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI).

A continuación, se presenta un resumen de las conclusiones y recomendaciones más importantes, algunas de las cuales pueden ser ampliadas en los anexos a este informe, donde se presentan los informes completos de hidrología.

- Los Últimos eventos del 2007 hasta la fecha los comunitarios informan que los cuerpos de agua no han sobre pasado o no han desbordado de su entorno, esto son cuerpos de aguas interconectados a nivel subterráneo.
- Esa característica clasifica la zona donde se va a construir no vulnerable a inundación por efecto de las lagunas.

