



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
UNIDAD ZACATENCO

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

---

## *TEMA DE TESIS*

**EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RÉGIMEN DE  
PRECIPITACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA  
CATARINA, NUEVO LEÓN**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**M A E S T R O E N  
I N G E N I E R Í A C I V I L**

**PRESENTA:**

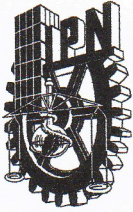
Karla Joaly Tovar García

Comité Tutorial:

Dr. Juan Manuel Navarro Pineda  
M.C. Pino Durán Escamilla  
Dr. Víctor Manuel López López  
M.C. Lucio Fragoso Sandoval



CIUDAD DE MÉXICO, FEBRERO 2020



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

Ciudad de México, a 28 de junio de 2018

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de ESIA-UZ en su sesión ordinaria No. 6 celebrada el día 19 del mes de Junio conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

**TOVAR**

Apellido paterno

**GARCIA**

Apellido materno

**KARLA JOALY**

Nombre (s)

Con registro: 

A	1	8	0	3	4	4
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de: Maestría en Ingeniería Civil

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

Efecto del Cambio Climático en el régimen de precipitaciones de la cuenca del Río Santa Catarina, Nuevo León.

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

**Se anexa índice**

2.- Se designa como Director de Tesis al Profesor:

Dr. Juan Manuel Navarro Pineda

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesina será elaborado por el alumno en:

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN DE LA ESIA-UZ

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Director(a) de Tesis

Dr. Juan Manuel Navarro Pineda

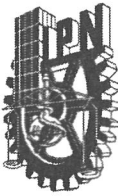
Aspirante

Karla Joaly Tovar García

Presidente del Colegio

Dr. Norberto Domínguez Ramírez





# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 13 horas del día 6 del mes de mayo del 2020 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: SEPI E.S.I.A. Zacatenco para examinar la tesis titulada:

Efecto del Cambio Climático en el régimen de precipitaciones de la cuenca del Río Santa Catarina, Nuevo León. del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Tovar	Apellido Materno:	García	Nombre (s):	Karla Joaly
-------------------	-------	-------------------	--------	-------------	-------------

Número de registro:

A 1 8 0 3 4 4

Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 11 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo SI  NO  SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.

**JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:** (Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)

El porcentaje de similitud se relaciona a referencias y títulos no necesariamente a similitudes puntuales a metodologías o procedimientos; es un texto original adecuado.

**\*\*Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **SUSPENDER**  **NO APROBAR**  la tesis por **UNANIMIDAD**  o **MAYORÍA**  en virtud de los motivos siguientes:

El trabajo presentado cumple con los parámetros requeridos y la profundidad de conocimiento establecida en la metodología y el objetivo del tema planteado.

Dr. Juan Manuel Navarro Pineda

Director de Tesis  
Nombre completo y firma

Dr. Samuel Sandoval Solís

Nombre completo y firma

### COMISIÓN REVISORA DE TESIS

Dr. Victor Manuel López López

Nombre completo y firma

M. en C. Pino Durán Escamilla

Nombre completo y firma

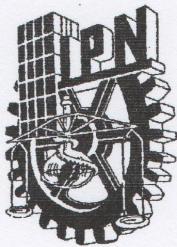
M. en C. Lucio Frago Sandoval

Nombre completo y firma

Dr. Norberto Domínguez Ramírez

Nombre completo y firma  
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE  
PROFESORES





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA CESIÓN DE DERECHOS*

En la Ciudad de México el día 16 del mes de junio del año 2020, el (la) que suscribe Karla Joaly Tovar García alumno (a) del Programa de Maestría en Ingeniería Civil con número de registro A180344, adscrito a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Juan Manuel Navarro Pineda y cede los derechos del trabajo intitulado Efecto del Cambio Climático en el régimen de precipitaciones de la cuenca del Río Santa Catarina, Nuevo León. , al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección [iasc.arquitectura@gmail.com](mailto:iasc.arquitectura@gmail.com) . Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

---

Karla Joaly Tovar Garcia

## **Agradecimientos**

Mi agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada, pues con el apoyo económico brindado, fue posible llevar a cabal término este trabajo de investigación.

Se agradece atentamente al Dr. Juan Manuel Navarro Pineda, M.C. Pino Durán Escamilla, M.C. Lucio Fragoso Sandoval y Dr. Víctor López López por sus valiosas asesorías, recomendaciones y por el gran apoyo brindado durante la realización de esta tesis.

A la University of California Davis y especialmente al Dr. Samuel Sandoval Solís por el tiempo y dedicación al compartir sus conocimientos especializados.

A mi hermano Daniel por su apoyo y compañía.

Y finalmente, agradezco a mi madre Yolanda por sus enseñanzas de vida y por alentarme incondicionalmente en todo momento.

## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis a mi padre el Ing. Emilio Tovar Valdés, cuya guía fue decisiva y me dio el empuje necesario para alcanzar esta proeza personal.

Y a mi hermano Emilio quien vela por mi desde el Cielo.

# **EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA, NUEVO LEÓN**

## **RESUMEN**

La ciudad de Monterrey, situada en el Estado de Nuevo León, es cruzada por el Río Santa Catarina en cuya cuenca se construyó la presa de control de avenidas “Corral de Palmas”. Sin embargo, con el Cambio Global se prevé el aumento de caudales y dado que la presa actual fue diseñada sin considerar dicho fenómeno, es necesario realizar una revisión hidrológica implementando una metodología que incluya los efectos Cambio Climático. Para tal fin, se propone el presente estudio que se basa en el análisis de probabilidad de ocurrencia del fenómeno propiciado por anomalías de temperatura y precipitación. Tal estudio se divide en dos partes.

La primera parte consta del estudio hidrológico tradicional que inicia con la caracterización de la cuenca. Se identificó el parteaguas y el cauce principal ingresando el Modelo de Elevación Digital proporcionado por el Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer ASTER al programa Global Mapper 20; mientras que la pendiente media se calculó por el método de los mínimos cuadrados. Posteriormente se determinó el número N de la curva de escurrimiento con la información sobre uso de suelo, cubierta vegetal y edafología, disponibles en la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad CONABIO.

Para efectuar el análisis probabilístico, se identificaron 8 estaciones climatológicas que cumplieran con los criterios de selección (radio de influencia en la cuenca, años consecutivos de registro y el número de datos con un mínimo de 30 años) de donde se recopilaron los datos de lluvia máxima en 24h para aplicar las distribuciones de frecuencia Gumbel II, Pearson III, Normal y Gumbel para identificar la frecuencia de mejor ajuste. Seguidamente se trazaron los polígonos de Thiessen para determinar las áreas de influencia de cada estación y se aplicó la ecuación de precipitación en exceso, empleando el valor de la curva N de escurrimiento, luego se calculó el caudal con el Hidrograma Unitario Triangular.

Para continuar con el estudio, fue realizada una estancia académica en la University of California Davis, Estados Unidos de América, como miembro del Water Management Research Lab del Department of Land, Earth and Water Resources, donde se investigaron las anomalías, las cuales son producidas por el aumento de la temperatura superficial del océano a 27°C o más y, consecuentemente, de la temperatura atmosférica que favorece la condensación. Este proceso ocasiona la formación de tormentas tropicales y huracanes que implican mayores alturas de precipitación. Para analizar las anomalías se obtuvo la termoclina y la temperatura máxima superficial del Golfo de México, mediante los datos disponibles de la National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA y el Woods Hole Oceanographic Institution WHOI; así como la temperatura máxima extrema y mínima extrema de las estaciones climatológicas seleccionadas, ubicadas dentro de la cuenca del Río Santa Catarina.

En seguida, se calcularon las líneas de tendencia y se compararon los resultados con los Escenarios de Cambio Climático de horizonte lejano, tanto de temperatura como de precipitación.

Se ingresaron las cifras en la ecuación de distribución de valores extremos tipo I para tres muestras de poblaciones de datos y la concerniente función de densidad de probabilidad. Se identificaron las tormentas debidas al Cambio Climático y a continuación se analizaron comparativamente los

resultados del estudio hidrológico tradicional con el de la distribución de valores extremos, para la Cuenca del Río Santa Catarina y la subcuenca de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas”.

Con los datos obtenidos, se revisó el funcionamiento hidrológico de la presa y se ejecutó un análisis de riesgos de inundación por tormentas de Cambio Climático en la Zona Metropolitana de Monterrey. Como resultado del estudio, se observó que de los datos de precipitaciones que consideran los efectos de cambio climático se presentarán inundaciones con periodo de retorno de 10 años, lo que supone un aumento significativo en la frecuencia de inundaciones en el Área Metropolitana de Monterrey.

**Palabras clave:** *análisis probabilístico, Cambio Climático, precipitación, anomalías, inundación.*



# EFFECT OF CLIMATE CHANGE IN THE PRECIPITATION SCHEME OF THE SANTA CATARINA RIVER CATCHMENT, NUEVO LEÓN

## ABSTRACT

The city of Monterrey, located in the State of Nuevo León, is crossed by the Santa Catarina River in whose basin the “Corral de Palmas” avenue control dam was built. However, with the Global Change, the increase in flows is expected and since the current dam was designed without considering this phenomenon, a hydrological review is necessary, implementing a methodology that includes Climate Change. For this purpose, This study is based on the probabilistic analysis of phenomenon occurrence caused by temperature and precipitation anomalies due to Climate Change, which generates flooding in the Monterrey Metropolitan Area. Using information from the ASTER Digital Elevation Model and the determination of the N runoff curve using the edaphology and plant cover data available in CONABIO, the characterizing of the Santa Catarina River catchment was carried out.

To apply the Gumbel II, Pearson III, Normal and Gumbel frequency distributions, eight weather stations were identified that met the selection criteria (radius of influence in the catchment and the number of data with a minimum of 30 years) from which the maximum rainfall data is collected in 24 hours, as to identify the best fit frequency. Then, the Thiessen Polygons method was used and the flow rate was calculated with the Triangular Unit Hydrograph.

To continue with this hydrologic study, an academic stay was held at the University of California Davis, USA, as a member of the Water Management Research Lab of the Department of Land, Air, and Water Resources. There, the anomalies were investigated to show that they are produced by the oceanic surface temperature increasing up to 27 ° C or more and, consequently, the atmospheric temperature that favors condensation. This process causes the formation of tropical storms and cyclones that involve increasing precipitation. To analyze the anomalies, the thermocline and the maximum surface temperature of the Gulf of Mexico were obtained through the data available from the National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA and the Woods Hole Oceanographic Institution WHOI; as well as the extreme maximum and extreme minimum values of temperature at the selected weather stations.

The trends were calculated and the results compared with the Climate Change Scenarios both for temperature and precipitation. The values were entered into the distribution of extreme values type I for three populations equation and its density function.

The storms due to Climate Change were identified and then the results of the traditional probabilistic analysis, as well as the distribution of extreme values for the Santa Catarina River catchment and the "Corral de Palmas" Check Dam sub-catchment was analyzed.

The hydrological operation model of the dam was reviewed and a flood risk analysis was carried out due to climate change storms in the Monterrey Metropolitan Area.

The Reservoir operation model of the "Corral de Palmas" check dam was reviewed and a flood risk analysis was carried out. The results demonstrate that with the effects of Climate Change considered in the rainfall data, floods may occur within a return period of 10 years, which represents a significant increase in the frequency of flooding at the Monterrey Metropolitan Area.

**Keywords:** *probabilistic analysis, Climate Change, precipitation, anomalies, flooding.*

## ÍNDICE

### EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA, NUEVO LEÓN

RESUMEN.....	i
ABSTRACT .....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	ix
EL PROBLEMA .....	x
JUSTIFICACIÓN .....	x
OBJETIVOS.....	x
HIPÓTESIS .....	xi
DISEÑO DEL ESTUDIO.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	15
I.1. ANTECEDENTES .....	15
I.2. Repercusión de las emisiones de gases de efecto invernadero en el clima .....	16
I.3. El Cambio Climático en Nuevo León .....	18
II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL .....	19
II.1. Método de cálculo hidrológico de avenidas de diseño .....	20
II.2. Pruebas de ajuste de bondad.....	24
II.3. Relación Lluvia-Escurrimiento.....	25
II.4. Método de la Precipitación en exceso .....	27
II.5. Emisiones de gases de efecto invernadero y su impacto en los escenarios de Cambio Climático en Nuevo León .....	31
II.5.1. Influencia del mar en la formación de huracanes tropicales y anomalías de precipitación .....	33
II.6. Análisis de frecuencias de gastos máximos anuales usando la distribución de valores extremos tipo I para tres muestras de poblaciones de datos .....	35
III. ESTUDIO DE CASO .....	38

III.1. Ámbito geográfico.....	38
III.1.1. Ubicación de la Cuenca .....	38
III.1.2. Localización y características de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas” .....	39
III.2. Estudio hidrológico de la Cuenca del Río Santa Catarina.....	41
III.2.1. Aplicación del Método de Taylor-Schwarz .....	42
III.2.1. Aplicación del Método de mínimos cuadrados.....	42
III.2.3. El número N de la curva de escurrimiento.....	44
III.2.4. Análisis probabilístico de las precipitaciones .....	46
III.2.5. Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones máximas en 24 horas.....	49
III.2.6. Determinación del caudal en la cuenca del Río Santa Catarina.....	62
III.3. Estudio hidrológico de la subcuenca de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas” y determinación de caudal.....	67
III.4. Temperatura oceánica superficial en el Golfo de México y su repercusión climática en la Cuenca del Río Santa Catarina.....	69
III.5. Determinación de Tormentas asociadas al Cambio Climático .....	71
III.6. Aplicación de la distribución probabilística para mezcla de tres muestras de poblaciones de datos .....	77
III.7. Revisión de la operación hidrológica de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas” bajo condiciones de Cambio Climático ante riesgos de inundación .....	77
IV. RESULTADOS .....	82
IV.1. Riesgo de inundación por tormentas debidas al Cambio Climático.....	86
V. CONCLUSIONES .....	88
VI. RECOMENDACIONES.....	90
VII. BIBLIOGRAFÍA .....	94
VIII. ANEXOS .....	98
A.- Cálculo probabilístico de la Cuenca del Río Santa Catarina.....	98
B.- Cálculo de anomalías de precipitación máxima en 24h .....	108
C.-Cálculo de valores atípicos.....	115
D.- Precipitación de Cambio Climático asociada a 2,5,10,100,500,1000 y 2000 años de periodo de retorno .....	118
E.-Hidrograma unitario triangular para periodos de retorno $T_r = 2,5,10,50,100,500$ y 2000 años .....	120
F.- Planos de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas” .....	127
G.- Modelo de operación de la presa Rompepicos “Corral de Palmas” .....	130

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Cambio de temperatura con respecto al promedio	16
Figura 2.- Polígonos de Thiessen para las estaciones que registraron la lluvia concerniente al huracán Gilberto de la cuenca del río Santa Catarina. (Alejandro Zarco, A., UAEM)	29
Figura 3.- Relación entre las emisiones de GEI por tipo de gas vs los sectores en el estado de Nuevo León. Año base 2005	31
Figura 4.- MODELO: MPI-ESM-LR RCP: 8.5 HORIZONTE LEJANO: 2075-2099. TEMPERATURA MÁXIMA (°C) Fuente: <a href="http://atlasclimatico.unam.mx/AECC/servmapas">http://atlasclimatico.unam.mx/AECC/servmapas</a>	32
Figura 5.- MODELO: MPI-ESM-LR RCP: 8.5 HORIZONTE LEJANO: 2075-2099. PRECIPITACIÓN (mm)	32
Figura 6.- Distribución de la temperatura en aguas marinas superficiales	33
Figura 7.- Anomalía de precipitación mayo- noviembre a nivel nacional, periodo 2015-2039 (mm)	34
Figura 8.- Anomalía de precipitación mayo- noviembre a nivel nacional, periodo 2075-2099 (mm)	35
Figura 9.- Región hidrológica RH24 Bravo-Conchos. (Atlas del Agua en México 2014, CONAGUA)	38
Figura 10.- Modelo digital de elevaciones ASPER DEM	39
Figura 11.- Localización de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas”	40
Figura 12.- Características de la Presa Rompepicos, (CONAGUA,2018).	40
Figura 13.- Área de la cuenca y cauce principal. Mapa de elaboración propia	41
Figura 14.- Perfil topográfico del cauce principal. (Google Earth, 2019)	41
Figura 15.- Recta de mejor ajuste	43
Figura 16.- Uso de suelo y cubierta vegetal. Mapa de elaboración propia	44
Figura 17.- Edafología. Mapa de elaboración propia	45
Figura 18.- Curva de precipitación para 500 y 1000 años de periodo de retorno.	48
Figura 19.- Isoyetas del Estado de Nuevo León para un $Tr=100$ años y una duración de 240 min	49
Figura 20.- Curva $Tr$ -Precipitación	58
Figura 21.- Precipitación asociada a diferentes periodos de retorno, según los métodos probabilísticos	59
Figura 22.- Probabilidad de precipitación para 2,5,10, 50,100,500, 1000 y 2000 años de periodo de retorno	62
Figura 23.- Localización de estaciones climatológicas y polígonos de Thiessen. Mapa de elaboración propia	63
Figura 24. Esquema del método del hidrograma unitario triangular	65
Figura 25.- Hidrograma de avenida de 1000 años de periodo de retorno para la cuenca del Río Santa Catarina	66
Figura 26.- Subcuenca cuyo desfogue se ubica en la Presa Rompepicos “Corral de Palmas”. Se observan los polígonos de Thiessen concernientes a las estaciones climatológicas 19002, 19018 y 19033	67
Figura 27.- Hidrograma Unitario Triangular de la subcuenca . $Tr= 1000$ años de periodo de retorno	69
Figura 28.- Termoclina - año 1985, Golfo de México. (WHOI,2019)	69
Figura 29.- Temperatura anual superficial. Fuente: <a href="https://www.nodc.noaa.gov">https://www.nodc.noaa.gov</a>	70
Figura 30.- Huracanes en México (NOAA,2019)	70
Figura 31.- Huracanes que impactaron la Cuenca del Río Santa Catarina. Periodo 1940-2018 (NOAA,2019)	71
Figura 32.- Diagrama de Venn de criterio de selección de tormentas asociadas al Cambio Climático	75
Figura 33.- Valores atípicos de la muestra de tormentas ciclónicas. Estación 19054	75
Figura 34.- Curva de gastos-elevaciones	79
Figura 35.-Curva elevación-volumen. Fuente: Impactos del Huracán Alex en el Río Santa Catarina 2010; CONAGUA Tecnológico de Monterrey	79
Figura 36.- Funcionamiento de la presa rompepicos	80
Figura 37.- Operación de la presa Corral de Palmas. $Tr=10$ años de periodo de retorno	82
Figura 38.- Operación de la presa Corral de Palmas. $Tr=50$ años de periodo de retorno	82

Figura 39.- Operación de la presa Corral de Palmas. Tr=100 años de periodo de retorno	83
Figura 40.- Operación de la presa Corral de Palmas. Tr=500 años de periodo de retorno	83
Figura 41.- Operación de la presa Corral de Palmas. Tr=1000 años de periodo de retorno	83
Figura 42.- Operación de la presa Corral de Palmas durante el huracán Gilberto	84
Figura 43.- Operación de la presa Corral de Palmas . Tr=10 años de periodo de retorno en condiciones de Cambio Climático	84
Figura 44.- Operación de la presa Corral de Palmas. Tr=50 años de periodo de retorno en condiciones de Cambio Climático	84
Figura 45.- Operación de la presa Corral de Palmas. Tr=100 años de periodo de retorno en condiciones de Cambio Climático	85
Figura 46.- Operación de la presa Corral de Palmas. Tr=500 años de periodo de retorno en condiciones de Cambio	85
Figura 47.- Cuadro de riesgos de inundación para avenidas de diferentes periodos de retorno	86
Figura 48.- Cuadro de riesgos de inundación para avenidas de diferentes periodos de retorno que consideran Cambio Climático	87
Figura 49.- Mapa de inundación por periodo de retorno (CONAGUA,2018)	90
Figura 50.-Sección transversal tipo y vista isométrica del cauce del Río Santa Catarina en su paso por la Zona Metropolitana de Monterrey. Fuente: Propuesta ciudadana de regeneración integral del Río Santa Catarina	91
Figura 51.- Alternativa de solución: Muro de contención. Izquierda: Muro colado in situ; Derecha: Muro prefabricado. Fuente: Propuesta ciudadana de regeneración integral del Río Santa Catarina	91
Figura 52.- Propuesta de distribución estratégica de vegetación	92
Figura 53.- Propuesta de corredores urbanos eco-turísticos. Corte Transversal. Fuente: Concurso público del Corredor Verde, Río Cali, Colombia	92
Figura 54.- Propuesta de corredores urbanos eco-turísticos. Vistas isométricas. Fuente: Concurso público del Corredor Verde, Río Cali, Colombia	92
Figura 55.- propuesta de ubicación de las obras de protección y mitigación de inundación en la Zona Metropolitana de Monterrey	93
Figura 55.- Operación de la presa Corral de Palmas durante el huracán Gilberto	130
Figura 56.- Operación de la presa Corral de Palmas . Tr=2 años de periodo de retorno, no considera Cambio Climático	130
Figura 57.- Operación de la presa Corral de Palmas . Tr=5 años de periodo de retorno, no considera Cambio Climático	130
Figura 58.- Operación de la presa Corral de Palmas . Tr=500 años de periodo de retorno, no considera Cambio Climático	131
Figura 59.- Operación de la presa Corral de Palmas . Tr=2000 años de periodo de retorno, no considera Cambio Climático	131
Figura 60.- Operación de la presa Corral de Palmas . Tr=1000 años de periodo de retorno, considera Cambio Climático	131
Figura 61.- Operación de la presa Corral de Palmas . Tr=2000 años de periodo de retorno, considera Cambio Climático	131

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Precipitación promedio observada (en mm totales) durante el invierno (dic.-ene.-feb.), verano (jun.-jul.-agt.) y anual, así como, el cambio respectivo esperado (en %) 100 años después, bajo el escenario SRES-A2 (Atlas de vulnerabilidad hídrica ante el cambio climático IMTA, 2010)	18
Tabla 2.- Temperatura media promedio observada (en °C), por entidad federativa durante el invierno (IMTA,2010)	18
Tabla 3.- Valores para $\sigma_y$ y $\mu_y$ (Aparicio, 2007)	23
Tabla 4.- Coeficiente e, en función del tiempo de concentración (Kuichling,1889)	26
Tabla 5.- Valores de N para diferentes tipos y usos de suelo (Aparicio, 2007)	28
Tabla 6.- Emisiones de GEI en Nuevo León	31
Tabla 7.- Cálculo de la pendiente media por el Método de Taylor Schwarz	42
Tabla 8.- Cálculo de la pendiente media por el método de mínimos cuadrados	43
Tabla 9.- Determinación del número N de la curva de escurrimientos	45
Tabla 10.- Localización de estaciones climatológicas seleccionadas	46
Tabla 11.- Tiempo de concentración	47
Tabla 12.- Altura de lluvia $H_p$ asociada a periodos de retorno $Tr=50,100,500, 1000$ y $2000$ años para duraciones de 1h y 24h (en mm)	47
Tabla 13.- Logaritmo base 10 de las precipitaciones y de los periodos de retorno	47
Tabla 14.- Valor de la precipitación ciclónica en la estación 19054	49
Tabla 15.- Precipitación promedio y desviación estándar de las tormentas ciclónicas y no ciclónicas en la estación 19054	50
Tabla 16.-Cálculo de parámetros de la distribución Gumbel II en la estación 19054	50
Tabla 17.- Precipitación máxima probable para $Tr=2,5,10,50,100,500, 1000$ y $2000$ años en la estación 19054	51
Tabla 18.- Precipitación máxima probable para $Tr=2,5,10,50,100,500, 1000$ y $2000$ años en la Estación 19002	51
Tabla 19.- Precipitación máxima probable para $Tr=2,5,10,50,100,500, 1000$ y $2000$ años en la Estación 19018	51
Tabla 20.- Precipitación máxima probable para $Tr=2,5,10,50,100,500, 1000$ y $2000$ años en la Estación 19033	51
Tabla 21.- Precipitación máxima probable para $Tr=2,5,10,50,100,500, 1000$ y $2000$ años en la Estación 19096	52
Tabla 22.- Precipitación máxima probable para $Tr=2,5,10,50,100,500, 1000$ y $2000$ años en la Estación 19069	52
Tabla 23.- Precipitación máxima probable para $Tr=2,5,10,50,100,500, 1000$ y $2000$ años en la Estación 19008	52
Tabla 24.- Valor anual de precipitación máxima en 24h en la estación 19054	53
Tabla 25.- Cálculo del factor de frecuencia $K_T$ . Método Pearson III	54
Tabla 26.- Precipitación máxima probable para $Tr=2,5,10,50,100,500, 1000, 2000$ años en la Estación 19054. Método Pearson III	55
Tabla 27.- Precipitación máxima probable para $Tr=2,5,10,50,100,500, 1000, 2000$ años en la Estación 19008. Método Pearson III	55
Tabla 28.- Precipitación máxima probable para $Tr=2,5,10,50,100,500, 1000, 2000$ años en la Estación 19033. Método Pearson III	55
Tabla 29.- Precipitación máxima probable para $Tr=2,5,10,50,100,500, 1000, 2000$ años en la Estación 19069. Método Pearson III	56
Tabla 30.- Cálculo del factor de frecuencia $K_T$ . Método factor de frecuencia normal	56
Tabla 31.- Precipitación máxima probable para $Tr=50,100,500$ y $1000$ años en la Estación 19054. Método factor de frecuencia normal	57
Tabla 32.- Parámetros Gumbel	57

Tabla 33.- Precipitación máxima probable para $T_r=2,5,10,50, 100,500,1000$ y 2000 años. Método Gumbel	58
Tabla 34.- Precipitación probable en la estación 19054, Rinconada, García	59
Tabla 35.- Ajuste de la distribución	60
Tabla 36.- Error estándar	61
Tabla 37.- Precipitación probable para 2 , 5, 10, 50,100,500, 1000 y 2000 años de periodo de retorno	62
Tabla 38.- Precipitación en exceso	64
Tabla 39.- Tabla de datos para el cálculo de la cuenca por el hidrograma unitario triangular.	64
Tabla 40.- Precipitación en exceso en mm	64
Tabla 41.- Precipitación en exceso por porcentaje de duración de tormenta.	65
Tabla 42.- Tiempo pico	65
Tabla 43.- Hidrograma Unitario triangular para 1000 años de periodo de retorno en la cuenca del Río Santa Catarina	66
Tabla 44.- Precipitación probable en la Subcuenca	68
Tabla 45.- Precipitación en exceso para diferentes periodos de retorno en la subcuenca	68
Tabla 46.- Hidrograma Unitario Triangular de la subcuenca. $T_r= 1000$ años de periodo de retorno	68
Tabla 47.- Cálculo de anomalías de precipitación. Estación climatológica 19054	74
Tabla 48.- Valores atípicos de precipitación. Estación 19054. Se resalta en amarillo los valores que cumplen los criterios de selección de tormentas asociadas al Cambio Climático	76
Tabla 49.- Cálculo de la distribución probabilística para mezcla de tres muestras de poblaciones de datos	77
Tabla 50.- Precipitación asociada a periodos de retorno de 2,5,10,50,100,1000 y 2000 años	77
Tabla 51.- Gasto de diseño	78
Tabla 52.- Curva de gastos	78
Tabla 53.- Valores de los hidrogramas	81
Tabla 54.- Registro de caudales máximos para definir el umbral de riesgo de inundación	81

## ÍNDICE DE ECUACIONES

(Ecuación) .....Página	(Ecuación) ..... Página	(Ecuación) ..... Página
( 1 ) .....20	( 22 ) .....23	( 43 ) .....30
( 2 ) .....20	( 23 ) .....23	( 44 ) .....30
( 3 ) .....20	( 24 ) .....23	( 45 ) .....30
( 4 ) .....20	( 25 ) .....24	( 46 ) .....30
( 5 ) .....20	( 26 ) .....24	( 47 ) .....31
( 6 ) .....21	( 27 ) .....24	( 48 ) .....31
( 7 ) .....21	( 28 ) .....24	( 49 ) .....35
( 8 ) .....21	( 29 ) .....24	( 50 ) .....36
( 9 ) .....21	( 30 ) .....25	( 51 ) .....36
( 10 ) .....21	( 31 ) .....25	( 52 ) .....36
( 11 ) .....21	( 32 ) .....25	( 53 ) .....36
( 12 ) .....22	( 33 ) .....26	( 54 ) .....37
( 13 ) .....22	( 34 ) .....26	( 55 ) .....42
( 14 ) .....22	( 35 ) .....27	( 56 ) .....42
( 15 ) .....22	( 36 ) .....27	( 57 ) .....46
( 16 ) .....22	( 37 ) .....27	( 58 ) .....56
( 17 ) .....22	( 38 ) .....29	( 59 ) .....65
( 18 ) .....22	( 39 ) .....29	( 60 ) .....73
( 19 ) .....22	( 40 ) .....30	( 61 ) .....78
( 20 ) .....23	( 41 ) .....30	
( 21 ) .....23	( 42 ) .....30	

# **EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA, NUEVO LEÓN**

## **EL PROBLEMA**

En la cuenca actual del Río Santa Catarina se localiza la presa “Corral de Palmas” denominada comúnmente como Presa Rompepicos, diseñada para prevenir las inundaciones frecuentes en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Monterrey, sin considerar el Cambio Climático, con lo que se esperan mayores avenidas debidas precisamente al Cambio Climático, además existen ríos tributarios al río Santa Catarina, aguas abajo de la presa Rompepicos, lo cual incrementa su vulnerabilidad

La Ciudad de Monterrey ubicada en el Estado de Nuevo León y cerca del Océano Atlántico, es la segunda ciudad en importancia económica del país, por su industria y comercio, su zona conurbada es cruzada por el Río Santa Catarina, en 42 km de longitud, aproximadamente y la cuenca del río, se ubica dentro de la trayectoria de huracanes generados en el Atlántico, lo cual ha generado inundaciones en la zona.

## **JUSTIFICACIÓN**

En los últimos años se han observado precipitaciones atípicas en el territorio nacional, suscitadas por el Cambio Climático, las cuales han propiciado inundaciones que vulneran los servicios e infraestructura, originando pérdidas económicas y en la población. Por ello, es necesaria la investigación de modelos de diseño hidrológicos que predigan las tormentas de diseño que incluyan la variable del Cambio Climático, sobre todo en asentamientos cercanos a las trayectorias de los huracanes, para proporcionar una herramienta de prevención a la población ante las inundaciones, las cuales consideran los especialistas que se incrementarán en magnitud y frecuencia.

La ciudad de Monterrey y el Río Santa Catarina, reúnen las condiciones para efectuar una investigación hidrológica de esta naturaleza, dada su ubicación e importancia económica, así como la frecuencia anual de huracanes.

## **OBJETIVOS**

El objetivo principal de esta tesis es establecer una metodología para el cálculo de las tormentas de diseño en el Río Santa Catarina, considerando Cambio Climático y el análisis de riesgo de inundaciones para la ciudad de Monterrey. Las tormentas de diseño debidas al Cambio Climático se estiman mediante el uso de muestras bi-poblacionales (tormentas convectivas y ciclónicas) y tri-poblacionales (tormentas convectivas, ciclónicas y de Cambio Climático) y haciendo una corrección del sesgo con las tormentas de diseño observadas en la Cuenca del Río Santa Catarina. El tránsito de las tormentas de diseño ha sido evaluado utilizando un modelo de operación de la presa Corral de Palmas (Presa Rompepicos) para comparar los gastos de salida con el gasto de inundación en el cauce principal del Río Santa Catarina a su paso por la ciudad de Monterrey.



Los objetivos específicos que se plantean alcanzar son:

- a) Separar las muestras en tormentas convectivas, tormentas ciclónicas y tormentas de Cambio Climático.
- b) Determinar la precipitación máxima en 24 horas asociada a 2,5,10,50,100,500,1000 y 2000 años de periodo de retorno en la Cuenca del Río Santa Catarina y en la subcuenca de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas”.
- c) Determinar la precipitación máxima en 24 horas asociada a 2,5,10,50,100,500,1000 y 2000 años de periodo de retorno en la Cuenca del Río Santa Catarina y en la subcuenca de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas”, considerando el Cambio Climático.
- d) Determinar el caudal asociado a 2,5,10,50,100,500,1000 y 2000 años de periodo de retorno.
- e) Determinar el caudal asociado a 2,5,10,50,100,500,1000 y 2000 años de periodo de retorno en eventos que consideran Cambio Climático.
- f) Evaluar las tormentas de diseño correspondientes a los periodos de retorno de 2,5,10,50,100,500,1000 y 2000 años en la operación hidráulica de la infraestructura existente frente a inundaciones.
- g) Dado un periodo de retorno, determinar la frecuencia en la que Monterrey es susceptible de inundarse.

## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis general**

Las tormentas máximas de lluvia son originadas por el Cambio Climático, por los fenómenos convectivos de la atmósfera y por huracanes, en la cuenca del Río Santa Catarina, Nuevo León.

### **Hipótesis específica**

Las tormentas de Cambio Climático se pueden identificar con el modelo probabilístico propuesto por J.A. Raynal y L.G. García (2004) de Análisis de Frecuencias de Gastos Máximos Anuales usando la Distribución de Valores Extremos Tipo I para tres muestras de poblaciones de datos, provenientes de un universo que contenga tormentas convectivas, ciclónicas y de Cambio Climático.

## **VARIABLES**

Las variables independientes son:

- anomalías de temperatura mensual
- anomalías de temperatura estacionales
- anomalías de temperatura anual
- anomalías de precipitación mensual
- anomalías de precipitación estacionales
- anomalías de precipitación anual

Los resultados fueron analizados para establecer un criterio de identificación de las tormentas de Cambio Climático.

La variable dependiente es la tormenta de Cambio Climático, en mm.

La tormenta de cambio climático se obtuvo de los análisis estadísticos que indicaron un mayor grado de correlación  $R^2$  y se ingresaron en la ecuación de distribución probabilística de la mezcla de tres tipos de tormenta.

Las anomalías son la desviación positiva o negativa de la variable, respecto del valor promedio de un periodo de años. Se obtiene de calcular el promedio de valores de un periodo y comparar la desviación, respecto de la media. Estos indicadores muestran la variabilidad de la temperatura, precipitación, etc.; respecto de la media. Puede expresarse en % o en magnitud, por ejemplo, mm de lluvia o grados centígrados de temperatura.

## **DISEÑO DEL ESTUDIO**

La primera parte del estudio fue realizada de enero de 2018 a julio de 2019 en la Ciudad de México, y la segunda, en la University of California, Davis (USA), de agosto a diciembre de 2019.

La población de datos pertenece a las estaciones climatológicas dentro de la Cuenca del Río Santa Catarina y la muestra poblacional son los datos estadísticos de cada una de estas estaciones climatológicas.

El método empleado es el siguiente:

1. Recopilación de información climatológica dentro de la Cuenca del Río Santa Catarina.
2. Complementación y validación de información climatológica (temperatura y precipitación).
3. Aplicación del método de Gumbel II para tormentas convectivas y ciclónicas.
4. Trazo de polígonos de Thiessen.
5. Cálculo de la precipitación media mensual, estacional y anual de la cuenca.
6. Determinación n de anomalías de temperatura.
7. Determinación de anomalías de precipitación.
8. Identificación de tormentas asociadas al Cambio Climático.
9. Aplicación de la distribución probabilística para mezcla de 3 tipos de tormenta.
10. Análisis comparativo de resultados.

Con el objetivo de poder realizar el estudio, se realizó la recolección de información climatológica de la base de datos de Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), obtención de reportes meteorológicos de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) respecto al registro de huracanes cuya trayectoria pasara sobre la cuenca del Río Santa Catarina, datos del Woods Hole Oceanographic Institute (WHOI) acerca de la información recolectada por medio de boyas de la temperatura oceánica.

El estudio se sustenta utilizando Métodos de Probabilidad y Estadística aplicados a la hidrología, así como Sistemas de Información Geográficos:

## PRIMERA FASE

Preparación del estudio

1. Delimitar la cuenca del Río Santa Catarina.
2. Identificar las Estaciones climatológicas dentro de la Cuenca.

## SEGUNDA FASE

Recopilación de los datos.

3. Obtención de información de Estaciones climatológicas sobre temperatura y precipitación del periodo 1950-2010.

## TERCERA FASE

Evaluación de los datos.

4. Determinación de anomalías positivas y negativas (máximas y mínimas) de temperatura y precipitación mediante :
5. Tendencias de temperatura y precipitación.

## CUARTA FASE

Presentación y análisis de los datos.

6. Identificación de Tormentas de Cambio Climático para incluirla en la muestra tri-poblacional.
7. Aplicación de los procedimientos del Dr. González Villarreal y de J.A.Raynal y L.G. del subconjunto de intersecciones para calcular la probabilidad de ocurrencia de una tormenta máxima, proveniente de una muestra que incluya las tormentas, convectivas, ciclónicas y de cambio climático.

## QUINTA FASE

Interpretación de los datos.

8. Determinación de la tormenta máxima probable considerando una mezcla de poblaciones de datos de precipitaciones ciclónicas y convectivas.

9. Comparativa de resultados de avenida máxima probable de 2,5,10, 50,100,500,1000 y 2000 años de periodo de retorno, con método el tradicional de tormentas convectivas y ciclónicas y la implementación del método que incluye tormentas convectivas, ciclónicas y de Cambio Climático.

Se ilustra en la Figura (a), la metodología implementada.

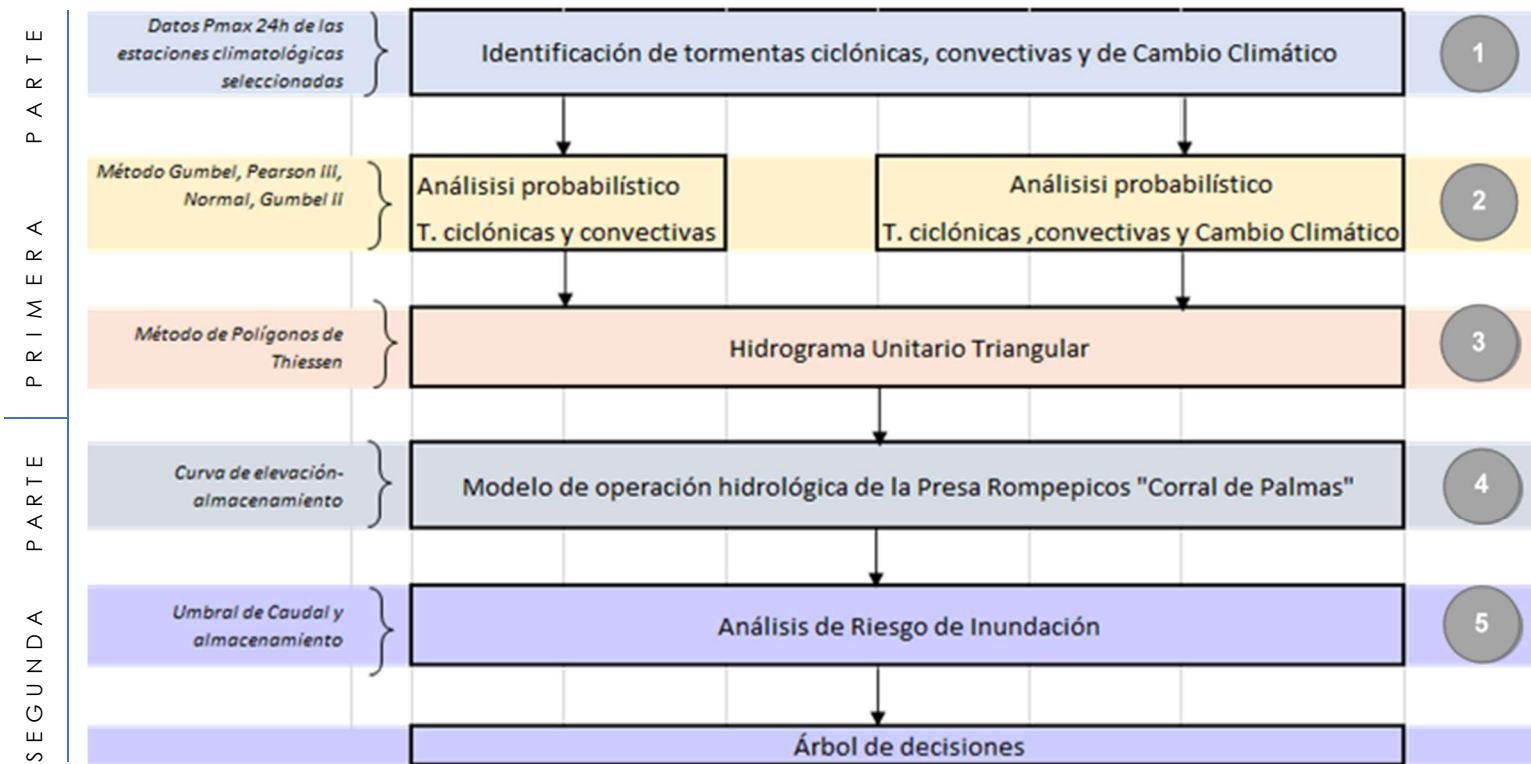


Fig. (a).- Diagrama de la metodología

# **EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA, NUEVO LEÓN**

## **I. INTRODUCCIÓN**

El estudio está destinado a establecer una metodología de análisis hidrológico que permita considerar las tormentas debidas al Cambio Climático; dado que existe un procedimiento para separar las tormentas convectivas de las tormentas ciclónicas de una mezcla de dos tipos de tormentas (Gumbel II). Se determinó la metodología para identificar las tormentas de Cambio Climático, para incluirla en una mezcla de tres tipos: Tormenta Convectiva, Tormenta Ciclónica y Tormenta de Cambio Climático. La tormenta de Cambio Climático depende de las anomalías de temperatura, de duración y de intensidad.

Se aplicó la información obtenida al análisis de frecuencias de gastos máximos anuales usando la distribución de valores extremos tipo I para tres poblaciones de datos (Raynal y García, 2004) con el objetivo de calcular la probabilidad de ocurrencia de una tormenta de Cambio Climático. El resultado permitió evaluar el diseño hidrológico de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas” ante una tormenta de Cambio Climático frente a inundaciones que afecten a la ciudad de Monterrey.

### **I.1. ANTECEDENTES**

Para mitigar las pérdidas económicas en la infraestructura y en la población, se construyó la presa de regulación de avenidas “Corral de Palmas”; sin embargo, aguas abajo de dicha presa, existen ríos tributarios al Río Santa Catarina, que aún ponen en riesgo de inundaciones a la zona metropolitana.

Actualmente en el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, en el cual participan la mayoría de países del mundo, se dedica al estudio de gases de efecto invernadero, anomalías de precipitación y temperatura, tendencias y formulación de escenarios.

De estos estudios y considerando que existe un procedimiento para separar las tormentas convectivas de las tormentas ciclónicas de una mezcla de dos tipos de tormentas, se diseñó una metodología para identificar las tormentas de Cambio Climático, para incluirla en una mezcla de tres tipos: Tormenta Convectiva, Tormenta Ciclónica y Tormenta de Cambio Climático.

Los valores en un periodo de 30 años de los parámetros meteorológicos de temperatura, presión, vientos, humedad y precipitación, determinan el clima de una región. Así mismo, existe una variabilidad climática de los valores promedio debido a que éstos fluctúan en función de la estación del año y de las condiciones geográficas. Sin embargo, el aumento anómalo de temperatura ambiente, cambios significativos en el régimen de precipitación y el aumento en la fuerza destructiva de los huracanes tropicales, indican una agudización del Cambio Climático.

Si bien es cierto que la variación del clima se produce de manera natural, las oscilaciones actuales se acentúan por la actividad industrial y entre otras consecuencias, la aparición del efecto invernadero antropogénico, el cual interfiere con los patrones de comportamiento natural del clima.

## I.2. Repercusión de las emisiones de gases de efecto invernadero en el clima

El Cambio Climático se puede definir como la modificación en la distribución estadística de los patrones meteorológicos de temperatura y precipitación de un sitio y por un tiempo determinado. Una de las manifestaciones más perceptibles es la producida por el calentamiento global, referido al incremento promedio de las temperaturas terrestres y marinas, atribuibles a las actividades humanas que propicien las emisiones de gases de efecto invernadero. El uso de los combustibles fósiles, como el petróleo, gas natural o carbón han contribuido a intensificar la concentración de estos gases en la atmósfera, lo cual es considerado la principal causa del calentamiento global. El incremento en los últimos cincuenta años coincide con el aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, como se puede observar en la Figura 1.

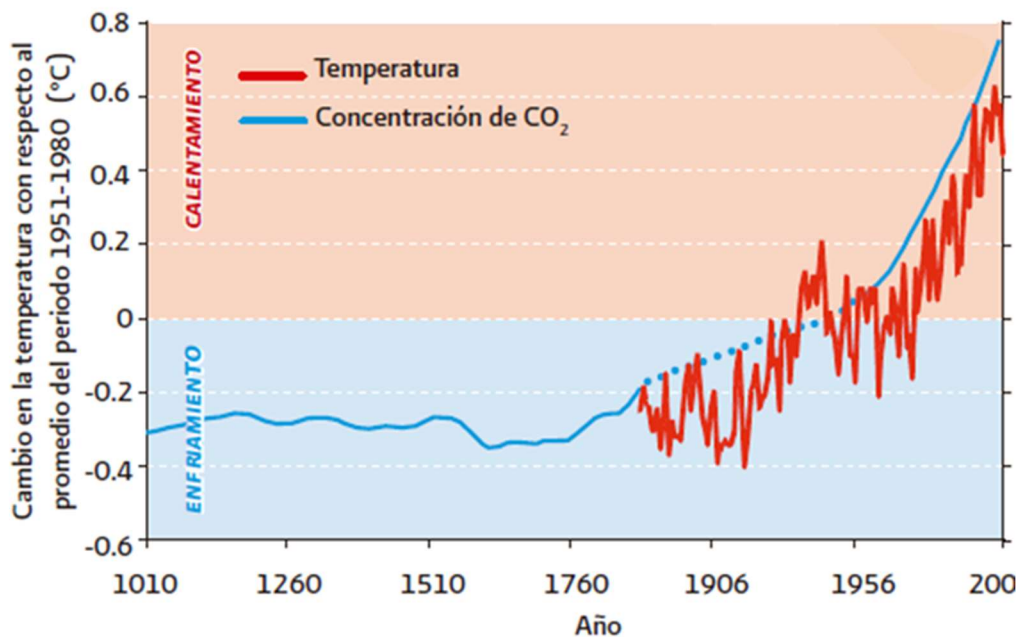


Figura 1.- Cambio de temperatura con respecto al promedio

Los procesos industriales, las emisiones de CO<sub>2</sub> que ha aumentado proporcionalmente al consumo de combustibles fósiles y la transformación de uso del suelo, contribuyen con las emisiones totales de gases de efecto invernadero del país. Cabe mencionar que existe una componente natural que interviene en el Cambio Global; no obstante, es muy pequeña para justificar las alteraciones percibidas en la temperatura terrestre.

En la medida en que varía el clima, múltiples influencias directas modifican la cantidad, intensidad, frecuencia y tipo de lluvia, pues cualquier alteración producida en los procesos que ocurren durante el ciclo hidrológico se reflejan en el régimen de precipitación. Se espera la escasez de agua principalmente en la región noroeste de México, considerando el desarrollo social y económico del país, así como los escenarios previstos de cambio climático. Otras zonas del país también incrementarán sensiblemente su presión sobre los recursos hídricos.

A consecuencia del calentamiento terrestre inducido por los seres humanos, se acelera o posibilita la incidencia y severidad de sequías en periodos prolongados en una región mientras que en otra se amplifica la evaporación.

La relación Clausius-Clapeyron dicta que la capacidad de retención de agua de la atmósfera se incrementa en un 7% por cada 1°C que se eleva en la temperatura. (Valtierra, 2013). Las observaciones de tendencias en la humedad relativa sugieren que el incremento de la temperatura trae como resultado un aumento del vapor de agua sobre los océanos y dado que la precipitación procede de los sistemas meteorológicos que se alimentan del vapor de agua acumulado en la atmósfera, se presenta en consecuencia un incremento en la intensidad de las precipitaciones.

La tendencia al incremento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos extremos como consecuencia directa del aumento en la temperatura media superficial en océanos y en la superficie de la Tierra, propician la desertificación de ciertas zonas; modificación de las áreas de distribución de determinadas especies, incluidos los recursos pesqueros; alteración de los ciclos biológicos, con adelanto del momento de floración o del brote de las hojas y modificación de los modelos de dinámica de las corrientes oceánicas principales y secundarias, que alteran las zonas marinas donde se desarrollan los fenómenos climáticos tropicales, tales como ondas, tormentas y huracanes.

El alza en las tendencias se asocia a los escenarios de Cambio Climático factibles, cuyas características determinan las vulnerabilidades ante el impacto de las anomalías climáticas donde la variabilidad en las condiciones climáticas fomenta lluvias torrenciales. Éstas se gestan con muy poco tiempo entre ellas y, por otro lado, zonas con aumento de precipitación donde las lluvias pueden ser menos frecuentes pero mayores en intensidad, provocan un aumento en el coeficiente de escurrimiento fluvial debido a la saturación de los suelos, dando como resultado inundaciones en puntos críticos.

Además, los efectos impactan los asentamientos humanos menoscabando los recursos económicos de la primera línea de costa, tales como puertos y edificaciones; así mismo, se dificulta el desagüe pluvial en los sistemas de alcantarillado anegando las áreas urbanas.

Para ejemplificar lo anterior, es oportuno señalar el caso del huracán Alex acontecido en el año 2010.

Este fenómeno atmosférico inició como depresión tropical sobre el mar Caribe que en su trayectoria cruzó la península de Yucatán para ingresar al Golfo de México, fortaleciéndose hasta adquirir la categoría 2 en la escala Saffir-Simpson. Ingresó a Tamaulipas y se disipó sobre San Luis Potosí. Las precipitaciones acumuladas a su paso por Tamaulipas y Nuevo León fueron registradas por las estaciones del Sistema de Alerta Hidrometeorológica de Monterrey estimando valores acumulados entre 388 y 510 mm, equivalentes al promedio de precipitación que se acumula en un año. (Prieto et al., 2010). Los daños provocados por el huracán Alex comprendieron Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, afectando a la población, industrias, transporte, vías de comunicación y actividades económicas.

### I.3. El Cambio Climático en Nuevo León

Los escenarios evidencian un cambio en la precipitación y temperatura de la región. En las Tablas 1 y 2 se exhiben los cambios proyectados al año 2090 donde en, lo referente a la precipitación, se aprecia una disminución porcentual de hasta 15.76. No obstante, la temperatura presenta un aumento a 3.27% de las cifras actuales, mismas que trascienden a la presencia de lluvias anómalas de mayor intensidad y menor duración.

Tabla 1.- Precipitación promedio observada (en mm totales) durante el invierno (dic.-ene.-feb.), verano (jun.-jul.-agt.) y anual, así como, el cambio respectivo esperado (en %) 100 años después, bajo el escenario SRES-A2 (Atlas de vulnerabilidad hídrica ante el cambio climático IMTA, 2010)

Entidad federativa	Precipitación media observada 1961- 1990 (mm)			Cambio proyectado al 2061-2090 (%)		
	Invierno	Verano	Anual	Invierno	Verano	Anual
<b>Nuevo León</b>	51.70	195.95	550.43	-13.28	-11.02	-12.72
<b>NACIONAL</b>	73.42	368.95	772.56	-20.00	-15.76	-15.15

Tabla 2.- Temperatura media promedio observada (en °C), por entidad federativa durante el invierno (IMTA,2010)

Entidad federativa	Precipitación media observada 1961- 1990 (mm)			Cambio proyectado al 2061-2090 (%)		
	Invierno	Verano	Anual	Invierno	Verano	Anual
<b>Nuevo León</b>	15.03	27.21	21.60	+2.85	+3.64	+3.43
<b>NACIONAL</b>	15.39	24.99	20.60	+2.85	+3.27	+3.15



## II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Predecir las tormentas de diseño, asociadas a un periodo de retorno con base en muestras bi-poblacionales, empleando el Método denominado Gumbel II, el cual considera una mezcla de tormentas convectivas y tormentas ciclónicas. También se adiciona el trabajo del Dr. González Villarreal del subconjunto de intersección, el cual desarrolla la ecuación de distribución probabilística de dos tipos: tormenta convectiva, la tormenta ciclónica y se plantea agregar la tormenta debida al cambio climático, distribución propuesta para una mezcla de tres poblaciones de datos, propuesta por J.A.Raynal y L.G.García.

A continuación se enlistan los conceptos utilizados en este estudio.

RÍO TRIBUTARIO.- río que descarga en otro río en el sitio llamado confluencia

CAMBIO CLIMÁTICO.- cambio en la distribución estadística de los patrones meteorológicos de temperatura y de la precipitación, de un sitio y por un tiempo determinado.

ANOMALÍAS DE TEMPERATURA.- Temperatura porcentualmente mayor o menor a la temperatura promedio de un sitio determinado.

MÉTODO TRADICIONAL DE CÁLCULO HIDROLÓGICO.- Cálculo hidrológico que solo considera patrones estacionales meteorológicos y no incluyen el cambio climático.

ANOMALÍA DE PRECIPITACIÓN.- Precipitación porcentualmente mayor o menor a la precipitación promedio de un sitio determinado.

MODELOS DE DISEÑO HIDROLÓGICO.- Modelos matemáticos de cálculo hidrológico que conducen a parámetros de diseño hidráulicos de estructuras, como lámina de precipitación y gasto de diseño.

TORMENTA CONVECTIVA.- Tormenta originada por ascenso de capas calientes y descenso de las capas frías atmosféricas.

TORMENTA CICLÓNICA.- Tormenta producida por un ciclón, en sitios que se encuentren en la banda de su trayectoria.

TORMENTA DE CAMBIO CLIMÁTICO.- Tormenta producida por el cambio de patrones meteorológicos del clima de un área.

MUESTRA BI-POBLACIONAL.- Muestra de precipitaciones máximas anuales en 24 horas, con mezcla de lluvias convectivas y lluvias ciclónicas.

MUESTRA TRI-POBLACIONAL.- Muestra de precipitaciones máximas anuales en 24 horas, con mezcla de lluvias convectivas, ciclónicas y de cambio climático.

TÉCNICA DE MEJOR AJUSTE: procedimiento de cálculo que permite evaluar el Error Estándar E.E., de valores calculados contra valores observados.

IPCC.- Panel Intergubernamental Sobre Cambio Climático

GI.-Gases de efecto invernadero

CO<sub>2</sub>.-Gases dióxido de carbono

CH<sub>4</sub>.- Gas metano

TENDENCIA DE TEMPERATURA.- Variación de la temperatura promedio, con el tiempo, para un sitio.

TENDENCIA DE PRECIPITACIÓN.- Variación de la precipitación promedio, con el tiempo, para un sitio

## II.1. Método de cálculo hidrológico de avenidas de diseño

El cálculo hidrológico tradicional considera patrones estacionales meteorológicos que no incluyen la variable del cambio climático. Estos modelos matemáticos de cálculo hidrológico conducen a parámetros de diseño hidráulicos de estructuras, como láminas de precipitación y gasto de diseño.

Para determinar el caudal de diseño, se aplican distribuciones de probabilidad para analizar la muestra de datos de precipitación máxima en 24h, obtenidos de las estaciones climatológicas.

Se procedió a la obtención de la media aritmética de los datos mediante la ecuación (1).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

Y la desviación estándar, plasmada en la ecuación (2).

$$s = \sqrt{\left[ \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \right]} \quad (2)$$

### Distribución Normal

La función de distribución de probabilidad normal está dada por la ecuación (3).

$$F(x) = F(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (3)$$

Cuyo periodo de retorno se obtiene mediante la función (4).

$$F(x) = P(X \leq x) = \frac{T - 1}{T} \quad (4)$$

Se obtiene el valor de F(x), se busca en las Tablas para la distribución normal ampliamente difundidas y se obtiene el valor de z. Luego, despejando x de la ecuación (5).

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (5)$$

### Distribución Lognormal

En la distribución lognormal la función de densidad de probabilidad se muestra en la ecuación (6).

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2} \quad (6)$$

Donde

$\alpha$  : media

$\beta$ : desviación estándar

Dichos parámetros de la distribución se obtienen mediante (8) y (9) , respectivamente

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i}{n} \quad (7)$$

$$\beta = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (8)$$

Donde

n: número de registros.

La función de distribución de probabilidad se define como:

$$\beta = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (9)$$

El valor resultante en la ecuación (10) se busca en la Tabla de valores de la distribución

$$z = \frac{\ln x - \alpha}{\beta} \quad (10)$$

### Distribución Pearson III

La función de densidad de probabilidad de Pearson III está dada por ecuación (11):

$$f(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \left\{ \frac{x - \delta_1}{\alpha_1} \right\}^{\beta_1 - 1} e^{-\frac{x - \delta_1}{\alpha_1}} \quad (11)$$

Donde

$\alpha_1, \beta_1, \delta_1$ : parámetros de la función

$\Gamma(\beta_1)$ : función Gamma

$\alpha_1, \beta_1, \delta_1$ : se evalúan a partir de los datos disponibles n de la estación climatológica con las ecuaciones que se enlistan en (12), (13) y (14)

$$\bar{x} = \alpha_1 \beta_1 + \delta_1 \quad (12)$$

$$S^2 = \alpha_1^2 \beta_1 \quad (13)$$

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta_1}} \quad (14)$$

Donde

$\bar{x}$  : media de los datos

$S^2$ : varianza

$\gamma$ : coeficiente de sesgo, dado por (15)

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3 / n}{S^3} \quad (15)$$

La función de distribución de probabilidad se expresa en (16):

$$F(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \int_0^x e^{-\left(\frac{x-\delta_1}{\alpha_1}\right)} \left(\frac{x-\delta_1}{\alpha_1}\right)^{\beta_1-1} dx \quad (16)$$

Con la variable  $y$  que se describe en (17):

$$y = \left(\frac{x - \delta_1}{\alpha_1}\right) \quad (17)$$

Sustituyendo en (17) resulta:

$$F(y) = \frac{1}{\Gamma(\beta_1)} \int_0^y e^{-y} y^{\beta_1-1} dy$$

La cual es una función de distribución Xi cuadrada con  $2\beta_1$  grados de libertad  $y$ , como se expresa en (18) y (19).

$$\chi^2 = 2y \quad (18)$$

$$F(y) = F(\chi^2|v) = F_{\chi^2}(2y|2\beta_1) \quad (19)$$

### Distribución Gumbel

Esta distribución analiza los valores máximos y mínimos y es recurrentemente utilizada en México para analizar los fenómenos tanto de inundaciones como de sequías. Su función de densidad de probabilidad se ostenta en (20) :

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta)} - e^{-\alpha(x-\beta)} \quad (20)$$

Donde  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros de la función y que para muestras muy grandes se calculan mediante las ecuaciones (21) y (22) siguientes

$$\alpha = \frac{1.2825}{S} \quad (21)$$

$$\beta = \bar{x} - 0.45S \quad (22)$$

Para muestras relativamente pequeñas, los parámetros se calculan con las ecuaciones (23) y (24).

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S} \quad (23)$$

$$\beta = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\alpha} \quad (24)$$

Donde  $\sigma_y$  y  $\mu_y$  se obtienen de la Tabla 3 siguiente

Tabla 3.- Valores para  $\sigma_y$  y  $\mu_y$  (Aparicio, 2007)

n	$\mu_y$	$\sigma_y$
10	0.4952	0.9496
15	0.5128	1.0206
20	0.5236	1.0628
25	0.5309	1.0914
30	0.5362	1.1124
35	0.5403	1.1285
40	0.5436	1.1413
45	0.5463	1.1518
50	0.5485	1.1607
55	0.5504	1.1682
60	0.5521	1.1747
65	0.5535	1.1803
70	0.5548	1.1854
75	0.5559	1.1898
80	0.5569	1.1938
85	0.5578	1.1974
90	0.5586	1.2007
95	0.5593	1.2037
100	0.56	1.2065

### Distribución Gumbel II

Tras analizar el comportamiento de los escurrimientos en diversos ríos de la República Mexicana, se encontró que los gastos máximos anuales ocurrían generalmente en la época de verano. Para modelar este fenómeno se desarrolló la función de distribución de probabilidades Gumbel de dos poblaciones de datos (González, 1970).

La distribución Gumbel II considera una mezcla de dos tipos: tormentas convectivas y tormentas ciclónicas. Para su aplicación, el método se enumera a continuación:

1. Separar la muestra de datos en tormentas ciclónicas y convectivas, tomando en consideración la magnitud de las precipitaciones.
2. Se calcula la probabilidad  $p$  con la ecuación (25).

$$p = \frac{N_n}{N_T} \quad (25)$$

Donde

$N_n$ : población de años no ciclónicos.

$N_T$ : Población total.

Además

$N_c(\bar{x}_2, S_2)$  Para eventos ciclónicos.

$N_n(\bar{x}_1, S_1), p$  Para eventos no ciclónicos.

3. Se ponderan los parámetros de forma similar al método Gumbel, mediante las ecuaciones (26), (27) y (28)

$$\alpha_1 = \frac{\sigma_{y1}}{S_1} \quad (26)$$

$$\alpha_2 = \frac{\sigma_{y2}}{S_2} \quad (27)$$

$$\beta_1 = \bar{x}_1 - \frac{\mu_{y1}}{\alpha_1} \quad (28)$$

4. Se calcula mediante la ecuación (29), la precipitación o el gasto máximo probable:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}} \left[ p + (1-p)e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}} \right] \quad (29)$$

## II.2. Pruebas de ajuste de bondad

Las pruebas de ajuste de bondad determinan la función de densidad de probabilidad que mejor se ajusta a la muestra, es decir, comprueban cuál es la función con el mejor comportamiento.

### Mínimo error cuadrático

Se mide, para cada distribución, el error cuadrático, y se selecciona el mínimo, dado que es el que mejor relación o ajuste presenta entre la muestra y la función de distribución. Se calcula con la ecuación (30) mostrada a continuación

$$C = \left[ \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \right]^{1/2} \quad (30)$$

Donde

$x_i$  = es el i-ésimo dato estimado

$y_i$  = es el i-ésimo dato calculado con la función de distribución bajo análisis

$n$  = Número de datos

### II.3. Relación Lluvia-Escurrimiento

La aplicación de la relación lluvia-escorrimento conlleva la caracterización de la cuenca de estudio. Para efectuar dicha caracterización es necesario contar con el Área de la cuenca ( $A_c$ ); Precipitación media en la cuenca (hp máxima en 24 horas); Tiempo de concentración ( $T_c$ ); Longitud del cauce principal ( $L$ ); Pendiente del cauce principal ( $S$ ); Desnivel total ( $D$ ); Distribución de la lluvia en el tiempo ( $de$ ); Distribución de la lluvia en el espacio (hpd).

Así mismo se debe obtener la precipitación de diseño (hpd) y la intensidad de precipitación ( $i$ ) de la cuenca, cuyos valores se pueden determinar con las ecuaciones de Kuichling y calcular el tiempo de concentración ( $t_c$ ), e y k.

#### Tiempo de concentración

El tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio se le denomina tiempo de concentración ( $t_c$ ), y equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca (Aparicio, 2007).

La ecuación (31), conforme a Kirpich:

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (31)$$

Donde

$t_c$ ; tiempo de concentración, en h.

$L$ ; longitud se expresa en m.

$S$ ; es la pendiente del cauce principal.

De acuerdo con Rowe, la ecuación (32) es:

$$t_c = \left( \frac{0.87L^3}{D} \right)^{0.385} \quad (32)$$

Donde

$t_c$ ; tiempo de concentración, resulta en h.

$L$ ; longitud del cauce principal, se expresa en km.

$D$ ; desnivel del cauce principal en metros.

## Coeficiente e

El coeficiente e es necesario para la aplicación de la ecuación de Kuichling que se determina en función del tiempo de concentración y se establece de acuerdo a la Tabla 4.

Tabla 4.- Coeficiente e, en función del tiempo de concentración (Kuichling,1889)

e	Características de la cuenca
0.45-0.50	Cuenca muy Grande $t_c \geq 48$ hrs
0.50-0.55	Cuenca Grande $24 \text{ hrs} < t_c < 48 \text{ hrs}$
0.55-0.60	Cuenca Mediana $6 \text{ hrs} < t_c < 24 \text{ hrs}$
0.60-0.70	Cuenca Chica $1 \text{ hr} < t_c < 6 \text{ hrs}$
0.70-0.80	Cuenca muy Pequeña $t_c < 1 \text{ hr}$

Dependiendo del tiempo de concentración que se tenga, se interpola para obtener el valor del coeficiente e, mediante la siguiente ecuación en (33):

$$e = e_1 + \left[ (t_c - t_{c1}) \left( \frac{e_2 - e_1}{t_{c2} - t_{c1}} \right) \right] \quad (33)$$

Donde

$t_c$ : tiempo de concentración deseado , h

$t_{c1}$ : tiempo de concentración menor, h

$t_{c2}$ : tiempo de concentración mayor, h

e: coeficiente correspondiente al  $t_c$  deseado, adimensional

$e_1$ : coeficiente correspondiente al  $t_{c1}$ , adimensional

$e_2$ : coeficiente correspondiente al  $t_{c2}$ , adimensional

## Coeficiente k

Después de aplicar las funciones de probabilidad a los datos de precipitación de las estaciones climatológicas seleccionadas y determinar la precipitación media de la cuenca para diferentes periodos de retorno  $T_r$ , se procede entonces a calcular el coeficiente e para obtener el valor del coeficiente k con la ecuación (34)

$$k = \frac{hp_m(1 - e)}{24^{1-e}} \quad (34)$$



### Lluvia de diseño e intensidad

La lluvia de diseño y la intensidad se pueden calcular mediante las ecuaciones (35) y (36).

$$hp_d = \frac{ktc^{1-e}}{1-e} \quad (35)$$

$$i = \frac{k}{(1-e)tc^e} \quad (36)$$

Donde

i; es la intensidad en milímetros por hora.

k; es el coeficiente de Kuichling calculado con la ecuación 2.38, adimensional.

tc; es el tiempo de concentración en horas.

e; es el coeficiente de la ecuación (35), adimensional.

### II.4. Método de la Precipitación en exceso

Este método es utilizado para el cálculo de la lluvia efectiva. Fue propuesto por el U.S. Soil Conservation Service. La lluvia efectiva se calcula mediante (37).

$$hp_e = \frac{\left(hp_d - \frac{508}{N} + 5.08\right)^2}{\left(hp_d + \frac{2032}{N} - 20.32\right)} \quad (37)$$

Donde

hp<sub>e</sub>: lluvia efectiva, cm.

hp<sub>d</sub>: lluvia de diseño, cm.

N: número de escurrimiento, adimensional.

### Número N de escurrimiento

El valor de N, desplegado en la Tabla 5, depende del tipo de suelo, la cobertura vegetal, la pendiente del terreno y la precipitación antecedente.

Tabla 5.- Valores de N para diferentes tipos y usos de suelo (Aparicio, 2007)

Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente del terreno en %	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Sin cultivo	Surcos rectos	-	77	86	91	94
Cultivos en surco	Surcos rectos	>1	72	81	88	91
	Surcos rectos	<1	67	78	85	89
	Contorneo	>1	70	79	84	88
	Contorneo	<1	65	75	82	86
	Terrazas	>1	66	74	80	82
	Terrazas	<1	62	71	78	81
Cereales	Surcos rectos	>1	65	76	84	88
	Surcos rectos	<1	63	75	83	87
	Contorneo	>1	63	74	82	85
	Contorneo	<1	61	73	81	84
	Terrazas	>1	61	72	79	82
	Terrazas	<1	59	70	78	81
Leguminosas o praderas con rotación	Surcos rectos	>1	66	77	85	89
	Surcos rectos	<1	58	72	81	85
	Contorneo	>1	64	75	83	85
	Contorneo	<1	55	69	78	83
	Terrazas	>1	63	73	80	83
	Terrazas	<1	51	67	76	80
Pastizales	-----	>1	68	79	86	89
	-----	<1	39	61	74	80
	Contorneo	>1	47	67	81	88
	Contorneo	<1	6	35	70	79
Pradera permanente		<1	30	58	71	78
Bosques naturales	Muy malo	-	56	75	86	91
	Ralo	-	46	68	78	84
	Normal	-	36	60	70	77
	Espeso	-	26	52	62	69
	Muy espeso	-	15	44	54	61
Caminos	De terracería	-	72	82	87	89
	Superficie dura	-	74	84	90	92

### Polígonos de Thiessen

El análisis de precipitación de la cuenca se efectúa trazando polígonos de Thiessen, según el método recomendado por Aparicio (2007):

1. Unir, mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca, las estaciones más próximas entre sí. Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas.
2. Trazar líneas rectas que bisectan los lados de los triángulos. Por geometría elemental, las líneas competentes a cada triángulo convergerán en un solo punto.
3. Cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas rectas del paso 2, que forman los llamados polígonos de Thiessen y, en algunos casos, en parte por el parteaguas de la cuenca. El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parteaguas será el área de influencia que compete a la estación.

En la Figura 2 se ilustran los pasos descritos anteriormente.

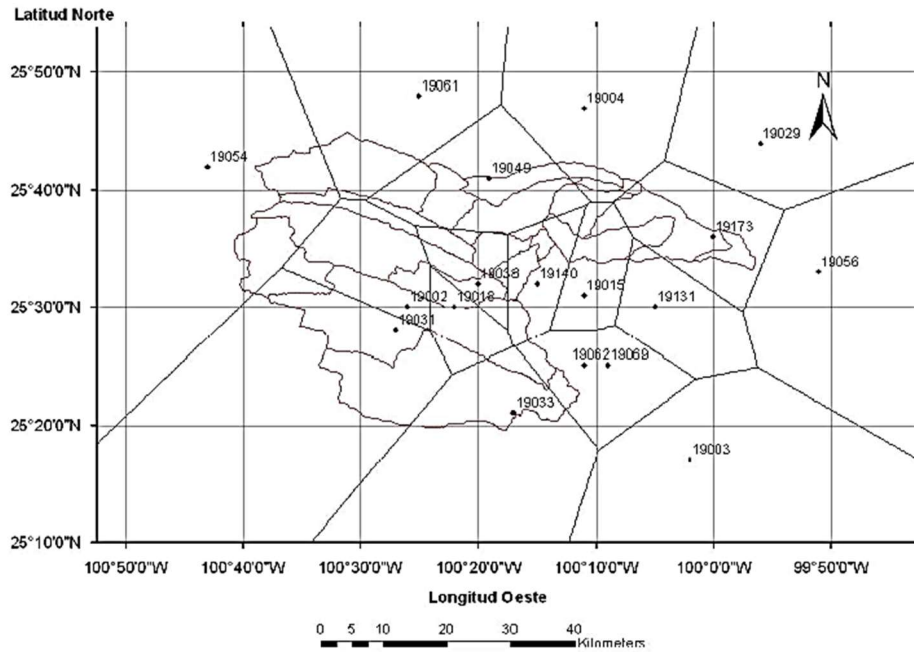


Figura 2.- Polígonos de Thiessen para las estaciones que registraron la lluvia concerniente al huracán Gilberto de la cuenca del río Santa Catarina. (Alejandro Zarco, A., UAEM)

Luego, la precipitación media en la cuenca se obtiene mediante la ecuación (38).

$$\overline{hp} = \frac{\sum A_i hp_i}{A_T} \quad (38)$$

### Hidrograma Unitario Triangular

El hidrograma de escurrimiento directo que se produce por una lluvia efectiva o en exceso ( $hpe$ ) de lámina unitaria, duración de  $t_b$  y repartida uniformemente en la cuenca (Aparicio, 2007).

De la geometría del hidrograma unitario, se escribe el gasto pico como (39):

$$q_p = \frac{0.555A}{t_b} \quad (39)$$

Donde

$q_p$ : gasto pico,  $m^3/s/mm$ .

$A$ : área de la cuenca,  $km^2$ .

$t_b$ : tiempo base, h.

Del análisis de varios hidrogramas, Mockus concluye que el tiempo base y el tiempo pico se relacionan mediante la ecuación (40).

$$t_p = 2.67t_b \quad (40)$$

El tiempo pico se expresa mediante (41):

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r \quad (41)$$

Donde

$d_e$ : duración en exceso, h

$t_r$ : tiempo de retraso estimado con el tiempo de concentración, h

$$t_c: t_r = 0.6 t_c \quad (42)$$

O bien con la Ecuación de Ven Te Chow (43).

$$t_r = 0.005 \left[ \frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64} \quad (43)$$

Una cuenca se considera grande cuando su superficie es mayor a 250 kilómetros cuadrados. La duración de la precipitación en exceso con la que se tiene mayor gasto de pico se puede calcular para cuencas grandes como se indica en (44) y (45):

$$d_e = 2\sqrt{t_c} \quad (44)$$

Para cuencas pequeñas:

$$d_e = t_c \quad (45)$$

Sustituyendo (41) en (40)

$$q_p = \frac{0.208 A}{t_p} \quad (46)$$

Donde

$$t_p = \sqrt{t_c} + 0.6 t_c$$

De (41), (42) y (46) se calculan las características del hidrograma unitario triangular. El Gasto pluvial se obtiene de la ecuación (47).

$$Q_p = \frac{0.208 Ac}{t_p} * hpe \quad (47)$$

Donde

Qp: gasto pluvial en m<sup>3</sup>/s.

0.278: factor de conversión de unidades.

Ac: área de la cuenca.

tp: tiempo pico, hrs.

hpe: lluvia efectiva, en mm, cuya ecuación es (48):

$$hpe = Ce * hp \quad (48)$$

## II.5. Emisiones de gases de efecto invernadero y su impacto en los escenarios de Cambio Climático en Nuevo León

Cuando la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) aumenta en la atmósfera, la cantidad de energía que no puede escapar al espacio es cada vez mayor, y vuelve a ser reflejada a la superficie aumentando gradualmente su temperatura. A continuación, en la Tabla 6, se muestra el total de emisiones de gases de efecto invernadero en Nuevo León para el año base 2005.

Tabla 6.- Emisiones de GEI en Nuevo León

Emisiones 2005	Millones Toneladas
CO <sub>2e</sub>	23.928
CH <sub>4</sub>	5.941
N <sub>2</sub> O	470.41

De igual forma, la Figura 3 demuestra que el uso de energía es el principal motivo de producción de gases de efecto invernadero en Nuevo León.

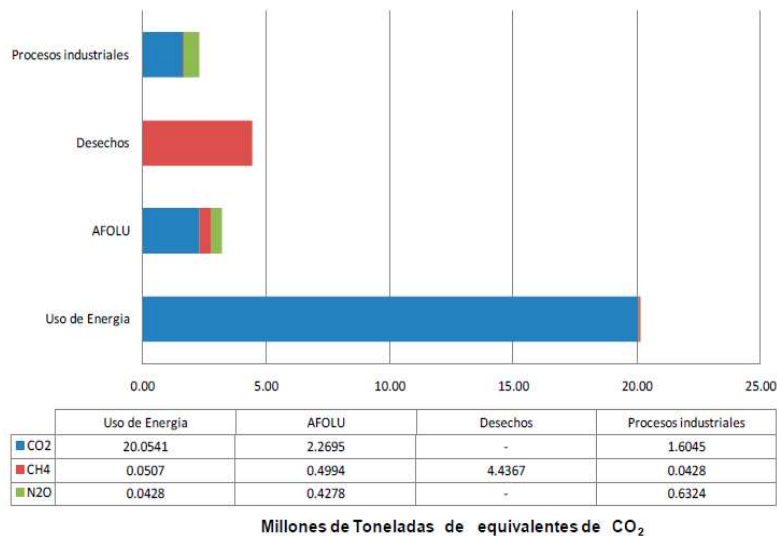


Figura 3.- Relación entre las emisiones de GEI por tipo de gas vs los sectores en el estado de Nuevo León. Año base 2005

Se sabe que el Cambio Climático es un proceso que se ha dado de manera natural a lo largo de la Historia de la Tierra pero que actualmente se encuentra exacerbado por los procesos antropogénicos, tales como el aumento artificial y desmedido de los gases de efecto invernadero.

Los escenarios de cambio climático que representan de manera global y simplificada el clima futuro, están contruidos para la investigación de las consecuencias potenciales del cambio climático antropogénico. En la Figura 4 se expone el escenario de cambio climático de horizonte lejano donde la temperatura para la Zona Metropolitana de Monterrey se estima en 35.5 °C.

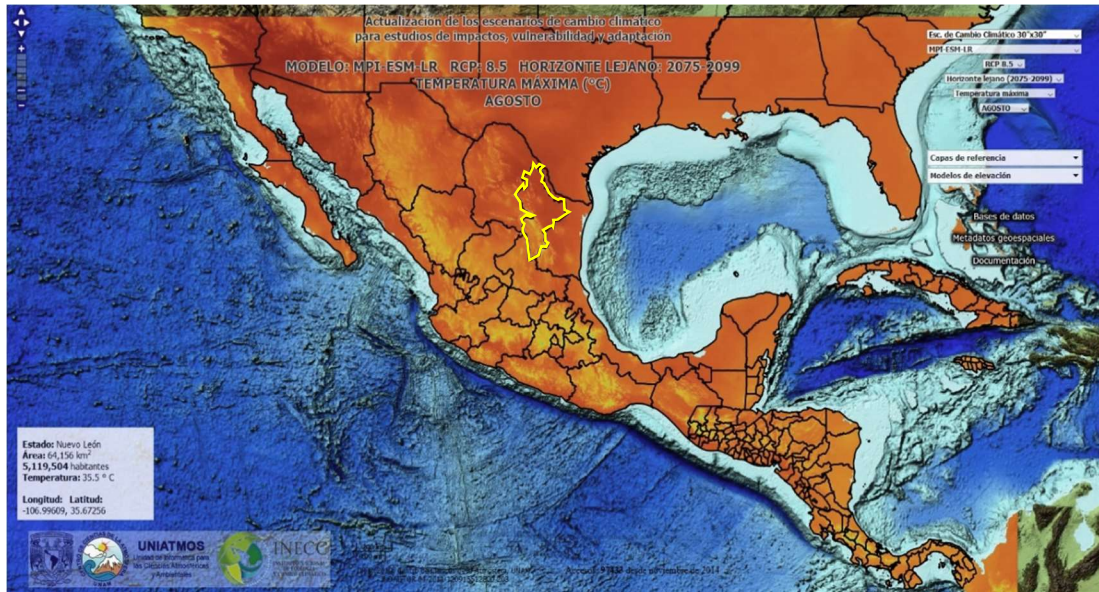


Figura 4.- MODELO: MPI-ESM-LR RCP: 8.5 HORIZONTE LEJANO: 2075-2099. TEMPERATURA MÁXIMA (°C)  
 Fuente: <http://atlasclimatico.unam.mx/AECC/servmapas>

En la Figura 5 se observa el escenario de cambio climático de horizonte lejano de la precipitación para la Zona Metropolitana de Monterrey.

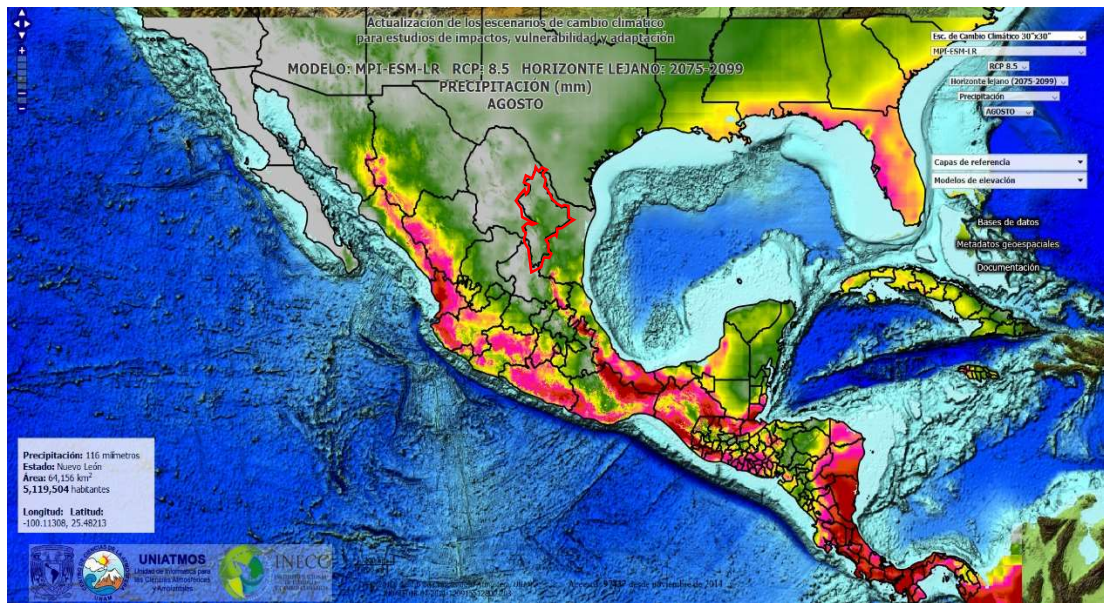


Figura 5.- MODELO: MPI-ESM-LR RCP: 8.5 HORIZONTE LEJANO: 2075-2099. PRECIPITACIÓN (mm)  
 Fuente: <http://atlasclimatico.unam.mx/AECC/servmapas>

De las Figuras 4 y 5 anteriores se infiere un aumento significativo en la temperatura. Este incremento no solo se circunscribe al espacio continental sino también al que concierne al oceánico.

### II.5.1. Influencia del mar en la formación de huracanes tropicales y anomalías de precipitación

El principal aporte calorífico que tiene el agua del mar está representado por las radiaciones energéticas que le llegan del Sol. Su calor específico tiene un valor elevado en comparación con el calor específico de las demás sustancias existentes en la superficie del planeta; esto confiere al mar una extraordinaria capacidad para almacenar calor y por esta propiedad puede actuar como un termorregulador.

Las radiaciones solares que llegan a la superficie del mar penetran hasta alcanzar, en promedio, una profundidad de cien metros, pero que incluso puede extenderse hasta 1 km. Dicha penetración de radiación depende de la turbiedad, es decir, de la cantidad de materia sólida que se encuentra suspendida. Conforme la profundidad aumenta van penetrando menos radiaciones, por lo que la temperatura disminuye. Es por ello que en la superficie del mar existe una capa de agua relativamente caliente, con una temperatura uniforme; esa capa puede extenderse de los 20 a los 200 m de profundidad, dependiendo de las condiciones locales. Bajo esta capa existe una zona limítrofe en donde se advierte un rápido descenso de la temperatura, llamada termoclina, que divide a estas aguas superficiales, menos densas y menos salinas, de las aguas de las profundidades, más frías, densas y salinas.

En el caso de los océanos de México, ubicados en zonas tropicales, la termoclina puede ocupar una profundidad entre 100 y 200 m y ser relativamente estable durante el año. El diagrama de la Figura 6 expone las distintas temperaturas en función de su ubicación geográfica.

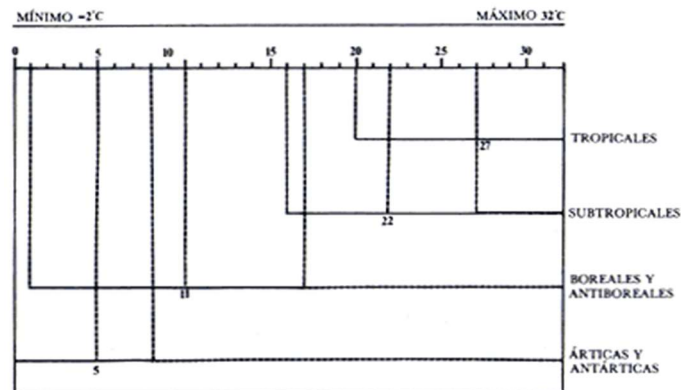


Figura 6.- Distribución de la temperatura en aguas marinas superficiales

La evaporación es otro proceso que interviene en la dinámica de la temperatura del océano. Esta evaporación desempeña un papel crucial en los cambios térmicos entre la atmósfera y el mar. Como se sabe, el aumento de la evaporación es proporcional al aumento del calentamiento que ejerce el sol sobre la superficie libre del mar y representa poco más del 50% del calor que pasa del océano a la atmósfera. Por otro lado, desde el punto de vista meteorológico, la evaporación causa la formación de nubes, nieblas, precipitaciones atmosféricas y las variaciones térmicas del aire que dan origen a

los huracanes. Estos últimos ocurren cuando los vientos se trasladan girando a gran velocidad, donde la presión disminuye en su interior y adquiere una circulación rotacional organizada en el sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en el sentido opuesto en el hemisferio sur. Para su formación, las temperaturas del mar deben superar  $27^{\circ}$  C, se intensifican cuando están situados sobre océanos tropicales o subtropicales en ambos hemisferios, en donde la fuerza de rotación de la tierra (Coriolis) es suficientemente fuerte para que se inicie el movimiento de rotación alrededor del centro de baja presión, por lo tanto, los huracanes tropicales se formarán en diferentes lugares del mundo durante la época de verano. Los huracanes o huracanes ocurren en todas las áreas oceánicas tropicales excepto el Atlántico Sur y el Pacífico Sur. Además, no se mantienen por sí mismos sobre tierra, independientemente de la temperatura superficial.

Igualmente, el incremento paulatino de temperatura favorecido por el efecto invernadero, conduce al aumento en la cantidad de anomalías, cuyas desviaciones son positivas o negativas de la variable respecto a la media de un periodo de años. Estas anomalías se obtienen de calcular el promedio de valores de un periodo y comparar la desviación de un valor, respecto de la media.

Los resultados obtenidos de dicho cálculo muestran la variabilidad de la temperatura y precipitación respecto de la media. La anomalía puede expresarse en % o en magnitud, por ejemplo, mm de lluvia o grados centígrados de temperatura.

Para este estudio, la tormenta de cambio climático se obtuvo de los análisis estadísticos que indicaron 3 desviaciones estándar de las anomalías calculadas y en seguida se ingresaron las cifras resultantes en la ecuación de distribución probabilística de la mezcla de tres poblaciones de datos, aspectos que se discuten ampliamente en el apartado III.5.

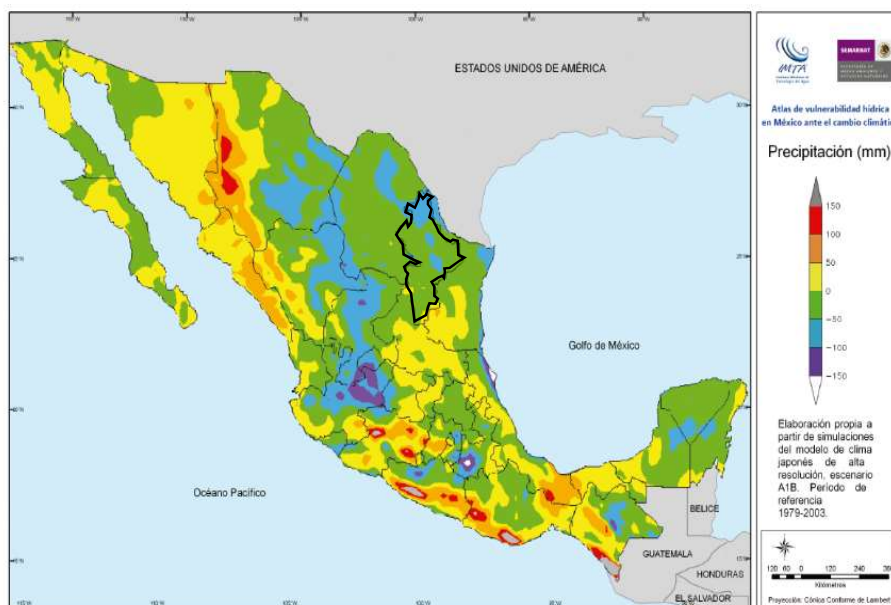


Figura 7.- Anomalía de precipitación mayo- noviembre a nivel nacional, periodo 2015-2039 (mm)  
( Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el Cambio Climático, 2010).



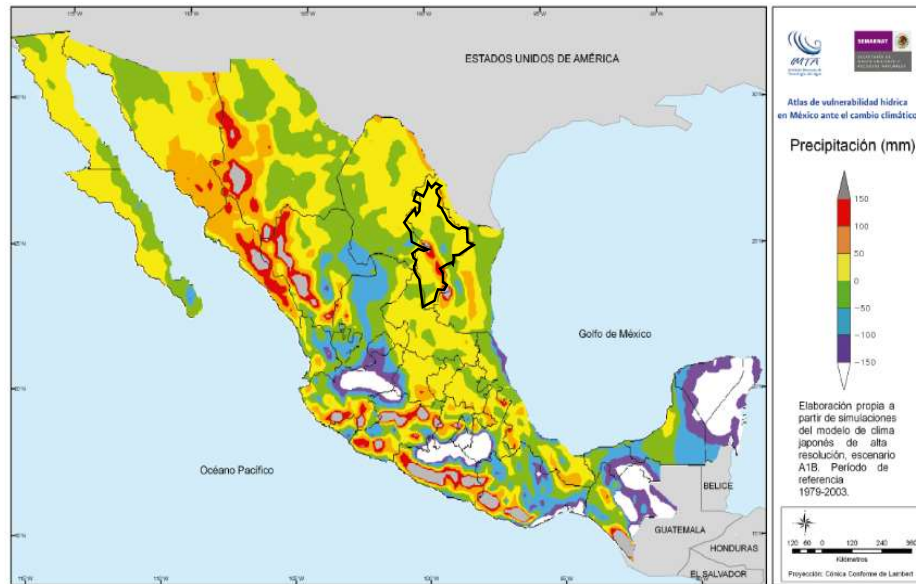


Figura 8.- Anomalía de precipitación mayo- noviembre a nivel nacional, periodo 2075-2099 (mm)  
 ( Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el Cambio Climático, 2010)

Como puede observarse en las Figuras 7 y 8 las anomalías de precipitación aumentan en gran medida hacia el norte del territorio nacional en el periodo comprendido entre 2075 a 2099, siendo precisamente la Zona Metropolitana de Monterrey una de las regiones con mayores niveles de afectación por este fenómeno.

## II.6. Análisis de frecuencias de gastos máximos anuales usando la distribución de valores extremos tipo I para tres muestras de poblaciones de datos

El trabajo de González Villarreal del subconjunto de intersección, en el cual desarrolla la ecuación de distribución probabilística de una muestra de bi-poblacional de datos: la población convectiva, la población ciclónica y se plantea agregar la población debida al Cambio Climático, distribución propuesta para una muestra de tri-poblacional de datos por J.A.Raynal y L.G.García, cuyos parámetros se estiman basándose en el método de máxima verosimilitud y que puede ser aplicado a la práctica hidrológica.

A continuación se describe la metodología empleada en dicha distribución.

La distribución de la función de valores extremos tipo I (Gumbel) para una población y para máximos es (NERC. 1975), como se expresa en (49):

$$F(x) = \exp \left[ - \exp \left( - \frac{x - x_0}{\alpha_1} \right) \right] \quad (49)$$

donde  $\alpha$  y  $x_0$  son los parámetros de escala y ubicación, respectivamente.

La función de densidad de probabilidad está dada por (NERC, 1975), en la ecuación (50).

$$f(x) = \frac{1}{\alpha_1} \exp \left\{ -\exp \left[ -\frac{x - x_0}{\alpha_1} \right] \right\} \cdot \exp \left[ -\frac{x - x_0}{\alpha_1} \right] \quad (50)$$

donde:  $-\infty < x < \infty$  y  $\alpha > 0$

La distribución de valores extremos I para tres poblaciones de datos.

Basada en la forma general de la función de distribución de probabilidad para una muestra de dos poblaciones de datos (Raynal, 2004), se ha propuesto la siguiente forma general para una distribuciones tri-poblacional (García-Valenzuela, 1999), en la ecuación (51):

$$F(x)_{mix} = p_1 F(x, \theta_1) + p_2 F(x, \theta_2) + (1 - p_1 - p_2) F(x, \theta_3) \quad (51)$$

donde  $p_1$  y  $p_2$  son las proporciones de la primera y segunda poblaciones de datos en la mezcla, respectivamente. La distribución de valores extremos tipo I para tres poblaciones de datos puede ser construida como (García-Valenzuela, 1999) en (52):

$$F(x)_{mix} = p_1 \exp \left\{ -\exp \left[ -\frac{(x - x_{01})}{\alpha_1} \right] \right\} + p_2 \exp \left\{ -\exp \left[ -\frac{(x - x_{02})}{\alpha_2} \right] \right\} + (1 - p_1 - p_2) \exp \left\{ -\exp \left[ -\frac{(x - x_{03})}{\alpha_3} \right] \right\} \quad (52)$$

y la correspondiente función de densidad de probabilidad es (García-Valenzuela, 1999), expresada en las ecuaciones (53) y (53.1 a 53.7):

$$f(x)_{mix} = \frac{p_1}{\alpha_1} \exp \left[ -\left( \frac{x - x_{01}}{\alpha_1} \right) \right] \cdot \exp \left\{ -\exp \left[ -\frac{(x - x_{01})}{\alpha_1} \right] \right\} + \frac{p_2}{\alpha_2} \exp \left[ -\left( \frac{x - x_{02}}{\alpha_2} \right) \right] \cdot \exp \left\{ -\exp \left[ -\frac{(x - x_{02})}{\alpha_2} \right] \right\} + \frac{(1 - p_1 - p_2)}{\alpha_3} \exp \left[ -\left( \frac{x - x_{03}}{\alpha_3} \right) \right] \cdot \exp \left\{ -\exp \left[ -\frac{(x - x_{03})}{\alpha_3} \right] \right\} \quad (53)$$

Donde:

$$\hat{\alpha} = \frac{(\hat{M}_{(0)} - \hat{M}_{(1)}\hat{\beta})}{\Gamma(1+\hat{\beta})\left(1 - \frac{1}{2\hat{\beta}}\right)} \quad (53.1)$$

$$\hat{M}_{(0)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (53.2)$$

$$C_{RV} = \frac{3\hat{M}_{(2)} - \hat{M}_{(0)}}{\hat{M}_{(0)} - 2\hat{M}_{(1)}} \sum_{i=1}^{N-1} x_i(N-i) \quad (53.3)$$

$$\hat{M}_{(2)} = \frac{1}{N(N-1)(N-2)} \sum_{i=1}^{N-2} x_i(N-i)(N-i-1) \quad (53.4)$$

$$\hat{x}_0 = \hat{M}_{(0)} + \frac{\hat{\alpha}}{\hat{\beta}} [\Gamma(1+\hat{\beta}) - 1] \quad (53.5)$$

$$\hat{x}_0 = \hat{M}_{(0)} + \frac{\hat{\alpha}}{\hat{\beta}} [\Gamma(1+\hat{\beta}) - 1] \quad (53.6)$$

$$F(\hat{\beta}) = 2^{\hat{\beta}}(C_{RV} + 2) + \left(\frac{2}{3}\right)^{\hat{\beta}} - (C_{RV} + 3) = 0 \quad (53.7)$$

Según Kite (1988) , el Error Estándar está definido como se escribe en (54):

$$EE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{(N - m)} \right]^{1/2} \quad (54)$$

Donde  $x_i$  son los valores históricos de la muestra de datos,  $y_i$  son los valores producidos por la función de distribución que atañe a los periodos de retorno de los valores históricos,  $N$  es el tamaño de la muestra y  $m$  es el número de parámetros de la función de distribución.” (Raynal et al., 2004)

### III. ESTUDIO DE CASO

#### III.1. Ámbito geográfico

##### III.1.1. Ubicación de la Cuenca

El área de estudio se ubica al noreste de México en la Región hidrológica RH24 como se ilustra en la Figura 9. Para realizar el análisis hidrológico se delimitó, con el Sistema de Información Geográfica (SIG) Global Mapper 20, el parteaguas de la cuenca del Río Santa Catarina, el cual está comprendido entre las coordenadas: longitud -100.70° W, latitud 25.75° N, longitud -99.90° W, latitud 25.30° N, mediante un modelo digital de elevaciones MDE proporcionado por el Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer ASTER, cuya resolución espacial es de 1 segundo de arco. En la escala de colores de la Figura 10 se observa que la cota de elevación más alta está en la zona de la Gran Sierra Plegada y la cota más baja, en las cercanías a la Zona Metropolitana de Monterrey.



Figura 9.- Región hidrológica RH24 Bravo-Conchos. (Atlas del Agua en México 2014, CONAGUA)

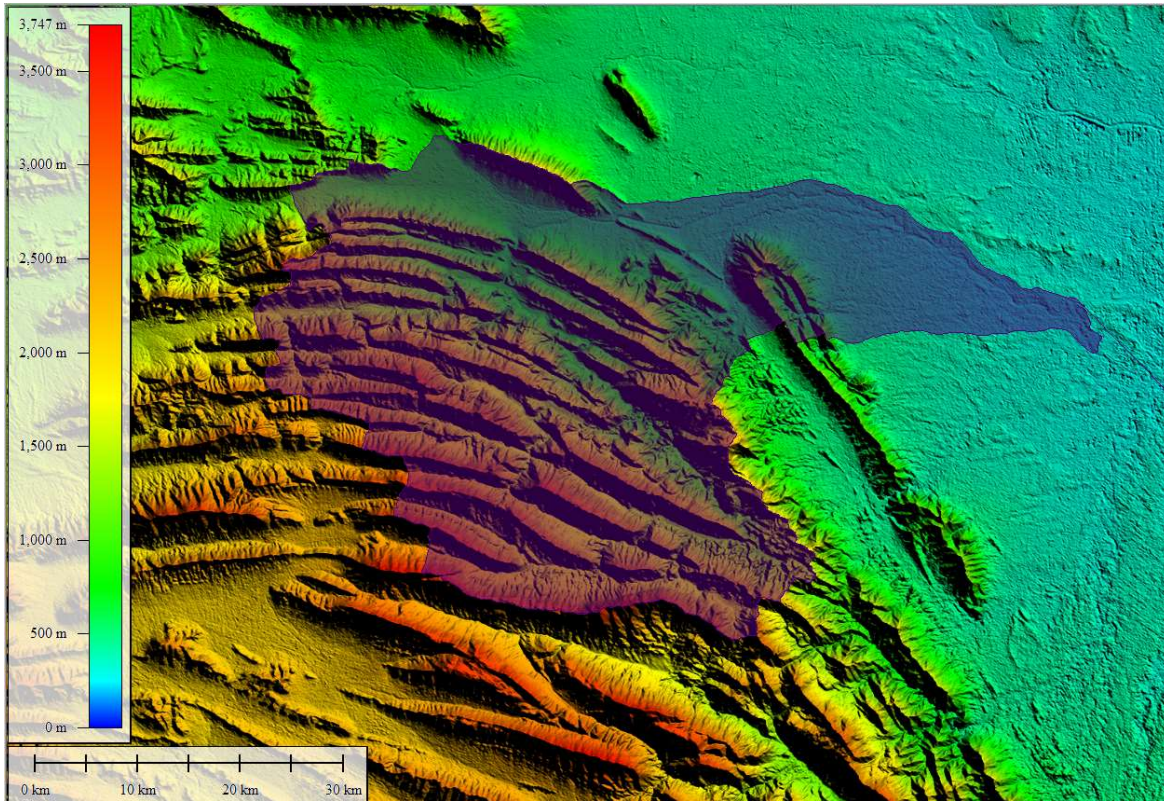


Figura 10.- Modelo digital de elevaciones ASPER DEM

Según los registros históricos, la Ciudad de Monterrey ha soportado el embate de al menos 15 grandes inundaciones (Guerrero, 2009) donde el caudal ha superado la capacidad de la sección máxima del cauce del Río Santa Catarina, en cuya trayectoria por la zona urbana logra conducir un caudal de hasta 2500 m<sup>3</sup>/s

Durante el paso del huracán Alex en 2010, se produjo un caudal de 2956 m<sup>3</sup>/s, en 1988 el huracán Gilberto provocó un caudal de 4000 m<sup>3</sup>/s y en la 1909 se alcanzó un caudal de 6500 m<sup>3</sup>/s. De las observaciones históricas se advierte que cada 30 años aproximadamente, se reporta una inundación de grandes proporciones. Sin embargo, en condiciones de Cambio Climático estos eventos pueden manifestarse en periodos de retorno menores.

### III.1.2. Localización y características de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas”

La presa se ubica en el sitio conocido como Corral de las Palmas, en el cañón de la Huasteca, cuyas coordenadas son: latitud 25.55° N, longitud -100.39° W. Se trata de una cortina de 71 m de altura con capacidad de desfogue de 1400 m<sup>3</sup>/s. Funge como reguladora de avenidas extraordinarias provenientes de la Sierra Madre Oriental, con el objeto de disminuir el riesgo de desbordamientos del Río Santa Catarina y, por ende, evitar la inundación de la ciudad de Monterrey. La Figura 11 evidencia la posición de la Presa Rompepicos.

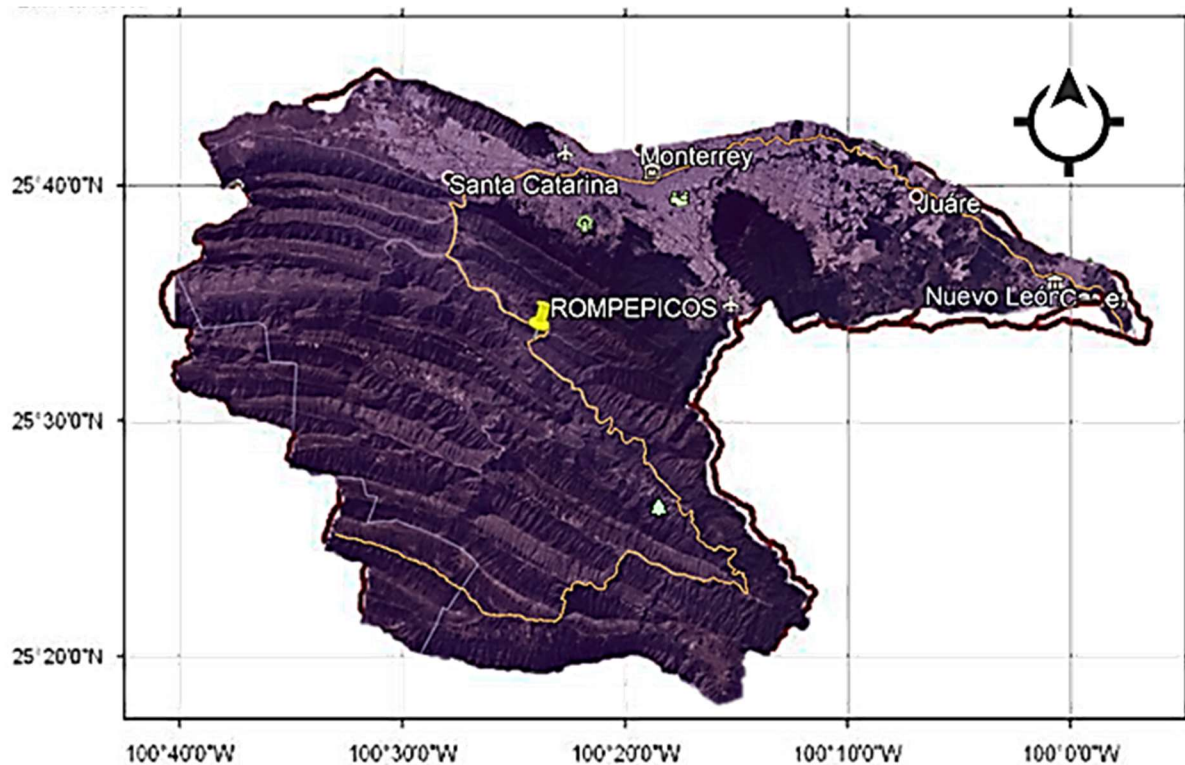


Figura 11.- Localización de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas”

De acuerdo a los datos de Conagua, la cortina “Corral de Palmas” fue diseñada con un Nivel de Aguas Máximo Extraordinario de 915.30 m.s.n.m. Así mismo, cuenta con un desagüe de fondo cuya capacidad de desfogue es de 838 m<sup>3</sup>/s. No obstante, la presa resultó incapaz de contener la avenida producida por el huracán Alex en el año 2010.

En la Figura 12, se exhiben las características principales de la Presa “Corral de Palmas”.



Figura 12.- Características de la Presa Rompepicos, (CONAGUA,2018).

### III.2. Estudio hidrológico de la Cuenca del Río Santa Catarina

Se desarrolló el estudio hidrológico caracterizando la cuenca y elaborando un análisis de la precipitación máxima probable, ponderada a partir de los registros de las estaciones climatológicas.

Tras delimitar la cuenca del Río Santa Catarina, cuya superficie es de 1817 km<sup>2</sup>, se procedió a identificar el cauce principal, el cual posee una longitud total de 164.83 km.

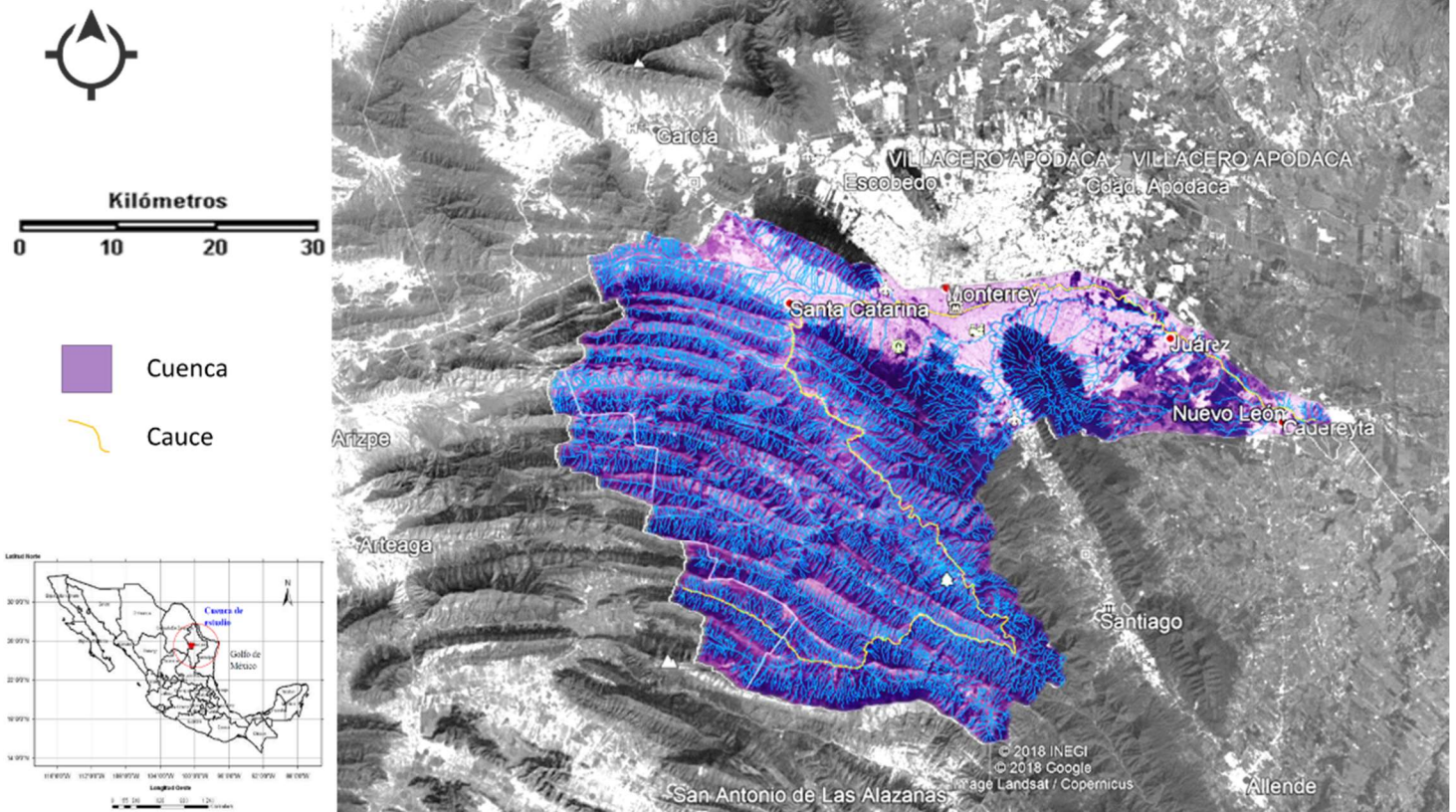


Figura 13.- Área de la cuenca y cauce principal. Mapa de elaboración propia

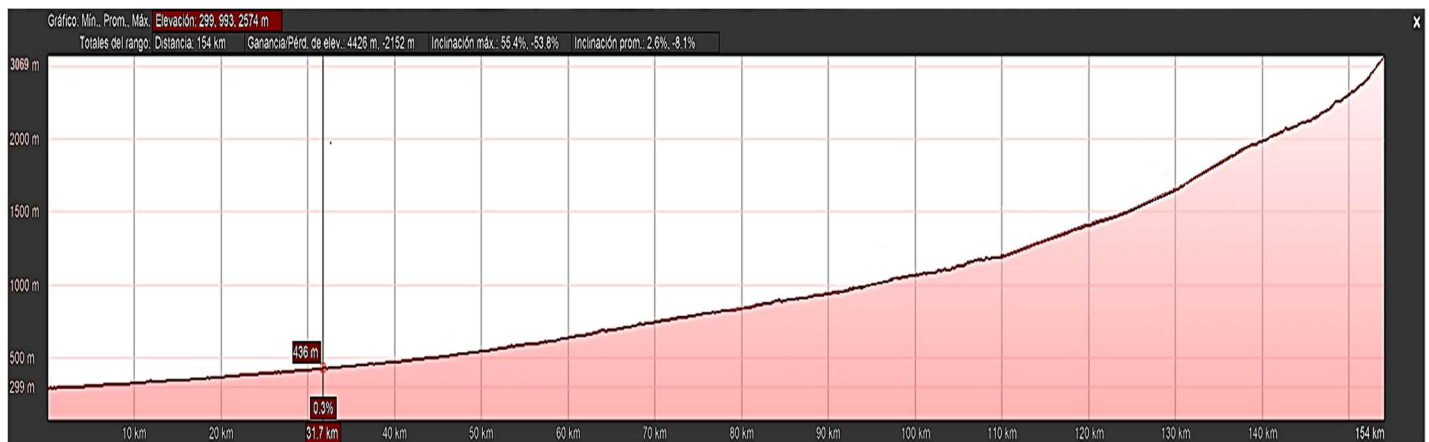


Figura 14.- Perfil topográfico del cauce principal. (Google Earth, 2019)

Con la información del perfil topográfico mostrado en la Figura 14, se calculó la pendiente media del cauce a través de los métodos Taylor-Schwarz y mínimos cuadrados.

### III.2.1. Aplicación del Método de Taylor-Schwarz

La ecuación para el cálculo de la pendiente media propuesta por Taylor-Schwarz se expresa como en (55):

$$S_m = \left[ \frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \frac{l_3}{\sqrt{S_3}} + \dots} \right]^2 \quad (55)$$

Donde:

$L$ : longitud, m

$S$ : pendiente

Empleando la ecuación (55), en la Tabla 7 se enlistan los valores que competen a cada tramo.

Tabla 7.- Cálculo de la pendiente media por el Método de Taylor Schwarz

CADENAMIENTO	li m	Elev. m	Di m	Si	$\sqrt{S_i}$	$li/\sqrt{S_i}$
0	0	300				
10000	10000	340	40	0.004	0.06324555	158113.883
20000	10000	380	40	0.004	0.06324555	158113.883
30000	10000	430	50	0.005	0.07071068	141421.356
40000	10000	465	35	0.0035	0.0591608	169030.851
50000	10000	535	70	0.007	0.083666	119522.861
60000	10000	630	95	0.0095	0.09746794	102597.835
70000	10000	740	110	0.011	0.10488088	95346.2589
80000	10000	830	90	0.009	0.09486833	105409.255
90000	10000	925	95	0.0095	0.09746794	102597.835
100000	10000	1050	125	0.0125	0.1118034	89442.7191
110000	10000	1170	120	0.012	0.10954451	91287.0929
120000	10000	1385	215	0.0215	0.14662878	68199.4339
130000	10000	1640	255	0.0255	0.15968719	62622.4291
140000	10000	2000	360	0.036	0.18973666	52704.6277
150000	10000	2260	260	0.026	0.16124515	62017.3673
160000	10000	2465	205	0.0205	0.14317821	69843.0296
164838	4838	3069	604	0.124844977	0.35333409	13692.4236
SUMAS	164838					1661963.14

$$S_m = 0.009837209$$

El resultado del cálculo indicó una pendiente media  $S_m=0.009$

### III.2.1. Aplicación del Método de mínimos cuadrados

Acudiendo al método de mínimos cuadrados, cuya ecuación está en (56):

$$S_1 = \frac{Elev.1 - Elev.2}{L} \quad (56)$$

Donde

$L$ : longitud, m

$Elev$ : elevación, m



Se tabularon los valores pertenecientes a los cadenamamientos para aplicar la ecuación (56).

Tabla 8.- Cálculo de la pendiente media por el método de mínimos cuadrados

CADENAMIENTO	li m	li acum m	Elev. m
0	0	0	300
10000	10000	10000.000	340
20000	10000	20000.000	380
30000	10000	30000.000	430
40000	10000	40000.000	465
50000	10000	50000.000	535
60000	10000	60000.000	630
70000	10000	70000.000	740
80000	10000	80000.000	830
90000	10000	90000.000	925
100000	10000	100000.000	1050
110000	10000	110000.000	1170
120000	10000	120000.000	1385
130000	10000	130000.000	1640
140000	10000	140000.000	2000
150000	10000	150000.000	2260
160000	10000	160000.000	2465
164838	4838	164838.000	3069
<b>Total:</b>	<b>164838</b>	164838	

$$S_1 = \frac{Elev.1 - Elev.2}{L} = \mathbf{0.016798311}$$

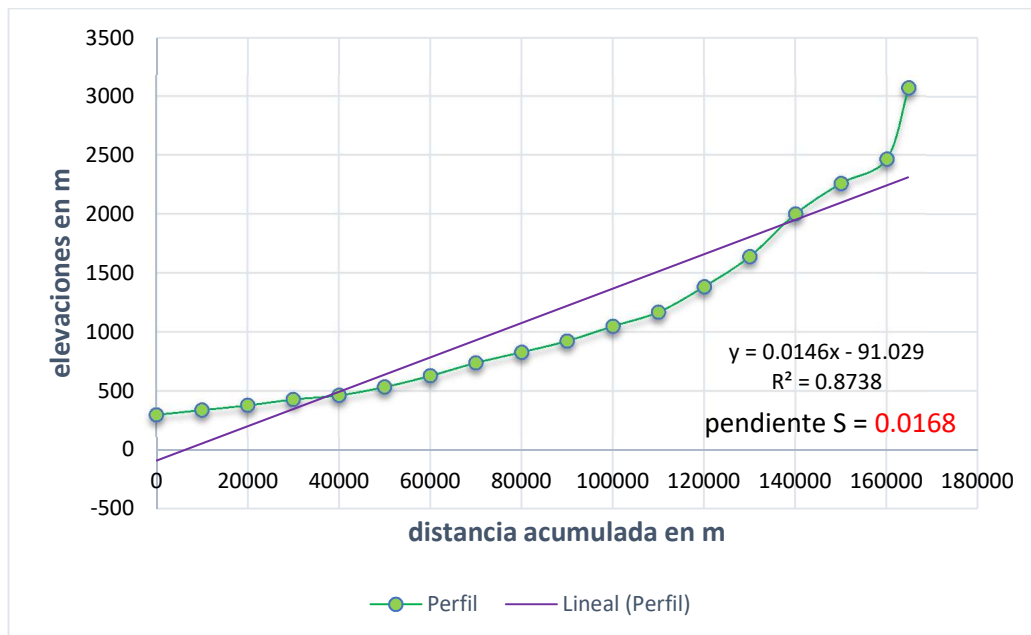


Figura 15.- Recta de mejor ajuste

De la Tabla 7, se observa que la pendiente obtenida por el método de Taylor-Schwarz resultó de  $S_m=0.0098$ , mientras que el método de mínimos cuadrados produjo un valor de  $S_1=0.016$ .

Para efectos de este estudio se optó por la pendiente resultante en  $S= 0.0168$  (Figura 15), al considerarse más desfavorable.

### III.2.3. El número N de la curva de escurrimiento

Para asignar el valor del número N de la curva de escurrimiento se recurrió a la información disponible en CONABIO sobre del uso de suelo y edafología presentes en la cuenca. Los datos se ingresaron posteriormente al SIG ArcMap 10.4.1 para visualizar dichas características, ver figura 16.

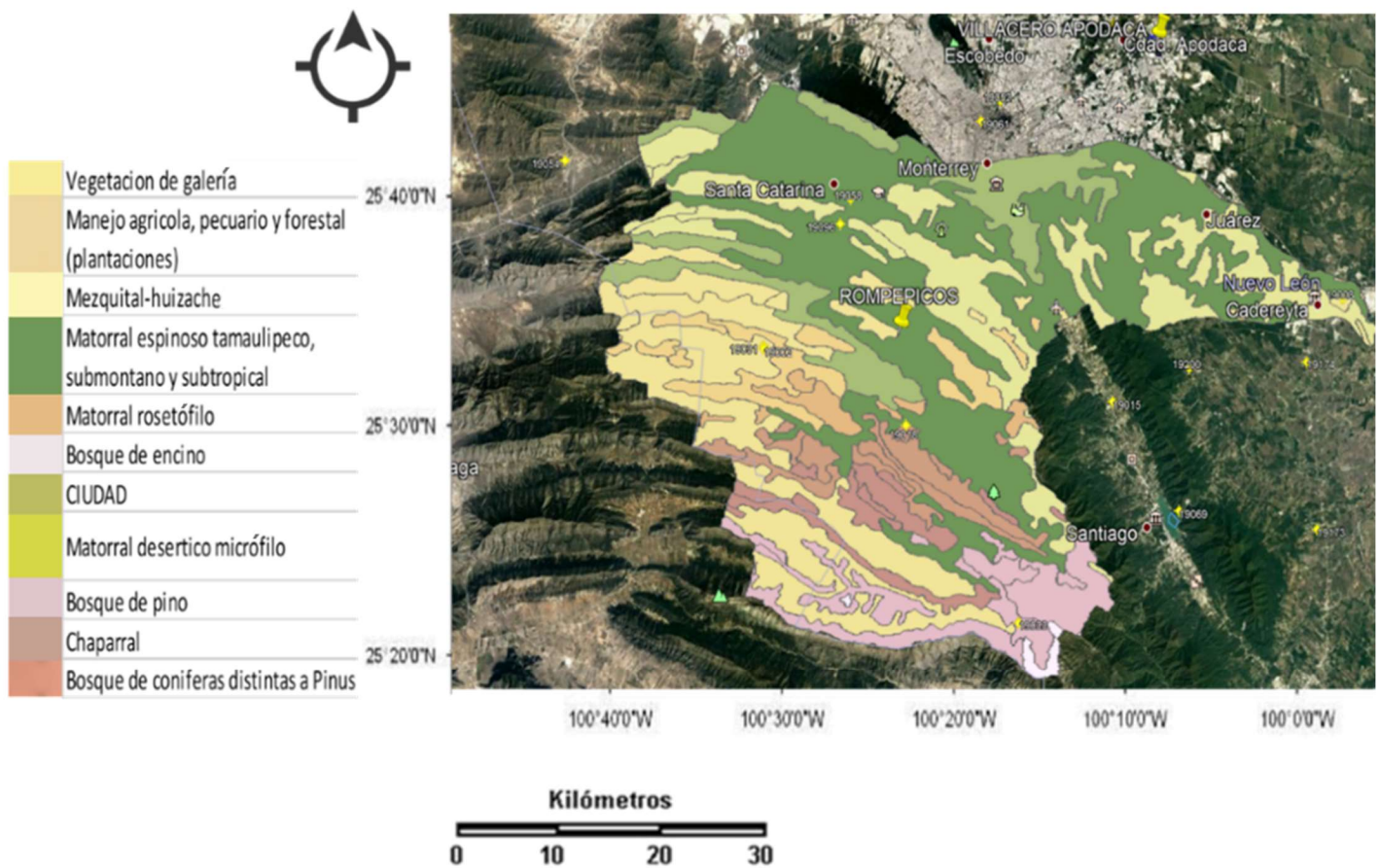


Figura 16.- Uso de suelo y cubierta vegetal. Mapa de elaboración propia

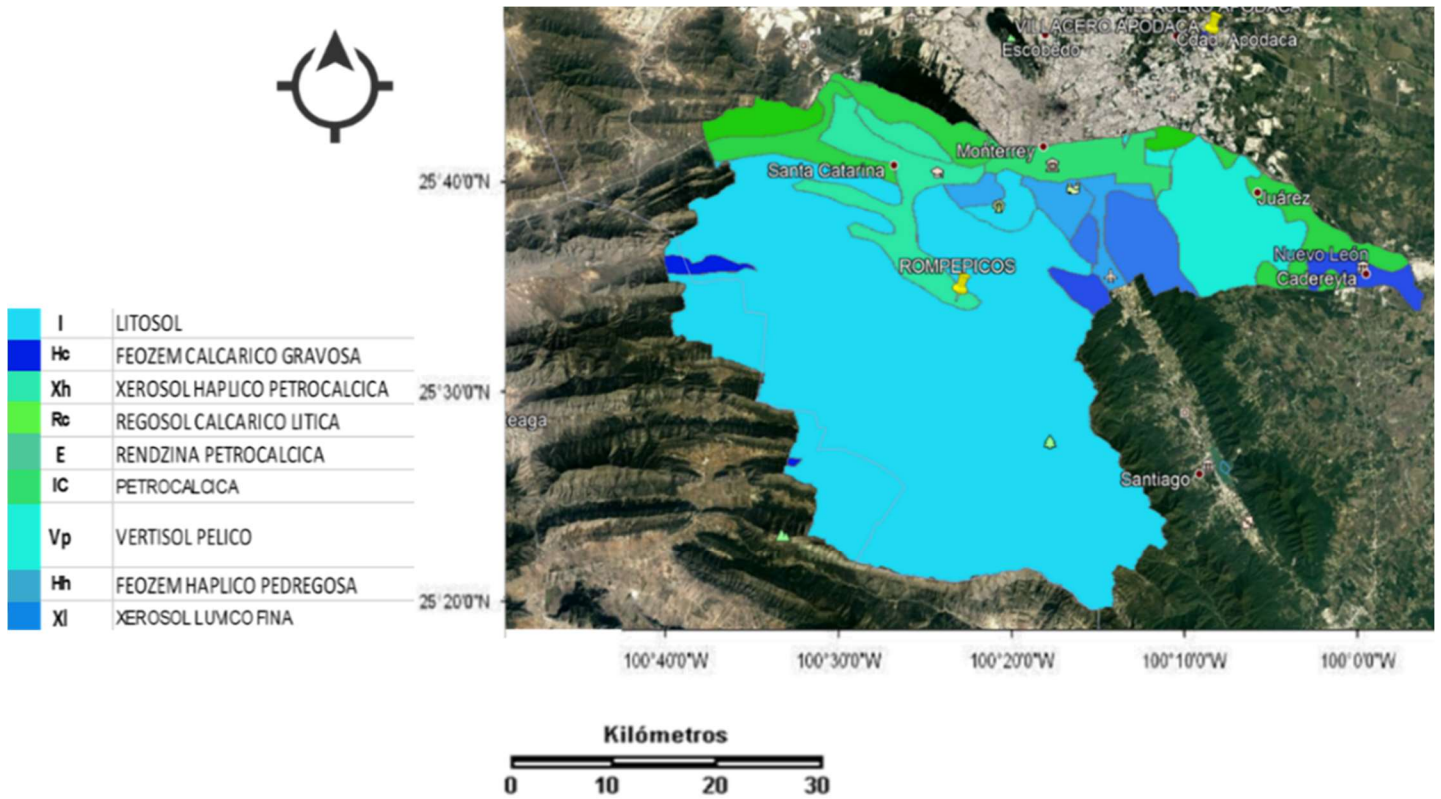


Figura 17.- Edafología. Mapa de elaboración propia

Precisados los usos de suelo y edafología pertinentes (Figuras 16 y 17) , se consideró un valor medio del número de escurrimiento de la cuenca, el cual se estimó en 75.6, como se observa en la Tabla 9. Cabe señalar que los resultados obtenidos fueron calculados en base a las condiciones actuales de uso de suelo de la cuenca. Cualquier modificación importante de dicha condición puede producir diferentes resultados.

Tabla 9.- Determinación del número N de la curva de escurrimientos

USO DE SUELO Y CUBIERTA VEGETAL	%	A( km2)	N	N * A
BOSQUE DE CONIFERAS	27.52	500.09	65	32505.96
MATORRAL XEROFILO	39.45	716.97	84	60225.83
BOSQUE DE ENCINO	12.01	218.33	77	16811.31
AGRICOLA PECUARIA FORESTAL	4.831	87.79	64	5618.52
ASENTAMIENTOS HUMANOS	4.598	83.56	69	5765.45
ZONA URBANA	10.67	193.88	78	15122.94
VEGETACION INDUCIDA	0.792	14.40	81	1166.34
SIN VEGETACION APARENTE	0.108	1.98	91	179.78
		<b>1817</b>		<b>137396.14</b>
			<b>N med</b>	<b>75.6</b>

### III.2.4. Análisis probabilístico de las precipitaciones

El cálculo de avenidas para diferentes periodos de retorno, por medio de la modelación lluvia-escurrecimiento, requiere de un análisis de frecuencias de lluvias máximas en 24 horas, donde el resultado de la función de distribución de probabilidad se ajuste a los registros de todas las estaciones climatológicas. Con este método se calcularon los gastos de diseño para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 50, 100, 500, 1000 y 2000 años. Los resultados se utilizaron para la revisión del diseño hidrológico de la cortina de almacenamiento “Corral de Palmas”.

#### Selección de las Estaciones climatológicas

Los datos de lluvia máxima en 24 horas se obtuvieron de la red de estaciones climatológicas instaladas en el estado de Nuevo León.

Con base en el área de la cuenca del Río Santa Catarina, los años consecutivos de registro y el número de datos con un mínimo de 30 años, se seleccionaron 8 estaciones climatológicas, cuyas coordenadas se enlistan en la Tabla 10.

Tabla 10.- Localización de estaciones climatológicas seleccionadas

Estación	Nombre	Coordenadas	
		Longitud	Latitud
19054	RINCONADA, GARCÍA	-100.71° W	25.68° N
19002	AGUA BLANCA, SANTA CATARINA	-100.52° W	25.54° N
19018	EL PAJONAL	-100.38° W	25.48° N
19033	LAGUNA DE SÁNCHEZ, SANTIAGO	-100.28° W	25.34° N
19096	LA HUASTEQUITA, SANTA CATARINA	-100.45° W	25.63° N
19061	TOPO CHICO, MONTERREY	-100.32° W	25.71° N
19069	LA BOCA, SANTIAGO	-100.12° W	25.42° N
19008	CADEREYTA, CADEREYTA	-99.97° W	25.59° N

#### Precipitación máxima en 24 h

Se recopilaron los datos de los registros de lluvia máxima en 24 horas de las estaciones climatológicas elegidas para el estudio hidrológico de la Cuenca del Río Santa Catarina prescindiendo de los años cuyo registro fuera inferior al 95%. Las Tablas de las cantidades pertenecientes a cada estación climatológica se presentan en el Anexo A.

#### Tiempo de concentración

Para el cálculo de los tiempos de concentración de la cuenca se aplicó el método Kirpich, cuya ecuación se expresa en (57) :

$$T_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (57)$$

Dónde:

L= Longitud del cauce principal en metros

S= Pendiente media del cauce

Tc= Tiempo de concentración en horas

Tabla 11.- Tiempo de concentración

Cuenca	L	Elev. Max.	Elev. Min	S	Tc	Tc
No.	m	m	m		hrs.	min.
1	164838	3069	300	0.0168	16.30	978.23

La cuenca del Río Santa Catarina presenta un tiempo de concentración de 16.30h (ver Tabla 11)

### Curva de precipitación

Se calculó la curva de precipitación para periodos de retorno de 2 , 5, 10, 50, 500, 1000 y 2000 años ingresando los valores de la altura de lluvia asociada a un periodo de retorno para duración de 1 y 24 horas obtenidos del programa SIATL Simulador de Flujos de Agua de Cuencas (ver Tabla 12), para comparar los resultados con las isoyetas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT (Figura 18) , calculando el logaritmo base 10 de las precipitaciones asociadas a periodos de retorno, tal como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 12.- Altura de lluvia  $H_p$  asociada a periodos de retorno  $Tr=50,100,500, 1000$  y  $2000$  años para duraciones de 1h y 24h (en mm)

ALTURA DE LLUVIA, ASOCIADA A TR Y PARA DURACIONES DE 1 HORA Y DE 24 HORAS EN mm					
Duración d	CUENCA				
Horas	TR 50	TR 100	TR 500	TR 1000	TR 2000
1	78.240	90.880	108.350	130.430	140.280
24	249.340	257.090	335.500	369.210	380.000

Tabla 13.- Logaritmo base 10 de las precipitaciones y de los periodos de retorno

logaritmos base 10, de las precipitaciones y de los periodos de retorno					
Duración d	Periodo de retorno				
Horas	TR 50	TR 100	TR 500	TR 1000	TR 2000
0.000	1.893	1.958	2.035	2.115	2.147
1.380	2.397	2.410	2.526	2.567	2.580

La curva de precipitación generada para los periodo de retorno  $Tr= 500$  y  $Tr=1000$  años, se muestra en la Figura 18.

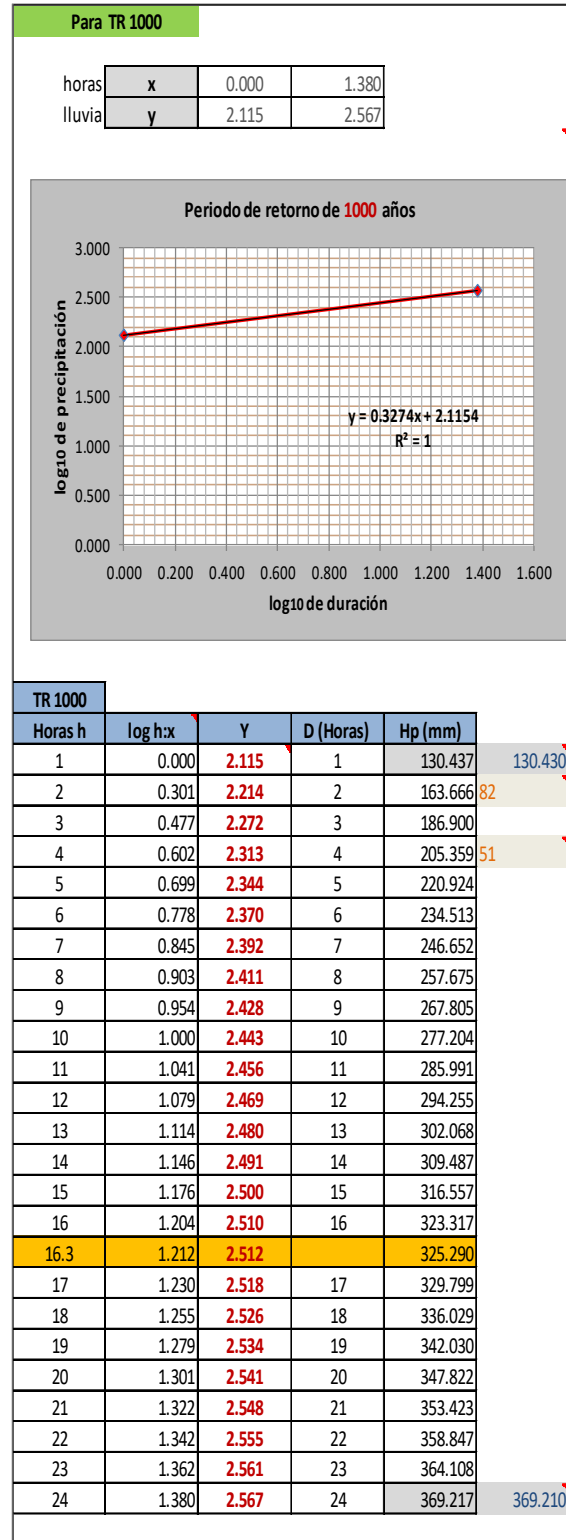
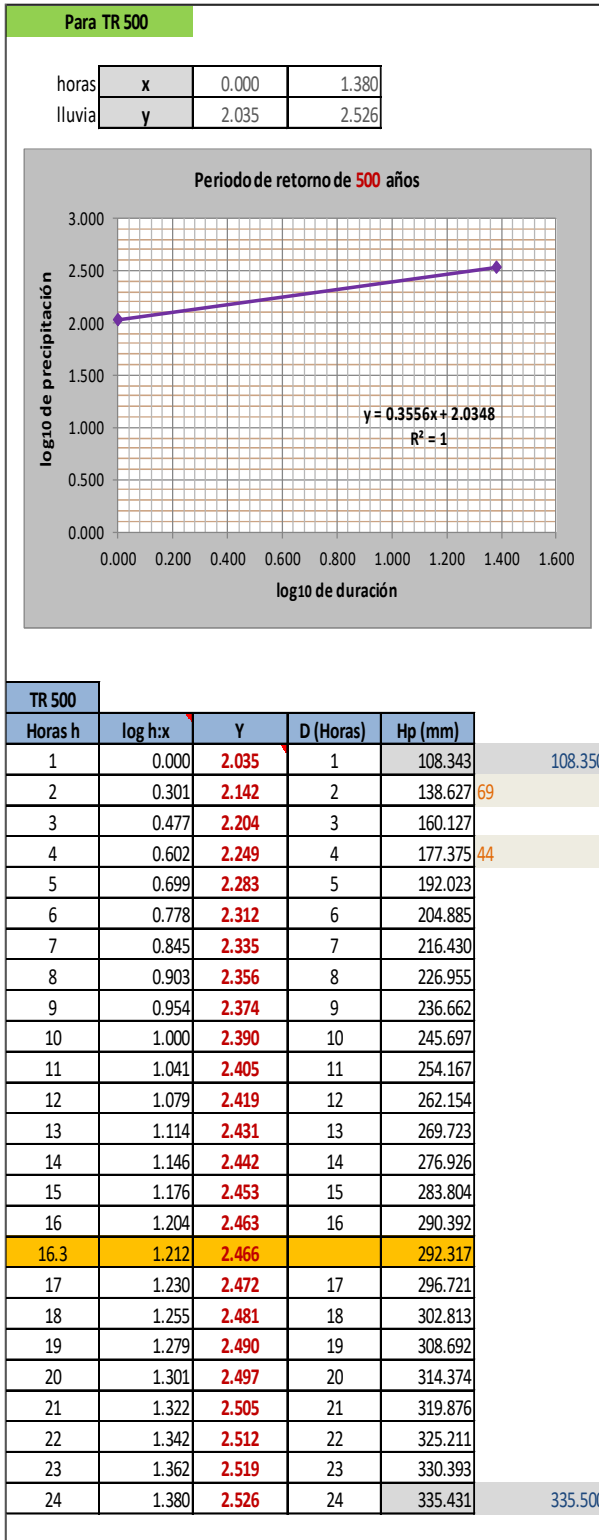


Figura 18.- Curva de precipitación para 500 y 1000 años de periodo de retorno.

De igual manera, este procedimiento se aplicó a todos los periodos de retorno mencionados, detallados en el Anexo A.

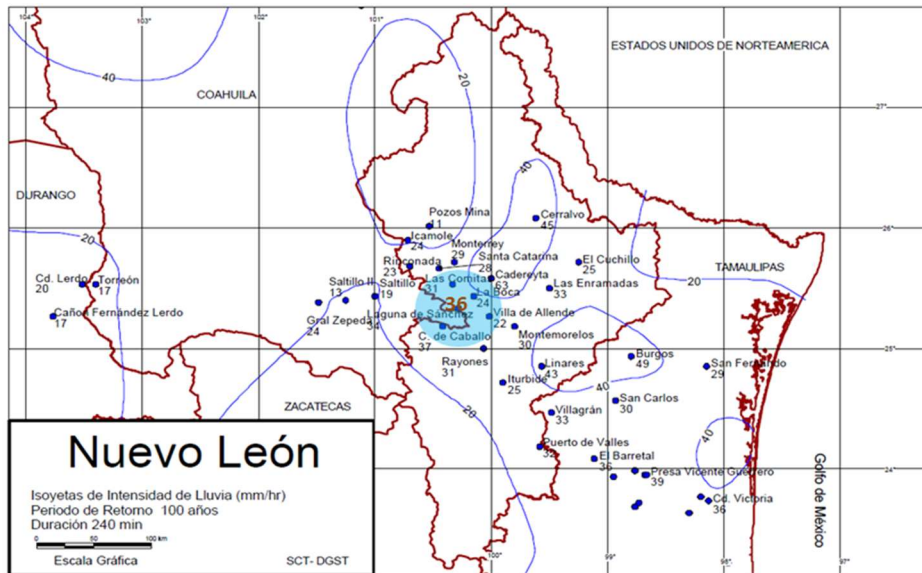


Figura 19.- Isoyetas del Estado de Nuevo León para un  $T_r=100$  años y una duración de 240 min

De la Figura 19 se comprobó que los resultados del cálculo de la curva de precipitación coinciden con la información presente en las isoyetas.

### III.2.5. Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones máximas en 24 horas

Se efectuó el análisis probabilístico mediante las distribuciones de frecuencia Gumbel II, Pearson III, Normal y Gumbel para identificar la frecuencia de mejor ajuste. Se tomará a la estación climatológica 19054 Rinconada García para demostrar el procedimiento.

1. **Distribución Gumbel II.**- Para el cálculo de los parámetros de la función, la muestra ciclónica se puede definir como:

$$\text{Precipitación ciclónica} = \text{precipitación promedio} + 1/3 \text{ desviación estándar}$$

Bajo este criterio se analizó la información desplegada en la Tabla 14 y 15 de las estaciones climatológicas seleccionadas.

Tabla 14.-Valor de la precipitación ciclónica en la estación 19054

MEDIA	S	CICLÓNICA
mm/24hrs	mm/24hrs	mm/24hrs
41.703	29.937	50.684

Precipitación No Ciclónica:

$$x < 50.684 \text{ mm/24h}$$

Precipitación Ciclónica:

$$x > 50.684 \text{ mm/24h}$$

Es decir, aquella precipitación cuya intensidad fuera menor a 50.684 mm/24h se definió como no ciclónica y mayor a este valor, como ciclónica.

Tabla 15.- Precipitación promedio y desviación estándar de las tormentas ciclónicas y no ciclónicas en la estación 19054

PRECIPITACION EN mm/ 24 HRS		
#	CICLÓNICO	No. de tormentas
3	77	1
4	52	2
14	62	3
18	120	4
21	76	5
23	65	6
25	60	7
26	60	8
27	140	9
32	56	10
33	61	11
34	287	12
43	79	13
44	64	14
47	67	15
48	100	16
49	173	17
50	52	18
53	231	19

<b>xmed</b>	99.053	<b>No. total de tormentas</b>
<b>S</b>	65.535	19

PRECIPITACION EN mm/ 24 HRS		
#	NO CICLÓNICO	No. de tormentas
1	40	1
2	15.5	2
5	11	3
6	16	4
7	30	5
8	13	6
9	20	7
10	40	8
11	20	9
12	20	10
13	20	11
15	23	12
16	16	13
17	20	14
19	21	15
20	38	16
22	30	17
24	34	18
28	24	19
29	42	20
30	35	21
31	38	22
35	21	23
36	20	24
37	26	25
38	29	26
39	46	27
40	15	28
41	23	29
42	31	30
45	35	31
46	24	32
51	33	33
52	24	34
54	23	35

<b>xmed</b>	26.186	<b>No. total de tormentas</b>
<b>S</b>	9.085	35

En seguida, se puntualizaron los parámetros pertinentes a precipitaciones ciclónicas y no ciclónicas, conforme al método Gumbel II referido en el capítulo II.

Tabla 16.-Cálculo de parámetros de la distribución Gumbel II en la estación 19054

ESTACIÓN	$x_m$	S	n	$\sigma_y$	$\mu_y$	$\alpha$	$\beta$	Precipitación	p
19054	99.1	65.5	19	1.0566	0.522	0.01612	66.67591	ciclónico	NO APLICA
	26.2	9.1	35	1.12847	0.54034	0.12422	21.83576	no ciclónico	0.65



Posteriormente, se aplicó la función probabilística para determinar la precipitación máxima en periodos de retorno de 50,100,500 y 1000 años, que se muestran en la tabla 17.

Tabla 17.- Precipitación máxima probable para  $Tr=2,5,10,50,100,500, 1000$  y 2000 años en la estación 19054

PRECIPITACIÓN MÁXIMA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA NUEVO LEÓN, MÉTODO GUMBEL II							
x (mm/24hrs)	$-\alpha_1(x - \beta_1)$	$-\alpha_2(x - \beta_2)$	$e^{-\alpha_1(x - \beta_1)}$	$e^{-\alpha_2(x - \beta_2)}$	F (x)	1-p	Tr ( años)
30.4	-1.061634895	0.585150	0.345890101	1.795259	0.5000	0.5000	2
77.8	-6.957085691	-0.180045	0.000951871	0.835232	0.8000	0.2000	5
134.6	-14.01065664	-1.095558	8.22722E-07	0.334353	0.9000	0.1000	10
242.7	-27.43810699	-2.838363	1.2128E-12	0.058521	0.9800	0.0200	50
286.6	-32.89198774	-3.546245	5.1904E-15	0.028833	0.9900	0.0100	100
387.2	-45.38078779	-5.167219	1.95608E-20	0.005700	0.9980	0.0020	500
430.2	-50.73212019	-5.861791	9.27545E-23	0.002846	0.9990	0.0010	1000
473.3	-56.07796345	-6.555650	4.42248E-25	0.001422	0.9995	0.0005	2000

Se aplicó el mismo procedimiento para las estaciones subsecuentes, desplegado en las Tablas 18 a 23.

Tabla 18.- Precipitación máxima probable para  $Tr=2,5,10,50,100,500, 1000$  y 2000 años en la Estación 19002

PRECIPITACIÓN MÁXIMA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA NUEVO LEÓN, MÉTODO GUMBEL II							
x (mm/24hrs)	$-\alpha_1(x - \beta_1)$	$-\alpha_2(x - \beta_2)$	$e^{-\alpha_1(x - \beta_1)}$	$e^{-\alpha_2(x - \beta_2)}$	F (x)	1-p	Tr ( años)
51.6	-0.652826628	0.620212	0.52057246	1.859322	0.5001	0.4999	2
83.8	-2.678106627	0.365390	0.068693217	1.441076	0.8000	0.2000	5
165.0	-7.785613407	-0.277240	0.000415674	0.757873	0.9000	0.1000	10
405.7	-22.92565978	-2.182171	1.1054E-10	0.112797	0.9800	0.0200	50
497.0	-28.66195568	-2.903915	3.5668E-13	0.054808	0.9900	0.0100	100
703.1	-41.62772356	-4.535277	8.34299E-19	0.010724	0.9980	0.0020	500
791.1	-47.15807123	-5.231109	3.30768E-21	0.005348	0.9990	0.0010	1000
878.9	-52.6771974	-5.925595	1.32548E-23	0.002670	0.9995	0.0005	2000

Tabla 19.- Precipitación máxima probable para  $Tr=2,5,10,50,100,500, 1000$  y 2000 años en la Estación 19018

PRECIPITACIÓN MÁXIMA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA NUEVO LEÓN, MÉTODO GUMBEL II							
x (mm/24hrs)	$-\alpha_1(x - \beta_1)$	$-\alpha_2(x - \beta_2)$	$e^{-\alpha_1(x - \beta_1)}$	$e^{-\alpha_2(x - \beta_2)}$	F (x)	1-p	Tr ( años)
56.7	-0.631372978	0.488477	0.531861292	1.629831	0.5000	0.5000	2
87.0	-2.429491092	0.137021	0.088081791	1.146852	0.8000	0.2000	5
129.2	-4.933733275	-0.352452	0.007199599	0.702963	0.9000	0.1000	10
285.9	-14.22786625	-2.169059	6.62095E-07	0.114285	0.9800	0.0200	50
348.2	-17.92221339	-2.891147	1.64622E-08	0.055513	0.9900	0.0100	100
489.0	-26.27001791	-4.522787	3.90017E-12	0.010859	0.9980	0.0020	500
549.1	-29.83020981	-5.218653	1.10895E-13	0.005415	0.9990	0.0010	1000
609.0	-33.38342435	-5.913155	3.17521E-15	0.002704	0.9995	0.0005	2000

Tabla 20.- Precipitación máxima probable para  $Tr=2,5,10,50,100,500, 1000$  y 2000 años en la Estación 19033

PRECIPITACIÓN MÁXIMA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA NUEVO LEÓN, MÉTODO GUMBEL II							
x (mm/24hrs)	$-\alpha_1(x - \beta_1)$	$-\alpha_2(x - \beta_2)$	$e^{-\alpha_1(x - \beta_1)}$	$e^{-\alpha_2(x - \beta_2)}$	F (x)	1-p	Tr ( años)
62.3	-0.671794888	1.194177	0.510791173	3.300837	0.5000	0.5000	2
104.7	-2.83593543	0.736271	0.058663736	2.088132	0.8000	0.2000	5
187.8	-7.073547831	-0.160358	0.000847226	0.851839	0.9000	0.1000	10
367.2	-16.22757125	-2.097240	8.96314E-08	0.122795	0.9800	0.0200	50
434.3	-19.65074455	-2.821543	2.92278E-09	0.059514	0.9900	0.0100	100
585.6	-27.36971206	-4.454785	1.29865E-12	0.011623	0.9980	0.0020	500
650.0	-30.65939717	-5.150843	4.83952E-14	0.005795	0.9990	0.0010	1000
714.4	-33.94217846	-5.845441	1.81597E-15	0.002893	0.9995	0.0005	2000

Tabla 21.- Precipitación máxima probable para Tr=2,5,10,50,100,500, 1000 y 2000 años en la Estación 19096

PRECIPITACIÓN MÁXIMA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA NUEVO LEÓN, MÉTODO GUMBEL II							
x (mm/24hrs)	$-\alpha_1(x - \beta_1)$	$-\alpha_2(x - \beta_2)$	$e^{-\alpha_1(x - \beta_1)}$	$e^{-\alpha_2(x - \beta_2)}$	F (x)	1-p	Tr ( años)
72.0	-1.021605619	1.000466	0.360016674	2.719548	0.5002	0.4998	2
142.1	-4.051244482	-0.050220	0.017400754	0.951020	0.8000	0.2000	5
200.8	-6.58929205	-0.930421	0.001375019	0.394388	0.9000	0.1000	10
317.8	-11.64743434	-2.684597	8.74152E-06	0.068249	0.9800	0.0200	50
365.2	-13.69480787	-3.394631	1.1283E-06	0.033553	0.9900	0.0100	100
473.4	-18.37399347	-5.017384	1.04781E-08	0.006622	0.9980	0.0020	500
519.8	-20.3774444	-5.712186	1.41317E-09	0.003305	0.9990	0.0010	1000
566.1	-22.37850545	-6.406158	1.91049E-10	0.001651	0.9995	0.0005	2000

Tabla 22.- Precipitación máxima probable para Tr=2,5,10,50,100,500, 1000 y 2000 años en la Estación 19069

PRECIPITACIÓN MÁXIMA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA NUEVO LEÓN, MÉTODO GUMBEL II							
x (mm/24hrs)	$-\alpha_1(x - \beta_1)$	$-\alpha_2(x - \beta_2)$	$e^{-\alpha_1(x - \beta_1)}$	$e^{-\alpha_2(x - \beta_2)}$	F (x)	1-p	Tr ( años)
117.6	-0.832881715	1.313552	0.434794769	3.719358	0.5000	0.5000	2
193.4	-3.830578965	0.420662	0.021697106	1.522970	0.8000	0.2000	5
279.1	-7.221581565	-0.589376	0.000730649	0.554673	0.9000	0.1000	10
433.7	-13.34183189	-2.412345	1.60591E-06	0.089605	0.9800	0.0200	50
494.5	-15.74476122	-3.128078	1.45259E-07	0.043802	0.9900	0.0100	100
632.5	-21.20690269	-4.755023	6.16546E-10	0.008608	0.9980	0.0020	500
691.5	-23.54123832	-5.450324	5.97279E-11	0.004295	0.9990	0.0010	1000
750.4	-25.87194899	-6.144546	5.80715E-12	0.002145	0.9995	0.0005	2000

Tabla 23.- Precipitación máxima probable para Tr=2,5,10,50,100,500, 1000 y 2000 años en la Estación 19008

PRECIPITACIÓN MÁXIMA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA NUEVO LEÓN, MÉTODO GUMBEL II							
x (mm/24hrs)	$-\alpha_1(x - \beta_1)$	$-\alpha_2(x - \beta_2)$	$e^{-\alpha_1(x - \beta_1)}$	$e^{-\alpha_2(x - \beta_2)}$	F (x)	1-p	Tr ( años)
73.4	-0.712049354	2.275327	0.490637911	9.731087	0.3896	0.6104	2
127.6	-3.504927635	-0.416228	0.030049019	0.659530	0.8000	0.2000	5
144.9	-4.393824195	-1.272876	0.012353433	0.280025	0.9000	0.1000	10
179.3	-6.168924995	-2.983577	0.002093494	0.050612	0.9800	0.0200	50
193.5	-6.898239725	-3.686433	0.001009566	0.025061	0.9900	0.0100	100
226.0	-8.572279148	-5.299739	0.000189282	0.004993	0.9980	0.0020	500
239.9	-9.290262106	-5.991674	9.23194E-05	0.002499	0.9990	0.0010	1000
253.9	-10.00767487	-6.683060	4.50531E-05	0.001252	0.9995	0.0005	2000

2. **Distribución Pearson III 19054.-** Se evaluaron los datos de las estaciones climatológicas (ver Anexo A) para obtener el valor anual de precipitación máxima en 24h y determinar con ello el promedio, desviación estándar y coeficiente de asimetría, tal como lo dicta el procedimiento expresado anteriormente en el Marco Teórico.

Tabla 24.- Valor anual de precipitación máxima en 24h en la estación 19054

Estación climatológica: RINCONADA, GARCIA		CLAVE: 19054
AÑO	No.	ANUAL
1948	1	40.0
1949	2	15.5
1951	3	77.0
1952	4	52.0
1953	5	11.0
1954	6	16.0
1955	7	30.0
1956	8	13.0
1957	9	20.0
1958	10	40.0
1959	11	20.0
1960	12	20.0
1961	13	20.0
1963	14	62.0
1964	15	23.0
1965	16	16.0
1966	17	20.0
1967	18	120.0
1969	19	21.0
1970	20	38.0
1971	21	76.0
1972	22	30.0
1973	23	65.0
1975	24	34.0
1976	25	60.0
1977	26	60.0
1978	27	140.0
1979	28	24.0
1980	29	42.0
1981	30	35.0
1982	31	38.0
1985	32	56.0
1987	33	61.0
1988	34	287.0
1989	35	21.0
1990	36	20.0
1991	37	26.0
1992	38	29.0
1993	39	46.0
1994	40	15.0
1996	41	23.0
1997	42	31.0
1998	43	79.0
1999	44	64.0
2000	45	35.0
2001	46	24.0
2002	47	67.0
2003	48	100.0
2005	49	173.0
2006	50	52.0
2008	51	33.0
2009	52	24.0
2010	53	231.0
2011	54	23.0

PROMEDIO	51.8	xm
DESVEST.	52.3954	S
COEFICIENTE DE ASIMETRIA	2.84946	g

La precipitación máxima probable con el método Pearson tipo III (Monsalve,1999), puede ser evaluada a través de la ecuación general de análisis de frecuencia (28):

$$P_{TR} = x_m + S * K_T$$

Donde:  $x_m$ : promedio  
 $S$ : desviación estándar  
 $K_T$ : factor de frecuencia (28)

El factor de frecuencia es función de la asimetría de la muestra ( $g$ ) y del periodo de retorno.

Con los datos estadísticos de la muestra, los periodos de retorno, los factores de frecuencia y la ecuación general de frecuencias, se obtienen las precipitaciones máximas probables en 24 horas correspondientes.

El factor de frecuencia  $K_T$  (Chow, 1994) se calcula con la ecuación (29) y se presenta en la tabla 25.

$$K_T = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5 \quad (29)$$

Donde:  $k = C_s / 6$   
 $C_s$  : coeficiente de asimetría de la muestra

$$w = \left[ \ln \left( \frac{1}{p^2} \right) \right]^{1/2}$$

$$z = w - \frac{2.515517 + 0.802853 * w + 0.010328 * w^2}{1 + 1.432788 * w + 0.189269 * w^2 + 0.001308 * w^3}$$

Donde:  $p$  = probabilidad del evento  
 $C_s = 2.84946$   
 $k = 0.474909$

Tabla 25.- Cálculo del factor de frecuencia  $K_T$ . Método Pearson III

CÁLCULO DEL FACTOR DE FRECUENCIA $K_T$ (MÉTODO PEARSON TIPO III)						
Tr(AÑOS)	p	1/(p^2)	ln	w	z	$K_T$
2	0.5	4	1.386	1.177	0.000	-0.360
5	0.2	25	3.219	1.794	0.841	0.450
10	0.1	100	4.605	2.146	1.282	1.172
50	0.02	2500	7.824	2.797	2.054	3.076
100	0.01	10000	9.210	3.035	2.327	3.974
500	0.002	250000	12.429	3.526	2.879	6.207
1000	0.001	1000000	13.816	3.717	3.091	7.226
2000	0.0005	4000000	15.202	3.899	3.286	8.249

Aplicando la ecuación (28) de Frecuencia Pearson tipo III, resulta lo presentado en la Tabla 26.

Tabla 26.- Precipitación máxima probable para  $T_r=2,5,10,50,100,500,1000,2000$  años en la Estación 19054. Método Pearson III

$T_R$	$x_m$	$S$	$K_T$	$P_{TR}$
años	mm	mm		mm/24hrs
2	51.82	52.40	-0.360	33.0
5	51.82	52.40	0.450	75.4
10	51.82	52.40	1.172	113.2
50	51.82	52.40	3.076	213.0
100	51.82	52.40	3.974	260.0
500	51.82	52.40	6.207	377.1
1000	51.82	52.40	7.226	430.4
2000	51.82	52.40	8.249	484.0

De manera similar se obtuvieron las precipitaciones máximas probables para las estaciones restantes (ver Tablas 27 a 29).

Tabla 27.- Precipitación máxima probable para  $T_r=2,5,10,50,100,500,1000,2000$  años en la Estación 19008. Método Pearson III

$T_R$	$x_m$	$S$	$K_T$	$P_{TR}$
años	mm	mm		mm/24hrs
2	91.45	35.40	-0.035	90.2
5	91.45	35.40	0.829	120.8
10	91.45	35.40	1.302	137.5
50	91.45	35.40	2.167	168.1
100	91.45	35.40	2.482	179.3
500	91.45	35.40	3.139	202.6
1000	91.45	35.40	3.398	211.7
2000	91.45	35.40	3.645	220.5

Tabla 28.- Precipitación máxima probable para  $T_r=2,5,10,50,100,500,1000,2000$  años en la Estación 19033. Método Pearson III

$T_R$	$x_m$	$S$	$K_T$	$P_{TR}$
años	mm	mm		mm/24hrs
2	91.20	71.57	-0.313	68.8
5	91.20	71.57	0.570	132.0
10	91.20	71.57	1.263	181.6
50	91.20	71.57	2.947	302.1
100	91.20	71.57	3.702	356.2
500	91.20	71.57	5.520	486.3
1000	91.20	71.57	6.329	544.2
2000	91.20	71.57	7.131	601.6

Tabla 29.- Precipitación máxima probable para  $T_r=2,5,10,50,100,500,1000,2000$  años en la Estación 19069. Método Pearson III

$T_r$	$x_m$	$S$	$K_T$	$P_{T_r}$
años	mm	mm		mm/24hrs
2	147.29	80.84	-0.258	126.4
5	147.29	80.84	0.654	200.2
10	147.29	80.84	1.310	253.2
50	147.29	80.84	2.805	374.1
100	147.29	80.84	3.450	426.2
500	147.29	80.84	4.958	548.2
1000	147.29	80.84	5.616	601.3
2000	147.29	80.84	6.261	653.5

**3. Distribución de frecuencia normal 19054.-** La precipitación máxima probable con la Distribución Normal puede ser evaluada a través de la ecuación general de análisis de frecuencia (ver Tabla 30):

$$P_{T_r} = x_m + S * K_T$$

Donde:

$$\begin{matrix} \mu \\ \sigma \end{matrix}$$

$x_m$ : promedio

S: desviación estándar

$K_T$ : factor de frecuencia de la distribución Normal

(58)

Para este caso, el factor de frecuencia  $K_T$  se calcula con las ecuaciones (58-a), (58-b) y (58-c).

$$K_T = z$$

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

$z$  = variable normalizada

(58-a)

Con

$$w = \left[ \ln \left( \frac{1}{p^2} \right) \right]^{1/2}$$

(58-b)

Por lo que

$$z = w - \frac{2.515517 + 0.802853 * w + 0.010328 * w^2}{1 + 1.432788 * w + 0.189269 * w^2 + 0.001308 * w^3}$$

(58-c)

Donde:  $p$  = probabilidad del evento

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30.- Cálculo del factor de frecuencia  $K_T$ . Método factor de frecuencia normal

$T_r$ (AÑOS)	$p$	$1/(p^2)$	$\ln$	$w$	$z$	$K_T$
2	0.5	4	1.386	1.177	0.000	-0.360
5	0.2	25	3.219	1.794	0.841	0.450
10	0.1	100	4.605	2.146	1.282	1.172
50	0.02	2500	7.824	2.797	2.054	3.076
100	0.01	10000	9.210	3.035	2.327	3.974
500	0.002	250000	12.429	3.526	2.879	6.207
1000	0.001	1000000	13.816	3.717	3.091	7.226
2000	0.0005	4000000	15.202	3.899	3.286	8.249

De los datos estadísticos de la muestra, los periodos de retorno, los factores de frecuencia y la ecuación general de frecuencias, se obtuvieron las precipitaciones máximas probables en 24 horas (ver Tabla 31).

Tabla 31.- Precipitación máxima probable para  $T_r=50,100,500$  y 1000 años en la Estación 19054. Método factor de frecuencia normal

$T_R$	$x_m$	$S$	$K_T$	$P_{TR}$
años	mm	mm		mm/24hrs
2	51.82	52.40	-0.360	33.0
5	51.82	52.40	0.450	75.4
10	51.82	52.40	1.172	113.2
50	51.82	52.40	3.076	213.0
100	51.82	52.40	3.974	260.0
500	51.82	52.40	6.207	377.1
1000	51.82	52.40	7.226	430.4
2000	51.82	52.40	8.249	484.0

Así mismo se calcularon las precipitaciones máximas probables para el resto de las estaciones climatológicas.

#### 4. Distribución Gumbel 19054.- La función Gumbel (Aparicio, 1989) se define como

$$x_m = \text{Prom.} \quad 51.8$$

$$S = \text{Desv. Estandar} \quad 52.40$$

$$x = \beta - \frac{1}{\alpha} \ln \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \quad (30)$$

Donde

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S}$$

$$\beta = x_m - \mu_y / \alpha$$

Tabla 32.- Parámetros Gumbel

n	$\mu_y$	$\sigma_y$
54	0.5501	1.1667
54	otro	otro
Si n < 8	otro	otro

Así, se aplicó la ecuación 30 utilizando los valores de los parámetros calculados para  $\mu_y$  y  $\sigma_y$  de la Tabla 32.

$$\text{Para } n = \quad 54$$

$$\sigma_y = \quad 1.1667$$

$$\mu_y = \quad 0.5501$$

Entonces:

$$\alpha = 1.1667 / 52.40 = 0.022267$$

$$\beta = 51.82407407 - 0.5501 / 0.022267 = 27.11961$$

El cálculo de la precipitación máxima probable para los diferentes periodo de retorno arrojó los resultados presentados en la Tabla 33.

Tabla 33.- Precipitación máxima probable para Tr=2,5,10,50, 100,500,1000 y 2000 años. Método Gumbel

PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE, MÉTODO DE GUMBEL				
T	(T/(T-1))	ln(T/(T-1))	ln*ln(T/(T-1))	x
años				mm/24hrs
2	2.0000	0.6931	-0.3665	43.6
5	1.2500	0.2231	-1.4999	94.5
10	1.1111	0.1054	-2.2504	128.2
50	1.0204	0.0202	-3.9019	202.4
100	1.0101	0.0101	-4.6001	233.7
500	1.0020	0.0020	-6.2136	306.2
1000	1.0010	0.0010	-6.9073	337.3
2000	1.0005	0.0005	-7.6007	368.5

La curva correspondiente se muestra en la Figura 20.

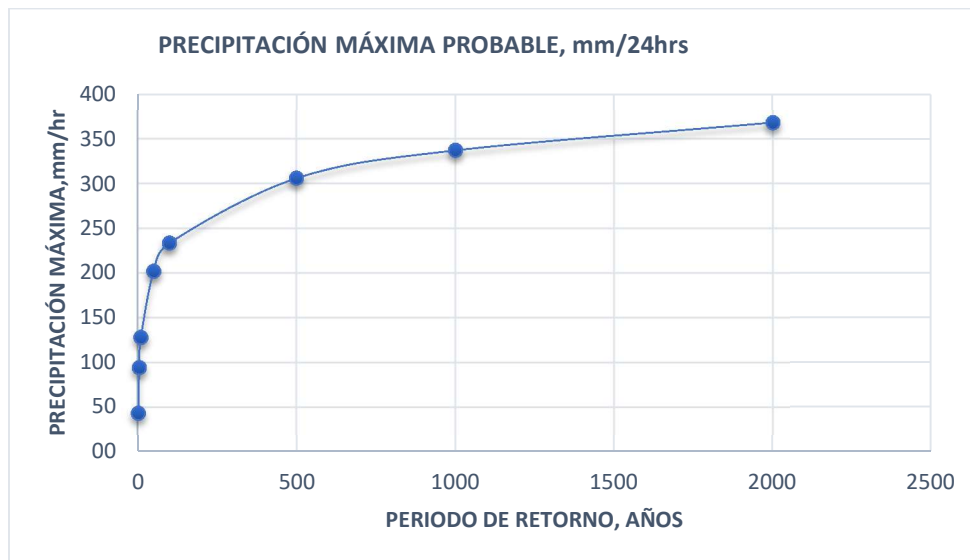


Figura 20.- Curva Tr-Precipitación



5. **Cálculo del Error Estándar** .- Después de efectuar el ajuste de distribuciones para cada uno de los métodos, se procedió a calcular el error estándar, como se aprecia en la Figura 21 y en las Tablas 34, 35 y 36.

Tabla 34.- Precipitación probable en la estación 19054, Rinconada, García

ESTACIÓN RINCONADA, GARCIA				
PRECIPITACIÓN PROBABLE				
años	GUMBEL	PEARSON III	NORMAL	GUMBEL II
	x (mm/24hr)			
2	43.6	33.0	51.8	30.38
5	94.5	75.4	95.9	77.84
10	128.2	113.2	119.0	134.63
50	202.4	213.0	159.5	242.72
100	233.7	260.0	173.7	286.63
500	306.2	377.1	202.6	387.17
1000	337.3	430.4	213.8	430.25
2000	368.5	484.0	224.2	473.29

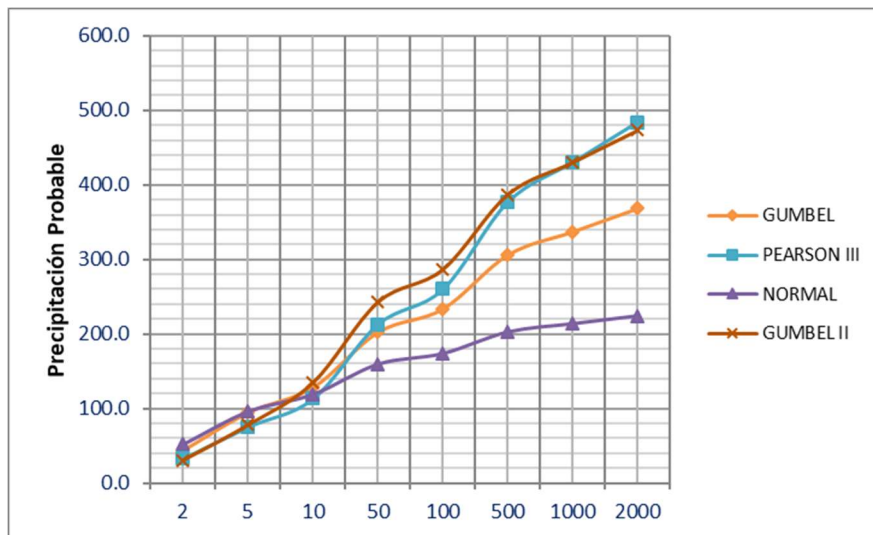


Figura 21.- Precipitación asociada a diferentes periodos de retorno, según los métodos probabilísticos

Tabla 35.- Ajuste de la distribución

PRECIPITACIÓN MÁXIMA		, MÉTODO GUMBEL II						
#	x (mm/24hrs)	$-\alpha_1(x - \beta_1)$	$-\alpha_2(x - \beta_2)$	$e^{-\alpha_1(x - \beta_1)}$	$e^{-\alpha_2(x - \beta_2)}$	F (x)	1-p	Tr ( años)
1	248.8	-28.19328534	-2.936381	5.69928E-13	0.053058	0.9818	0.0182	55.00
2	204.1	-22.63997337	-2.215593	1.47093E-10	0.109089	0.9636	0.0364	27.50
3	177.1	-19.29096784	-1.780912	4.18837E-09	0.168485	0.9454	0.0546	18.33
4	157.4	-16.84063312	-1.462872	4.85524E-08	0.231570	0.9273	0.0727	13.75
5	141.6	-14.8739705	-1.207611	3.46993E-07	0.298911	0.9091	0.0909	11.00
6	128.2	-13.20953186	-0.991577	1.83306E-06	0.370992	0.8909	0.1091	9.17
7	116.4	-11.74353757	-0.801299	7.94054E-06	0.448746	0.8728	0.1272	7.86
8	105.7	-10.4211368	-0.629659	2.97962E-05	0.532774	0.8547	0.1453	6.88
9	95.8	-9.187021147	-0.469478	0.00010236	0.625329	0.8363	0.1637	6.11
10	86.6	-8.039748	-0.320569	0.000322392	0.725736	0.8182	0.1818	5.50
11	77.8	-6.955450988	-0.179833	0.000953428	0.835410	0.8000	0.2000	5.00
12	69.6	-5.936360409	-0.047561	0.002641637	0.953552	0.7817	0.2183	4.58
13	62.4	-5.033354224	0.069644	0.006516937	1.072126	0.7636	0.2364	4.23
14	56.3	-4.276583287	0.167868	0.013890079	1.182781	0.7455	0.2545	3.93
15	51.4	-3.678021075	0.245558	0.025273001	1.278334	0.7275	0.2725	3.67
16	47.7	-3.208088327	0.306553	0.040433923	1.358733	0.7093	0.2907	3.44
17	44.7	-2.842293031	0.354031	0.058291959	1.424799	0.6913	0.3087	3.24
18	42.3	-2.544286314	0.392710	0.078529211	1.480989	0.6732	0.3268	3.06
19	40.2	-2.282933833	0.426632	0.101984718	1.532089	0.6540	0.3460	2.89
20	38.6	-2.079094859	0.453090	0.125043518	1.573165	0.6364	0.3636	2.75
21	37.1	-1.896775103	0.476754	0.150051933	1.610836	0.6183	0.3817	2.62
22	35.8	-1.731869145	0.498157	0.176953555	1.645686	0.5999	0.4001	2.50
23	34.6	-1.584677275	0.517262	0.205014164	1.677428	0.5816	0.4184	2.39
24	33.5	-1.451698319	0.534522	0.23417248	1.706632	0.5634	0.4366	2.29
25	32.6	-1.331996548	0.550059	0.263949983	1.733354	0.5455	0.4545	2.20
26	31.7	-1.225061797	0.563938	0.29373979	1.757580	0.5284	0.4716	2.12
27	30.8	-1.117111728	0.577949	0.327223787	1.782379	0.5099	0.4901	2.04
28	29.9	-1.007595817	0.592164	0.36509593	1.807896	0.4900	0.5100	1.96
29	29.3	-0.92405376	0.603007	0.396907057	1.827606	0.4739	0.5261	1.90
30	28.5	-0.824612496	0.615914	0.438405086	1.851347	0.4537	0.5463	1.83
31	27.8	-0.73727102	0.627250	0.478417965	1.872454	0.4352	0.5648	1.77
32	27.2	-0.662677194	0.636932	0.515469704	1.890671	0.4188	0.5812	1.72
33	26.6	-0.586127198	0.646868	0.556478467	1.909550	0.4014	0.5986	1.67
34	25.9	-0.507272962	0.657103	0.602135593	1.929194	0.3829	0.6171	1.62
35	25.3	-0.425662929	0.667695	0.653336713	1.949738	0.3633	0.6367	1.57
36	24.7	-0.358130879	0.676461	0.698981755	1.966903	0.3467	0.6533	1.53
37	24.2	-0.288174892	0.685541	0.749630622	1.984844	0.3291	0.6709	1.49
38	23.6	-0.215435232	0.694982	0.8061906	2.003672	0.3106	0.6894	1.45
39	23.0	-0.139424572	0.704847	0.869858714	2.023537	0.2911	0.7089	1.41
40	22.5	-0.079903875	0.712573	0.923205135	2.039230	0.2757	0.7243	1.38
41	21.8	0.00361062	0.723413	1.003617143	2.061455	0.2540	0.7460	1.34
42	21.3	0.06927931	0.731936	1.071735464	2.079101	0.2370	0.7630	1.31
43	20.7	0.138829381	0.740963	1.148927947	2.097954	0.2191	0.7809	1.28
44	20.1	0.212681488	0.750549	1.236990415	2.118161	0.2004	0.7996	1.25
45	19.5	0.291789792	0.760817	1.338821294	2.140022	0.1808	0.8192	1.22
46	19.0	0.348086003	0.768124	1.416353724	2.155716	0.1671	0.8329	1.20
47	18.3	0.43921686	0.779952	1.551491249	2.181366	0.1458	0.8542	1.17
48	17.8	0.50522082	0.788519	1.657350893	2.200134	0.1310	0.8690	1.15
49	16.9	0.615624571	0.802848	1.850811436	2.231888	0.1078	0.8922	1.12
50	16.2	0.699298952	0.813709	2.012340518	2.256260	0.0916	0.9084	1.10
51	15.4	0.794643037	0.826084	2.21364948	2.284354	0.0748	0.9252	1.08
52	14.5	0.907593657	0.840744	2.478350075	2.318091	0.0573	0.9427	1.06
53	13.4	1.04864635	0.859052	2.853783462	2.360921	0.0393	0.9607	1.04
54	11.7	1.256687961	0.886055	3.513761498	2.425540	0.0202	0.9798	1.02

Tabla 36.- Error estándar

CÁLCULO DEL ERROR ESTÁNDAR											
n	Tr			Gumbel		PEARSON III		NORMAL		Gumbel II	
	P (mm)	m	años	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
1	287.0	54	55.00	206.67	6452.32	219.33	4579.03	161.50	15749.67	248.80	1459.00
2	231.0	53	27.50	175.13	3121.75	174.25	3220.55	145.87	7247.00	204.10	723.79
3	173.0	52	18.33	156.49	272.45	149.05	573.58	135.79	1384.23	177.14	17.11
4	140.0	51	13.75	143.14	9.88	131.75	68.07	128.11	141.26	157.41	303.10
5	120.0	50	11.00	132.68	160.87	118.69	1.72	121.79	3.21	141.58	465.58
6	100.0	49	9.17	124.05	578.41	108.26	68.26	116.35	267.33	128.18	793.99
7	79.0	48	7.86	116.67	1419.33	99.63	425.69	111.53	1057.97	116.38	1396.96
8	77.0	47	6.88	110.22	1103.31	92.30	234.14	107.16	909.70	105.73	825.42
9	76.0	46	6.11	104.46	809.81	85.95	99.08	103.15	737.08	95.79	391.84
10	67.0	45	5.50	99.25	1039.91	80.37	178.86	99.42	1050.89	86.56	382.55
11	65.0	44	5.00	94.48	869.10	75.41	108.38	95.91	955.59	77.83	164.61
12	64.0	43	4.58	90.08	680.00	70.95	48.35	92.59	817.65	69.63	31.65
13	62.0	42	4.23	85.98	574.87	66.92	24.18	89.43	752.55	62.36	0.13
14	61.0	41	3.93	82.13	446.59	63.24	5.02	86.40	645.27	56.26	22.43
15	60.0	40	3.67	78.51	342.55	59.87	0.02	83.48	551.46	51.45	73.18
16	60.0	39	3.44	75.07	227.18	56.76	10.47	80.66	426.83	47.66	152.22
17	56.0	38	3.24	71.80	249.68	53.89	4.44	77.92	480.40	44.72	127.30
18	52.0	37	3.06	68.67	278.01	51.23	0.60	75.25	540.39	42.32	93.74
19	52.0	36	2.89	65.67	186.93	48.74	10.60	72.63	425.78	40.21	138.90
20	46.0	35	2.75	62.78	281.64	46.43	0.18	70.07	579.56	38.57	55.16
21	42.0	34	2.62	59.99	323.66	44.26	5.09	67.56	653.17	37.11	23.96
22	40.0	33	2.50	57.29	298.81	42.22	4.93	65.08	628.84	35.78	17.83
23	40.0	32	2.39	54.66	214.89	40.31	0.09	62.63	511.96	34.59	29.24
24	38.0	31	2.29	52.10	198.84	38.51	0.26	60.20	492.86	33.52	20.05
25	38.0	30	2.20	49.60	134.64	36.81	1.41	57.79	391.77	32.56	29.61
26	35.0	29	2.12	47.16	147.85	35.21	0.04	55.40	416.15	31.70	10.90
27	35.0	28	2.04	44.76	95.30	33.70	1.69	53.01	324.54	30.83	17.40
28	34.0	27	1.96	42.41	70.66	32.27	2.99	50.63	276.69	29.95	16.42
29	33.0	26	1.90	40.08	50.20	30.92	4.32	48.25	232.62	29.27	13.88
30	31.0	25	1.83	37.79	46.15	29.64	1.84	45.86	220.94	28.47	6.38
31	30.0	24	1.77	35.53	30.54	28.44	2.45	43.47	181.33	27.77	4.97
32	30.0	23	1.72	33.28	10.75	27.29	7.32	41.05	122.15	27.17	8.01
33	29.0	22	1.67	31.05	4.18	26.22	7.76	38.62	92.50	26.55	5.98
34	26.0	21	1.62	28.82	7.96	25.20	0.65	36.16	103.16	25.92	0.01
35	24.0	20	1.57	26.60	6.77	24.23	0.05	33.66	93.38	25.26	1.59
36	24.0	19	1.53	24.38	0.14	23.33	0.45	31.13	50.86	24.72	0.52
37	24.0	18	1.49	22.15	3.41	22.47	2.33	28.55	20.74	24.16	0.02
38	23.0	17	1.45	19.91	9.54	21.67	1.76	25.92	8.55	23.57	0.33
39	23.0	16	1.41	17.65	28.62	20.92	4.31	23.23	0.05	22.96	0.00
40	23.0	15	1.38	15.36	58.34	20.22	7.70	20.46	6.43	22.48	0.27
41	21.0	14	1.34	13.04	63.39	19.58	2.03	17.61	11.47	21.81	0.65
42	21.0	13	1.31	10.67	106.72	18.98	4.10	14.66	40.13	21.28	0.08
43	20.0	12	1.28	8.24	138.20	18.42	2.48	11.60	70.54	20.72	0.52
44	20.0	11	1.25	5.75	203.12	17.92	4.31	8.40	134.50	20.12	0.02
45	20.0	10	1.22	3.16	283.44	17.47	6.38	5.04	223.70	19.49	0.26
46	20.0	9	1.20	0.47	381.37	17.08	8.54	1.49	342.55	19.03	0.93
47	20.0	8	1.17	-2.36	499.96	16.73	10.67	-2.29	496.98	18.30	2.89
48	20.0	7	1.15	-5.37	643.51	16.45	12.63	-6.37	695.23	17.77	4.98
49	16.0	6	1.12	-8.61	605.46	16.22	0.05	-10.81	718.67	16.88	0.77
50	16.0	5	1.10	-12.16	792.84	16.05	0.00	-15.73	1006.75	16.21	0.04
51	15.5	4	1.08	-16.15	1001.94	15.94	0.20	-21.31	1354.87	15.44	0.00
52	15.0	3	1.06	-20.83	1283.82	15.90	0.81	-27.85	1836.30	14.53	0.22
53	13.0	2	1.04	-26.69	1575.37	15.89	8.36	-35.97	2398.25	13.39	0.16
54	11.0	1	1.02	-35.22	2136.27	15.82	23.25	-47.30	3398.58	11.72	0.52
54				suma	30561.26	suma	9802.47	suma	52261.04	suma	7838.04
				EE (mm)	24.24	EE (mm)	13.86	EE (mm)	31.71	EE (mm)	12.28

**6. Precipitación probable.-** Se identificó la precipitación probable para las estaciones seleccionadas, mismas que se muestran en la Tabla 37 y su correspondiente gráfica en la Figura 22.

Tabla 37.- Precipitación probable para 2 , 5, 10, 50,100,500, 1000 y 2000 años de periodo de retorno

PRECIPITACIÓN PROBABLE								
Tr	x (mm/24hr)							
años	Gumbel II 19096	Pearson III 19033	Gumbel II 19018	Pearson III 19008	Gumbel II 19002	Gumbel II 19054	Pearson III 19069	Gumbel II 19061
2	71.98	68.77	56.66	90.19	51.58	30.38	126.40	64.57
5	142.07	131.98	86.98	120.80	83.78	77.84	200.18	109.85
10	200.78	181.58	129.21	137.54	165.00	134.63	253.16	153.70
50	317.80	302.11	285.95	168.15	405.75	242.72	374.09	248.72
100	365.16	356.17	348.25	179.33	496.96	286.63	426.17	287.14
500	473.41	486.26	489.02	202.57	703.14	387.17	548.15	374.70
1000	519.76	544.15	549.06	211.73	791.08	430.25	601.29	412.15
2000	566.06	601.58	608.98	220.49	878.85	473.29	653.45	449.55

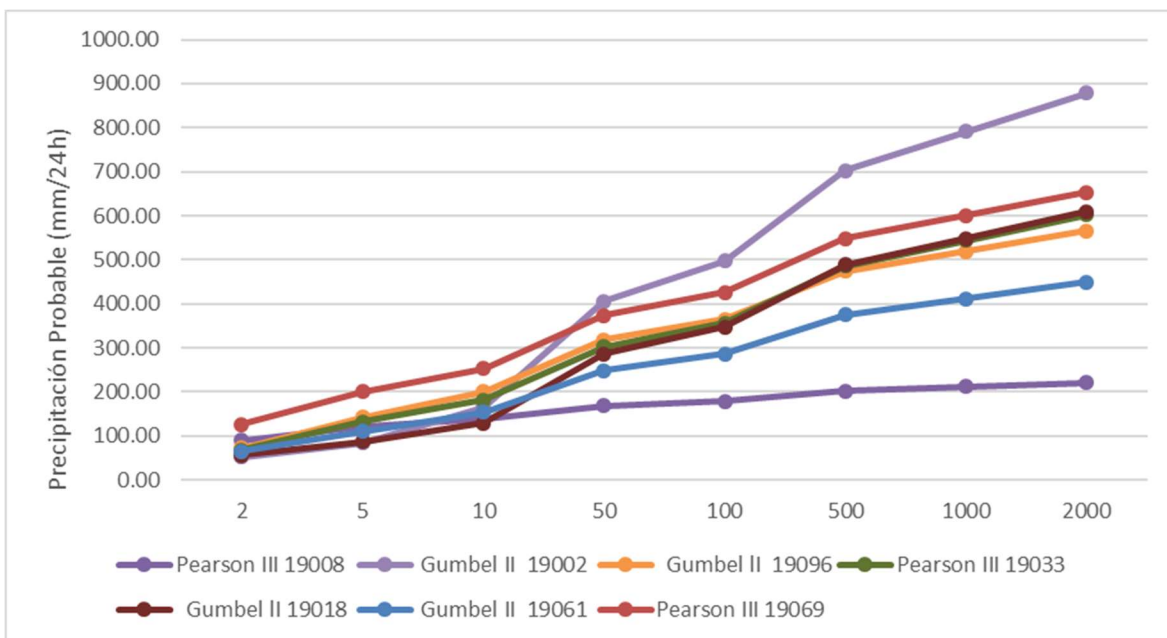


Figura 22.- Probabilidad de precipitación para 2,5,10, 50,100,500, 1000 y 2000 años de periodo de retorno

### III.2.6. Determinación del caudal en la cuenca del Río Santa Catarina

#### Polígonos de Thiessen

Se trazaron los polígonos de Thiessen para identificar las áreas de influencia de cada estación climatológica para el cálculo de la precipitación en exceso, como se ilustra en la Figura 23.

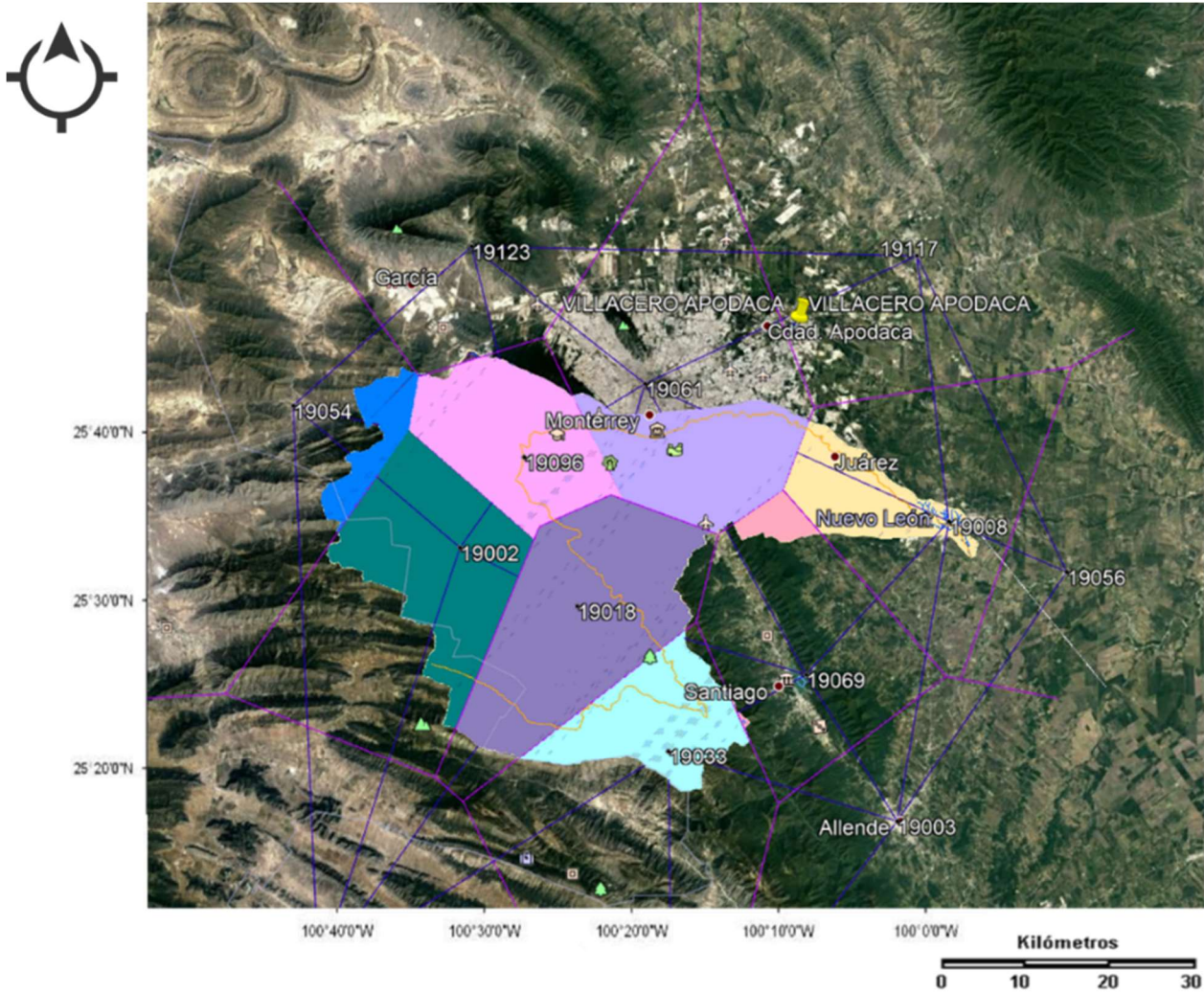


Figura 23.- Localización de estaciones climatológicas y polígonos de Thiessen. Mapa de elaboración propia

### Precipitación en exceso

Cálculo de la precipitación en exceso  $h_e$ , por el método de S.C.S.

$$h_e = \frac{\left( h - \frac{508}{N} + 5.08 \right)^2}{h + \frac{2032}{N} - 20.32} \quad (31)$$

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 38.

Tabla 38.- Precipitación en exceso

**PRECIPITACION MEDIA DE LA CUENA DEL RÍO SANTA CATARINA**

N med= 75.6

ESTACION CLAVE	AREA (km2)	TR (años)	Tr*A	TR (años)	Tr*A	TR (años)	Tr*A	TR (años)	Tr*A	TR (años)	Tr*A	TR (años)	Tr*A
		50	100	500	1000	5000	10000						
19054	71.97	268.66	19336.29	327.06	23539.51	458.59	33005.91	514.62	37038.64	644.35	46375.62	700.16	50392.58
19002	348.18	405.75	141274.65	496.96	173034.55	703.14	244821.57	791.08	275441.22	994.76	346357.69	1082.39	376870.95
19018	462.22	285.95	132171.31	348.25	160967.88	489.02	226037.04	549.06	253787.90	688.10	318058.05	747.93	345711.27
19033	211.42	367.19	77631.40	434.28	91815.63	585.56	123799.89	650.03	137431.00	799.33	168994.51	863.56	182574.29
19096	285.02	317.80	90579.80	365.16	104079.78	473.41	134933.42	519.76	148143.78	627.21	178769.38	673.46	191951.43
19061	256.88	273.84	70344.16	335.78	86252.83	137.65	35359.87	504.08	129485.72	611.41	157057.29	656.47	168631.49
19069	31.65	509.05	16111.72	622.45	19700.94	880.20	27859.09	990.36	31345.58	1245.61	39424.48	1355.46	42901.24
19008	149.65	193.66	28981.43	212.99	31874.03	257.33	38510.47	276.35	41356.27	320.45	47956.64	339.44	50798.11
SUMA	1817.00	SUMA:	576430.76		691265.16		864327.26		1054030.11		1302993.68		1409831.37
0.0057015		P prom (mm):	317.24		380.44		475.69		580.09		717.11		775.91
		P prom (cm):	31.72		38.04		47.57		58.01		71.71		77.59
		P exceso (cm):	23.65		29.72		38.98		49.22		62.74		68.56
		P exceso (mm):	236.48		297.20		389.80		492.20		627.40		685.60

**Hidrograma Unitario Triangular**

El hidrograma unitario triangular permitió determinar el caudal producido por la precipitación de la cuenca hidrográfica. A continuación, se presenta dicho procedimiento aplicado a la cuenca del Río Santa Catarina.

En la Tabla 39 se muestran las características físicas e hidrológicas requeridas para el cálculo del hidrograma unitario triangular.

Tabla 39.- Tabla de datos para el cálculo de la cuenca por el hidrograma unitario triangular.

Area de la cuenca	1,817.00	km2
Periodo de retorno	1000	años
Tiempo de concentración de la cuenca	16.30	horas
Duración de tormenta de diseño	8.08	horas
Precipitación máxima en 24 horas y Tr de 1000 años	49.22	mm
Precipitación	16.30	horas y Tr de 1000 años
Curva N promedio de escurrimiento	75.62	

La precipitación en exceso resulta en 244.17 mm, como se observa en la Tabla 40 . El tiempo de duración de tormenta se dividió en 5 intervalos, como se observa en la Tabla 41.

Tabla 40.- Precipitación en exceso en mm

h cm	N	(h-508/N+5.08)	(h+2032/N-20.32)	he cm	he mm
32.53	75.62	30.89	39.08	24.42	244.17

Tabla 41.- Precipitación en exceso por porcentaje de duración de tormenta.

$\Delta t$	horas	% Duracion tormenta	% Acumulado de lluvia total	he(mm)
1	3.3	20	0.05	12.2
2	6.5	40	0.10	24.4
3	9.8	60	0.25	61.0
4	13.0	80	0.42	102.6
5	16.3	100	0.18	44.0
			<b>1.00</b>	<b>244.17</b>

Empleando la ecuación 59, con un tiempo de concentración de 16.30 h, el tiempo pico resultante es de 9.78 h (ver Tabla 42)

$$t_p = 0.5t_c + \frac{\Delta t}{2} \quad (59)$$

Tabla 42.- Tiempo pico

Tc hrs	$\Delta t$ hrs	tp hrs
16.30	3.261	9.78

Los resultados obtenidos de la aplicación del método del hidrograma unitario triangular, mostrados en la Figura 24, se presentan en la Tabla 43 .

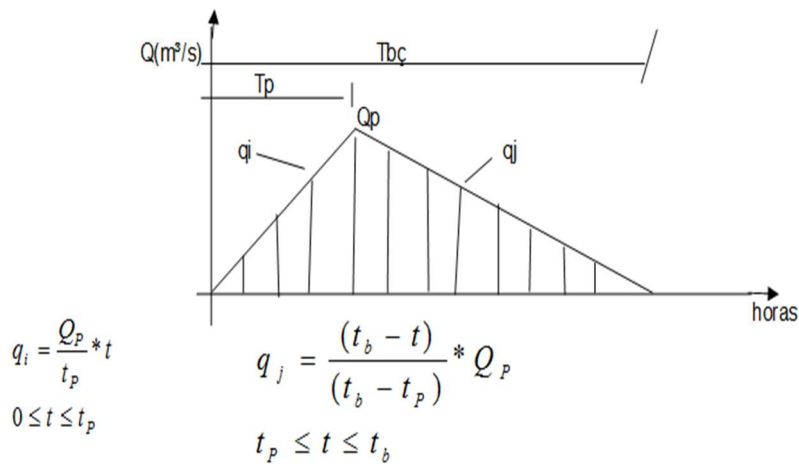


Figura 24. Esquema del método del hidrograma unitario triangular

Tabla 43.- Hidrograma Unitario triangular para 1000 años de periodo de retorno en la cuenca del Río Santa Catarina

T(HRS)	1	2	3	4	5	total(m3/s)	
0.00	0.00					0.000	--
1.96	84.05	0.00				84.054	--
3.91	168.11	168.11	0.00			336.217	--
5.87	252.16	336.22	420.27	0.00		1008.652	--
7.83	336.22	504.33	840.54	706.06	0.00	2387.142	--
9.78	420.27	672.43	1260.81	1412.11	302.60	4068.229	--
11.96	373.57	840.54	1681.09	2118.17	605.19	5618.564	--
14.13	326.88	747.15	2101.36	2824.22	907.79	6907.397	--
16.30	280.18	653.76	1867.87	3530.28	1210.38	7542.474	MAX
18.48	233.48	560.36	1634.39	3138.03	1512.98	7079.241	--
20.65	186.79	466.97	1400.91	2745.77	1344.87	6145.304	--
22.83	140.09	373.57	1167.42	2353.52	1176.76	5211.367	--
25.00	93.39	280.18	933.94	1961.27	1008.65	4277.431	--
27.17	46.70	186.79	700.45	1569.01	840.54	3343.494	--
29.35	0.00	93.39	466.97	1176.76	672.43	2409.557	--
31.52		0.00	233.48	784.51	504.33	1522.317	--
33.69			0.00	392.25	336.22	728.471	--
35.87				0.00	168.11	168.109	--
38.04					0.00	0.000	--

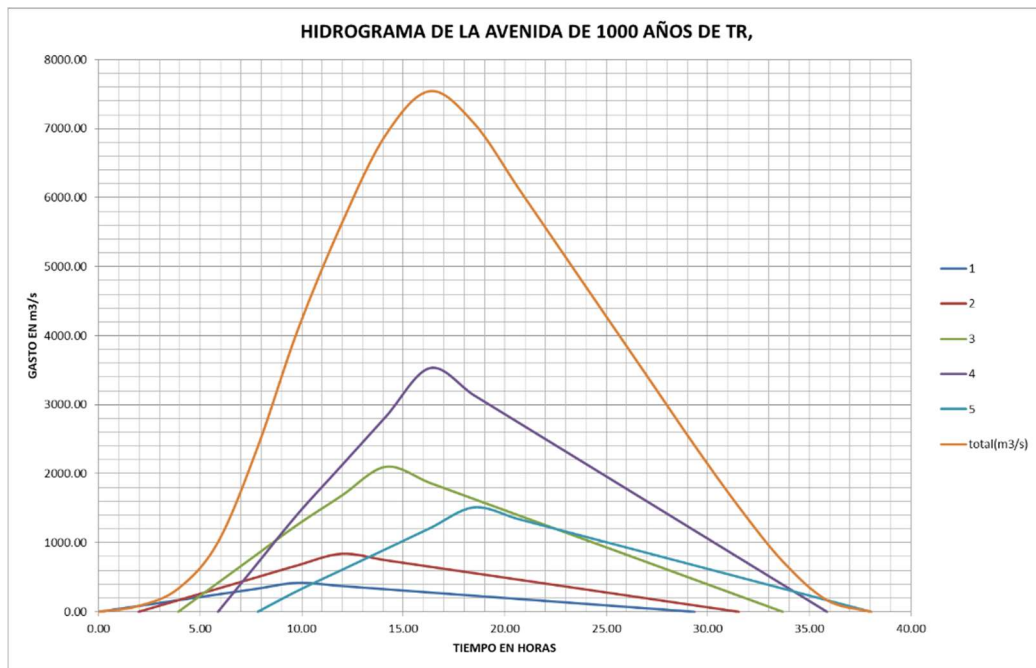


Figura 25.- Hidrograma de avenida de 1000 años de periodo de retorno para la cuenca del Río Santa Catarina

La Figura 25 ilustra los gastos correspondientes a las tormentas 1 a 5. La gráfica en color anaranjado representa el caudal total en  $m^3/s$  para la cuenca del Río Santa Catarina.



### III.3. Estudio hidrológico de la subcuenca de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas” y determinación de caudal

Como se mencionó en el apartado III.1.2, dentro de la cuenca del Río Santa Catarina se sitúa la presa reguladora de avenidas denominada “Corral de Palmas”. Para ejecutar el análisis de la operación hidrológica de tal presa, se caracterizó la subcuenca y se valuó la precipitación probable para periodos de retorno  $Tr= 2,5,10,50,100,500,1000$  y 2000 años, mediante los datos históricos obtenidos de las estaciones climatológicas pertinentes. En la Figura 26 se aprecia la localización de las 3 estaciones climatológicas que influyen en los polígonos de Thiessen correspondientes.

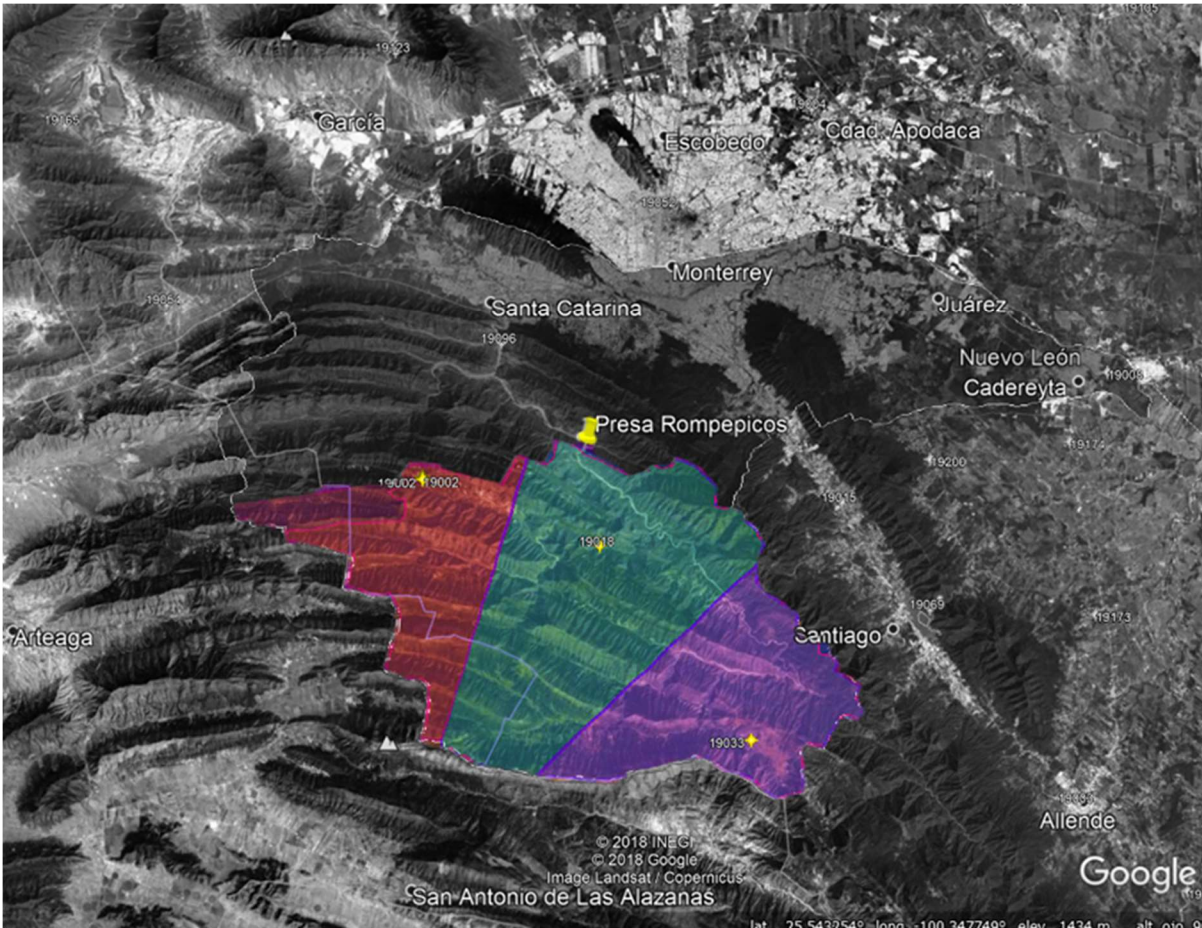


Figura 26.- Subcuenca cuyo desfogue se ubica en la Presa Rompepicos “Corral de Palmas”. Se observan los polígonos de Thiessen concernientes a las estaciones climatológicas 19002, 19018 y 19033

Se presenta en la Tabla 44 los valores de la precipitación probable para los periodos de retorno señalados.

Tabla 44.- Precipitación probable en la Subcuenca

PRECIPITACIÓN PROBABLE			
Tr	x (mm/24hr)		
años	Pearson III 19033	Gumbel II 19018	Gumbel II 19002
2	68.77	56.66	51.58
5	131.98	86.98	83.78
10	181.58	129.21	165.00
50	302.11	285.95	405.75
100	356.17	348.25	496.96
500	486.26	489.02	703.14
1000	544.15	549.06	791.08
2000	601.58	608.98	878.85

Después de sopesar la cubierta vegetal y edafología, la subcuenca presentó un valor  $N = 72.3$ , y una precipitación en exceso para un periodo de retorno de 1000 años  $Pe = 504.14$  mm. En la Tabla 45 se enlista la precipitación en exceso para periodos de retorno de  $Tr = 2, 5, 10, 50, 100, 500, 1000$  y 2000 años

Tabla 45.- Precipitación en exceso para diferentes periodos de retorno en la subcuenca

TR (años)	Pe (mm)
2	11.26
5	35.41
10	76.67
50	226.76
100	290.46
500	439.31
1000	504.14
2000	569.01

Así mismo, se obtuvo el Hidrograma Unitario Triangular para la subcuenca pertinente, tal como se presenta en la Tabla 46 y se grafica en la Figura 27.

Tabla 46.- Hidrograma Unitario Triangular de la subcuenca.  $Tr = 1000$  años de periodo de retorno

HIDROGRAMAS CUENCA Y SUPERPOSICIÓN, PARA Tr DE 1000 AÑOS								
T(HRS)	1	2	3	4	5	total(m3/s)		
0:00:00	0.00	0.00				0	--	
0:59:00	0.98	58.83	0.00			59	--	
1:58:00	1.97	117.67	117.67	0.00		235	--	
2:57:00	2.95	176.50	235.33	294.16	0.00	706	--	
3:55:59	3.93	235.33	353.00	588.33	494.19	0.00	1671	--
4:54:59	4.92	294.16	470.66	882.49	988.39	211.80	2847	--
5:37:36	5.63	261.48	588.33	1176.65	1482.58	423.59	3933	--
6:20:12	6.34	228.79	522.96	1470.82	1976.78	635.39	4835	--
7:02:49	7.05	196.11	457.59	1307.39	2470.97	847.19	5279	MAX
7:45:26	7.76	163.42	392.22	1143.97	2196.42	1058.99	4955	--
8:28:02	8.47	130.74	326.85	980.54	1921.87	941.32	4301	--
9:10:39	9.18	98.05	261.48	817.12	1647.31	823.66	3648	--
9:53:15	9.89	65.37	196.11	653.70	1372.76	705.99	2994	--
10:35:52	10.60	32.68	130.74	490.27	1098.21	588.33	2340	--
11:18:28	11.31	0.00	65.37	326.85	823.66	470.66	1687	--
12:01:05	12.02		0.00	163.42	549.10	353.00	1066	--
12:43:42	12.73			0.00	274.55	235.33	510	--
13:26:18	13.44				0.00	117.67	118	--
14:08:55	14.15					0.00	0	--

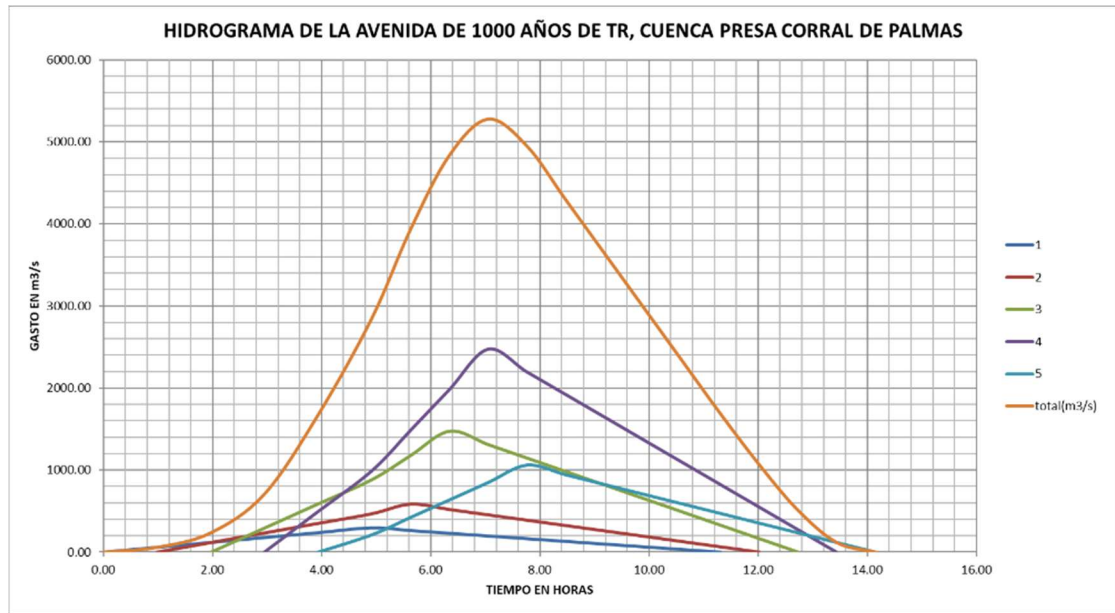


Figura 27.- Hidrograma Unitario Triangular de la subcuenca . Tr= 1000 años de periodo de retorno

En el Anexo E se describen de manera detallada los hidrogramas pertenecientes a los periodos de retorno para 2, 5,10,50,100,500 y 2000 años.

### III.4. Temperatura oceánica superficial en el Golfo de México y su repercusión climática en la Cuenca del Río Santa Catarina

Con los datos de perfil CTD (Conductividad- Temperatura- Profundidad) obtenidos del Woods Hole Oceanographic Institute WHOI, se graficó la termoclina del Golfo de México al año 1985 (Figura 28). La temperatura superficial del océano resultó del orden de 20°C.

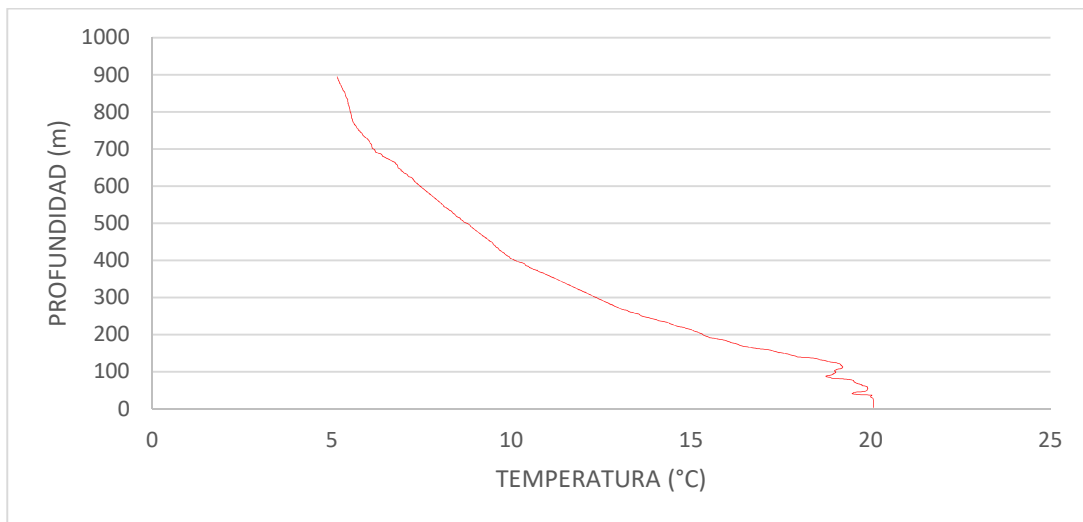


Figura 28.- Termoclina - año 1985, Golfo de México. (WHOI,2019)

Comparando con la temperatura oceánica superficial actual, se advierte un alza en la media anual para la misma región, como se muestra en la Figura 29.

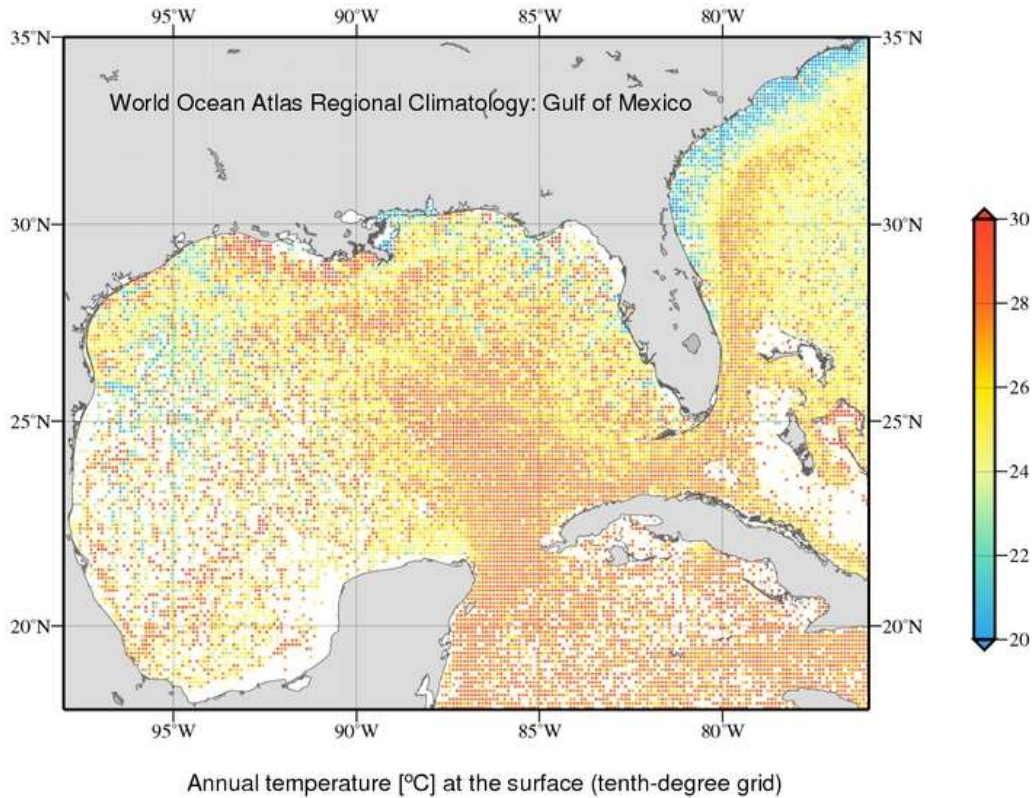


Figura 29.- Temperatura anual superficial. Fuente: <https://www.nodc.noaa.gov>

Como se sabe, el clima de una región está ligada al calentamiento de la superficie de la masa oceánica y a la circulación atmosférica. Para este último rubro, en lo concerniente a la formación, intensidad y trayectoria de huracanes en su paso por el Golfo de México, se puede asegurar que se observa un aumento en la cantidad de fenómenos reportados desde el año 1976 al 2012. En la Figura 30 se aprecia en escala cromática la intensificación de los huracanes en la región.

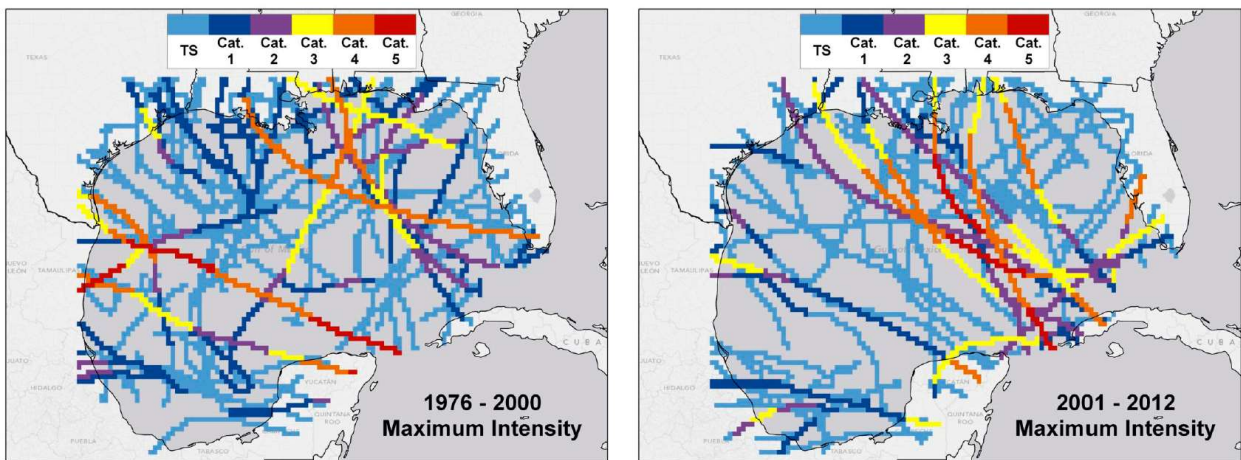


Figura 30.- Huracanes en México (NOAA,2019)

Al acrecentamiento tanto en número como en intensidad de huracanes que impactan la cuenca del Río Santa Catarina (Figura 31), como consecuencia de la elevación de temperatura oceánica superficial, se suman las precipitaciones anómalas, mismas que para el presente estudio se atribuyen al Cambio Climático.

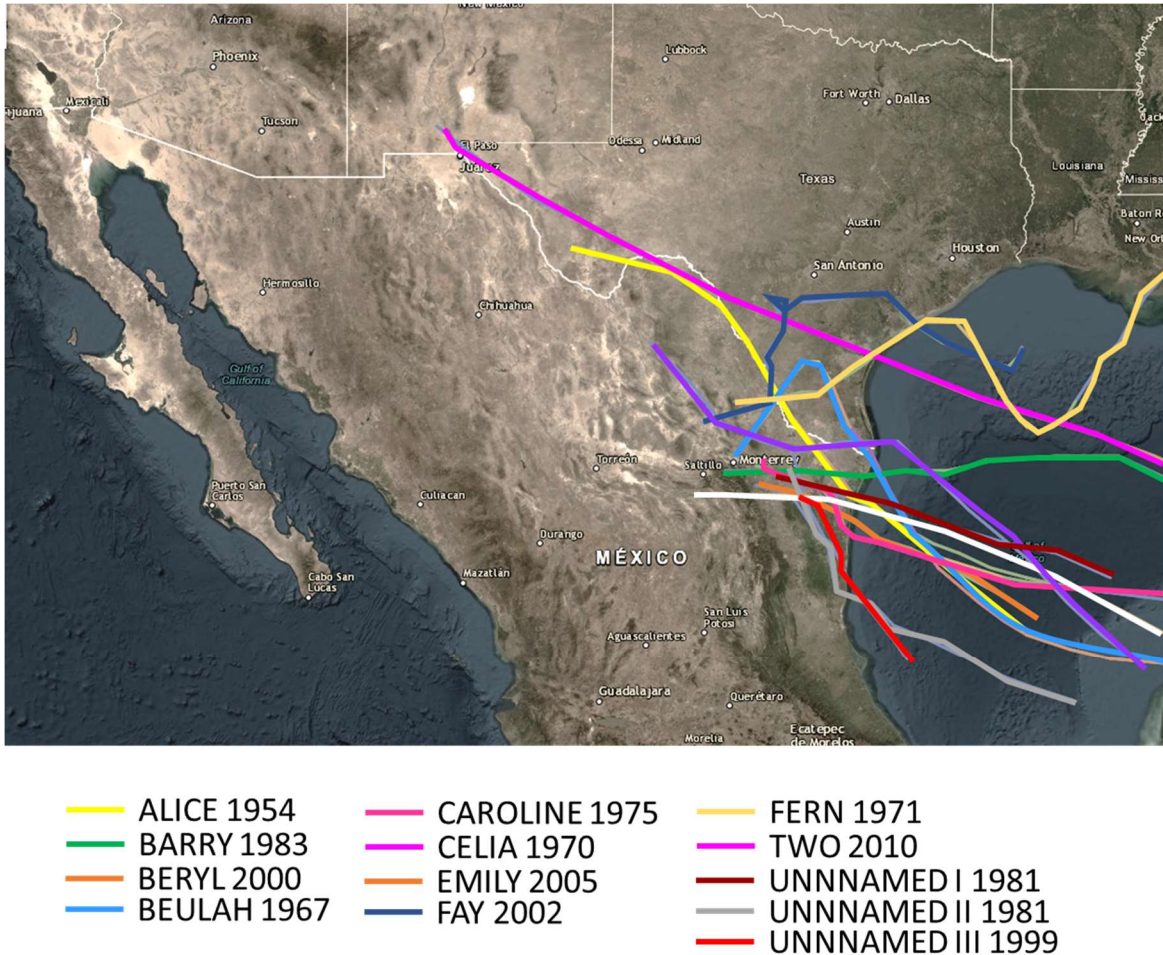


Figura 31.- Huracanes que impactaron la Cuenca del Río Santa Catarina. Periodo 1940-2018 (NOAA,2019)

### III.5. Determinación de Tormentas asociadas al Cambio Climático

En la aplicación de esta propuesta metodológica, se asume que la zona de estudio se ubica en la trayectoria de huracanes y que tiene una urbe productora de gases de efecto invernadero y/o una gran zona agrícola productora de gas metano, de manera que es factible la integración de una muestra que sea una mezcla tri-poblacional de lluvia: precipitación convectiva (Pc), precipitación ciclónica (Pci) y precipitación de cambio climático (Pcc).

Los pasos a seguir en esta metodología se enlistan a continuación.

- I) Se traza el parteaguas C de la cuenca de estudio.
- II) Se traza la exocuenca Ce de radio  $R < 100$  km, donde se presentan las concentraciones de gases de efecto invernadero mayores o iguales a 450 ppm. El centro de esta región se ubica en la zona de producción de metano,  $\text{CO}_2$  u otros gases de efecto invernadero. Esta descripción se aprecia en la Figura 32-a y 32-b.

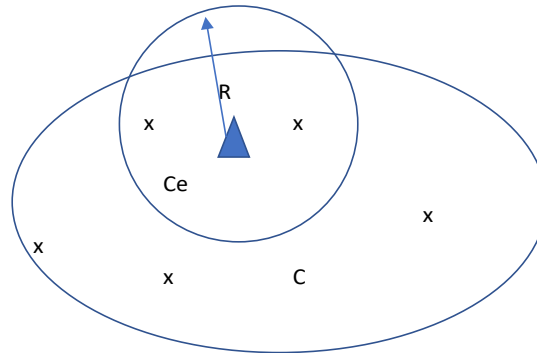


Figura 32 – a.- Esquema de trazo de cuenca y exocuenca para el análisis de las tormentas de cambio climático.

- III) Se identifican las estaciones climatológicas ubicadas dentro de C y Ce. Las estaciones climatológicas dentro de la exocuenca, son las que presentan los tres tipos de precipitaciones ( $P_c, P_{ci}, P_{cc}$ ).
- IV) Realizar la separación de precipitaciones  $P_c, P_{ci}$  y  $P_{cc}$  en las estaciones climatológicas dentro de la exocuenca, considerando las características de las tormentas de cambio climático, las cuales se enlistan a continuación:
  1. Pertencen al subconjunto de anomalías de temperatura y precipitación.
  2. Pertencen al periodo 1945-2018
  3. La duración es de 60 minutos o menos.
  4. La intensidad (mm/hr) es comparativamente mayor
- V) La selección se efectúa por la intersección de subconjuntos 1,2, 3 y 4 (Figura 30-b)

Las precipitaciones que mantienen al menos 2 de las características anteriores, son consideradas de Cambio Climático

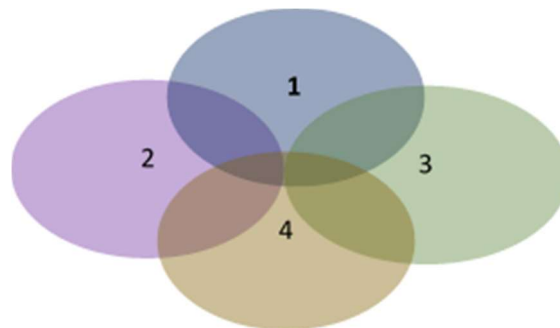


Figura 32 – b.- Esquema de trazo de intersección de subconjuntos 1,2,3 y 4 para la selección de precipitaciones de Cambio Climático

- V) Se aplica la distribución de probabilidades, extendiendo la duración de la tormenta Pcc a 24 horas.

Las tormentas asociadas al Cambio Climático se acotaron bajo el criterio de ubicar valores atípicos en las anomalías de precipitación. Para lo cual se efectuó el cálculo de las anomalías estandarizadas con la ecuación (60).

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{s_x} = \frac{x'}{s_x} \quad (60)$$

Donde:

x: valor puntual

$\bar{x}$  : promedio

$s_x$ : desviación estándar

En la Tabla 47 se enlistan las cifras conseguidas después de aplicar la ecuación (60) a los registros de la estación climatológica 19054

Tabla 47.- Cálculo de anomalías de precipitación. Estación climatológica 19054

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1948	-0.649	0.851	-0.033	0.125	-0.638	-0.024	-0.034	1.386	0.067	-0.293	-0.295	-0.809
1949	0.593	-0.134	0.047	0.856	-0.470	-0.103	-0.291	-0.548	-0.591	-0.903	-0.673	0.139
1951	-0.543	-0.786	1.326	0.466	1.378	-0.433	-0.409	-0.559	0.968	-0.112	-0.264	-0.663
1952	-0.808	-0.786	-0.273	0.076	0.090	0.971	-0.444	-0.806	-0.627	-1.160	-0.469	-0.517
1953	-0.808	0.808	-0.033	-0.168	-1.086	-0.550	-0.391	-0.576	-0.671	-0.779	-0.673	0.139
1954	-0.808	-0.206	-0.592	-0.070	-0.974	-0.477	-0.302	-0.367	-0.649	0.365	-0.367	-0.809
1955	-0.781	-0.351	-0.592	-0.655	0.482	-0.550	-0.159	-0.313	-0.218	1.699	-0.673	-0.809
1956	-0.808	-0.786	-0.273	-0.363	-0.078	-0.550	-0.444	-0.767	-0.541	-1.160	0.655	0.357
1957	-0.808	0.228	-0.113	1.294	-0.190	-0.258	-0.444	-0.806	-0.477	-0.398	0.144	0.357
1958	-0.411	0.663	-0.592	0.125	-0.974	0.035	-0.444	1.386	0.062	0.746	-0.367	0.649
1959	0.250	1.387	0.686	0.125	-1.053	0.035	-0.402	-0.258	-0.433	-0.207	0.349	-0.809
1960	-0.808	-0.061	-0.592	0.125	-0.526	-0.550	-0.444	-0.258	-0.261	0.746	0.349	0.649
1961	-0.411	-0.786	-0.592	-0.655	0.090	-0.243	-0.088	0.290	-0.692	-1.160	-0.673	-0.809
1963	-0.808	-0.786	-0.592	0.904	1.938	-0.229	-0.444	-0.806	0.644	-0.207	-0.367	0.795
1964	2.232	-0.786	-0.592	-0.655	-0.526	-0.550	-0.088	-0.258	-0.541	-0.016	1.473	0.941
1965	-0.808	0.953	-0.576	0.904	-1.086	-0.404	-0.248	-0.806	-0.541	-0.112	-0.264	0.649
1966	0.382	-0.786	-0.592	-0.655	1.154	-0.024	-0.444	-0.093	-0.627	0.746	-0.673	0.212
1967	1.307	1.242	1.486	-0.655	-1.086	-0.550	-0.444	2.482	1.895	0.937	-0.469	-0.809
1969	-0.411	-0.786	-0.592	-0.655	0.706	-0.170	-0.088	0.345	-0.692	-1.160	0.144	2.107
1970	-0.808	-0.786	-0.592	-0.655	0.706	0.269	0.198	-0.806	0.127	-1.160	-0.673	-0.809
1971	1.175	-0.786	1.006	-0.655	-1.086	1.673	-0.444	2.482	-0.369	0.746	-0.673	-0.809
1972	-0.808	-0.786	1.805	-0.655	1.826	0.327	-0.444	0.235	-0.369	-0.302	0.247	-0.809
1973	1.836	0.518	-0.592	-0.655	-0.414	0.620	-0.444	-0.258	0.709	3.320	-0.673	-0.809
1975	-0.808	1.822	-0.592	-0.655	0.370	-0.550	0.733	1.057	-0.541	-0.016	-0.673	3.856
1976	-0.808	-0.786	-0.273	0.514	1.154	0.035	1.697	-0.806	-0.261	-1.017	4.437	1.378
1977	-0.411	-0.496	-0.592	-0.460	0.482	-0.053	-0.159	0.016	0.601	-1.160	-0.673	-0.809
1978	1.836	-0.786	-0.592	-0.655	-1.086	1.205	0.055	-0.313	2.326	0.174	-0.673	-0.809
1979	-0.808	-0.351	0.047	-0.363	-0.638	0.152	-0.159	-0.532	-0.477	-1.160	-0.367	1.961
1980	-0.543	1.532	-0.592	-0.557	-0.862	-0.433	-0.195	1.496	-0.606	-0.207	1.064	-0.517
1981	1.175	-0.206	0.686	2.015	2.554	0.473	-0.284	0.345	-0.002	0.174	-0.673	-0.590
1982	-0.808	-0.206	-0.273	0.417	-0.638	-0.492	0.305	-0.696	-0.692	2.462	0.144	0.649
1985	1.043	-0.206	-0.592	4.802	2.722	0.035	0.091	-0.313	-0.369	0.270	-0.673	-0.517
1987	0.382	3.705	-0.592	1.002	0.034	-0.463	-0.337	0.181	0.623	-0.684	-0.162	0.066
1988	0.514	-0.047	-0.592	2.074	-0.190	-0.112	-0.123	-0.093	5.494	-1.160	-0.673	-0.809
1989	-0.015	-0.206	-0.592	0.027	-1.086	-0.550	-0.444	-0.367	-0.390	-0.493	1.371	2.253
1990	-0.147	0.083	1.326	-0.655	1.154	-0.346	-0.337	-0.258	-0.477	0.746	-0.673	-0.809
1991	-0.411	-0.351	-0.433	-0.655	-0.302	0.210	-0.266	-0.641	-0.261	-0.493	-0.673	0.795
1992	3.026	0.518	0.527	0.125	0.482	-0.550	-0.195	-0.313	-0.455	-0.398	0.553	1.086
1993	3.026	-0.206	1.326	-0.655	-0.414	0.795	-0.444	-0.093	-0.002	0.746	-0.264	-0.517
1994	-0.543	-0.786	0.047	0.320	0.594	-0.550	-0.444	-0.532	-0.692	0.174	-0.469	0.941
1996	0.646	-0.786	-0.592	-0.655	-0.078	-0.550	-0.373	0.071	-0.433	1.032	-0.162	-0.794
1997	0.382	0.663	4.363	1.781	-0.414	-0.433	-0.444	-0.806	-0.347	-0.684	1.575	0.357
1998	-0.808	1.822	-0.592	-0.655	0.146	-0.199	-0.302	-0.258	1.011	0.746	-0.060	-0.809
1999	-0.808	-0.786	-0.592	-0.655	-1.086	-0.346	-0.337	-0.313	0.687	-0.588	-0.673	-0.809
2000	-0.543	-0.496	0.367	-0.655	-0.526	0.473	-0.444	0.728	-0.606	1.318	2.904	0.066
2001	0.117	1.967	3.244	-0.557	-0.414	-0.550	-0.444	0.290	-0.261	-0.207	0.144	-0.226
2002	-0.808	-0.786	-0.592	-0.655	-0.862	-0.550	1.054	-0.806	0.752	1.032	0.042	-0.809
2003	-0.411	2.112	-0.592	-0.655	-0.806	-0.316	-0.123	4.674	-0.002	1.890	-0.469	-0.663
2005	0.250	-0.061	0.047	-0.460	1.154	-0.550	5.729	-0.422	-0.541	1.223	1.371	-0.809
2006	0.382	-0.786	0.047	-0.655	-1.086	0.152	0.662	-0.422	0.429	-0.779	-0.469	0.649
2008	-0.279	-0.786	-0.592	-0.265	1.826	-0.521	-0.266	0.016	0.019	-0.684	-0.673	-0.517
2009	-0.411	-0.786	-0.113	-0.655	0.482	-0.550	0.269	-0.477	-0.196	-0.398	1.780	0.357
2010	0.778	-0.786	-0.592	0.904	0.258	6.206	3.124	0.071	0.192	-1.160	-0.673	-0.809
2011	-0.676	-0.786	-0.592	-0.655	-1.086	0.122	-0.409	-0.806	-0.692	-0.874	-0.673	-0.517



De las cantidades resultantes, aquellas tormentas que presentaron tres desviaciones estándar, tanto positivas como negativas y que no figuraron en la muestra de tormentas ciclónicas, obtenidas del cálculo probabilístico tradicional, se consideraron como tormentas asociadas al Cambio Climático, como se representa en el diagrama de Venn de la Figura 32.

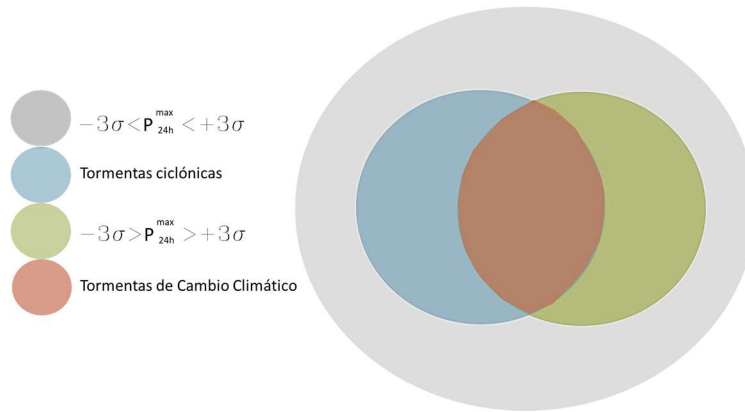


Figura 32.- Diagrama de Venn de criterio de selección de tormentas asociadas al Cambio Climático

De la Figura 33 y Tabla 48 se afirma que la mayoría de valores atípicos se presentaron a partir del año 1985 en la estación climatológica 19054.

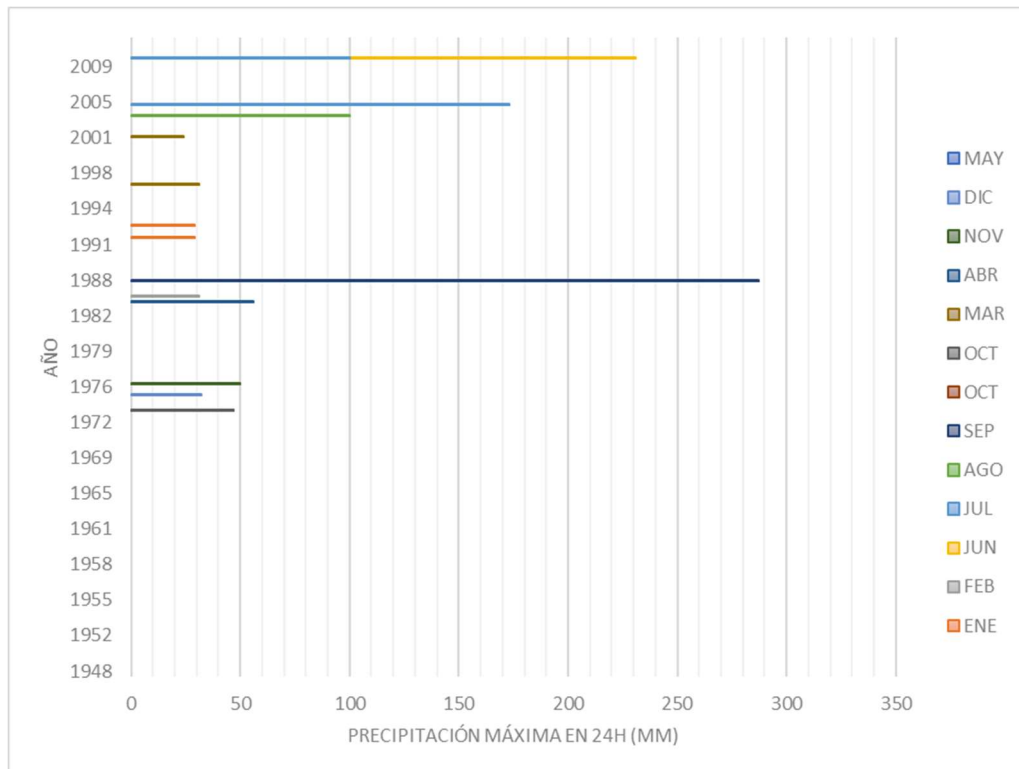


Figura 33.- Valores atípicos de la muestra de tormentas ciclónicas. Estación 19054

Tabla 48.- Valores atípicos de precipitación. Estación 19054. Se resalta en amarillo los valores que cumplen los criterios de selección de tormentas asociadas al Cambio Climático

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1948	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1951	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1952	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1953	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1957	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1958	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1959	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1960	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1961	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1963	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1964	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1965	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1967	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1970	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1972	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1973	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0
1975	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
1976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0
1977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1978	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1979	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	56	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	0	0	0	0	0	0	0	0	287	0	0	0
1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	173	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	231	100	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### III.6. Aplicación de la distribución probabilística para mezcla de tres muestras de poblaciones de datos

Siguiendo el procedimiento descrito en el apartado II.6 y empleando las ecuaciones (53) y (53-1) a (53.7) se tabularon, para cada una de las estaciones seleccionadas, los resultados de la población convectiva, ciclónica y anómala. Esta última corresponde al valor calculado para las tormentas de Cambio Climático (ver Tabla 49).

Tabla 49.- Cálculo de la distribución probabilística para mezcla de tres muestras de poblaciones de datos

ESTACIÓN 19054											
POBLACIÓN CONVECTIVA			POBLACIÓN CICLÓNICA			POBLACIÓN ANÓMALA					
n	Media	S	n	Media	S	n	Media	S			
45	32.99	19.24	10	132.3636364	63.58	9	6.09	14.30			
n1+n2+n3 =		64	p1 =		0.70	p2 =		0.16			
p3 =		0.14	μ =		0.54580	μ =		0.49520			
σ =		1.15185	σ =		0.94970	σ =		0.9288			
MOMENTOS			MOMENTOS			MOMENTOS					
M0 =	32.9889	m3/s	(m3/s) M0 =	145.6000	m3/s	(m3/s) M0 =	36.5556	m3/s			
M1 =	15.5088	m3/s	M1 =	62.1667	m3/s	M1 =	20.5556	m3/s			
M2 =	433.37	m3/s	M2 =	332.80	m3/s	M2 =	110.77	m3/s			
CRV =	642.80791		CRV =	40.10		CRV =	-64.92				
Parámetro de escala	α1 =	-2.8439	m3/s	Parámetro de escala	α2 =	-30.6813	m3/s	Parámetro de escala	α3 =	6.5723	m3/s

Tabla 50.- Precipitación asociada a periodos de retorno de 2,5,10,50,100,1000 y 2000 años

x03	α3	β3	1/β3	1/β3-1	x	x-x0	p3	(1-p1-p2)/α3	$\left(\frac{1-p1-p2}{\alpha_3}\right) \left[1 - \frac{(x-x_0)\beta_3}{\alpha_3}\right]^{\frac{1}{\beta_3}-1} * \exp\left\{-\left[1 - \frac{(x-x_0)\beta_3}{\alpha_3}\right]^{\frac{1}{\beta_3}}\right\}$	f(xi)	Tr	
mm					mm/24h						años	
32.76	872.97	316.83	0.00316	-0.9968	35.517	2.76	0.14	0.00016109	1.3214	0.971867755	0.378375912	2.00
	872.97	316.77	0.00316	-0.9968	90.999	2.76	0.14	0.00016109	0.5301	0.974678337	0.377313949	5.00
	872.97	316.68	0.00316	-0.9968	157.379	2.76	0.14	0.00016109	0.2656	0.976806804	0.376511704	10.00
	872.97	315.93	0.00317	-0.9968	283.744	2.76	0.14	0.00016109	0.0534	0.981741268	0.374658398	50.00
	872.97	314.99	0.00317	-0.9968	335.070	2.76	0.14	0.00016109	0.0267	0.983850108	0.373869136	100.00
	872.97	307.48	0.00325	-0.9967	452.601	2.76	0.14	0.00016109	0.0054	0.988620383	0.372089926	500.00
	872.97	298.09	0.00335	-0.9966	502.962	2.76	0.14	0.00016109	0.0027	0.990564849	0.371367113	1000.00
	872.97	279.31	0.00358	-0.9964	553.271	2.76	0.14	0.00016109	0.0013	0.992393516	0.370688627	2000.00

Los resultados del cálculo arrojan un incremento en los milímetros de precipitación que van de 3% hasta 16.9% para los diferentes periodos de retorno. En la Tabla 50 se despliegan los valores de la precipitación asociada a periodos de retorno de Tr= 2, 5, 10, 50, 100, 1000 y 2000 años. En el Anexo D se muestran de manera tabular, los resultados para el resto de las estaciones climatológicas.

### III.7. Revisión de la operación hidrológica de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas” bajo condiciones de Cambio Climático ante riesgos de inundación

Subsecuente al cálculo de probabilidad de ocurrencia de tormentas asociadas al Cambio Climático y avenidas máximas, se midió la curva de gasto del vertedor y la curva de capacidades de

almacenamiento del vaso de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas”, con base en la topografía obtenida por medio del Sistema de Información Geográfica Global Mapper 20 y en los planos proporcionados por CONAGUA, los cuales se disponen en el Anexo F.

DATOS DE LA PRESA ROMPEPICOS " CORRAL DE PALMAS"

Gasto máximo de descarga =	3350	m <sup>3</sup> /s	3350		
Carga sobre la cresta =	8.75	m			
N.A.M.E., Elev.=	915.30	msnm	915.3	N.A.MIN.O.,Elev	855 msnm
N.A.M.O.,Elev.=	906.55	msnm	906.55		

Para conocer el gasto se utilizó la ecuación (61).

$$Q = C * L * H^{3/2} \tag{61}$$

Donde:

Q: gasto de diseño, m<sup>3</sup>/s

C: coeficiente del vertedor

L: longitud de la cresta,m

H: carga de siseño, m

Sustituyendo en (61), el gasto resultante fue de Q=3350 m<sup>3</sup>/s (ver Tabla 51)

Tabla 51.- Gasto de diseño

C	L m	H m	H <sup>3/2</sup>	Q m <sup>3</sup> /s
2.157	60	8.75	25.88	3350.00

Luego, se obtuvo la curva de gastos-elevaciones (Figura 34) graficando la Tabla 52.

Tabla 52.- Curva de gastos

C	L m	H m	H <sup>3/2</sup>	Q m <sup>3</sup> /s	ELEVACIÓN msnm
2.16	60.00	0	0	0	906.55
2.16	60.00	1.00	1.00	129.43	907.55
2.16	60.00	2.00	2.83	366.08	908.55
2.16	60.00	3.00	5.20	672.53	909.55
2.16	60.00	4.00	8.00	1035.43	910.55
2.16	60.00	5.00	11.18	1447.06	911.55
2.16	60.00	6.00	14.70	1902.22	912.55
2.16	60.00	7.00	18.52	2397.06	913.55
2.16	60.00	8.00	22.63	2928.65	914.55
2.16	60.00	8.75	25.88	3350.00	915.30

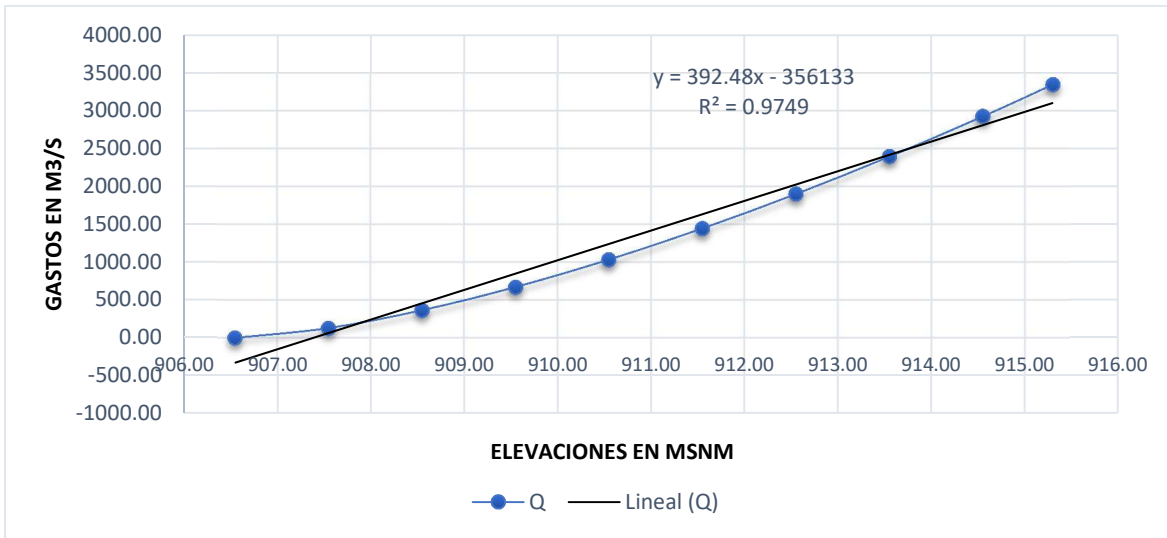


Figura 34.- Curva de gastos-elevaciones

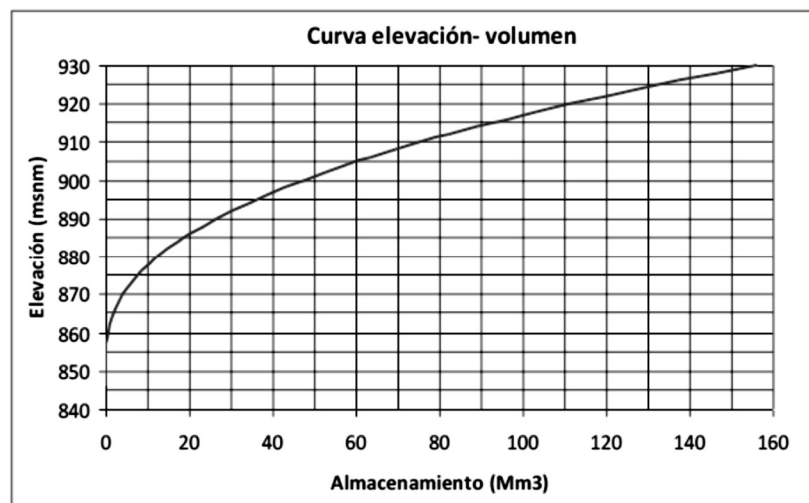


Figura 35.-Curva elevación-volumen. Fuente: Impactos del Huracán Alex en el Río Santa Catarina 2010; CONAGUA Tecnológico de Monterrey

Después de obtenidas y elaboradas las curvas de caudal-elevación y elevación-almacenamiento (Figura 35) se procedió al análisis del funcionamiento de la presa rompepicos, tal como se describe en la Figura 36.

$Q_t^{\text{desfogue}}$	0	cuando	$S_{t-1} + Q_t^{\text{in}} = 0$	
	$S_{t-1} + Q_t^{\text{in}}$	cuando	$0 < S_{t-1} + Q_t^{\text{in}} \leq 838$	(en volumen)
	838 (en volumen)	cuando	$S_{t-1} + Q_t^{\text{in}} \geq 838$	(en volumen)
$Q_t^{\text{vertedor}}$	0	cuando	$S_{t-1} + Q_t^{\text{in}} \leq S^{906.55 \text{ msnm}}$	
	curva de Almacenamiento	cuando	$S^{906.55 \text{ msnm}} < S_{t-1} + Q_t^{\text{in}} \leq S^{\text{capacidad}}$	
	3350 (en volumen)	cuando	$S_{t-1} + Q_t^{\text{in}} \geq S^{\text{capacidad}}$	
Donde				
$S =$		storage, almacenamiento		
$\Delta S_t =$		$I_t - O_t$		
$\Delta S_t =$		$S_t - S_{t-1}$		
$I_t =$		$Q_t^{\text{in}}$		
$O_t =$		$Q_t^{\text{desfogue}} + Q_t^{\text{vertedor}}$		
$S_t - S_{t-1} =$		$Q_t^{\text{in}} - [Q_t^{\text{desfogue}} + Q_t^{\text{vertedor}}]$		
$S_t =$		$S_{t-1} + Q_t^{\text{in}} - [Q_t^{\text{desfogue}} + Q_t^{\text{vertedor}}]$		

Figura 36.- Funcionamiento de la presa rompepicos

Posteriormente se elaboró un modelo de tránsito de avenidas (Tabla 53) que representa los gastos, salidas y almacenamientos de la presa para 3 grupos de escenarios:

- El primer grupo contiene los hidrogramas para 2, 5, 10, 50, 100, 500, 1000 y 2000 años de periodo de retorno obtenidos con el método tradicional.
- El segundo, trata el registro de hidrogramas históricos. Como ejemplo, se evalúa el hidrograma generado durante el huracán Gilberto en el año 1988.
- Por último, el tercer grupo emplea los hidrogramas de 10, 50 y 100 años de periodo de retorno que implementan las tormentas de Cambio Climático.

Tabla 53.- Valores de los hidrogramas

Unidades: m<sup>3</sup>/s  
 Karla Tovar Garcia  
 09/09/2019

		TR	2	5	10	50	100	500	1000	2000	$\Delta 3\%$ TCC 10 1.1	$\Delta 10\%$ TCC 50 1.1	$\Delta 16.9\%$ TCC 100 1.1	TCC 500 1.1	TCC 1000 1.1	TCC 2000 1.1	
SERIE DE TIEMPO	DATOS DE ENTRADA	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Paso de tiempo		1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0:00	0.0001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1:00	35.515	35.52	1.80	5.54	10.45	26.16	34.45	48.58	58.83	65.98	11.49	28.77	37.90	53.44	64.72	72.58
3	2:00	315.122	315.12	7.20	22.17	41.80	104.62	137.81	194.32	235.33	263.92	45.98	115.08	151.59	213.75	258.86	290.32
4	3:00	2944.31	2944.31	21.59	66.50	125.39	313.86	413.43	582.95	705.99	791.77	137.93	345.25	454.78	641.24	776.59	870.95
5	4:00	5587.051	5587.05	51.10	157.38	296.76	742.81	978.46	1379.64	1670.85	1873.87	326.43	817.09	1076.31	1517.61	1837.93	2061.25
6	5:00	5753.006	5753.01	87.08	268.21	505.74	1265.92	1667.52	2351.22	2847.50	3193.49	556.32	1392.51	1834.27	2586.34	3132.25	3512.84
7	6:00	5311.912	5311.91	120.27	370.43	698.47	1748.34	2302.98	3247.23	3932.63	4410.47	768.32	1923.17	2533.28	3571.96	4325.90	4851.52
8	7:00	4835.638	4835.64	147.85	455.40	858.70	2149.39	2831.26	3992.11	4834.73	5422.19	944.57	2364.33	3114.39	4391.32	5318.21	5964.40
9	8:00	4414.454	4414.45	161.45	497.27	937.65	2347.01	3091.57	4359.15	5279.25	5920.71	1031.41	2581.71	3400.73	4795.07	5807.17	6512.78
10	9:00	3886.663	3886.66	151.53	466.73	880.06	2202.86	2901.70	4091.43	4955.01	5557.08	968.07	2423.15	3191.87	4500.57	5450.52	6112.79
11	10:00	3332.149	3332.15	131.54	405.15	763.96	1912.25	2518.89	3551.66	4301.32	4823.96	840.35	2103.47	2770.78	3906.83	4731.45	5306.35
12	11:00	2820.536	2820.54	111.55	343.58	647.85	1621.63	2136.08	3011.90	3647.62	4090.83	712.64	1783.80	2349.69	3313.08	4012.39	4499.92
13	12:00	2521.229	2521.23	91.56	282.01	531.75	1331.02	1753.27	2472.13	2993.93	3357.71	584.93	1464.12	1928.59	2719.34	3293.32	3693.48
14	13:00	2207.449	2207.45	71.57	220.43	415.65	1040.40	1370.46	1932.36	2340.23	2624.58	457.21	1144.44	1507.50	2125.60	2574.25	2887.04
15	14:00	2061.09	2061.09	51.58	158.86	299.55	749.79	987.65	1392.60	1686.54	1891.46	329.50	824.77	1086.41	1531.86	1855.19	2080.61
16	15:00	2014.201	2014.20	32.59	100.36	189.25	473.70	623.98	879.82	1065.52	1194.99	208.17	521.07	686.38	967.80	1172.08	1314.49
17	16:00	1985.88	1985.88	15.59	48.03	90.56	226.68	298.59	421.02	509.88	571.84	99.62	249.35	328.45	463.12	560.87	629.02
18	17:00	1849.729	1849.73	3.60	11.08	20.90	52.31	68.91	97.16	117.67	131.96	22.99	57.54	75.80	106.87	129.43	145.16

Por otra parte, se fijó un umbral de riesgo de inundación con caudal máximo de 2500 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a la trayectoria del Río Santa Catarina en su paso por la Zona Metropolitana de Monterrey como se indica en la Tabla 54.

Tabla 54.- Registro de caudales máximos para definir el umbral de riesgo de inundación

Umbral de Gasto Máximo m <sup>3</sup> /s	Descripción
1189.308	En Ojinaga
6500.000	Gran Inundación (1909)
<b>2500.000</b>	<b>Río Santa Catarina en zona urbana de Monterrey</b>
2956.000	Huracán Alex (2010)

## IV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos del modelo de tránsito de avenidas aplicados al primer grupo, se despliegan las Figuras 37-41. En el primer grupo, cuyos valores consideran los datos históricos conseguidos de las estaciones climatológicas seleccionadas y de la aplicación del método tradicional para estudios hidrológicos, la sección del Río Santa Catarina, en el tramo que cruza la Zona Metropolitana de Monterrey, apenas cuenta con capacidad suficiente para contener el caudal de salida asociado a un periodo de retorno de hasta 50 años (Figura 38). Sin embargo, el gasto asociado a un periodo de retorno  $T_r$  superior a 50 años ya se considera como caudal de riesgo de inundación, como se observa en las Figura 39 y 40.

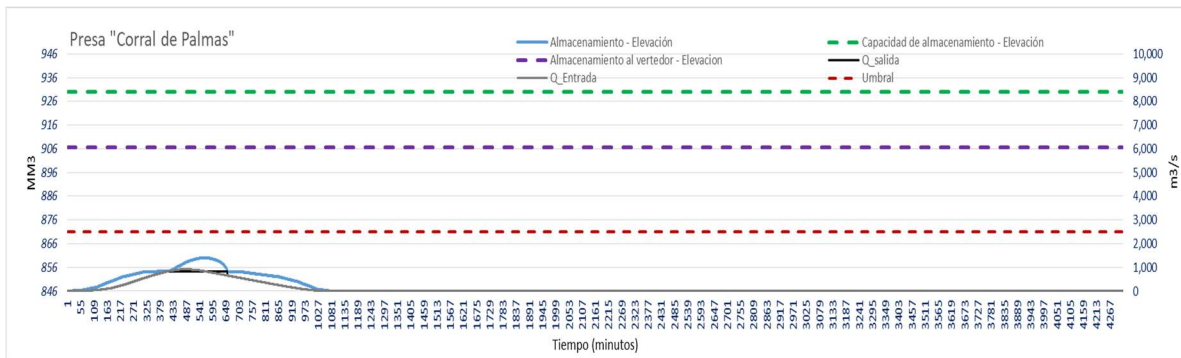


Figura 37.- Operación de la presa Corral de Palmas.  $T_r=10$  años de periodo de retorno

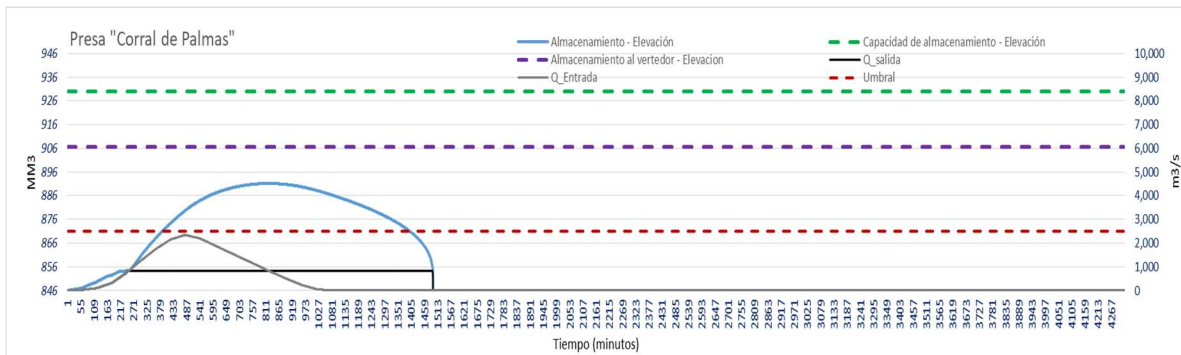


Figura 38.- Operación de la presa Corral de Palmas.  $T_r=50$  años de periodo de retorno



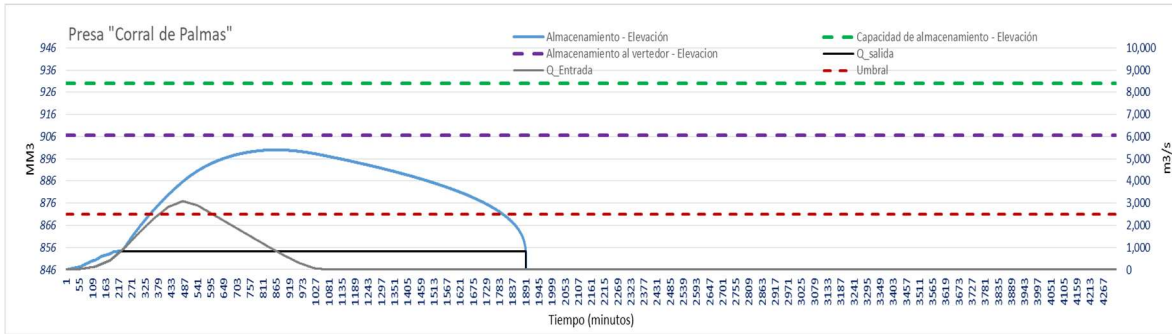


Figura 39.- Operación de la presa Corral de Palmas.  $Tr=100$  años de periodo de retorno

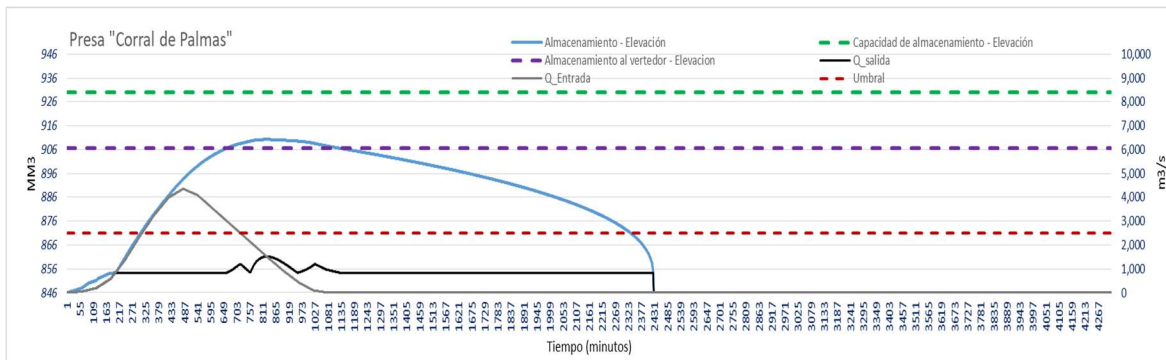


Figura 40.- Operación de la presa Corral de Palmas.  $Tr=500$  años de periodo de retorno

En la Figura 41, que corresponde a  $Tr=1000$  años de periodo de retorno, se aprecia que el caudal de entrada alcanza el umbral de capacidad del Río Santa Catarina en su paso por la Ciudad de Monterrey a los 700 minutos.

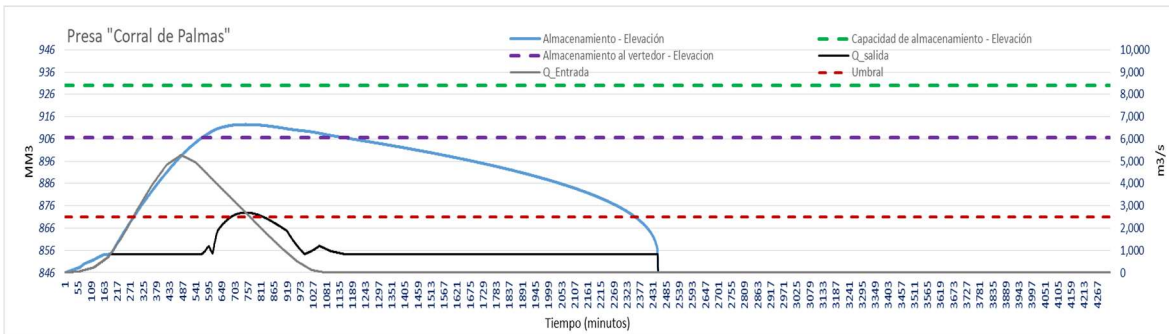


Figura 41.- Operación de la presa Corral de Palmas.  $Tr=1000$  años de periodo de retorno

En cuanto al segundo grupo, el hidrograma del huracán Gilberto cruza, en el gasto de entrada, el umbral de los 2500 m³/s a partir de los 500 minutos y el caudal de salida logra ser mayor a los 5500m³/s (Figura 42). Está bien documentado que dicho huracán produjo una inundación a gran escala, provocando pérdidas materiales, económicas y humanas.

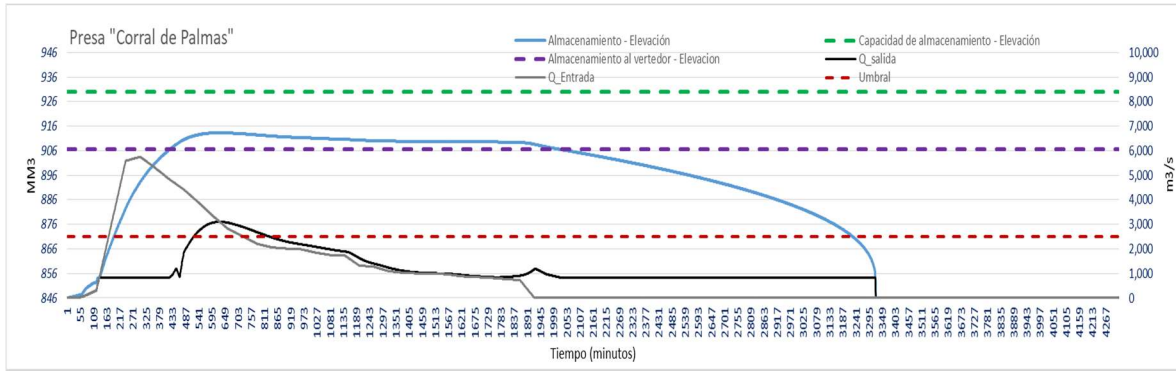


Figura 42.- Operación de la presa Corral de Palmas durante el huracán Gilberto

El tercer grupo que representa las avenidas en condiciones de Cambio Climático se ilustran en las Figuras 43 a 46. Nótese que el caudal de salida sobrepasa el umbral antes de los 50 años de periodo de retorno. En la Figura 44 se aprecia que el caudal de salida, asociado a un  $Tr=50$  años, supera el umbral cerca de los 400 minutos y en el caso del gasto asociado a 100 años de periodo de retorno, el umbral se rebasa alrededor de los 340 minutos (ver Figura 45).

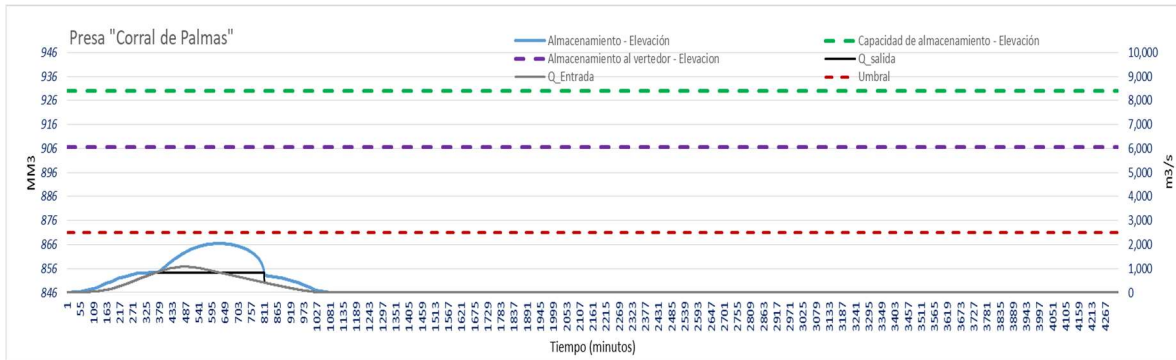


Figura 43.- Operación de la presa Corral de Palmas.  $Tr=10$  años de periodo de retorno en condiciones de Cambio Climático

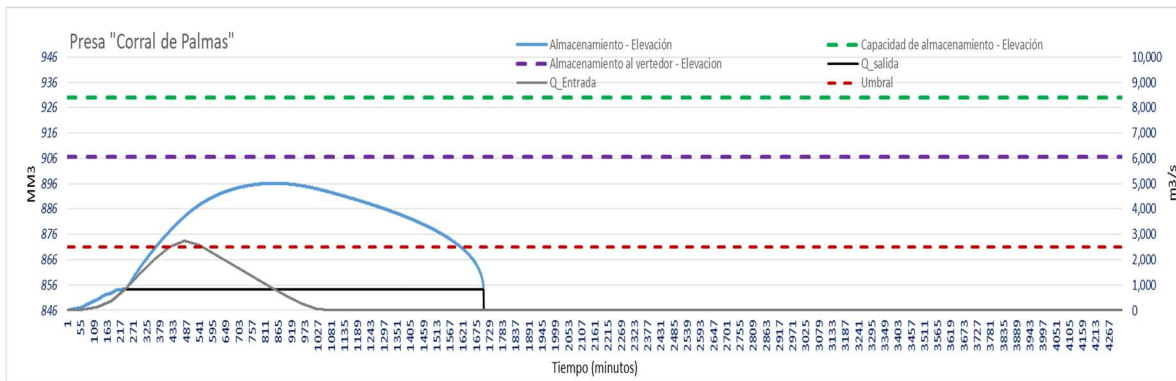


Figura 44.- Operación de la presa Corral de Palmas.  $Tr=50$  años de periodo de retorno en condiciones de Cambio Climático

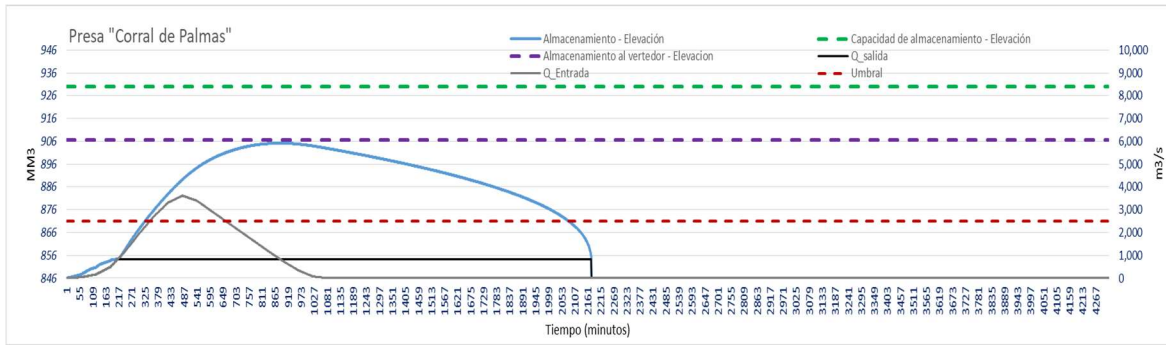


Figura 45.- Operación de la presa Corral de Palmas.  $T_r=100$  años de periodo de retorno en condiciones de Cambio Climático

A partir de los 500 años de periodo de retorno, el caudal de entrada, en condiciones de Cambio Climático) alcanza el umbral de capacidad del Río Santa Catarina a su paso por la Zona Metropolitana de Monterrey (ver Figura 46).

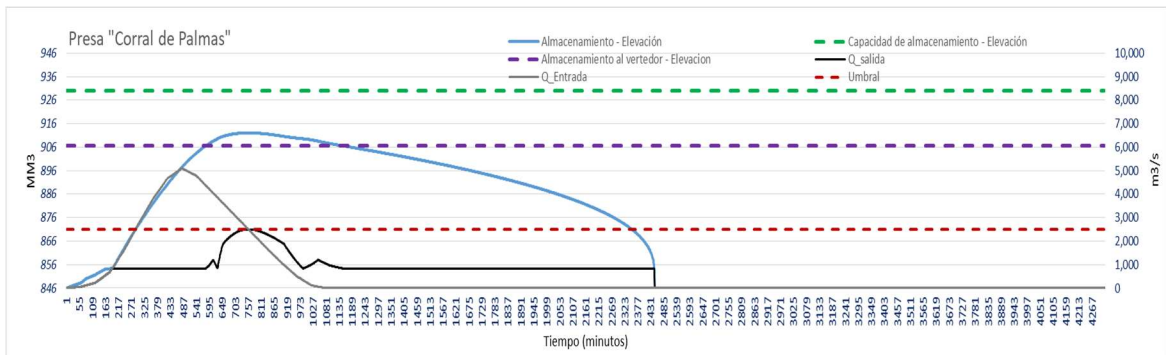


Figura 46.- Operación de la presa Corral de Palmas.  $T_r=500$  años de periodo de retorno en condiciones de Cambio Climático

La información resultante que corresponde a los 3 grupos se presenta detalladamente en el Anexo G.

#### IV.1. Riesgo de inundación por tormentas debidas al Cambio Climático.

De acuerdo a los resultados del modelo de tránsito de avenidas, ponderado con los valores del contexto de análisis histórico, se observa que el riesgo de inundación en la Zona Metropolitana de Monterrey, se gesta al menos cada 50 años. Como se mencionó antes en el apartado III.1.1, los reportes históricos indican que la Ciudad de Monterrey padece inundaciones con una periodicidad de 30 años entre cada evento. Entonces, observando el comportamiento del modelo propuesto en este estudio, se confirma tal declaración. En la Figura 47 se representa un cuadro de riesgos de inundación para periodos de retorno de  $Tr=2, 5, 10, 50, 100, 500, 1000$  y  $2000$  años. Obsérvese que se pronostica la inminencia de inundación con avenidas de  $1000$  años de periodo de retorno.

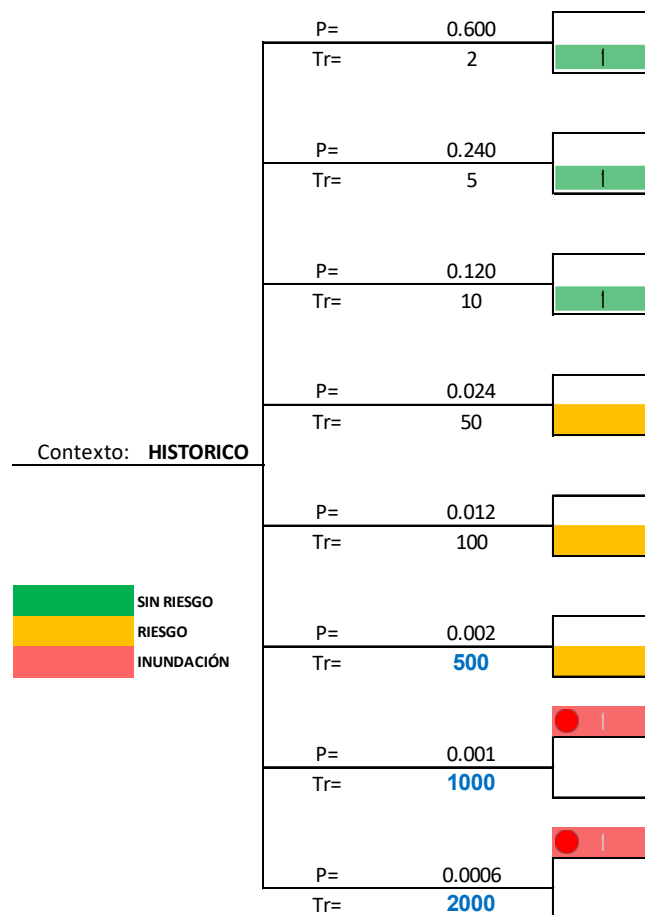


Figura 47.- Cuadro de riesgos de inundación para avenidas de diferentes periodos de retorno

Por otra parte, el análisis para un contexto que contempla Cambio Climático, revela que el riesgo de inundación se producirá con avenidas de periodos de retorno superiores a los 10 años, tal como se ilustra en la Figura 48. El pronóstico apunta a inundaciones inminentes con avenidas de  $Tr=500$  años de periodo de retorno.

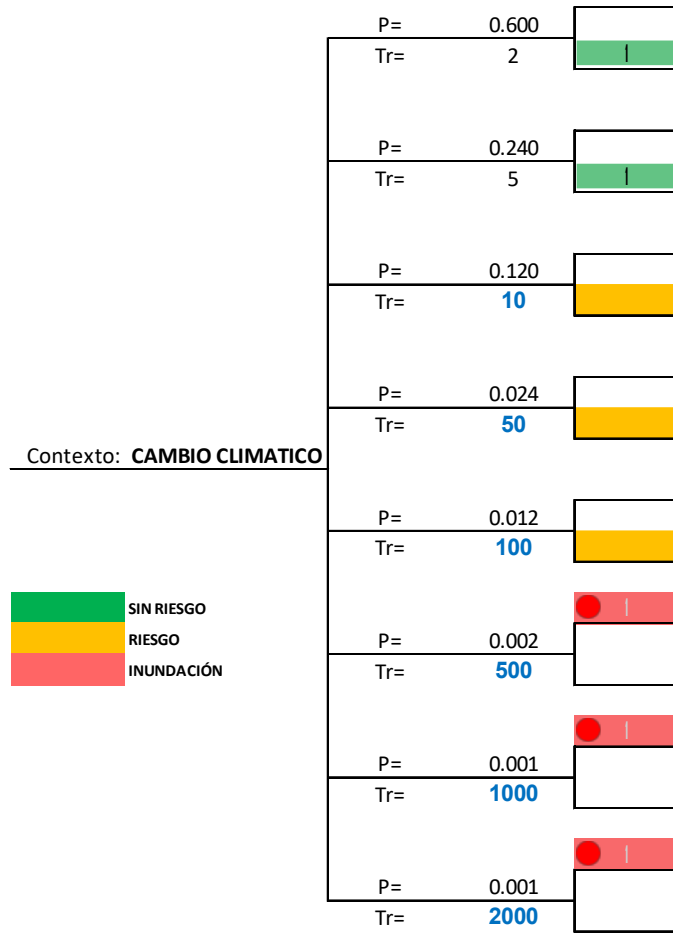


Figura 48.- Cuadro de riesgos de inundación para avenidas de diferentes periodos de retorno que consideran Cambio Climático

## V. CONCLUSIONES

En la cuenca del Río Santa Catarina, las tormentas máximas de lluvia se originan por los fenómenos convectivos de la atmósfera, huracanes y por los efectos de cambio Climático. Las tormentas de Cambio Climático se lograron identificar con el modelo probabilístico de análisis de frecuencias de gastos máximos anuales usando la distribución de valores extremos tipo I para tres muestras de poblaciones de datos, provenientes del universo que contiene tormentas convectivas , ciclónicas y de Cambio Climático.

Se generó una metodología para el cálculo de las tormentas de diseño en el Río Santa Catarina, considerando Cambio Climático y el análisis de riesgo de inundaciones para la ciudad de Monterrey. El tránsito de las tormentas de diseño se evaluó empleando un modelo de operación de la presa Corral de Palmas, comparando los gastos de salida con el gasto de inundación en el cauce principal del Río Santa Catarina a su paso por la ciudad de Monterrey.

Se logró la separación de las muestras de datos en tormentas convectivas, tormentas ciclónicas y tormentas de Cambio Climático, así como la determinación de la precipitación máxima en 24 horas asociada a 2, 5, 10, 50, 100, 500, 1000 y 2000 años de periodo de retorno en la Cuenca del Río Santa Catarina y en la subcuenca de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas”, considerando los valores históricos y empleando el método tradicional de estudios hidrológicos.

Se consiguió separar las muestras de datos en tormentas convectivas, tormentas ciclónicas y tormentas de Cambio Climático, así como la determinación de la precipitación máxima en 24 horas asociada a 2, 5, 10, 50, 100, 500, 1000 y 2000 años de periodo de retorno en la Cuenca del Río Santa Catarina y en la subcuenca de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas”, considerando los efectos del Cambio Climático.

Se determinó el caudal asociado a 2, 5, 10, 50, 100, 500, 1000 y 2000 años de periodo de retorno., considerando los valores históricos y empleando el método tradicional de estudios hidrológicos. Se corroboraron los resultados con la información disponible en CONAGUA.

Se determinó el caudal asociado a 2, 5, 10, 50, 100, 500, 1000 y 2000 años de periodo de retorno, considerando los efectos del Cambio Climático.

Se evaluaron las tormentas de diseño correspondientes a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 50, 100, 500, 1000 y 2000 años en la operación hidráulica de la Presa “Corral de Palmas” frente al riesgo de inundaciones.

Se determinó, dado un periodo de retorno, la frecuencia en la que Monterrey es susceptible a inundarse.

El Río Santa Catarina capta el agua de 32 cañones, lo cual expone a la Ciudad de Monterrey a los constantes desbordamientos del cauce. Históricamente las inundaciones se presentan cada 30 años aproximadamente; sin embargo, al manifestarse el Cambio Climático en la precipitación, estos eventos se agravan, pues según los resultados del modelo empleado en este estudio y la capacidad actual del cauce en el tramo que recorre la Zona Metropolitana de Monterrey, las inundaciones podrían presentarse a partir de los 10 años.

Los resultados de los cálculos indican que las avenidas máximas que se presentan cada 1000 años de periodo de retorno y que no consideran al Cambio Climático, son del orden de  $5279 \text{ m}^3/\text{s}$  en la cuenca de Presa “Corral de Palmas”. La Presa Rompepicos está diseñada para un gasto pico de  $5943 \text{ m}^3/\text{s}$ , por lo que al embate del Cambio Climático se superado su funcionamiento hidrológico, ya que existe un incremento de caudal que va del 3% a 16.9%.

Comparando los resultados arrojados del análisis del contexto histórico, contra los resultados del análisis de los efectos del Cambio Climático, el riesgo de inundación se ve acelerado en la periodicidad de los eventos con avenidas desde 10 años de periodo de retorno, a diferencia de avenidas de 50 años de periodo de retorno cuando no se consideran los efectos de Cambio Climático.

Cotejando los resultados del análisis del contexto histórico con los resultados del análisis de los efectos del Cambio Climático, el vaticinio de la inminencia de inundaciones también se acelera en la periodicidad de eventos a avenidas asociadas a 500 años de periodo de retorno, en contraste con 1000 años de periodo de retorno cuando no se consideran los efectos de Cambio Climático.

En concordancia a los resultados obtenidos en este estudio, debe permitirse un tránsito de volumen de agua de  $5300 \text{ m}^3/\text{s}$  en el cauce del Río Santa Catarina, en su paso por la Zona Metropolitana de Monterrey, para evitar inundaciones, y por consiguiente, las pérdidas materiales, económicas y humanas.

## VI. RECOMENDACIONES

Dados los resultados, se observa que existen condiciones que propiciarán inundaciones a mediano plazo. Es por ello que una de las recomendaciones es la construcción, aguas abajo del desfogue, de presas similares a la Rompepicos “Corral de Palmas” para contener los caudales extraordinarios, dada la creciente urbanización, incluso aquella emplazada donde el río retoma su cauce natural, con el objetivo de proteger a la población e infraestructura de pérdidas humanas y económicas.

Se propone el uso de esta metodología como parte del proceso de adaptación al Cambio Climático ya que puede aplicarse a otras cuencas del territorio mexicano.

Además, con base en los mapas de inundación por periodo de retorno elaborados por CONAGUA, donde se aprecian las zonas con mayor riesgo (Figura 49), se han detectado azolves importantes en el fondo del cauce, como se menciona en la Figura 50, lo que propicia dichos desbordamientos.



Figura 49.- Mapa de inundación por periodo de retorno (CONAGUA,2018)



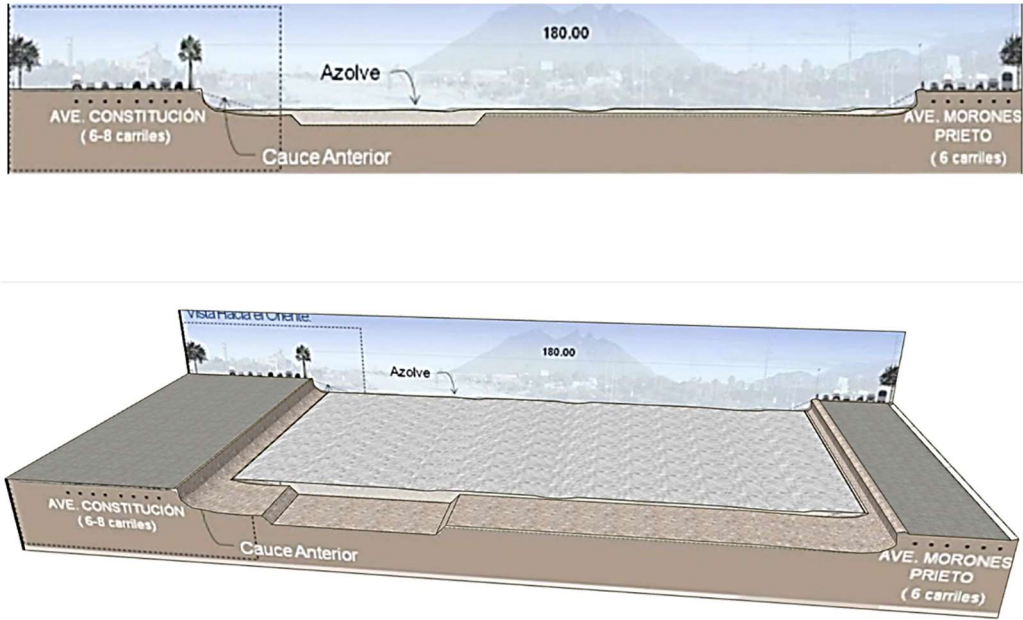


Figura 50.-Sección transversal tipo y vista isométrica del cauce del Río Santa Catarina en su paso por la Zona Metropolitana de Monterrey. Fuente: Propuesta ciudadana de regeneración integral del Río Santa Catarina

Sin embargo, la formación de ecosistemas en estas áreas pueden limitar las acciones de prevención y mitigación de inundaciones. Las propuestas ciudadanas de regeneración integral del Río Santa Catarina sugieren la construcción de muros de contención y trasplantar la vegetación, tal como se muestra en la Figura 51. De esta manera, la vegetación ayudaría a reducir la velocidad de la corriente y colaboraría a mantener la limpieza del cauce para incrementar la profundidad de la sección del canal, maximizando así su capacidad.

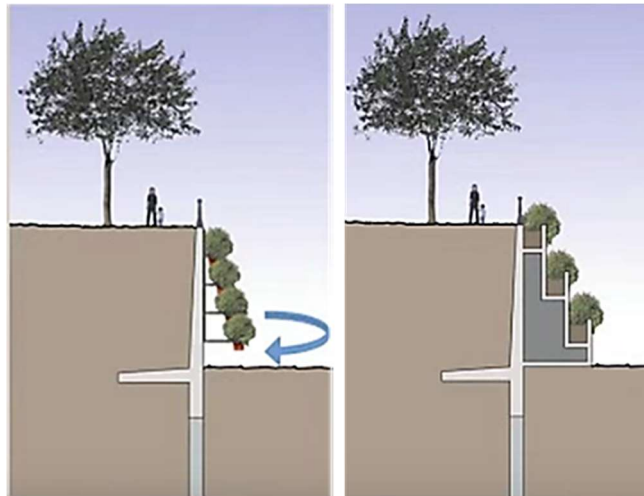


Figura 51.- Alternativa de solución: Muro de contención. Izquierda: Muro colado *in situ*; Derecha: Muro prefabricado. Fuente: Propuesta ciudadana de regeneración integral del Río Santa Catarina

También se propone aumentar la superficie permeable en las zonas con mayor riesgo de inundación, maximizando la infiltración al distribuir la vegetación en puntos estratégicos (ver Figura 52) y reutilizando los sedimentos existentes, lo que ayudará a controlar la erosión de suelo. Con esta medida se pretende reducir la presión de descarga hacia el canal del Río Santa Catarina lo que además permitirá el aprovechamiento de esta infraestructura en beneficio de la sociedad, diseñando un sistema urbano integral de corredores urbanos eco-turísticos, ejemplificados en las Figuras 53 y 54, lo cual producirá beneficios sociales y económicos.

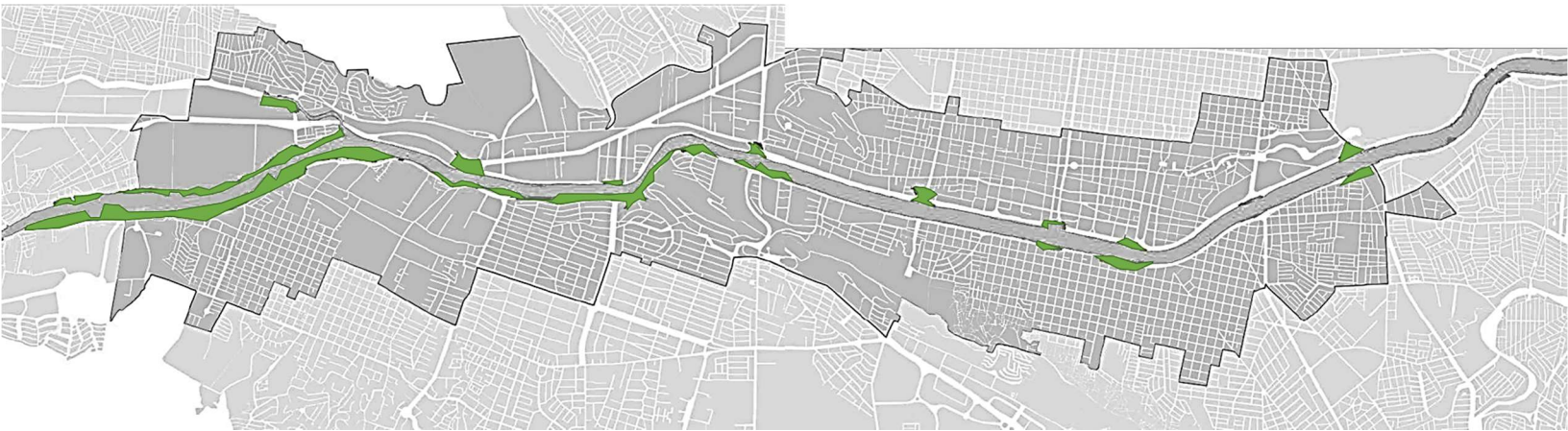


Figura 52.- Propuesta de distribución estratégica de vegetación



Figura 53.- Propuesta de corredores urbanos eco-turísticos. Corte Transversal. Fuente: Concurso público del Corredor Verde, Río Cali, Colombia

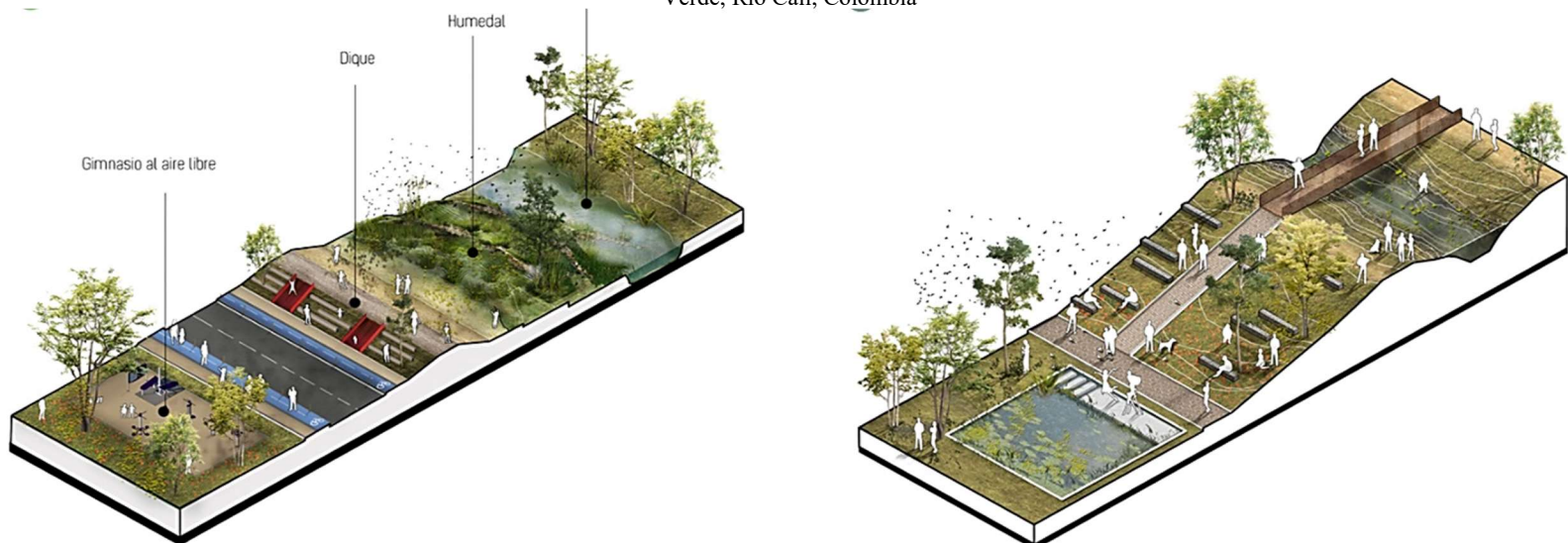


Figura 54.- Propuesta de corredores urbanos eco-turísticos. Vistas isométricas. Fuente: Concurso público del Corredor Verde, Río Cali, Colombia

En la figura 55 se presenta la propuesta de ubicación de las obras de protección y mitigación de inundación, tomando como inicio del kilometraje 0+000.00 el punto donde cruza el límite municipal de la ciudad de Monterrey con el Río santa Catarina.


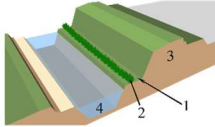


	<p><b>OBRA</b></p> <p>Check dam 1 Check dam 2</p>	<p><b>UBICACIÓN</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Longitud</th> <th>Latitud</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-100.4583° W</td> <td>25.6458°N</td> </tr> <tr> <td>-100.4610° W</td> <td>25.6191°N</td> </tr> </tbody> </table>		Longitud	Latitud	-100.4583° W	25.6458°N	-100.4610° W	25.6191°N		
Longitud	Latitud										
-100.4583° W	25.6458°N										
-100.4610° W	25.6191°N										
	<p><b>OBRA</b></p> <p><b>berma y dique</b></p>	<p><b>KILOMETRAJE</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>M. DER</th> <th>M. IZQ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2+560.00 a 7+260.00</td> <td>2+560.00 a 4+760.00</td> </tr> <tr> <td>8+220.00 a 9+980.00</td> <td>12+580.00 a 13+520.00</td> </tr> <tr> <td>11+360.00 a 13+520.00</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		M. DER	M. IZQ	2+560.00 a 7+260.00	2+560.00 a 4+760.00	8+220.00 a 9+980.00	12+580.00 a 13+520.00	11+360.00 a 13+520.00	
M. DER	M. IZQ										
2+560.00 a 7+260.00	2+560.00 a 4+760.00										
8+220.00 a 9+980.00	12+580.00 a 13+520.00										
11+360.00 a 13+520.00											
	<p><b>Muros de contención</b></p>	<p>7+260.00 a 8+220.00 9+980.00 a 11+360.00</p>	<p>4+760.00 a 12+580.00</p>								
	<p><b>Aumentar la superficie permeable</b></p>	<p>6+920.00 a 9+980.00 10+000.00 a 10860.00</p>	<p>4+980.00 a 8+780.00</p>								

Figura 55.- Propuesta de ubicación de las obras de protección y mitigación de inundación en la Zona Metropolitana de Monterrey

## VII. BIBLIOGRAFÍA

Alejandro Zarco, A.I (2014) ““Memoria de trabajo en la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, CONAGUA”, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Geografía, Toluca, México

Aparicio Mijares Francisco Javier (2007) “Fundamentos de hidrología de superficie”, México, Limusa.

AECOM (2014) “Corredor de Movilidad Sustentable Constitución- Morones Prieto. Plan Maestro”, Consejo Estatal para la Reconstrucción de Nuevo León (CERNL), Nuevo León, Mty.

Ciencia FIC, Revista de divulgación Científica, “Control de inundaciones en zonas urbanas, caso de estudio: Presa rompe picos Corral de Palmas ubicada en Santa Catarina, Nuevo León (México).” Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ingeniería, No. 1 semestral, Enero-Junio 2010

Comisión intersecretarial de Cambio Climático (2009) “Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012”, Instituto Mexicano de Tecnología Agua (IMTA), México.

Estrada Zubía, C.A., et al. (2018),”Propuesta y alternativas para la integración del Río Santa Catarina en Monterrey”, Tecnológico de Monterrey, Escuela de Arquitectura, Artes y Diseño.

Fuentes-Mariles, O. A., et al., "Maximización de la función de Verosimilitud de Distribuciones de Probabilidad usando Algoritmos Genéticos" Ingeniería del Agua, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

García-Valenzuela, L.G.(1999) Paquete Interactivo para Distribuciones de Valores Extremos Mixtas de Tres Poblaciones y sus Aplicaciones en Análisis de Gastos Máximos, Tesis de Licenciatura, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de las Américas, Puebla, 100 págs.

González Villarreal F. J., 1970, “Contribución al análisis de frecuencias de valores extremos de los gastos máximos de un río”. Publ. 277. Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

Guerrero Aguilar, Antonio (2009) ” Historia de las lluvias y el Río Santa Catarina”, México.

Guido Aldana Pedro (2017) “Cambio climático: selección, clasificación y diseño de medidas de adaptación” IMTA, Jiutepec, Morelos.

Hennegriff W.(2007)“Climate change and floods – findings and adaptation strategies for flood protection in Baden-Württemberg”, Water Science & Technology Vol. 56 No 4 IWA Publishing.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2010). “Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Volumen III. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático.” Coordinadores generales Polioptro F.Martínez Austria y Carlos Patiño Gómez. Jiutepec, Morelos.

IPCC (2007a) Technical Summary. Climate Change 2007: The physical sciences basis. Report of the Group I of the IPCC.

Knutson Thomas and Tuleya Robert, (2004) “Impact of CO<sub>2</sub> induced warming on simulated intensity and precipitation: sensitivity to choice of climate model and convective parametrization”, Journal of Climate .

Kuichling, E. (1889). "The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. Transactions, American Society of Civil Engineers 20", 1-56.

Landa, R., B. Ávila y M. Hernández. (2010). "Cambio Climático y Desarrollo Sustentable para América Latina y el Caribe. Conocer para Comunicar. British Council, PNUD, México, Cátedra UNESCO-IMTA, FLACSO México.

Magallanes Patiño, Jesús (2016) "Cambio climático: evaluación de medidas de adaptación" Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Mor. , México.

Magaña Rueda Víctor (2010), "Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones", UNAM.

Mariles, Oscar Arturo; Et. Al. (2014) "Caracterización fluvial e hidráulica de las inundaciones en México. Zona de estudio Área Metropolitana de Monterrey: Ríos Pesquería, Santa Catarina y San Juan", Comisión Nacional del Agua, México.

Martínez A. Polioptro F. (2007), "Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México", Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Martínez A. Polioptro F. y Aguilar Chávez Ariosto (2008), "Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México Volumen II", Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Martínez Austria, Polioptro F. , Patiño Gómez, Carlos(2010), " Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Volumen III. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático" Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; Morelos, México.

Monsalve Sáenz, Germán (1999), "Hidrología en la Ingeniería", Alfa Omega, Segunda Edición, México.

Montero Martínez, Martín José , Et. Al (2010) ""Escenarios climáticos en México proyectados para el siglo XXI: precipitación y temperaturas máxima y mínima. Capítulo 2, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; Morelos, México" Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México , Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (Cicese).

Montero, Martín et al., (2017) La cuenca del río Conchos: una mirada desde las ciencias ante el cambio climático, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

NERC, Natural Environment Research Council (1975) Flood Studies Report, I, Hydrologic Studies, Whitefriars Press Ltd., London, 51.

Navarro Pineda, J.M. y Lacy Tamayo, R. (1987), "Ordenamiento Ecológico de la Cuenca del Río San Juan", Proyecto Interdisciplinario de Medio Ambiente y Desarrollo Integrado, Instituto Politécnico Nacional, Secretaría Académica, México.

Peña Ramírez Jaime (2012) "Crisis del Agua en Monterrey, Guadalajara, San Luis Potosí, León y la Ciudad de México (1950-2010)" UNAM, México.

Prieto González, Ricardo , Et. Al (2010), "Impacto del cambio climático en la temporada de lluvias y huracanes tropicales en México. Capítulo 3" Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; Morelos, México.

Raynal, J.A. FLODRO 4.0: A personal computer model for flood frequency analysis. Water Technology and Sciences (in Spanish). Vol. III, No. 2, April-June, 2012, pp. 41-50.

Raynal, J.A. y García, L.G.. (2004), "Análisis de Frecuencias de Gastos Máximos Anuales Usando la Distribución de Valores Extremos Tipo I para Tres Poblaciones". Información Tecnológica, 15(3), 97-104.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2009) "Cambio Climático. Ciencia, Evidencia y Acciones", México.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) Climate Change 2007. Summary for policy makers. Intergovernmental Panel for Climate Change. Geneva, Switzerland.

Valtierra, Antonieta (2013) "Tendencia en el diseño de las presas" INFRAESTRUCTURA. Construcción, Tecnología en Concreto, México.

Ven Te Chow, et al., (1994) "Hidrología Aplicada", Mc Graw Hill.

Xie, P. and P.A. Arkin (1997), "Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical outputs. Bull. Amer. Meteor. Soc.

XVII Simposio Internacional SELPER 2016 CONAGUA, 2010, Comunicado de Prensa No. 156-10, México D.F. 01 de Julio de 2010.

Yáñez Bautista, Silvia (2012), "Análisis de la precipitación y escurrimiento en cinco cuencas de la Región Hidrológica XI Grijalva-Villahermosa, contrastando métodos tradicionales con el modelo japonés de alta resolución" Instituto Politécnico Nacional, México.

Comisión Internacional de Límites de Aguas (CILA).

Red de Modelación Climatológica, coordinada por el Inecc.

Sistema Meteorológico Nacional (SMN).

Stockholm Environment Institute.

University of California Davis; Water Management Research Lab at the Department of Land Air and Water Resources; Davis CA, USA.

<http://albers.mty.itesm.mx/proyectos/riosantacatarina/indexstacatarina.html>

<http://albers.mty.itesm.mx/proyectos/riosantacatarina/indexstacatarina.html>

<http://sierra-madre-oriental.blogspot.com/2015/08/historia-de-las-lluvias-y-el-rio-santa.html>

<http://www.archdaily.com>

<https://www.e-education.psu.edu/earth103/node/1012>

<https://www.eluniversal.com.mx/nacion/sociedad/el-agua-la-polemica-que-enfrenta-mexico-y-estados-unidos>

[https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/es/faq-3-2.html](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/faq-3-2.html)

<https://www.milenio.com/ciencia-y-salud/sociedad/arquitecto-alerta-futuro-riesgo-inundaciones-rios>

<http://www.plataformaarquitectura.cl>

<https://www.sei.org/centres/us/>

<https://www.weap21.org/>

## VIII. ANEXOS

### A.- Cálculo probabilístico de la Cuenca del Río Santa Catarina Distribución Gumbel II

ESTACIÓN

19002

AGUA BLANCA, SANTA CATAR

MEDIA	S	CICLÓNICA
mm/24hrs	mm/24hrs	mm/24hrs
76.188	74.168	98.438

No.	ANUAL	PRECIPITACION EN mm/ 24 HRS
1	27.00	NO CICLONICO
2	126.00	CICLONICO
3	28.00	NO CICLONICO
4	70.00	NO CICLONICO
5	32.00	NO CICLONICO
6	29.00	NO CICLONICO
7	30.00	NO CICLONICO
8	48.00	NO CICLONICO
9	70.00	NO CICLONICO
10	40.00	NO CICLONICO
11	31.50	NO CICLONICO
12	33.50	NO CICLONICO
13	44.00	NO CICLONICO
14	42.50	NO CICLONICO
15	55.00	NO CICLONICO
16	46.50	NO CICLONICO
17	83.00	NO CICLONICO
18	70.00	NO CICLONICO
19	65.00	NO CICLONICO
20	68.00	NO CICLONICO
21	135.00	CICLONICO
22	30.00	NO CICLONICO
23	250.00	CICLONICO
24	126.00	CICLONICO
25	69.00	NO CICLONICO
26	42.00	NO CICLONICO
27	400.00	CICLONICO
28	65.00	NO CICLONICO
29	60.00	NO CICLONICO
30	110.00	CICLONICO
31	72.00	NO CICLONICO
32	40.00	NO CICLONICO



PRECIPITACION EN mm/ 24 HRS		
#	CICLÓNICO	No. de tormentas
2	126	1
21	135	2
23	250	3
24	126	4
27	400	5
30	110	6

<b>xmed</b>	191.167	<b>No. total de tormentas</b>
<b>S</b>	114.288	6

PRECIPITACION EN mm/ 24 HRS		
#	NO CICLÓNICO	No. de tormentas
1	27	1
3	28	2
4	70	3
5	32	4
6	29	5
7	30	6
8	48	7
9	70	8
10	40	9
11	31.5	10
12	33.5	11
13	44	12
14	42.5	13
15	55	14
16	46.5	15
17	83	16
18	70	17
19	65	18
20	68	19
22	30	20
25	69	21
26	42	22
28	65	23
29	60	24
31	72	25
32	40	26

<b>xmed</b>	49.654	<b>No. total de tormentas</b>
<b>S</b>	17.430	26

CÁLCULO DE PARÁMETROS DE LA DISTRIBUCIÓN GUMBEL II									
ESTACIÓN	$x_m$	S	n	$\sigma_y$	$\mu_y$	$\alpha$	$\beta$	Precipitación	p
19002	191.2	114.3	6	0.9043	0.4843	0.00791	129.95941	ciclónico	NO APLICA
	49.7	17.4	26	1.0961	0.532	0.06289	41.19420	no ciclónico	0.81

PRECIPITACIÓN MÁXIMA		CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA NUEVO LEÓN				MÉTODO GUMBEL II		
x (mm/24hrs)	$-\alpha_1(x - \beta_1)$	$-\alpha_2(x - \beta_2)$	$e^{-\alpha_1(x - \beta_1)}$	$e^{-\alpha_2(x - \beta_2)}$	F(x)	1-p	Tr ( años)	
51.6	-0.652826628	0.620212	0.52057246	1.859322	0.5001	0.4999	2	
83.8	-2.678106627	0.365390	0.068693217	1.441076	0.8000	0.2000	5	
165.0	-7.785613407	-0.277240	0.000415674	0.757873	0.9000	0.1000	10	
405.7	-22.92565978	-2.182171	1.1054E-10	0.112797	0.9800	0.0200	50	
497.0	-28.66195568	-2.903915	3.5668E-13	0.054808	0.9900	0.0100	100	
703.1	-41.62772356	-4.535277	8.34299E-19	0.010724	0.9980	0.0020	500	
791.1	-47.15807123	-5.231109	3.30768E-21	0.005348	0.9990	0.0010	1000	
878.9	-52.67771974	-5.925595	1.32548E-23	0.002670	0.9995	0.0005	2000	

PRECIPITACION EN mm/ 24 HRS		
#	CICLÓNICO	No. de tormentas
2	127	1
9	101	2
13	101	3
23	113	4
26	98	5
31	326	6
44	102	7
45	95	8
50	260	9
53	92	10

<b>xmed</b>	141.530	<b>No. total de tormentas</b>
<b>S</b>	81.938	10

PRECIPITACION EN mm/ 24 HRS		
#	NO CICLÓNICO	No. de tormentas
1	35.4	1
3	9	2
4	51	3
5	57	4
6	54	5
7	50	6
8	70	7
10	63	8
11	58	9
12	60	10
14	26	11
15	45	12
16	83	13
17	40	14
18	20	15
19	80	16
20	40	17
21	80	18
22	60	19
24	62	20
25	86	21
27	85	22
28	54	23
29	42	24
30	83	25
32	56.5	26
33	74	27
34	36	28
35	30	29
36	47	30
37	80	31
38	48	32
39	32	33
40	48.8	34
41	78	35
42	59.5	36
43	83	37
46	32	38
47	60	39
48	66	40
49	41	41
51	63	42
52	32	43
54	69	44

<b>xmed</b>	55.209	<b>No. total de tormentas</b>
<b>S</b>	19.322	44

CÁLCULO DE PARÁMETROS DE LA DISTRIBUCIÓN GUMBEL II									
ESTACIÓN	$x_m$	S	n	$\sigma_y$	$\mu_y$	$\alpha$	$\beta$	Precipitación	p
19018	141.5	81.9	10	0.9497	0.4952	0.01159	98.80526	ciclónico	NO APLICA
	55.2	19.3	44	1.1458	0.5453	0.05930	46.01336	no ciclónico	0.81

PRECIPITACIÓN MÁXIMA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA NUEVO LEÓN, MÉTODO GUMBEL II							
x (mm/24hrs)	$-\alpha_1(x - \beta_1)$	$-\alpha_2(x - \beta_2)$	$e^{-\alpha_1(x - \beta_1)}$	$e^{-\alpha_2(x - \beta_2)}$	F(x)	1-p	Tr (años)
56.7	-0.631372978	0.488477	0.531861292	1.629831	0.5000	0.5000	2
87.0	-2.429491092	0.137021	0.088081791	1.146852	0.8000	0.2000	5
129.2	-4.933733275	-0.352452	0.007199599	0.702963	0.9000	0.1000	10
285.9	-14.22786625	-2.169059	6.62095E-07	0.114285	0.9800	0.0200	50
348.2	-17.92221339	-2.891147	1.64622E-08	0.055513	0.9900	0.0100	100
489.0	-26.27001791	-4.522787	3.90017E-12	0.010859	0.9980	0.0020	500
549.1	-29.83020981	-5.218653	1.10895E-13	0.005415	0.9990	0.0010	1000
609.0	-33.38342435	-5.913155	3.17521E-15	0.002704	0.9995	0.0005	2000

PRECIPITACION EN mm/ 24 HRS		
#	CICLÓNICO	No. de tormentas
8	129	1
18	115	2
19	170	3
25	160	4
27	300	5
32	345	6
47	310	7
50	261	8
51	175	9

<b>xmed</b>	218.333	<b>No. total de tormentas</b>
<b>S</b>	86.032	9

PRECIPITACION EN mm/ 24 HRS		
#	NO CICLÓNICO	No. de tormentas
1	86.5	1
2	52	2
3	80	3
4	77	4
5	77	5
6	79	6
7	55	7
9	36.5	8
10	78.5	9
11	38	10
12	34.5	11
13	67.5	12
14	65.5	13
15	65	14
16	79	15
17	30.5	16
20	22.5	17
21	55.5	18
22	54.5	19
23	46.5	20
24	109	21
26	66	22
28	70	23
29	30	24
30	57	25
31	40	26
33	60	27
34	40	28
35	50	29
36	40.5	30
37	32	31
38	48	32
39	98	33
40	70	34
43	48	35
44	65	36
45	92	37
46	57	38
48	95	39
49	65	40
52	77.5	41
53	82	42
0	0	43

<b>xmed</b>	59.826	<b>No. total de tormentas</b>
<b>S</b>	22.456	43

CÁLCULO DE PARÁMETROS DE LA DISTRIBUCIÓN GUMBEL II									
ESTACIÓN	$x_m$	S	n	$\sigma_y$	$\mu_y$	$\alpha$	$\beta$	Precipitación	p
19033	218.3	86.0	9	0.9288	0.4902	0.01080	172.92757	ciclónico	NO APLICA
	59.8	22.5	43	1.1458	0.5448	0.05102	49.14817	no ciclónico	0.83

PRECIPITACIÓN MÁXIMA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA NUEVO LEÓN, MÉTODO GUMBEL II							
x (mm/24hrs)	$-\alpha_1(x - \beta_1)$	$-\alpha_2(x - \beta_2)$	$e^{-\alpha_1(x - \beta_1)}$	$e^{-\alpha_2(x - \beta_2)}$	F(x)	1-p	Tr (años)
62.3	-0.671794888	1.194177	0.510791173	3.300837	0.5000	0.5000	2
104.7	-2.83593543	0.736271	0.058663736	2.088132	0.8000	0.2000	5
187.8	-7.073547831	-0.160358	0.000847226	0.851839	0.9000	0.1000	10
367.2	-16.22757125	-2.097240	8.96314E-08	0.122795	0.9800	0.0200	50
434.3	-19.65074455	-2.821543	2.92278E-09	0.059514	0.9900	0.0100	100
585.6	-27.36971206	-4.454785	1.29865E-12	0.011623	0.9980	0.0020	500
650.0	-30.65939717	-5.150843	4.83952E-14	0.005795	0.9990	0.0010	1000
714.4	-33.94217846	-5.845441	1.81597E-15	0.002893	0.9995	0.0005	2000

PRECIPITACION EN mm/ 24 HRS		
#	CICLÓNICO	No. de tormentas
10	136	1
15	143	2
17	125	3
18	125	4
19	205	5
21	114	6
23	236	7
27	315	8
30	149	9
31	170	10

xmed	171.750	No. total de tormentas
S	63.352	

PRECIPITACION EN mm/ 24 HRS		
#	NO CICLÓNICO	No. de tormentas
1	42	1
2	73	2
3	26	3
4	60	4
5	35	5
6	98	6
7	27	7
8	60	8
9	60	9
11	62	10
12	38	11
13	42	12
14	35	13
16	109	14
20	76	15
22	75	16
24	69	17
25	87	18
26	24	19
28	110	20
29	60	21
32	66	22
33	59	23

xmed	60.565	No. total de tormentas
S	25.011	

CÁLCULO DE PARÁMETROS DE LA DISTRIBUCIÓN GUMBEL II									
ESTACIÓN	$x_m$	S	n	$\sigma_y$	$\mu_y$	$\alpha$	$\beta$	Precipitación	p
19096	171.8	63.4	10	0.9497	0.4952	0.01499	138.71635	ciclónico	NO APLICA
	60.6	25.0	23	1.0811	0.5283	0.04323	48.34332	no ciclónico	0.70

PRECIPITACIÓN MÁXIMA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA NUEVO LEÓN, MÉTODO GUMBEL II							
x (mm/24hrs)	$-\alpha_1(x - \beta_1)$	$-\alpha_2(x - \beta_2)$	$e^{-\alpha_1(x - \beta_1)}$	$e^{-\alpha_2(x - \beta_2)}$	F(x)	1-p	Tr (años)
72.0	-1.021605619	1.000466	0.360016674	2.719548	0.5002	0.4998	2
142.1	-4.051244482	-0.050220	0.017400754	0.951020	0.8000	0.2000	5
200.8	-6.58929205	-0.930421	0.001375019	0.394388	0.9000	0.1000	10
317.8	-11.64743434	-2.684597	8.74152E-06	0.068249	0.9800	0.0200	50
365.2	-13.69480787	-3.394631	1.1283E-06	0.033553	0.9900	0.0100	100
473.4	-18.37399347	-5.017384	1.04781E-08	0.006622	0.9980	0.0020	500
519.8	-20.3774444	-5.712186	1.41317E-09	0.003305	0.9990	0.0010	1000
566.1	-22.37850545	-6.406158	1.91049E-10	0.001651	0.9995	0.0005	2000

PRECIPITACION EN mm/ 24 HRS		
#	CICLÓNICO	No. de tormentas
1	226	1
6	223	2
14	328	3
18	192	4
20	328	5
24	389	6
28	206	7

xmed	270.143	No. total de tormentas
S	76.727	7

PRECIPITACION EN mm/ 24 HRS		
#	NO CICLÓNICO	No. de tormentas
2	95	1
3	128	2
4	123.7	3
5	148	4
7	89.5	5
8	94.2	6
9	101	7
10	140.9	8
11	89.5	9
12	59.7	10
13	70	11
15	120.5	12
16	139	13
17	160	14
19	96	15
21	98.5	16
22	135.5	17
23	79	18
25	116.6	19
26	81	20
27	150.9	21
29	105.5	22
30	105.8	23

xmed	109.904	No. total de tormentas
S	27.322	23

CÁLCULO DE PARÁMETROS DE LA DISTRIBUCIÓN GUMBEL II									
ESTACIÓN	$x_m$	S	n	$\sigma_y$	$\mu_y$	$\alpha$	$\beta$	Precipitación	p
19069	270.1	76.7	7	0.4843	0.9043	0.00631	126.87675	ciclónico	NO APLICA
	109.9	27.3	23	1.0811	0.5283	0.03957	96.55305	no ciclónico	0.77

PRECIPITACIÓN MÁXIMA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA NUEVO LEÓN, MÉTODO GUMBEL II							
x (mm/24hrs)	$-\alpha_1(x - \beta_1)$	$-\alpha_2(x - \beta_2)$	$e^{-\alpha_1(x - \beta_1)}$	$e^{-\alpha_2(x - \beta_2)}$	F(x)	1-p	Tr ( años)
117.6	-0.832881715	1.313552	0.434794769	3.719358	0.5000	0.5000	2
193.4	-3.830578965	0.420662	0.021697106	1.522970	0.8000	0.2000	5
279.1	-7.221581565	-0.589376	0.000730649	0.554673	0.9000	0.1000	10
433.7	-13.34183189	-2.412345	1.60591E-06	0.089605	0.9800	0.0200	50
494.5	-15.74476122	-3.128078	1.45259E-07	0.043802	0.9900	0.0100	100
632.5	-21.20690269	-4.755023	6.16546E-10	0.008608	0.9980	0.0020	500
691.5	-23.54123832	-5.450324	5.97279E-11	0.004295	0.9990	0.0010	1000
750.4	-25.87194899	-6.144546	5.80715E-12	0.002145	0.9995	0.0005	2000

PRECIPITACION EN mm/ 24 HRS		
#	CICLÓNICO	No. de tormentas
1	137	1
6	130	2
10	100	3
17	197	4
19	119	5
22	131	6
24	100	7
26	144	8
28	100	9
30	144	10
31	112	11
32	133	12

<b>xmed</b>	128.733	<b>No. total de tormentas</b>
<b>S</b>	26.931	

PRECIPITACION EN mm/ 24 HRS		
#	NO CICLÓNICO	No. de tormentas
2	66.7	1
3	90	2
4	42	3
5	88	4
7	58	5
8	38	6
9	65	7
11	34.5	8
12	45	9
13	59	10
14	49.5	11
15	46.5	12
16	84	13
18	75	14
20	71	15
21	65	16
23	53	17
25	67	18
27	50	19
29	55	20
33	68.7	21

<b>xmed</b>	60.519	<b>No. total de tormentas</b>
<b>S</b>	15.771	

CÁLCULO DE PARÁMETROS DE LA DISTRIBUCIÓN GUMBEL II									
ESTACIÓN	$x_m$	S	n	$\sigma_y$	$\mu_y$	$\alpha$	$\beta$	Precipitación	p
19008	128.7	26.9	12	0.9833	0.5053	0.03651	114.89396	ciclónico	NO APLICA
	60.5	15.8	21	1.0695	0.5252	0.06781	52.77423	no ciclónico	0.64

PRECIPITACIÓN MÁXIMA CUENCA DEL RÍO SANTA CATARINA NUEVO LEÓN, MÉTODO GUMBEL II							
x (mm/24hrs)	$-\alpha_1(x - \beta_1)$	$-\alpha_2(x - \beta_2)$	$e^{-\alpha_1(x - \beta_1)}$	$e^{-\alpha_2(x - \beta_2)}$	F(x)	1-p	Tr ( años)
73.4	-0.712049354	2.275327	0.490637911	9.731087	0.3896	0.6104	2
127.6	-3.504927635	-0.416228	0.030049019	0.659530	0.8000	0.2000	5
144.9	-4.393824195	-1.272876	0.012353433	0.280025	0.9000	0.1000	10
179.3	-6.168924995	-2.983577	0.002093494	0.050612	0.9800	0.0200	50
193.5	-6.898239725	-3.686433	0.001009566	0.025061	0.9900	0.0100	100
226.0	-8.572279148	-5.299739	0.000189282	0.004993	0.9980	0.0020	500
239.9	-9.290262106	-5.991674	9.23194E-05	0.002499	0.9990	0.0010	1000
253.9	-10.00767487	-6.683060	4.50531E-05	0.001252	0.9995	0.0005	2000

## Distribución Pearson Tipo III

Estación 19096

CÁLCULO DEL FACTOR DE FRECUENCIA $K_T$ (MÉTODO PEARSON TIPO III)						
Tr(AÑOS)	p	1/(p <sup>2</sup> )	ln	w	z	$k_T$
2	0.5	4	1.386	1.177	0.000	-0.252
5	0.2	25	3.219	1.794	0.841	0.662
10	0.1	100	4.605	2.146	1.282	1.313
50	0.02	2500	7.824	2.797	2.054	2.790
100	0.01	10000	9.210	3.035	2.327	3.423
500	0.002	250000	12.429	3.526	2.879	4.902
1000	0.001	1000000	13.816	3.717	3.091	5.545
2000	0.0005	4000000	15.202	3.899	3.286	6.176

Aplicando la expresión de frecuencias de Pearson Tipo III de manera tabular resulta :

$TR$	$x_m$	$S$	$K_T$	$P_{TR}$
años	mm	mm		mm/24hrs
2	94.26	65.20	-0.252	77.8
5	94.26	65.20	0.662	137.4
10	94.26	65.20	1.313	179.9
50	94.26	65.20	2.790	276.1
100	94.26	65.20	3.423	317.4
500	94.26	65.20	4.902	413.9
1000	94.26	65.20	5.545	455.8
2000	94.26	65.20	6.176	496.9

Estación 19033

CÁLCULO DEL FACTOR DE FRECUENCIA $K_T$ (MÉTODO PEARSON TIPO III)						
Tr(AÑOS)	p	1/(p <sup>2</sup> )	ln	w	z	$k_T$
2	0.5	4	1.386	1.177	0.000	-0.313
5	0.2	25	3.219	1.794	0.841	0.570
10	0.1	100	4.605	2.146	1.282	1.263
50	0.02	2500	7.824	2.797	2.054	2.947
100	0.01	10000	9.210	3.035	2.327	3.702
500	0.002	250000	12.429	3.526	2.879	5.520
1000	0.001	1000000	13.816	3.717	3.091	6.329
2000	0.0005	4000000	15.202	3.899	3.286	7.131

Aplicando la expresión de frecuencias de Pearson Tipo III de manera tabular resulta :

$TR$	$x_m$	$S$	$K_T$	$P_{TR}$
años	mm	mm		mm/24hrs
2	91.20	71.57	-0.313	68.8
5	91.20	71.57	0.570	132.0
10	91.20	71.57	1.263	181.6
50	91.20	71.57	2.947	302.1
100	91.20	71.57	3.702	356.2
500	91.20	71.57	5.520	486.3
1000	91.20	71.57	6.329	544.2
2000	91.20	71.57	7.131	601.6

Estación 19018

CÁLCULO DEL FACTOR DE FRECUENCIA $K_T$ (MÉTODO PEARSON TIPO III)						
Tr(AÑOS)	p	1/(p <sup>2</sup> )	ln	w	z	$k_T$
2	0.5	4	1.386	1.177	0.000	-0.366
5	0.2	25	3.219	1.794	0.841	0.364
10	0.1	100	4.605	2.146	1.282	1.088
50	0.02	2500	7.824	2.797	2.054	3.130
100	0.01	10000	9.210	3.035	2.327	4.130
500	0.002	250000	12.429	3.526	2.879	6.675
1000	0.001	1000000	13.816	3.717	3.091	7.856
2000	0.0005	4000000	15.202	3.899	3.286	9.052

Aplicando la expresión de frecuencias de Pearson Tipo III de manera tabular resulta :

$TR$	$x_m$	$S$	$K_T$	$P_{TR}$
años	mm	mm		mm/24hrs
2	71.19	50.88	-0.366	52.6
5	71.19	50.88	0.364	89.7
10	71.19	50.88	1.088	126.6
50	71.19	50.88	3.130	230.5
100	71.19	50.88	4.130	281.3
500	71.19	50.88	6.675	410.8
1000	71.19	50.88	7.856	470.9
2000	71.19	50.88	9.052	531.8

Estación 19008

CÁLCULO DEL FACTOR DE FRECUENCIA $K_T$ (MÉTODO PEARSON TIPO III)						
Tr(AÑOS)	p	1/(p <sup>2</sup> )	ln	w	z	$k_T$
2	0.5	4	1.386	1.177	0.000	-0.035
5	0.2	25	3.219	1.794	0.841	0.829
10	0.1	100	4.605	2.146	1.282	1.302
50	0.02	2500	7.824	2.797	2.054	2.167
100	0.01	10000	9.210	3.035	2.327	2.482
500	0.002	250000	12.429	3.526	2.879	3.139
1000	0.001	1000000	13.816	3.717	3.091	3.398
2000	0.0005	4000000	15.202	3.899	3.291	3.645

Aplicando la expresión de frecuencias de Pearson Tipo III de manera tabular resulta :

$TR$	$x_m$	$S$	$K_T$	$P_{TR}$
años	mm	mm		mm/24hrs
2	91.45	35.40	-0.035	90.2
5	91.45	35.40	0.829	120.8
10	91.45	35.40	1.302	137.5
50	91.45	35.40	2.167	168.1
100	91.45	35.40	2.482	179.3
500	91.45	35.40	3.139	202.6
1000	91.45	35.40	3.398	211.7
2000	91.45	35.40	3.645	220.5

Estación 19002

CÁLCULO DEL FACTOR DE FRECUENCIA $K_T$ (MÉTODO PEARSON TIPO III)						
Tr(AÑOS)	p	1/(p <sup>2</sup> )	ln	w	z	$k_T$
2	0.5	4	1.386	1.177	0.000	-0.367
5	0.2	25	3.219	1.794	0.841	0.381
10	0.1	100	4.605	2.146	1.282	1.106
50	0.02	2500	7.824	2.797	2.054	3.122
100	0.01	10000	9.210	3.035	2.327	4.101
500	0.002	250000	12.429	3.526	2.879	6.581
1000	0.001	1000000	13.816	3.717	3.091	7.728
2000	0.0005	4000000	15.202	3.899	3.286	8.887

Aplicando la expresión de frecuencias de Pearson Tipo III de manera tabular resulta :

$TR$	$x_m$	$S$	$K_T$	$P_{TR}$
años	mm	mm		mm/24hrs
2	76.19	74.17	-0.367	49.0
5	76.19	74.17	0.381	104.4
10	76.19	74.17	1.106	158.2
50	76.19	74.17	3.122	307.7
100	76.19	74.17	4.101	380.3
500	76.19	74.17	6.581	564.3
1000	76.19	74.17	7.728	649.4
2000	76.19	74.17	8.887	735.4

Estación 19054

CÁLCULO DEL FACTOR DE FRECUENCIA $K_T$ (MÉTODO PEARSON TIPO III)						
Tr(AÑOS)	p	1/(p <sup>2</sup> )	ln	w	z	$k_T$
2	0.5	4	1.386	1.177	0.000	-0.360
5	0.2	25	3.219	1.794	0.841	0.450
10	0.1	100	4.605	2.146	1.282	1.172
50	0.02	2500	7.824	2.797	2.054	3.076
100	0.01	10000	9.210	3.035	2.327	3.974
500	0.002	250000	12.429	3.526	2.879	6.207
1000	0.001	1000000	13.816	3.717	3.091	7.226
2000	0.0005	4000000	15.202	3.899	3.286	8.249

Aplicando la expresión de frecuencias de Pearson Tipo III de manera tabular resulta :

$TR$	$x_m$	$S$	$K_T$	$P_{TR}$
años	mm	mm		mm/24hrs
2	51.82	52.40	-0.360	33.0
5	51.82	52.40	0.450	75.4
10	51.82	52.40	1.172	113.2
50	51.82	52.40	3.076	213.0
100	51.82	52.40	3.974	260.0
500	51.82	52.40	6.207	377.1
1000	51.82	52.40	7.226	430.4
2000	51.82	52.40	8.249	484.0



Estación 19069

CÁLCULO DEL FACTOR DE FRECUENCIA $K_T$ ( MÉTODO PEARSON TIPO III)						
$T_r$ (AÑOS)	$p$	$1/(p^2)$	$\ln$	$w$	$z$	$k_T$
2	0.5	4	1.386	1.177	0.000	-0.258
5	0.2	25	3.219	1.794	0.841	0.654
10	0.1	100	4.605	2.146	1.282	1.310
50	0.02	2500	7.824	2.797	2.054	2.805
100	0.01	10000	9.210	3.035	2.327	3.450
500	0.002	250000	12.429	3.526	2.879	4.958
1000	0.001	1000000	13.816	3.717	3.091	5.616
2000	0.0005	4000000	15.202	3.899	3.286	6.261

Aplicando la expresión de frecuencias de Pearson Tipo III de manera tabular resulta :

$T_R$	$x_m$	$S$	$K_T$	$P_{TR}$
años	mm	mm		mm/24hrs
2	147.29	80.84	-0.258	126.4
5	147.29	80.84	0.654	200.2
10	147.29	80.84	1.310	253.2
50	147.29	80.84	2.805	374.1
100	147.29	80.84	3.450	426.2
500	147.29	80.84	4.958	548.2
1000	147.29	80.84	5.616	601.3
2000	147.29	80.84	6.261	653.5

Estación 19061

CÁLCULO DEL FACTOR DE FRECUENCIA $K_T$ ( MÉTODO PEARSON TIPO III)						
$T_r$ (AÑOS)	$p$	$1/(p^2)$	$\ln$	$w$	$z$	$k_T$
2	0.5	4	1.386	1.177	0.000	-0.280
5	0.2	25	3.219	1.794	0.841	0.625
10	0.1	100	4.605	2.146	1.282	1.295
50	0.02	2500	7.824	2.797	2.054	2.860
100	0.01	10000	9.210	3.035	2.327	3.545
500	0.002	250000	12.429	3.526	2.879	5.164
1000	0.001	1000000	13.816	3.717	3.091	5.874
2000	0.0005	4000000	15.202	3.899	3.286	6.575

Aplicando la expresión de frecuencias de Pearson Tipo III de manera tabular resulta :

$T_R$	$x_m$	$S$	$K_T$	$P_{TR}$
años	mm	mm		mm/24hrs
2	79.27	47.13	-0.280	66.1
5	79.27	47.13	0.625	108.7
10	79.27	47.13	1.295	140.3
50	79.27	47.13	2.860	214.1
100	79.27	47.13	3.545	246.3
500	79.27	47.13	5.164	322.6
1000	79.27	47.13	5.874	356.1
2000	79.27	47.13	6.575	389.1

## B.- Cálculo de anomalías de precipitación máxima en 24h

### ESTACIÓN 19096

Cálculo de Z

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1978	0.736	1.456	-0.885	0.399	-0.164	0.410	-0.320	0.283	-0.465	0.447	-0.679	-0.232
1979	-0.598	-0.009	-0.885	-0.376	1.832	0.410	-0.365	-0.517	0.301	-0.890	-0.679	1.797
1980	-1.043	1.163	-0.885	-0.473	-0.662	-0.118	-0.046	-0.346	-0.763	-0.203	1.450	-0.683
1981	2.070	1.163	-0.308	0.205	1.413	0.132	-0.056	0.911	-0.180	-0.052	-0.679	-0.683
1982	-1.043	-0.888	-0.885	-0.086	-0.064	-0.411	0.091	-0.488	-0.870	-0.059	-0.178	-0.345
1983	1.625	2.042	0.557	-0.473	0.335	-0.646	-0.167	-0.089	0.833	-0.167	-0.679	-0.683
1985	-0.154	-0.888	-0.741	0.108	0.934	-0.030	-0.442	-0.460	-0.955	-0.239	-0.529	1.008
1986	-1.043	0.284	-0.741	-0.037	2.430	-0.484	-0.358	-0.631	0.024	-0.709	0.260	0.783
1987	-0.154	0.284	-0.164	-0.473	-0.164	-0.440	-0.244	-0.603	0.024	-0.601	0.072	-0.458
1988	0.958	-0.888	0.557	5.336	0.934	-0.440	-0.335	-0.803	1.631	-0.348	-0.679	-0.458
1989	-0.376	-0.888	-0.885	0.205	-1.161	-0.528	-0.350	-0.460	0.067	-0.167	-0.679	1.234
1992	2.070	-0.009	0.052	0.205	2.430	-0.733	-0.381	-0.174	-0.636	-0.655	0.198	0.331
1993	-1.043	-0.888	0.125	-0.473	0.186	0.000	-0.442	-0.688	-0.359	-0.384	-0.366	-0.683
1994	-0.598	-0.888	1.567	0.253	0.235	0.205	-0.365	-0.388	-0.657	-0.276	-0.366	-0.176
1995	-0.598	-0.302	-0.452	-0.424	-1.161	-0.821	-0.259	3.282	-0.998	-0.637	-0.554	0.444
1996	0.291	-0.302	-0.452	-0.328	-0.662	-0.499	-0.411	0.054	-1.040	3.049	-0.679	-0.683
1999	-1.043	-0.888	-0.885	-0.328	-1.061	-0.646	0.107	2.767	-0.359	-0.276	-0.679	-0.683
2000	-1.043	-0.888	0.557	-0.182	-0.263	-0.206	-0.411	-0.089	-0.189	3.627	0.824	-0.683
2001	-0.821	1.456	0.125	-0.376	-0.563	0.997	-0.411	-0.231	3.111	-0.402	1.200	-0.571
2002	-1.043	-0.302	-0.164	-0.328	-0.962	1.407	0.472	-0.717	-0.189	-0.239	-0.303	-0.571
2003	1.848	-0.009	1.856	-0.424	-1.161	-0.470	-0.320	2.453	0.067	0.266	-0.554	-0.120
2004	0.958	0.870	0.846	0.060	-0.563	1.378	-0.350	-0.631	-0.550	-0.565	0.323	-0.683
2005	0.291	1.163	0.557	-0.424	0.734	-0.733	3.152	-0.660	-0.465	0.266	-0.554	-0.458
2006	-0.154	-0.888	-0.308	-0.279	-0.563	-0.440	-0.198	-0.774	0.216	-0.529	-0.679	1.459
2008	1.403	-0.888	-0.741	0.447	-0.164	-0.821	-0.152	-0.203	0.599	0.917	-0.679	-0.345
2009	-1.043	-0.888	-0.452	-0.473	-0.862	-0.616	-0.076	-0.431	-0.785	-0.637	1.450	-0.458
2010	0.736	1.749	-0.164	-0.037	-0.363	3.811	4.355	-0.574	0.237	-0.854	-0.679	-0.683
2011	-0.598	-0.888	-0.885	-0.473	-1.161	2.404	-0.152	-0.174	-1.189	-0.565	-0.679	-0.683
2012	-1.043	1.163	0.269	-0.376	-0.363	-0.264	-0.396	0.911	-0.902	-0.149	0.473	-0.683
2013	0.135	-0.888	-0.885	0.060	1.014	-0.631	-0.335	-0.203	1.919	-0.601	1.450	3.094
2014	0.069	-0.888	-0.164	-0.458	-0.164	-0.470	-0.373	-0.051	2.366	1.604	3.892	2.474
2015	-0.154	1.456	3.731	0.011	0.535	-0.528	-0.442	-0.231	0.152	0.194	-0.679	-0.683
2016	0.402	-0.888	1.134	0.011	-0.762	-0.176	-0.023	-0.046	0.003	-0.167	0.636	-0.232

# ESTACIÓN 19033

## Cálculo de Z

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1948	-0.154	-0.269	0.391	-0.609	-0.146	0.207	0.010	0.204	0.231	-0.389	-0.479	-0.788
1949	0.655	-0.147	-0.732	-0.476	0.366	-0.072	-0.242	-0.655	-0.259	-0.589	-0.800	0.574
1951	-0.682	-0.759	1.513	-0.277	0.527	1.043	-0.543	1.678	-0.167	0.277	-0.551	-0.788
1952	-0.682	-0.759	-0.732	-0.045	-0.685	0.973	-0.579	-1.269	-0.245	-1.254	-0.479	-0.788
1953	-0.682	0.220	0.439	-0.244	-0.793	-0.083	-0.146	0.499	-0.593	2.163	-0.800	-0.107
1954	-0.682	0.383	-0.732	0.885	0.123	-0.374	-0.591	-0.655	-0.742	2.252	-0.372	-0.788
1955	-0.527	-0.473	-0.732	-1.007	1.309	-0.513	0.623	-1.048	-0.412	-0.411	0.020	-0.788
1956	-0.682	-0.759	-0.732	-0.343	5.755	-0.583	-0.170	0.720	-0.394	-1.033	1.019	0.233
1957	-0.682	0.790	-0.244	-0.708	0.042	-0.153	-0.326	0.082	-0.820	-0.788	-0.800	-0.350
1958	-0.340	0.097	0.195	-0.609	0.958	-0.002	-0.122	1.088	-0.571	2.230	1.055	1.158
1959	0.002	0.627	-0.488	-0.177	0.177	-0.374	-0.026	-0.557	-0.522	0.432	-0.800	-0.059
1960	-0.402	0.831	-0.732	-0.476	-0.712	-0.374	-0.182	-0.017	-0.642	-0.589	0.627	0.671
1961	-0.496	0.464	-0.390	0.420	-0.955	-0.083	0.070	1.088	-0.039	-0.811	-0.408	-0.788
1962	-0.682	-0.759	-0.732	-0.443	-0.093	0.335	-0.699	-1.024	-0.067	-0.811	-0.408	-0.010
1963	-0.682	-0.759	0.488	0.287	-0.173	-0.014	0.154	0.131	-0.075	-0.278	0.163	-0.059
1964	0.095	-0.759	-0.390	-0.078	-0.470	-0.188	-0.134	-1.024	0.124	-0.522	1.090	0.671
1965	-0.091	0.464	-0.293	0.553	-0.281	-0.130	-0.074	-0.483	-0.564	-0.811	-0.087	0.866
1966	0.966	1.238	-0.488	-0.443	0.150	0.056	-0.218	-0.557	0.635	2.385	-0.800	-0.205
1967	0.561	0.505	0.439	2.345	-0.901	-0.478	-0.122	0.696	1.416	-0.211	-0.372	-0.691
1968	-0.216	-0.269	0.488	0.287	-0.605	-0.490	-0.194	-1.195	-0.678	-0.345	-0.158	-0.399
1970	0.219	0.057	-0.585	0.918	-0.281	0.474	0.479	-0.434	-0.309	-1.254	-0.800	-0.788
1971	2.707	-0.759	-0.439	-0.775	0.366	-0.234	0.299	-0.950	-0.330	-0.056	-0.337	-0.205
1972	-0.496	0.016	0.342	-0.111	-0.443	-0.211	0.419	-1.220	-0.621	-0.145	-0.158	-0.788
1973	0.188	0.790	-0.341	-0.343	-0.658	1.716	-0.362	0.180	-0.600	-0.367	-0.729	-0.399
1974	0.499	-0.636	-0.293	-0.543	0.581	-0.350	-0.639	0.376	1.274	-0.611	-0.444	-0.399
1976	-0.558	-0.759	0.147	-0.078	-0.119	-0.350	0.888	-0.287	-0.500	-0.278	2.695	0.282
1978	1.121	0.057	-0.732	1.880	-0.766	-0.258	-0.122	-0.483	3.262	-0.456	-0.800	-0.010
1980	-0.620	0.709	-0.732	-0.675	-1.063	0.578	-0.050	0.352	-0.004	-0.034	0.448	-0.788
1985	-0.060	-0.188	-0.146	0.719	-0.119	-0.188	-0.579	-0.778	-0.571	-0.544	-0.800	-0.496
1986	-0.682	-0.759	-0.732	-1.007	-0.605	-0.397	-0.579	-0.336	-0.188	-0.100	0.627	0.574
1987	1.121	1.116	-0.732	1.449	0.743	-0.420	-0.218	0.253	-0.600	-0.367	-0.301	-0.205
1988	1.494	-0.759	0.244	1.316	0.150	-0.606	-0.074	0.008	3.900	-0.811	-0.622	-0.788
1989	-0.682	-0.759	-0.537	-1.007	-0.928	-0.768	0.263	-1.122	-0.145	-0.145	0.627	1.936
1991	-0.682	-0.759	-0.439	-0.343	-0.119	-0.002	-0.146	-0.680	-0.429	-0.633	1.197	0.379
1992	1.805	-0.106	0.342	-0.078	-0.119	-0.722	-0.350	-0.729	-0.287	0.077	2.053	1.644
1993	-0.371	-0.759	0.537	-0.543	-0.173	-0.072	-0.362	-0.729	-0.422	-0.367	0.627	-0.010
1994	-0.682	-0.759	0.049	-0.343	0.527	-0.397	-0.242	-0.139	-0.600	-0.766	-0.444	0.671
1995	-0.682	-0.514	-0.732	-1.007	-0.389	-0.327	-0.338	0.646	-0.799	-1.254	-0.800	-0.496
1996	-0.682	-0.759	-0.732	-0.343	-0.093	-0.246	-0.507	3.102	-0.813	2.518	-0.622	-0.399
1999	-0.682	-0.759	-0.439	-1.007	-1.197	0.068	-0.434	-0.999	-0.004	1.852	-0.658	-0.059
2001	-0.371	0.831	1.025	-0.177	-0.200	-0.199	-0.014	0.155	1.146	-0.145	-0.372	-0.010
2002	-0.670	-0.351	-0.537	-0.377	1.497	-0.072	-0.218	-0.090	1.061	-0.034	-0.465	-0.545
2003	1.494	2.135	0.303	-0.695	-0.093	-0.383	-0.252	-0.336	-0.316	0.388	-0.465	-0.068
2006	-0.247	-0.759	5.612	-0.244	-0.497	-0.455	-0.199	-0.680	-0.259	-0.620	-0.686	0.885
2008	-0.639	-0.759	0.195	2.212	-0.497	-0.799	-0.242	0.253	0.309	0.241	-0.515	-0.788
2009	-0.682	-0.759	1.220	2.511	0.581	-0.234	-0.483	1.088	-0.337	-0.456	2.802	-0.175
2010	4.541	1.556	-0.146	3.440	0.743	6.384	6.633	-0.778	-0.046	0.388	-0.800	-0.788
2011	-0.682	-0.759	-0.732	-0.961	-0.443	0.091	0.972	2.955	-0.642	0.033	-0.729	-0.740
2012	-0.558	4.540	1.249	-0.835	-0.308	-0.188	-0.266	-0.287	-0.685	-0.633	-0.337	-0.594
2013	-0.122	-0.759	-0.732	-0.941	0.904	0.219	-0.206	1.973	2.708	0.033	1.233	5.341
2014	0.126	-0.229	0.293	-0.410	-0.254	0.091	0.179	-0.336	1.487	1.231	3.480	0.768
2015	0.251	1.687	1.122	0.121	-0.443	-0.420	-0.434	2.095	-0.387	0.033	-0.586	-0.788
2016	0.686	-0.759	0.537	-0.562	0.123	-0.025	0.695	0.253	-0.869	2.385	0.020	0.282

# ESTACIÓN 19018

## Cálculo de Z

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1955	-0.88	0.15	-0.75	-0.41	-0.32	0.16	-0.24	-0.30	-0.55	-1.31	-0.71	-0.83
1956	-0.88	-0.89	-0.75	-0.24	4.58	-0.13	-0.85	-0.68	-0.60	-1.28	-0.61	0.48
1957	-0.88	-0.49	0.01	-0.68	-0.68	-0.54	-1.12	-1.16	-0.87	-1.10	-0.47	-0.64
1958	0.03	-0.15	-0.75	-0.77	-0.14	0.00	-0.21	0.70	0.01	1.89	0.89	0.24
1959	-0.88	2.45	-0.75	0.38	-0.38	-0.14	1.04	-0.02	-0.01	1.33	-0.71	-0.83
1960	-0.23	1.09	-0.75	0.13	-0.66	-0.67	-0.82	0.20	0.07	0.29	0.57	0.43
1961	0.42	-0.02	-0.06	-0.77	-0.81	0.42	0.05	0.84	-0.68	0.50	-0.47	-0.83
1962	-0.88	-0.89	-0.75	-0.03	-0.81	0.68	-1.12	-0.93	0.40	-0.54	0.09	-0.25
1963	-0.88	-0.89	-0.50	0.21	0.54	0.28	-0.89	-0.93	1.04	-0.41	0.09	0.04
1964	1.20	-0.52	-0.24	-0.60	-0.07	-0.70	1.27	0.38	-0.43	-0.65	1.29	0.82
1965	0.29	0.60	-0.37	0.62	1.58	-0.57	-0.55	-0.66	-0.64	0.64	0.89	1.11
1966	0.94	0.35	-0.50	-0.19	0.58	-0.12	1.15	-0.57	-0.22	1.68	-0.71	-0.35
1967	1.07	3.44	1.77	-0.60	-0.85	-0.78	-1.12	1.47	1.04	0.29	-0.71	-0.83
1968	1.07	0.35	1.14	-0.03	-0.59	-0.30	-0.55	-0.30	-0.51	-0.06	-0.71	0.14
1969	-0.88	0.84	-0.75	-1.01	-0.64	-0.78	-0.06	-0.52	-1.05	-0.89	0.89	3.55
1970	0.42	0.60	-0.75	0.79	0.36	-0.06	0.39	-0.98	0.67	-1.45	-0.71	-0.83
1971	1.07	-0.89	-0.75	-0.19	0.80	-0.35	-0.36	-0.52	-0.64	-0.13	-0.47	0.14
1972	-0.49	-0.27	1.64	-0.44	-0.64	-0.25	-0.40	-1.02	-0.85	-0.13	-0.39	-0.83
1973	0.29	0.84	-0.75	-1.01	-0.51	1.35	0.02	1.75	-0.64	-0.75	-0.71	-0.83
1974	-0.88	-0.89	-0.75	-0.19	0.80	-0.78	-0.74	-0.52	-0.64	-1.31	-0.71	-0.83
1975	-0.88	-0.89	-0.75	-1.01	-0.94	0.28	-0.36	2.20	-0.70	-0.75	-0.71	0.72
1976	0.03	-0.89	-0.17	1.74	0.36	-0.59	1.15	-0.11	-0.18	-0.34	3.78	-0.06
1977	0.68	-0.02	-0.75	-0.95	-0.55	-0.43	-0.29	1.75	1.29	0.15	-0.71	-0.83
1978	1.20	-0.27	-0.24	2.17	0.45	0.79	-0.02	-0.25	0.23	1.40	0.33	-0.06
1979	-0.23	-0.15	-0.08	4.21	2.79	0.12	-0.74	-0.70	-0.24	-1.10	-0.71	1.79
1980	-0.62	0.60	-0.75	-0.52	-0.59	0.30	0.91	3.03	0.42	1.05	1.70	-0.06
1981	0.42	0.10	-0.12	1.97	1.06	1.15	0.58	0.03	0.71	-0.02	-0.39	-0.83
1985	1.46	-0.64	0.39	0.95	0.36	-0.35	0.93	0.20	-0.55	0.92	-0.71	-0.74
1986	-0.88	0.84	-0.24	0.87	-0.42	-0.14	-0.44	-0.57	-0.22	1.47	0.57	0.92
1987	2.50	2.95	-0.75	1.68	-0.16	-0.78	-1.12	-1.43	0.67	-1.10	-0.23	-0.54
1988	3.41	-0.52	0.26	0.05	-0.07	-0.33	-0.14	-0.34	5.72	-0.96	-0.71	-0.83
1989	-0.49	-0.89	-0.75	-0.60	-0.81	-0.70	-0.21	1.13	-0.33	0.64	0.65	0.92
1990	-0.88	1.21	0.39	-0.03	-0.16	-0.62	1.68	-0.21	-0.06	2.72	-0.71	-0.25
1991	-0.88	-0.27	-0.75	0.30	-0.38	0.15	-0.51	-0.25	-0.31	0.15	-0.47	1.60
1992	1.59	-0.15	-0.24	1.11	0.36	-0.14	-0.33	-0.52	-0.64	-0.27	0.09	1.11
1993	-0.88	-0.40	1.01	-0.77	0.01	0.28	0.21	-0.39	-0.08	-0.54	-0.71	-0.35
1994	-0.36	-0.89	0.26	-1.01	2.53	-0.41	-0.44	-0.66	-0.47	-0.54	-0.47	0.53
1995	-0.10	-0.89	0.26	-1.01	-0.94	-0.54	-0.40	0.75	-0.80	-1.45	-0.71	0.82
1996	0.16	-0.89	-0.75	-1.01	-0.07	-0.27	-0.59	-0.07	-0.39	0.09	-0.71	-0.83
1997	2.27	1.00	2.12	0.36	0.04	0.52	0.42	-0.77	-0.48	-0.37	0.89	0.14
1998	-0.88	-0.21	-0.75	-0.81	-0.53	0.02	-0.15	0.16	0.57	1.37	-0.07	-0.83
1999	-0.88	-0.89	-0.75	0.50	-0.79	-0.10	-0.31	0.45	0.17	2.69	-0.71	-0.83
2001	-0.02	0.60	1.27	-0.19	-0.51	-0.25	-0.97	-0.75	0.67	-0.82	-0.31	-0.35
2002	-0.88	-0.40	-0.75	-0.06	-0.59	-0.27	2.55	-0.16	1.06	0.22	-0.39	-0.44
2003	0.16	-0.52	0.01	-0.64	0.14	-0.57	-0.33	2.88	0.79	0.92	-0.71	-0.74
2004	-0.62	0.35	1.14	0.95	-0.46	-0.46	-0.25	0.02	-0.39	-0.41	0.17	-0.83
2006	-0.41	-0.89	0.84	-0.03	-0.46	-0.50	1.15	-0.75	-0.28	-0.41	-0.71	1.07
2008	-0.75	-0.89	0.39	0.05	-0.38	-0.75	-0.59	1.56	-0.18	-0.20	-0.55	-0.83
2009	-0.88	-0.89	4.41	-0.93	-0.33	-0.25	-0.29	0.07	-0.64	-0.48	1.21	-0.39
2010	0.03	1.59	0.26	0.46	-0.07	6.14	4.56	-1.20	0.19	0.29	-0.71	-0.83
2011	-0.88	-0.89	-0.75	-0.52	-0.94	0.90	-0.02	-0.21	-0.95	-1.03	-0.23	-0.83
2012	-0.75	0.72	0.13	-0.93	-0.29	-0.30	-0.63	-0.66	-0.39	-0.06	1.21	-0.83
2013	0.29	-0.77	-0.75	-0.77	0.49	0.34	0.70	0.61	0.86	-0.06	2.18	1.60
2014	-0.23	-0.64	1.52	-0.52	-0.29	1.06	-0.59	-1.07	-1.05	0.22	2.98	2.87

## ESTACIÓN 19008

Cálculo de Z

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1948	-1.121	-0.676	1.625	-0.794	-0.608	-0.693	0.044	0.331	0.695	-0.342	-0.613	-0.715
1949	0.533	-0.478	-0.562	3.342	-0.987	-0.060	-0.541	-0.705	-1.156	-1.271	-0.935	0.334
1951	-1.102	-1.035	0.576	-0.606	1.531	0.670	0.665	0.182	2.884	2.626	-0.782	0.368
1952	-1.082	-0.820	0.953	-0.766	-0.211	-0.594	-0.631	-1.325	-0.241	-0.049	-0.107	-0.749
1953	-1.397	-0.091	0.752	-0.433	-1.156	-0.966	-0.882	3.105	-0.544	2.134	-0.843	-0.354
1954	1.616	0.206	-0.795	1.351	-0.831	-0.463	0.684	-0.130	-1.260	-0.721	-0.184	-0.794
1955	1.005	0.197	-0.594	-0.879	-0.232	-0.722	-0.310	0.747	-0.182	0.166	-0.414	-0.794
1956	-0.806	0.251	-0.531	0.629	-0.726	-0.778	-0.753	-1.036	-1.143	-1.152	-0.337	-0.512
1957	-0.924	1.834	0.022	2.713	1.552	-0.290	-0.904	-0.514	-1.428	0.568	-0.782	0.695
1958	0.671	0.026	-0.587	-0.872	-1.097	-0.316	-0.332	0.963	1.577	0.022	0.576	0.052
1959	-0.215	0.278	-0.638	-0.708	-0.692	-0.193	0.848	-0.807	0.028	1.735	-0.858	-0.512
1960	-0.905	1.348	-0.323	-0.368	-1.126	-0.699	3.967	-0.394	-1.197	1.083	0.675	0.278
1961	0.474	-0.856	-0.009	0.023	0.476	-0.656	-0.490	-1.125	-0.870	-0.130	-0.322	0.221
1962	-0.609	-0.046	-0.229	-0.460	-0.705	0.025	-0.904	0.013	-0.843	-0.380	-0.084	0.041
1963	-0.708	-0.631	-0.669	0.262	-0.030	-0.259	-0.416	-1.039	0.028	-0.081	-0.260	0.898
1964	-0.609	-0.721	0.085	-0.453	2.226	0.139	0.044	-0.839	-0.761	0.472	1.212	0.052
1965	-0.944	0.539	-0.128	0.153	1.868	0.329	-0.760	-0.171	1.648	-0.814	-0.130	1.293
1966	0.966	2.967	-0.135	0.677	0.257	0.068	-0.567	0.417	0.886	-0.686	0.215	-0.794
1967	2.640	0.763	4.549	-0.181	-1.274	-0.344	1.427	2.181	0.423	-0.946	0.445	-0.794
1968	0.080	-0.361	0.211	1.327	-0.325	1.954	0.327	0.893	-0.544	0.359	-0.053	-0.794
1969	-0.609	-0.559	-0.323	0.517	0.814	0.224	-0.840	-0.473	0.894	-0.348	1.059	0.763
1970	0.966	-0.766	-0.795	-0.964	1.257	-0.529	0.864	-0.203	-0.299	-0.380	-0.973	-0.794
1971	0.178	2.203	-0.669	-0.623	-0.852	0.326	-0.004	1.316	0.273	0.568	-0.858	-0.117
1972	-0.117	-0.658	-0.543	0.364	1.109	1.104	0.398	-0.839	-0.081	-0.695	-0.398	-0.794
1973	1.065	-0.046	-0.795	-0.239	0.599	3.163	0.182	-0.730	0.510	1.877	0.468	0.898
1974	0.415	-1.035	0.626	-0.865	1.181	-0.563	-0.628	-1.029	1.444	-1.174	-0.973	-0.297
1975	-0.708	-0.685	-0.600	-0.034	0.097	-0.912	1.166	0.337	0.583	-0.737	-0.552	1.338
1976	1.990	-0.811	0.683	0.629	0.152	-0.352	1.388	0.210	0.107	-0.200	3.743	-0.410
1977	-0.294	1.528	-0.323	-0.501	-0.671	-0.690	-0.904	-0.451	0.548	-0.085	0.675	-0.297
1978	-0.924	-0.136	0.060	-0.331	0.565	0.198	-0.602	0.525	0.156	0.632	-0.498	-0.388
1979	-0.452	-0.919	-0.392	-0.603	-1.160	2.993	-0.567	0.169	0.134	-1.441	-0.651	4.203
1995	1.065	0.224	-0.499	-0.807	-1.109	-0.818	-0.422	-0.902	-1.238	-0.879	0.208	-0.794
2016	-0.137	-1.035	-0.003	-0.501	0.109	-0.296	-0.544	1.319	-1.031	0.272	2.332	-0.737

## ESTACIÓN 19002

### Cálculo de Z

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1966	0.332	0.152	-0.931	-0.561	0.819	-0.372	-0.614	-1.246	-0.923	-0.390	-0.699	-0.513
1967	-0.268	0.406	-0.020	-1.227	-0.855	-0.503	-0.538	-0.915	2.143	-1.514	-0.699	-0.773
1969	-0.989	-0.648	-0.931	-1.227	-0.437	-0.094	-0.233	-0.915	-0.588	-0.840	0.583	-0.252
1970	-0.989	0.025	-0.931	0.217	-0.520	-0.255	-0.175	-0.849	0.582	-1.514	-0.699	-0.773
1971	0.452	-0.864	-0.931	-0.116	0.233	-0.123	-0.252	-0.187	-0.477	-0.090	-0.129	-0.426
1972	-0.989	-0.864	0.162	0.328	-0.186	-0.152	-0.347	-0.518	-0.978	0.659	0.013	-0.773
1975	-0.989	-0.864	0.892	-1.227	-1.441	-0.372	-0.194	0.143	-0.923	-0.465	-0.058	0.268
1976	1.412	-0.864	-0.339	0.772	0.065	-0.298	0.206	-0.717	-0.951	-0.465	0.227	-0.252
1977	-0.148	-0.229	-0.931	-0.338	-1.441	-0.372	-0.576	-0.915	0.582	2.383	-0.485	-0.599
1985	2.013	0.406	-0.749	0.883	1.070	-0.196	-0.328	0.805	-1.118	-0.015	-0.485	-0.773
1989	-0.568	-0.864	-0.840	-0.227	-1.232	-0.247	-0.499	-0.055	-0.491	-0.315	-0.093	1.006
1990	-0.148	0.914	0.071	-0.727	0.233	-0.467	-0.071	0.110	-0.533	0.884	-0.378	-0.773
1991	-0.028	0.152	-0.931	-0.505	0.651	-0.145	-0.175	-0.875	-0.142	-0.465	-0.449	1.831
1992	3.153	0.723	-0.293	0.995	0.609	-0.182	-0.156	0.971	-0.867	-0.015	0.227	1.831
1993	-0.508	-0.292	1.985	0.106	1.321	0.082	-0.480	-0.518	0.164	-0.352	-0.271	-0.426
1994	-0.028	-0.610	1.028	3.938	1.739	-0.050	-0.194	-0.783	-0.811	-0.090	-0.485	1.353
1998	-0.868	0.025	-0.931	-0.338	-1.357	-0.196	-0.042	0.011	0.944	-0.240	-0.556	-0.773
1999	-0.989	-0.864	-0.658	-0.283	-1.064	-0.182	-0.214	2.790	-0.031	1.858	-0.699	-0.773
2000	-0.989	-0.610	-0.248	-0.616	0.065	-0.123	0.053	2.459	0.303	2.233	0.725	-0.079
2001	0.332	1.675	2.168	1.328	-1.064	0.023	-0.595	-0.121	0.526	-1.214	0.085	0.095
2002	-0.989	-0.102	-0.612	-0.450	0.735	0.549	0.168	-0.650	2.393	1.034	-0.343	-0.252
2004	1.172	1.422	-0.020	0.550	-0.102	-0.094	-0.328	-0.253	-0.533	-1.214	0.583	-0.773
2005	0.932	1.422	0.800	-0.783	0.233	-0.386	4.056	-0.121	-1.118	0.809	-0.592	-0.599
2006	-0.388	-0.864	-0.202	-0.116	-0.855	-0.445	-0.252	0.143	2.143	-0.240	-0.485	1.353
2008	0.212	-0.864	0.254	0.550	0.902	-0.255	-0.328	2.261	0.554	-0.240	-0.627	-0.686
2009	-0.868	-0.864	1.074	-1.116	0.316	-0.240	-0.385	0.937	-0.310	0.060	2.078	0.268
2010	-0.028	2.945	-0.202	0.995	1.906	5.343	3.293	0.276	0.192	-0.465	-0.699	-0.773
2011	-0.868	-0.864	-0.931	0.106	-1.441	0.447	-0.233	0.739	-1.341	-1.289	-0.343	-0.773
2012	-0.568	1.041	0.800	-1.005	-0.855	-0.255	0.434	-0.320	0.025	-0.540	-0.058	-0.382
2013	1.052	-0.864	-0.931	-0.116	1.906	-0.108	0.053	-0.650	1.697	-0.015	0.725	1.570
2014	0.932	-0.864	0.618	-0.116	0.316	-0.152	-0.442	-0.717	0.192	0.734	4.427	2.959
2015	0.212	1.548	2.714	0.328	-0.269	-0.182	-0.614	-0.320	-0.310	1.334	-0.343	-0.339

# ESTACIÓN 19069

## Cálculo de Z

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	0.4272	1.2126	-0.9070	-0.4255	-0.7991	2.8417	0.2878	1.0881	-0.3304	-0.2804	0.6405	-0.1815
1974	0.6726	-0.9346	1.9287	-0.9942	2.6804	0.2441	-0.3059	-1.3413	-0.6912	-0.8190	-0.7360	-0.4402
1975	-0.7590	0.0495	-0.5665	-0.4523	-1.0887	-0.7767	0.7745	0.5862	0.0667	-0.8775	-0.7260	0.7486
1976	-0.8817	-0.9078	-0.0557	0.2291	-0.5223	-0.3945	0.7256	0.1550	-0.0200	-0.6434	1.8669	-0.4710
1977	-0.4454	0.2642	-0.5992	0.2720	-0.0453	-0.6163	-0.5572	0.5540	0.0317	1.7078	-0.6259	-0.6927
1978	-0.3363	-0.2010	-0.8612	0.0199	1.5603	0.4261	-0.4878	2.8804	1.6581	0.2600	-0.5958	-0.5018
1979	-1.0181	-0.7289	0.5141	-0.2752	-0.4584	0.5833	0.0705	-0.8168	-0.3654	-1.1799	-0.5808	1.6232
1980	-0.7045	-0.3799	-0.8939	-0.0875	-0.7097	-0.5021	-0.3002	1.0399	-0.7276	0.6581	0.0699	-0.3355
1981	1.6271	-0.2099	-0.5272	2.7937	0.6361	0.7735	-0.4821	-0.3212	-0.2997	-1.0199	-0.8211	-0.7235
1982	-1.3044	-0.0668	-0.5337	-0.1304	0.0186	-0.8098	-0.6459	-1.4217	-0.3486	1.5692	-0.6108	1.0689
1983	0.6181	1.9551	0.0884	-1.2303	1.8712	-0.8380	-0.1580	-0.1282	-0.2018	-0.0970	-0.7710	-0.6188
1985	0.5363	-0.4515	-0.3045	1.5597	-0.3008	0.0902	-0.6607	-1.3252	-0.8702	-0.0190	-0.8011	-0.6435
1987	0.4545	1.1321	0.0426	0.2452	-0.3732	0.1332	-0.1171	-0.2376	-0.4745	-0.1283	-0.7510	-0.6743
1988	3.3587	-0.3352	-0.9267	-0.5274	0.6361	-0.2572	-0.1194	-0.2987	3.1265	-1.0629	-0.8511	-0.5572
1996	-0.4181	-0.7378	-0.8285	-0.8279	-1.2378	-0.4094	-0.5333	1.3134	-0.6521	1.1712	-0.7110	-0.7174
1997	-0.6908	-0.3263	1.2280	0.4169	0.4360	-0.5832	-0.5538	-0.2183	-0.7178	1.5322	0.3252	-0.4525
1998	-1.3044	-0.4873	-0.5207	-0.9781	-1.3272	-0.0703	-0.1307	-0.9390	0.7841	0.5254	0.7056	-0.5572
2000	0.7272	0.1569	-0.6647	1.5060	1.5390	0.4261	-0.6186	0.5025	-0.4423	2.5604	-0.1203	-0.1753
2004	-0.8953	-0.0579	3.0682	1.3183	-0.4840	-0.3763	-0.3445	-0.2118	-0.1109	-0.0209	0.0799	-0.6250
2005	1.2589	1.5257	0.7564	-0.8010	0.8406	-0.7817	3.0489	-0.6494	-0.8870	-0.0580	-0.1704	-0.4525
2006	-1.3044	-0.2636	-0.6778	-0.8869	-0.7906	0.7322	-0.3798	-0.6494	-0.2172	-0.8190	0.2651	1.5616
2008	-0.5681	-0.7736	1.4506	-0.2806	0.8917	-0.7470	0.2423	0.5089	0.4415	-0.4775	-0.7710	-0.3478
2009	0.4681	-0.3352	-0.6909	-0.5864	0.1890	-0.8198	-0.3775	0.7664	-0.6843	-0.9360	0.9659	-0.2246
2010	0.2227	0.2642	0.4879	1.4738	-0.5819	3.3331	3.7460	-1.2833	2.3755	-0.9126	-0.8611	-0.7482
2011	-0.3772	-0.9346	-0.4748	-0.8762	-1.0461	1.0316	-0.0523	-0.2858	-1.2296	0.8883	-0.6959	-0.1384
2012	0.0591	0.1837	-0.6123	-0.5381	-0.7736	-0.3763	-0.4139	-0.3824	-0.3207	-0.0092	1.0810	0.2127
2013	-0.1591	-0.9346	0.4028	-0.0499	0.5084	-0.7403	0.0046	0.2322	0.6568	-0.8229	3.4787	2.3623
2014	-0.0227	-0.4515	-0.5992	-0.9996	-0.6841	-0.6857	-0.5686	0.5636	1.4274	1.0990	0.9859	-0.1014
2015	-0.1863	3.5834	1.7191	-0.6240	0.3593	-0.3350	-0.6812	-1.3091	0.0220	-0.6082	-0.2955	-0.4525
2016	0.9453	-0.8094	-0.4421	1.7367	-0.9439	-0.4955	-0.4116	1.6287	-0.9989	-1.1799	1.0310	3.2555

# ESTACIÓN 19061

Cálculo de Z

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1948	-0.506	-0.473	0.295	0.015	0.459	0.313	3.851	0.002	0.868	-0.151	-0.695	-0.515
1952	-0.061	-0.303	-0.001	-0.469	-1.165	-0.680	0.057	-0.885	-0.572	-1.131	0.307	-0.515
1953	-0.506	-0.431	0.672	-0.729	-1.165	-0.966	-0.730	1.131	-0.394	0.554	-0.695	-0.001
1954	0.281	0.023	-0.539	-0.345	-0.543	-0.966	-0.635	-0.670	-0.879	0.245	0.692	-0.515
1955	-0.061	1.513	-0.505	-0.729	-0.813	-0.966	0.700	-0.052	-0.362	1.104	-0.695	-0.515
1956	-0.506	0.094	-0.539	-0.249	0.621	-0.966	-0.921	-0.374	-0.491	-1.131	0.923	-0.515
1958	0.247	-1.041	-0.135	-0.709	-1.111	0.561	-0.697	-0.885	-0.103	0.932	0.538	-0.515
1959	-0.506	1.797	-0.539	-0.729	-1.133	-0.521	-0.921	-0.751	-0.879	-0.684	-0.233	-0.515
1960	-0.506	-0.615	-0.203	0.231	-1.165	-0.648	-0.301	0.459	-0.378	-0.099	0.076	0.513
1961	-0.095	-1.041	-0.135	-0.705	-1.165	1.928	-0.492	-0.401	-0.394	1.001	-0.001	-0.515
1962	-0.506	-1.041	0.067	-0.729	-0.299	0.624	-0.921	-0.374	0.852	0.485	-0.271	-0.104
1963	-0.506	-0.190	-0.310	2.151	0.648	-0.362	0.795	-0.374	-0.426	-1.131	-0.656	-0.320
1965	-0.232	0.094	-0.135	0.087	-0.245	-0.775	-0.492	-0.294	-0.103	-0.925	-0.695	1.232
1966	0.452	-0.473	0.336	0.039	1.379	0.211	-0.921	0.284	-0.742	0.313	-0.695	-0.515
1968	0.110	-0.473	0.268	0.903	0.134	-0.298	0.891	0.083	-0.264	0.004	-0.310	-0.515
1972	-0.301	-0.686	-0.169	-0.369	0.837	1.181	0.986	-0.590	0.092	0.038	-0.194	-0.413
1973	0.315	0.945	-0.539	-0.489	-0.895	3.295	-0.206	0.432	-0.378	0.829	0.291	0.410
1976	-0.335	-0.686	-0.270	0.423	-0.299	0.147	0.581	0.325	-0.103	-0.323	3.465	-0.053
1977	-0.027	1.229	-0.169	0.375	1.487	-0.648	-0.825	0.755	0.577	3.133	-0.695	-0.104
1978	-0.232	-0.119	-0.371	-0.153	-0.218	0.243	-0.563	2.072	0.609	0.506	-0.117	-0.104
1979	-0.369	-1.041	-0.001	-0.297	-0.678	0.561	-0.110	-0.106	-0.313	-1.131	0.114	2.106
1980	-0.369	-0.260	-0.539	-0.513	1.162	-0.505	-0.349	1.360	-0.353	0.245	1.385	-0.104
1981	0.931	0.449	0.235	3.519	1.054	0.227	-0.182	-0.186	-0.051	-0.570	-0.464	-0.515
1983	0.520	1.797	0.134	-0.729	1.541	-0.695	0.748	-0.684	0.512	0.004	-0.695	-0.207
1985	0.110	1.513	4.055	1.599	0.296	0.831	-0.372	-0.455	-0.782	-0.426	-0.464	-0.053
1986	-0.506	-0.899	-0.539	0.313	0.567	-0.444	-0.921	-0.885	2.034	-0.099	0.076	2.003
1987	0.301	0.804	0.705	0.495	-0.516	0.115	0.033	-0.159	-0.378	-0.271	-0.132	-0.320
1988	0.117	0.023	-0.404	-0.177	0.783	0.783	0.033	1.077	3.328	-0.787	-0.695	-0.515
1989	0.178	0.094	-0.337	0.447	-0.732	-0.737	3.298	-0.240	-0.378	-1.062	-0.348	1.438
1990	-0.369	-0.615	0.322	0.231	-0.494	-0.441	-0.515	0.002	0.213	1.465	-0.125	-0.515
1991	-0.273	-0.615	-0.337	0.423	0.513	1.228	-0.587	-0.509	-0.232	-0.987	0.461	2.723
1993	-0.068	-0.190	-0.203	-0.570	2.515	0.974	-0.921	-0.724	0.176	-0.615	-0.371	-0.310
1996	-0.095	-1.041	-0.135	-0.393	-0.949	-0.536	-0.849	2.731	-0.823	0.864	-0.233	-0.515
2002	-0.506	-1.027	-0.525	-0.719	-1.138	-0.187	1.653	-0.885	0.326	0.090	0.037	-0.515
2003	4.111	2.222	0.087	-0.729	0.892	-0.950	-0.325	0.550	0.956	0.155	-0.502	-0.207
2005	-0.232	0.662	0.403	-0.729	-0.164	-0.934	0.128	-0.778	-0.766	-0.443	1.616	-0.392



## C.-Cálculo de valores atípicos ESTACIÓN 19096

VALORATÍPICO

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1978	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1979	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1980	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1981	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1983	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1985	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1986	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1987	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1988	0.00	0.00	0.00	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1989	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1992	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1994	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1995	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	143.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1996	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	109.00	0.00	0.00
1999	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	125.00	0.00	0.00
2001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	205.00	0.00	0.00	0.00
2002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	236.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	158.00	315.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.50
2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.50	0.00
2015	0.00	0.00	32.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## ESTACIÓN 19033

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1948	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1951	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1952	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1953	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1956	0	0	0	0	129	0	0	0	0	0	0	0
1957	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1958	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1959	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1960	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1961	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1962	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1963	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1964	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1965	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1967	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1968	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1970	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33.50
1971	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1972	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1973	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1974	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1978	0	0	0	0	0	0	0	0	300	0	0	0
1980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	0	0	0	0	0	0	0	0	345	0	0	0
1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	0	0	0	98	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	84	0	0	67	0	310	305	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## ESTACIÓN 19018

VALOR ATÍPICO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1956	0	0	0	0	127	0	0	0	0	0	0	0
1957	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1958	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1959	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1960	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1961	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1962	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1963	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1964	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1965	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1967	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1968	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
1970	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1972	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1973	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1974	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1975	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	0
1977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1978	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1979	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0	0	0	64	0	0	0	98.3	0	0	0	0
1981	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	33	0	0	0	0	0	0	0	326	0	0	0
1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	260	150	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## ESTACIÓN 19002

VALOR ATÍPICO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1966	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1967	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1970	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1972	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1975	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	34.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	46.5	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	250	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	400	210	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72	0
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## ESTACIÓN 19069

VALOR ATÍPICO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1974	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1975	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1978	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1979	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1983	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	34.2	0	0	0	0	0	0	0	327.5	0	0	0
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	328	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	255.7	389.3	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86.7	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	50.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65

## ESTACIÓN 19061

VALOR ATÍPICO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1948	0	0	0	0	0	0	100.1	0	0	0	0	0
1952	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1953	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1958	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1959	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1960	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1961	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1962	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1963	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1965	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1968	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1972	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1973	0	0	0	0	0	134	0	0	0	0	0	0
1976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	0
1977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124	0	0
1978	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1979	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981	0	0	0	88.5	0	0	0	0	0	0	0	0
1983	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	68.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	0	0	0	0	0	0	0	0	260	0	0	0
1989	0	0	0	0	0	0	88.5	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	67.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## D.- Precipitación de Cambio Climático asociada a 2,5,10,100,500,1000 y 2000 años de periodo de retorno

Estación 19096

xo3 mm	$\alpha_3$	$\beta_3$	1/ $\beta_3$	1/ $\beta_3 - 1$	x mm/24h	x-x0	p3	(1-p1-p2)/ $\alpha_3$	$\frac{(1-p1-p2)}{\alpha_3} \left[ 1 - \frac{(x-x_0)}{\alpha_3} \beta_3 \right]^{\frac{1}{\beta_3}-1} * \exp \left\{ - \left[ 1 - \frac{(x-x_0)\beta_3}{\alpha_3} \right]^{\frac{1}{\beta_3}} \right\}$	f(xi)	Tr años		
-393.28	872.97	1.8676	0.53543	-0.4646	74.137	467.42	0.14	0.00015480	0.5001	9.02474E-05	0.999909757	0.500	2.00
	872.97	1.8676	0.53543	-0.4646	146.328	467.42	0.14	0.00015480	0.2001	0.000259413	0.999740621	0.200	5.00
	872.97	1.8676	0.53543	-0.4646	147.101	467.42	0.14	0.00015480	0.1001	0.000576501	0.999423666	0.100	10.00
	872.97	1.8676	0.53545	-0.4646	327.334	467.42	0.14	0.00015480	0.0201	0.003670252	0.996336477	0.020	50.00
	872.97	1.8674	0.53555	-0.4645	376.119	467.42	0.14	0.00015480	0.0101	0.008109805	0.991922996	0.010	100.00
	872.97	1.861	0.53735	-0.4626	487.617	467.42	0.14	0.00015480	0.0021	0.048404963	0.952747912	0.002	500.00
	872.97	1.8421	0.54285	-0.4572	535.356	467.42	0.14	0.00015480	0.0011	0.097220207	0.907356237	0.001	1000.00
	872.97	1.7816	0.56129	-0.4387	583.038	467.42	0.14	0.00015480	0.0006	0.177732995	0.837166021	0.000	2000.00

Estación 19061

xo3 mm	$\alpha_3$	$\beta_3$	1/ $\beta_3$	1/ $\beta_3 - 1$	x mm/24h	x-x0	p3	(1-p1-p2)/ $\alpha_3$	$\frac{(1-p1-p2)}{\alpha_3} \left[ 1 - \frac{(x-x_0)}{\alpha_3} \beta_3 \right]^{\frac{1}{\beta_3}-1} * \exp \left\{ - \left[ 1 - \frac{(x-x_0)\beta_3}{\alpha_3} \right]^{\frac{1}{\beta_3}} \right\}$	f(xi)	Tr años		
76.36	872.97	-19.37	-0.0516	-1.0516	31.294	-45.07	0.15	0.00017183	2.4771	1.600254217	0.201845416	0.500	2.00
	872.97	-19.36	-0.0516	-1.0516	80.178	-45.07	0.15	0.00017183	0.9184	1.524268013	0.217780634	0.200	5.00
	872.97	-19.36	-0.0517	-1.0517	138.666	-45.07	0.15	0.00017183	0.4347	1.469458177	0.230050325	0.100	10.00
	872.97	-19.31	-0.0518	-1.0518	250.005	-45.07	0.15	0.00017183	0.0772	1.350811138	0.259030302	0.020	50.00
	872.97	-19.25	-0.0519	-1.0519	295.228	-45.07	0.15	0.00017183	0.0368	1.30346492	0.271589364	0.010	100.00
	872.97	-18.77	-0.0533	-1.0533	398.785	-45.07	0.15	0.00017183	0.0067	1.203245806	0.300218422	0.002	500.00
	872.97	-18.16	-0.0551	-1.0551	443.157	-45.07	0.15	0.00017183	0.0032	1.165004583	0.311921477	0.001	1000.00
	872.97	-16.94	-0.059	-1.059	487.485	-45.07	0.15	0.00017183	0.0015	1.13037102	0.322913672	0.000	2000.00

Estación 19002

xo3 mm	$\alpha_3$	$\beta_3$	1/ $\beta_3$	1/ $\beta_3 - 1$	x mm/24h	x-x0	p3	(1-p1-p2)/ $\alpha_3$	$\frac{(1-p1-p2)}{\alpha_3} \left[ 1 - \frac{(x-x_0)}{\alpha_3} \beta_3 \right]^{\frac{1}{\beta_3}-1} * \exp \left\{ - \left[ 1 - \frac{(x-x_0)\beta_3}{\alpha_3} \right]^{\frac{1}{\beta_3}} \right\}$	f(xi)	Tr años		
61.37	872.97	-29.03	-0.0345	-1.0345	31.294	-30.07	0.09	0.00010414	2.0045	1.388975096	0.249330947	0.500	2.00
	872.97	-29.02	-0.0345	-1.0345	80.178	-30.07	0.09	0.00010414	0.7679	1.345331667	0.260453545	0.200	5.00
	872.97	-29.02	-0.0345	-1.0345	138.666	-30.07	0.09	0.00010414	0.3718	1.313288056	0.268934567	0.100	10.00
	872.97	-28.97	-0.0345	-1.0345	250.005	-30.07	0.09	0.00010414	0.0693	1.242171023	0.288756881	0.020	50.00
	872.97	-28.92	-0.0346	-1.0346	295.228	-30.07	0.09	0.00010414	0.0336	1.213022851	0.297297477	0.010	100.00
	872.97	-28.48	-0.0351	-1.0351	398.785	-30.07	0.09	0.00010414	0.0063	1.149410037	0.316823873	0.002	500.00
	872.97	-27.92	-0.0358	-1.0358	443.157	-30.07	0.09	0.00010414	0.0031	1.12420723	0.32491019	0.001	1000.00
	872.97	-26.81	-0.0373	-1.0373	487.485	-30.07	0.09	0.00010414	0.0015	1.100740374	0.332624972	0.001	2000.00

Estación 19008

xo3 mm	$\alpha_3$	$\beta_3$	1/ $\beta_3$	1/ $\beta_3 - 1$	x mm/24h	x-x0	p3	(1-p1-p2)/ $\alpha_3$	$\frac{(1-p1-p2)}{\alpha_3} \left[ 1 - \frac{(x-x_0)}{\alpha_3} \beta_3 \right]^{\frac{1}{\beta_3}-1} * \exp \left\{ - \left[ 1 - \frac{(x-x_0)\beta_3}{\alpha_3} \right]^{\frac{1}{\beta_3}} \right\}$	f(xi)	Tr años		
84.27	872.97	-16.48	-0.0607	-1.0607	31.294	-52.97	0.18	0.00020215	2.8091	1.725996931	0.177995721	0.500	2.00
	872.97	-16.47	-0.0607	-1.0607	80.178	-52.97	0.18	0.00020215	1.0197	1.628915805	0.19614233	0.200	5.00
	872.97	-16.47	-0.0607	-1.0607	138.666	-52.97	0.18	0.00020215	0.4757	1.559590423	0.210222376	0.100	10.00
	872.97	-16.42	-0.0609	-1.0609	250.005	-52.97	0.18	0.00020215	0.0821	1.411616425	0.243749194	0.020	50.00
	872.97	-16.36	-0.0611	-1.0611	295.228	-52.97	0.18	0.00020215	0.0387	1.353424805	0.258354167	0.010	100.00
	872.97	-15.88	-0.063	-1.063	398.785	-52.97	0.18	0.00020215	0.0069	1.232145849	0.291666276	0.002	500.00
	872.97	-15.27	-0.0655	-1.0655	443.157	-52.97	0.18	0.00020215	0.0033	1.186691876	0.305229576	0.001	1000.00
	872.97	-14.05	-0.0712	-1.0712	487.485	-52.97	0.18	0.00020215	0.0016	1.146025448	0.317898008	0.001	2000.00

Estación 19018

xo3 mm	$\alpha_3$	$\beta_3$	1/ $\beta_3$	1/ $\beta_3 - 1$	x mm/24h	x-x0	p3	(1-p1-p2)/ $\alpha_3$	$\frac{(1-p1-p2)}{\alpha_3} \left[ 1 - \frac{(x-x_0)}{\alpha_3} \beta_3 \right]^{\frac{1}{\beta_3}-1} * \exp \left\{ - \left[ 1 - \frac{(x-x_0)\beta_3}{\alpha_3} \right]^{\frac{1}{\beta_3}} \right\}$	f(xi)	Tr años		
84.27	872.97	-16.48	-0.0607	-1.0607	31.294	-52.97	0.18	0.00020215	2.8091	1.725996931	0.177995721	0.500	2.00
	872.97	-16.47	-0.0607	-1.0607	80.178	-52.97	0.18	0.00020215	1.0197	1.628915805	0.19614233	0.200	5.00
	872.97	-16.47	-0.0607	-1.0607	138.666	-52.97	0.18	0.00020215	0.4757	1.559590423	0.210222376	0.100	10.00
	872.97	-16.42	-0.0609	-1.0609	250.005	-52.97	0.18	0.00020215	0.0821	1.411616425	0.243749194	0.020	50.00
	872.97	-16.36	-0.0611	-1.0611	295.228	-52.97	0.18	0.00020215	0.0387	1.353424805	0.258354167	0.010	100.00
	872.97	-15.88	-0.063	-1.063	398.785	-52.97	0.18	0.00020215	0.0069	1.232145849	0.291666276	0.002	500.00
	872.97	-15.27	-0.0655	-1.0655	443.157	-52.97	0.18	0.00020215	0.0033	1.186691876	0.305229576	0.001	1000.00
	872.97	-14.05	-0.0712	-1.0712	487.485	-52.97	0.18	0.00020215	0.0016	1.146025448	0.317898008	0.001	2000.00

### Estación 19033

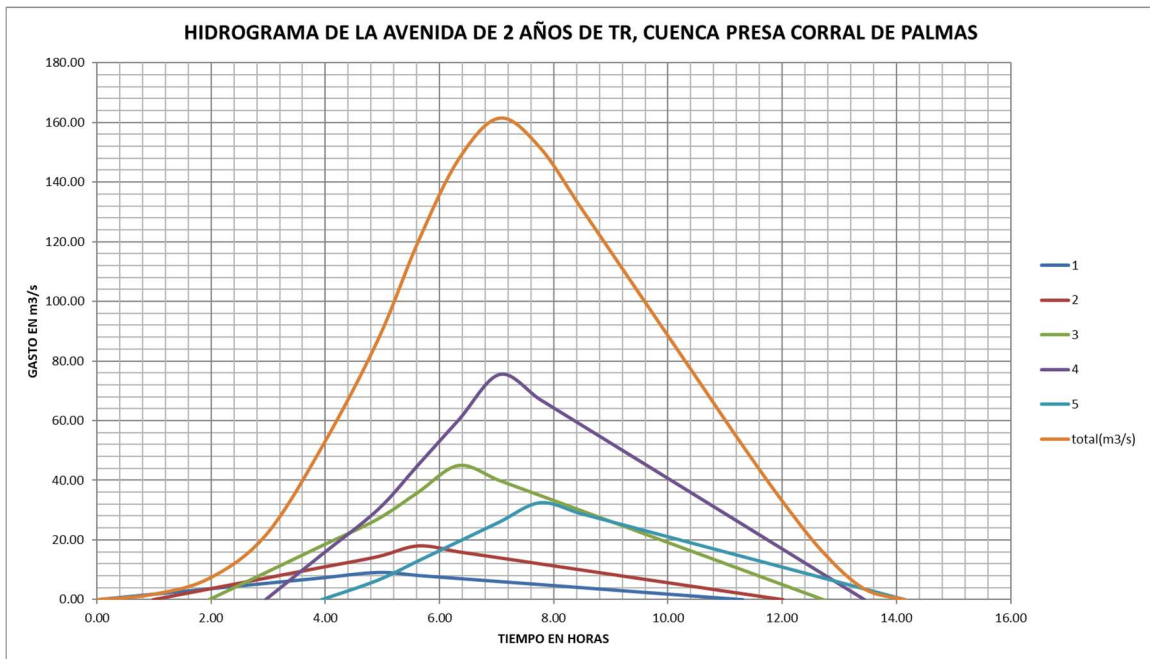
xo3 mm	α3	β3	1/β3	1/β3 -1	x mm/24h	x-x0	p3	(1-p1-p2)/α3	$\left(\frac{1-p1-p2}{\alpha_3}\right) \left[1 - \frac{(x-x_0)}{\alpha_3} \beta_3\right]^{\frac{1}{\beta_3}-1} * \exp\left\{-\left[1 - \frac{(x-x_0)\beta_3}{\alpha_3}\right]^{\frac{1}{\beta_3}}\right\}$	f(xi)	Tr años	
67.40	872.97	-24.18	-0.0414	-1.0414	31.294	-36.10	0.10	0.00011649	2.1929	1.478365709	0.228010246	2.00
	872.97	-24.17	-0.0414	-1.0414	80.178	-36.10	0.10	0.00011649	0.8294	1.422425449	0.241128693	5.00
	872.97	-24.17	-0.0414	-1.0414	138.666	-36.10	0.10	0.00011649	0.3981	1.381643282	0.251165711	10.00
	872.97	-24.13	-0.0414	-1.0414	250.005	-36.10	0.10	0.00011649	0.0728	1.291981748	0.274726045	50.00
	872.97	-24.08	-0.0415	-1.0415	295.228	-36.10	0.10	0.00011649	0.0351	1.255590868	0.284907696	100.00
	872.97	-23.67	-0.0422	-1.0422	398.785	-36.10	0.10	0.00011649	0.0065	1.176992073	0.308204646	500.00
	872.97	-23.15	-0.0432	-1.0432	443.157	-36.10	0.10	0.00011649	0.0031	1.146216833	0.317837173	1000.00
	872.97	-22.12	-0.0452	-1.0452	487.485	-36.10	0.10	0.00011649	0.0015	1.117791226	0.327001515	2000.00

### Estación 19069

xo3 mm	α3	β3	1/β3	1/β3 -1	x mm/24h	x-x0	p3	(1-p1-p2)/α3	$\left(\frac{1-p1-p2}{\alpha_3}\right) \left[1 - \frac{(x-x_0)}{\alpha_3} \beta_3\right]^{\frac{1}{\beta_3}-1} * \exp\left\{-\left[1 - \frac{(x-x_0)\beta_3}{\alpha_3}\right]^{\frac{1}{\beta_3}}\right\}$	f(xi)	Tr años	
63.63	872.97	-26.99	-0.037	-1.037	31.294	-32.34	0.14	0.00016364	2.0282	1.400284113	0.246527145	2.00
	872.97	-26.99	-0.0371	-1.0371	80.178	-32.34	0.14	0.00016364	0.7737	1.352968383	0.258472112	5.00
	872.97	-26.98	-0.0371	-1.0371	138.666	-32.34	0.14	0.00016364	0.3737	1.318346992	0.267577481	10.00
	872.97	-26.92	-0.0371	-1.0371	250.005	-32.34	0.14	0.00016364	0.0692	1.24187499	0.288842375	50.00
	872.97	-26.84	-0.0373	-1.0373	295.228	-32.34	0.14	0.00016364	0.0336	1.210735441	0.297978296	100.00
	872.97	-26.19	-0.0382	-1.0382	398.785	-32.34	0.14	0.00016364	0.0063	1.143517458	0.318696293	500.00
	872.97	-25.38	-0.0394	-1.0394	443.157	-32.34	0.14	0.00016364	0.0031	1.117351252	0.327145419	1000.00
	872.97	-23.76	-0.0421	-1.0421	487.485	-32.34	0.14	0.00016364	0.0015	1.093373925	0.335084283	2000.00

**E.-Hidrograma unitario triangular para periodos de retorno  $Tr= 2,5,10,50,100,500$  y  $2000$  años**

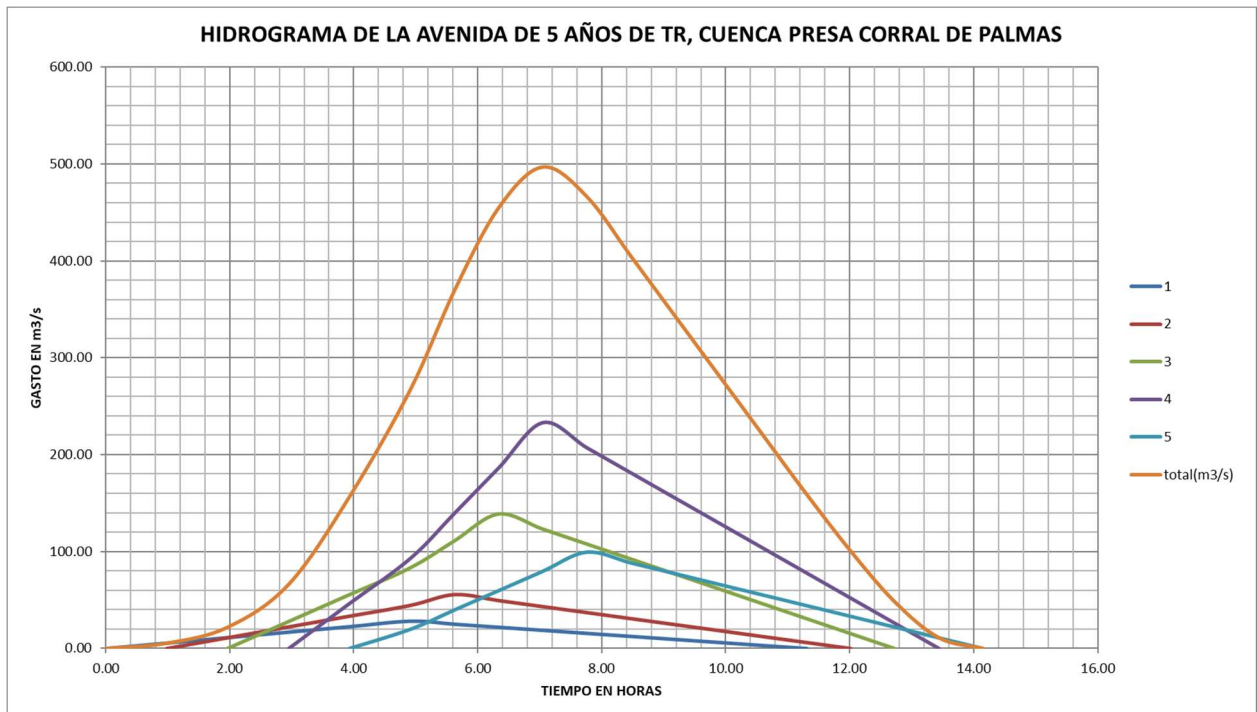
HIDROGRAMAS CUENCA Y SUPERPOSICIÓN, PARA $Tr$ DE							2 AÑOS
T(HRS)	1	2	3	4	5	total(m <sup>3</sup> /s)	
0:00:00	0.00	0.00				0.00	
0:59:00	0.98	1.80	0.00			1.80	
1:58:00	1.97	3.60	3.60	0.00		7.20	
2:57:00	2.95	5.40	7.20	9.00	0.00	21.59	
3:55:59	3.93	7.20	10.80	17.99	15.11	51.10	
4:54:59	4.92	9.00	14.39	26.99	30.23	87.08	
5:37:36	5.63	8.00	17.99	35.98	45.34	120.27	
6:20:12	6.34	7.00	15.99	44.98	60.45	147.85	
7:02:49	7.05	6.00	13.99	39.98	75.57	161.45	
7:45:26	7.76	5.00	11.99	34.98	67.17	151.53	
8:28:02	8.47	4.00	10.00	29.99	58.77	131.54	
9:10:39	9.18	3.00	8.00	24.99	50.38	111.55	
9:53:15	9.89	2.00	6.00	19.99	41.98	91.56	
10:35:52	10.60	1.00	4.00	14.99	33.58	71.57	
11:18:28	11.31	0.00	2.00	10.00	25.19	51.58	
12:01:05	12.02		0.00	5.00	16.79	32.59	
12:43:42	12.73			0.00	8.40	15.59	
13:26:18	13.44				0.00	3.60	
14:08:55	14.15				0.00	0.00	



HIDROGRAMAS CUENCA Y SUPERPOSICIÓN, PARA Tr DE

5 AÑOS

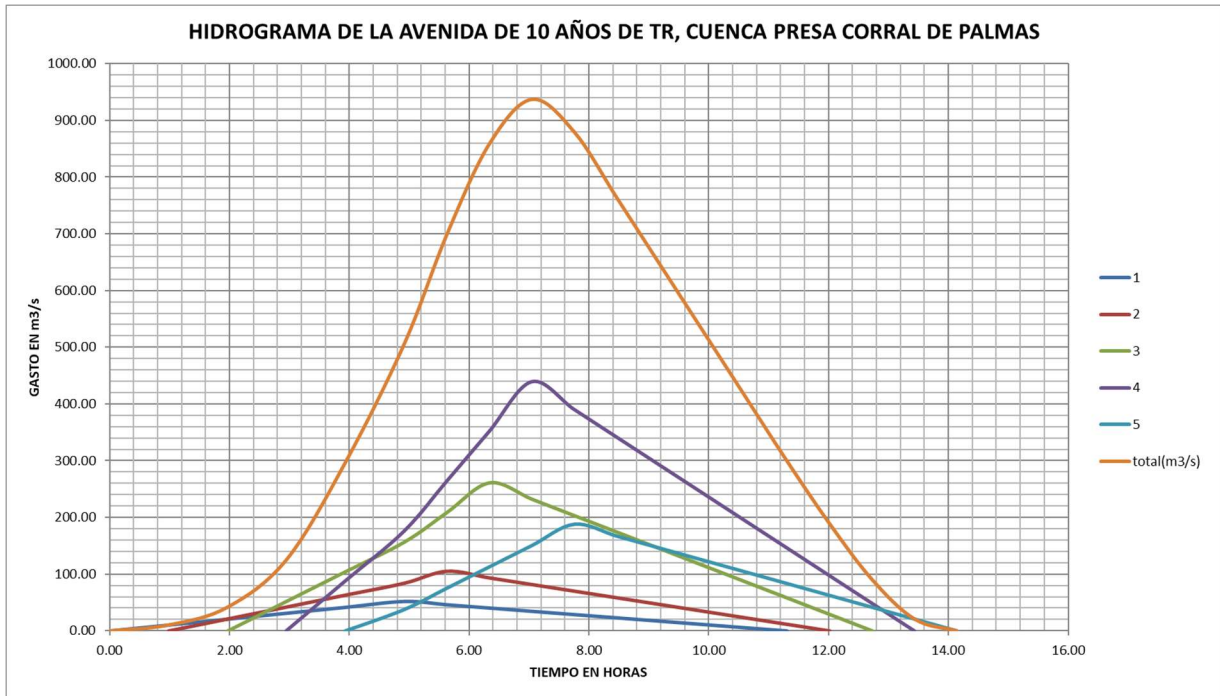
T(HRS)	1	2	3	4	5	total(m3/s)	
0:00:00	0.00					0.00	
0:59:00	0.98	5.54	0.00			5.54	
1:58:00	1.97	11.08	11.08	0.00		22.17	
2:57:00	2.95	16.62	22.17	27.71	0.00	66.50	
3:55:59	3.93	22.17	33.25	55.42	46.55	0.00	157.38
4:54:59	4.92	27.71	44.33	83.12	93.10	19.95	268.21
5:37:36	5.63	24.63	55.42	110.83	139.65	39.90	370.43
6:20:12	6.34	21.55	49.26	138.54	186.20	59.85	455.40
7:02:49	7.05	18.47	43.10	123.15	232.75	79.80	497.27
7:45:26	7.76	15.39	36.94	107.75	206.89	99.75	466.73
8:28:02	8.47	12.31	30.79	92.36	181.03	88.67	405.15
9:10:39	9.18	9.24	24.63	76.97	155.17	77.58	343.58
9:53:15	9.89	6.16	18.47	61.57	129.30	66.50	282.01
10:35:52	10.60	3.08	12.31	46.18	103.44	55.42	220.43
11:18:28	11.31	0.00	6.16	30.79	77.58	44.33	158.86
12:01:05	12.02		0.00	15.39	51.72	33.25	100.36
12:43:42	12.73			0.00	25.86	22.17	48.03
13:26:18	13.44				0.00	11.08	11.08
14:08:55	14.15					0.00	0.00



HIDROGRAMAS CUENCA Y SUPERPOSICIÓN, PARA Tr DE

10 AÑOS

T(HRS)	1	2	3	4	5	total(m3/s)
0:00:00	0.00					0.00
0:59:00	0.98	10.45	0.00			10.45
1:58:00	1.97	20.90	20.90	0.00		41.80
2:57:00	2.95	31.35	41.80	52.25	0.00	125.39
3:55:59	3.93	41.80	62.70	104.49	87.77	296.76
4:54:59	4.92	52.25	83.59	156.74	175.55	505.74
5:37:36	5.63	46.44	104.49	208.99	263.32	698.47
6:20:12	6.34	40.64	92.88	261.23	351.09	858.70
7:02:49	7.05	34.83	81.27	232.21	438.87	937.65
7:45:26	7.76	29.03	69.66	203.18	390.11	880.06
8:28:02	8.47	23.22	58.05	174.15	341.34	763.96
9:10:39	9.18	17.42	46.44	145.13	292.58	647.85
9:53:15	9.89	11.61	34.83	116.10	243.82	531.75
10:35:52	10.60	5.81	23.22	87.08	195.05	415.65
11:18:28	11.31	0.00	11.61	58.05	146.29	299.55
12:01:05	12.02		0.00	29.03	97.53	189.25
12:43:42	12.73			0.00	48.76	90.56
13:26:18	13.44				0.00	20.90
14:08:55	14.15					0.00

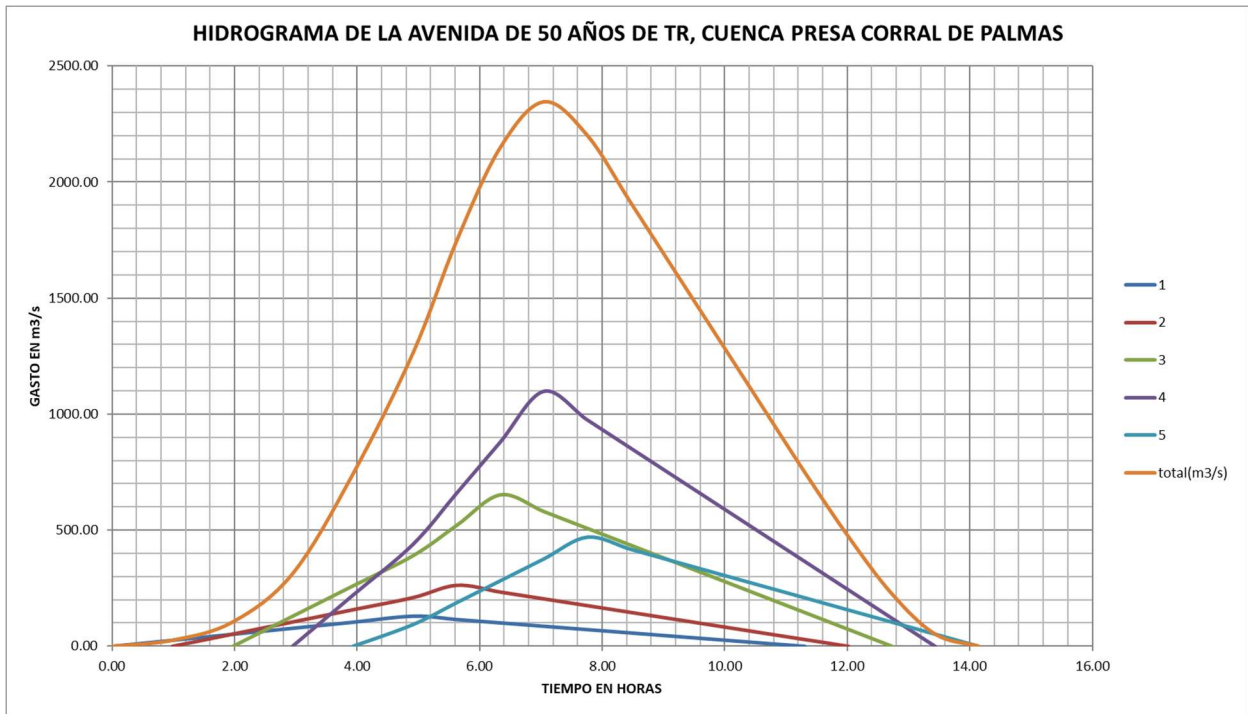




HIDROGRAMAS CUENCA Y SUPERPOSICIÓN, PARA Tr DE

50 AÑOS

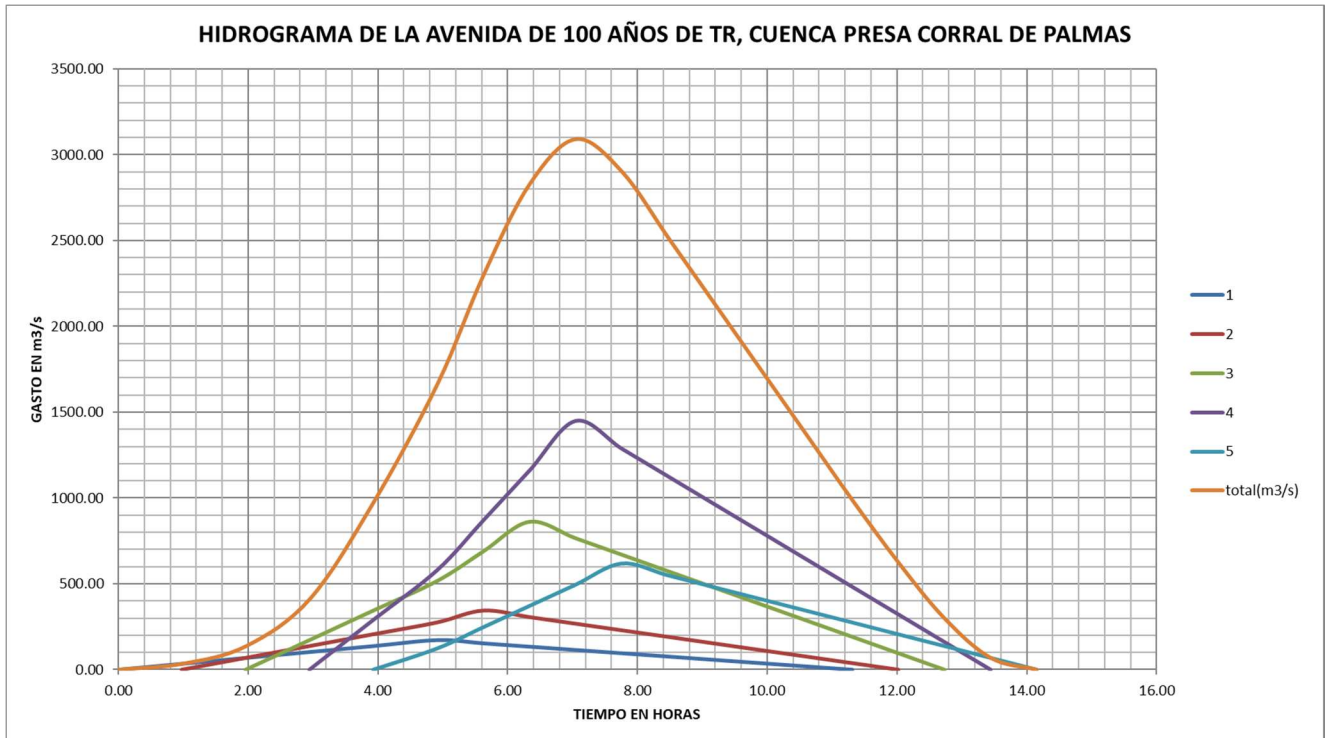
T(HRS)	1	2	3	4	5	total(m3/s)	
0:00:00	0.00					0.00	
0:59:00	0.98	26.16	0.00			26.16	
1:58:00	1.97	52.31	52.31	0.00		104.62	
2:57:00	2.95	78.47	104.62	130.78	0.00	313.86	
3:55:59	3.93	104.62	156.93	261.55	219.71	742.81	
4:54:59	4.92	130.78	209.24	392.33	439.41	94.16	1265.92
5:37:36	5.63	116.25	261.55	523.11	659.12	188.32	1748.34
6:20:12	6.34	101.72	232.49	653.88	878.82	282.48	2149.39
7:02:49	7.05	87.18	203.43	581.23	1098.53	376.64	2347.01
7:45:26	7.76	72.65	174.37	508.58	976.47	470.80	2202.86
8:28:02	8.47	58.12	145.31	435.92	854.41	418.49	1912.25
9:10:39	9.18	43.59	116.25	363.27	732.35	366.18	1621.63
9:53:15	9.89	29.06	87.18	290.62	610.29	313.86	1331.02
10:35:52	10.60	14.53	58.12	217.96	488.23	261.55	1040.40
11:18:28	11.31	0.00	29.06	145.31	366.18	209.24	749.79
12:01:05	12.02		0.00	72.65	244.12	156.93	473.70
12:43:42	12.73			0.00	122.06	104.62	226.68
13:26:18	13.44				0.00	52.31	52.31
14:08:55	14.15					0.00	0.00



HIDROGRAMAS CUENCA Y SUPERPOSICIÓN, PARA Tr DE

100 AÑOS

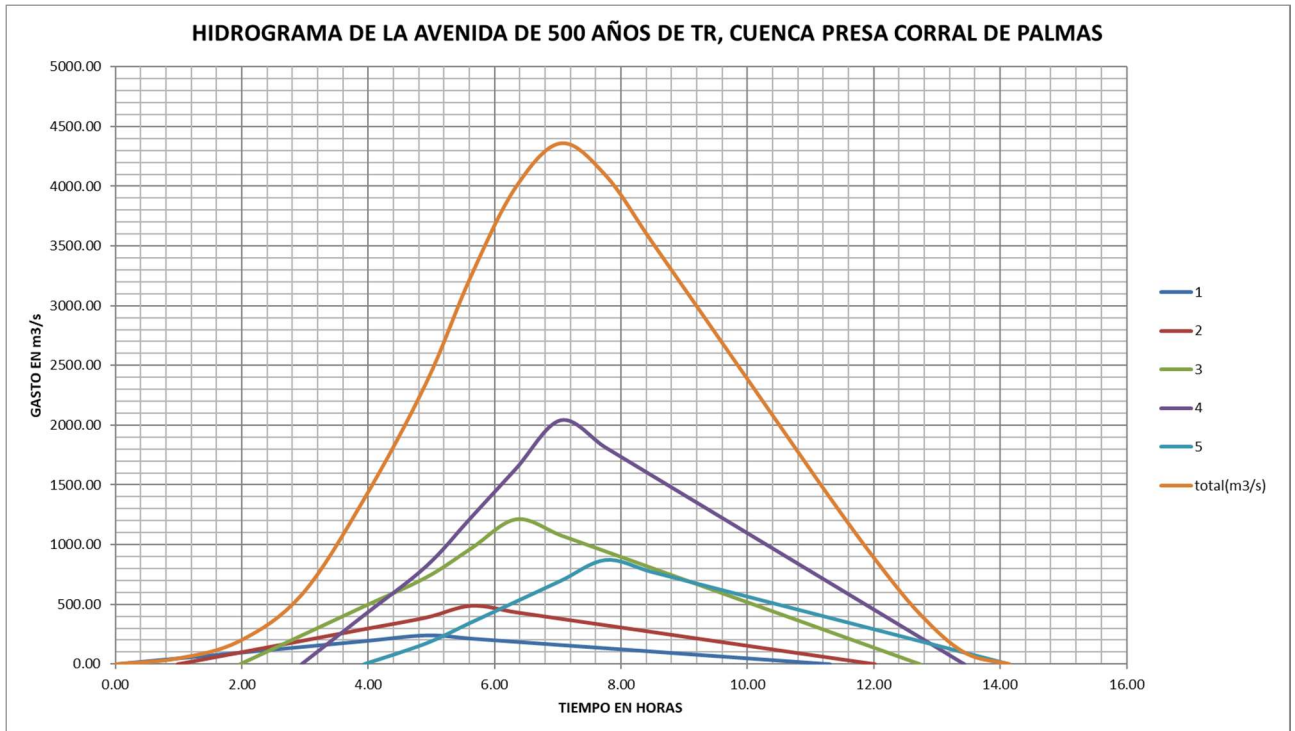
T(HRS)	1	2	3	4	5	total(m3/s)
0:00:00	0.00					0.00
0:59:00	0.98	34.45	0.00			34.45
1:58:00	1.97	68.91	68.91	0.00		137.81
2:57:00	2.95	103.36	137.81	172.26	0.00	413.43
3:55:59	3.93	137.81	206.72	344.53	289.40	978.46
4:54:59	4.92	172.26	275.62	516.79	578.81	1667.52
5:37:36	5.63	153.12	344.53	689.06	868.21	2302.98
6:20:12	6.34	133.98	306.25	861.32	1157.62	2831.26
7:02:49	7.05	114.84	267.97	765.62	1447.02	3091.57
7:45:26	7.76	95.70	229.69	669.92	1286.24	2901.70
8:28:02	8.47	76.56	191.40	574.21	1125.46	2518.89
9:10:39	9.18	57.42	153.12	478.51	964.68	2136.08
9:53:15	9.89	38.28	114.84	382.81	803.90	1753.27
10:35:52	10.60	19.14	76.56	287.11	643.12	1370.46
11:18:28	11.31	0.00	38.28	191.40	482.34	987.65
12:01:05	12.02		0.00	95.70	321.56	623.98
12:43:42	12.73			0.00	160.78	298.59
13:26:18	13.44				0.00	68.91
14:08:55	14.15					0.00



HIDROGRAMAS CUENCA Y SUPERPOSICIÓN, PARA Tr DE

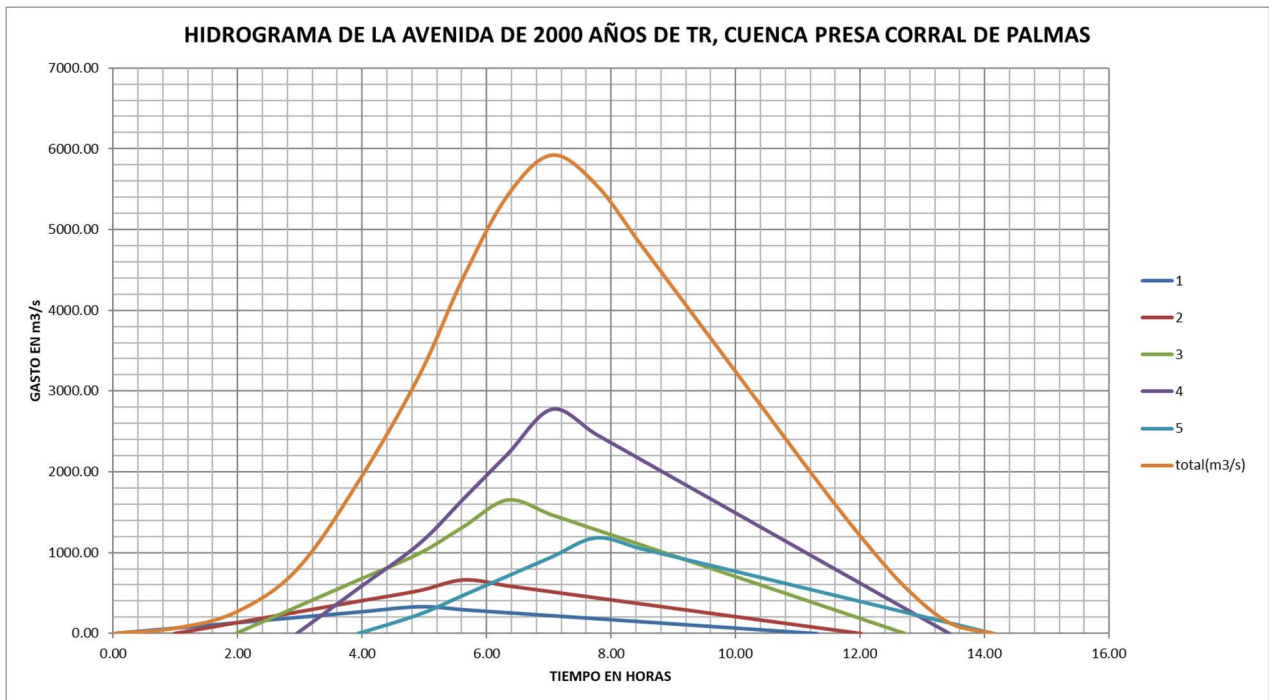
500 AÑOS

T(HRS)	1	2	3	4	5	total(m3/s)	
0:00:00	0.00					0.00	
0:59:00	0.98	48.58	0.00			48.58	
1:58:00	1.97	97.16	97.16	0.00		194.32	
2:57:00	2.95	145.74	194.32	242.89	0.00	582.95	
3:55:59	3.93	194.32	291.47	485.79	408.06	1379.64	
4:54:59	4.92	242.89	388.63	728.68	816.13	174.88	2351.22
5:37:36	5.63	215.91	485.79	971.58	1224.19	349.77	3247.23
6:20:12	6.34	188.92	431.81	1214.47	1632.25	524.65	3992.11
7:02:49	7.05	161.93	377.84	1079.53	2040.32	699.54	4359.15
7:45:26	7.76	134.94	323.86	944.59	1813.61	874.42	4091.43
8:28:02	8.47	107.95	269.88	809.65	1586.91	777.26	3551.66
9:10:39	9.18	80.96	215.91	674.71	1360.21	680.11	3011.90
9:53:15	9.89	53.98	161.93	539.77	1133.51	582.95	2472.13
10:35:52	10.60	26.99	107.95	404.82	906.81	485.79	1932.36
11:18:28	11.31	0.00	53.98	269.88	680.11	388.63	1392.60
12:01:05	12.02		0.00	134.94	453.40	291.47	879.82
12:43:42	12.73			0.00	226.70	194.32	421.02
13:26:18	13.44				0.00	97.16	97.16
14:08:55	14.15					0.00	0.00

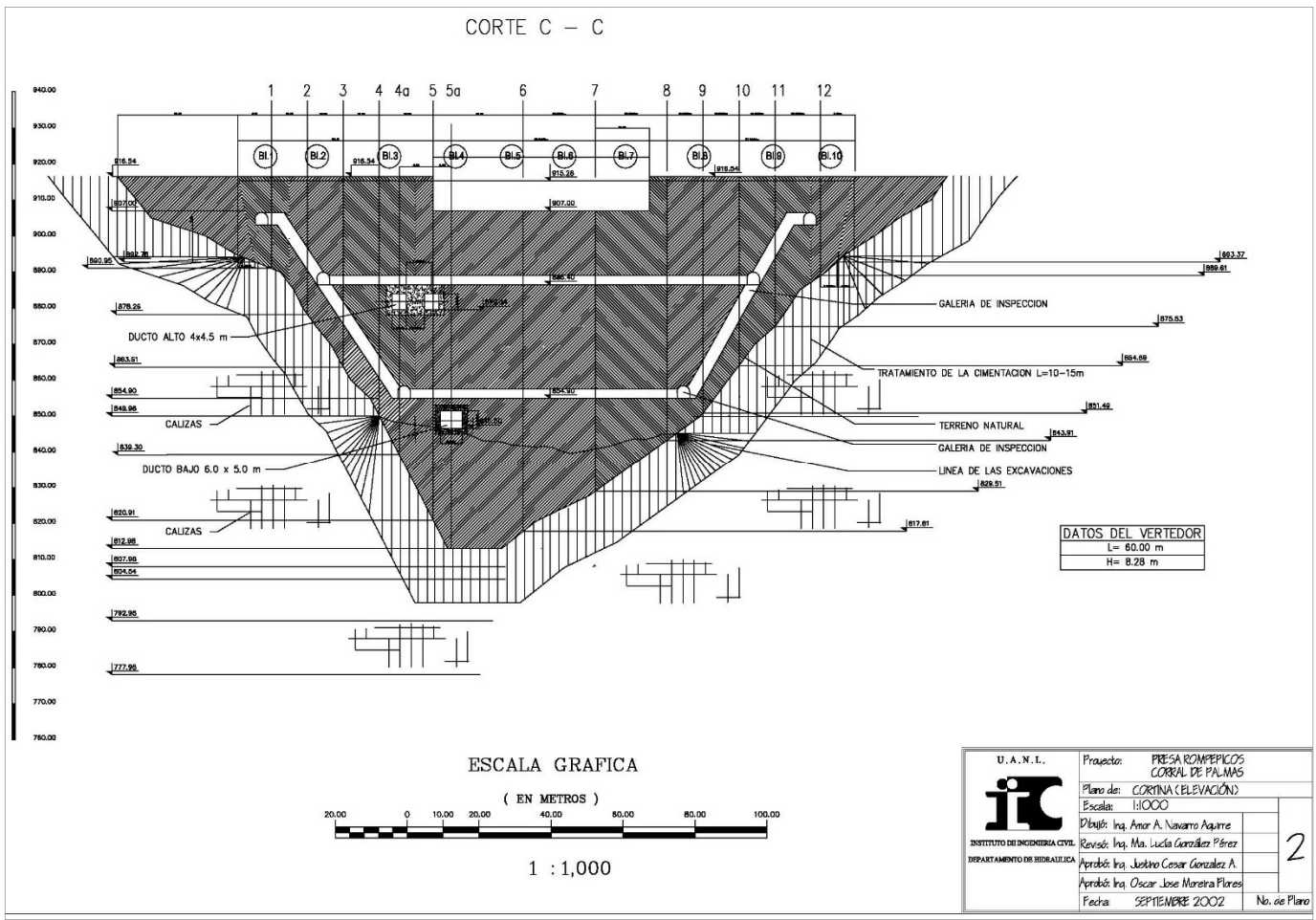
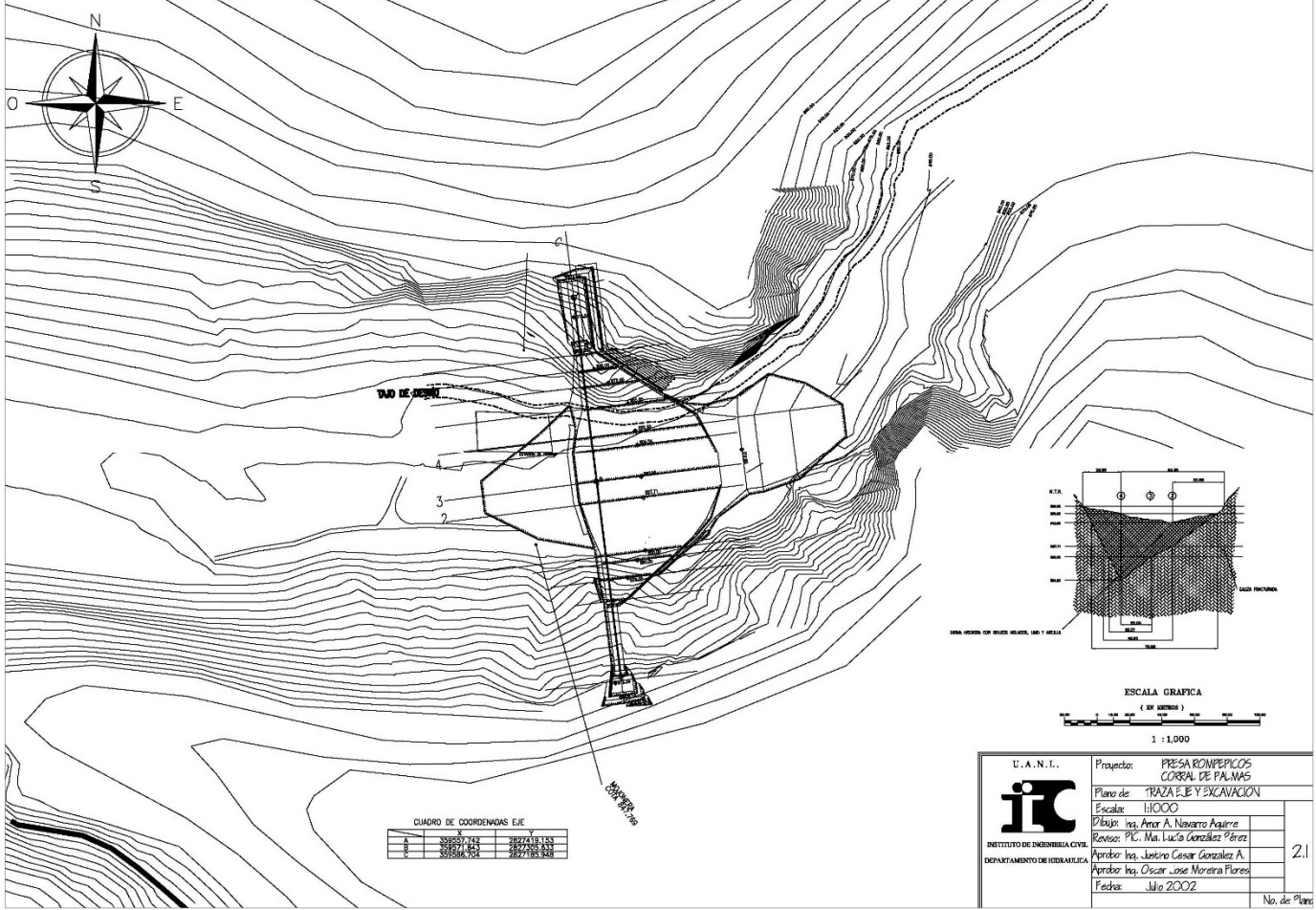


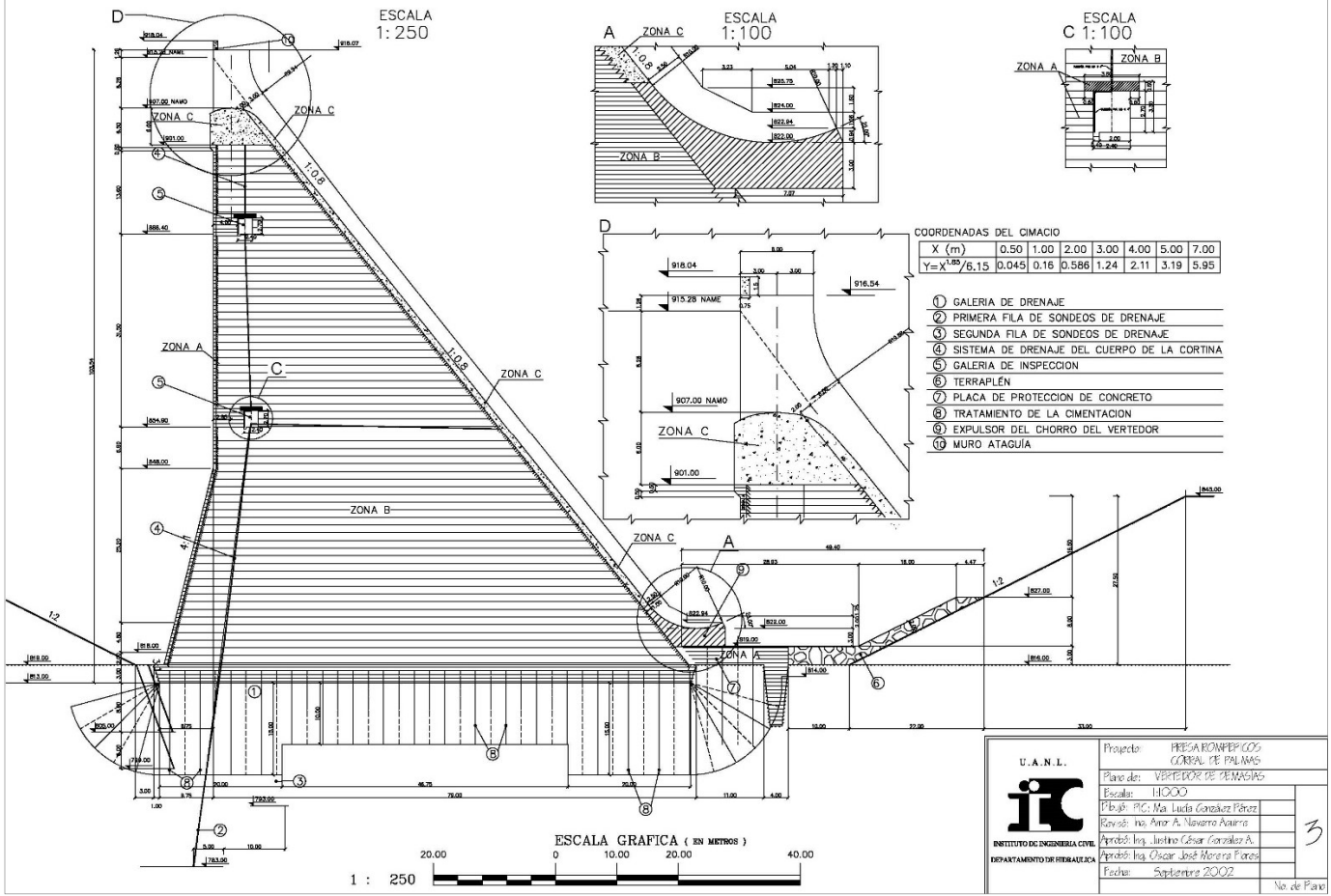
HIDROGRAMAS CUENCA Y SUPERPOSICIÓN, PARA Tr DE 2000 AÑOS

T(HRS)	1	2	3	4	5	total(m3/s)
0:00:00	0.00					0
0:59:00	0.98	65.98	0.00			66
1:58:00	1.97	131.96	131.96	0.00		264
2:57:00	2.95	197.94	263.92	329.91	0.00	792
3:55:59	3.93	263.92	395.89	659.81	554.24	1874
4:54:59	4.92	329.91	527.85	989.72	1108.48	3193
5:37:36	5.63	293.25	659.81	1319.62	1662.73	4410
6:20:12	6.34	256.59	586.50	1649.53	2216.97	5422
7:02:49	7.05	219.94	513.19	1466.25	2771.21	5921
7:45:26	7.76	183.28	439.87	1282.97	2463.30	5557
8:28:02	8.47	146.62	366.56	1099.69	2155.39	4824
9:10:39	9.18	109.97	293.25	916.41	1847.47	4091
9:53:15	9.89	73.31	219.94	733.12	1539.56	3358
10:35:52	10.60	36.66	146.62	549.84	1231.65	2625
11:18:28	11.31	0.00	73.31	366.56	923.74	1891
12:01:05	12.02		0.00	183.28	615.82	1195
12:43:42	12.73			0.00	307.91	572
13:26:18	13.44				0.00	132
14:08:55	14.15				0.00	0



**F.- Planos de la Presa Rompepicos “Corral de Palmas”**

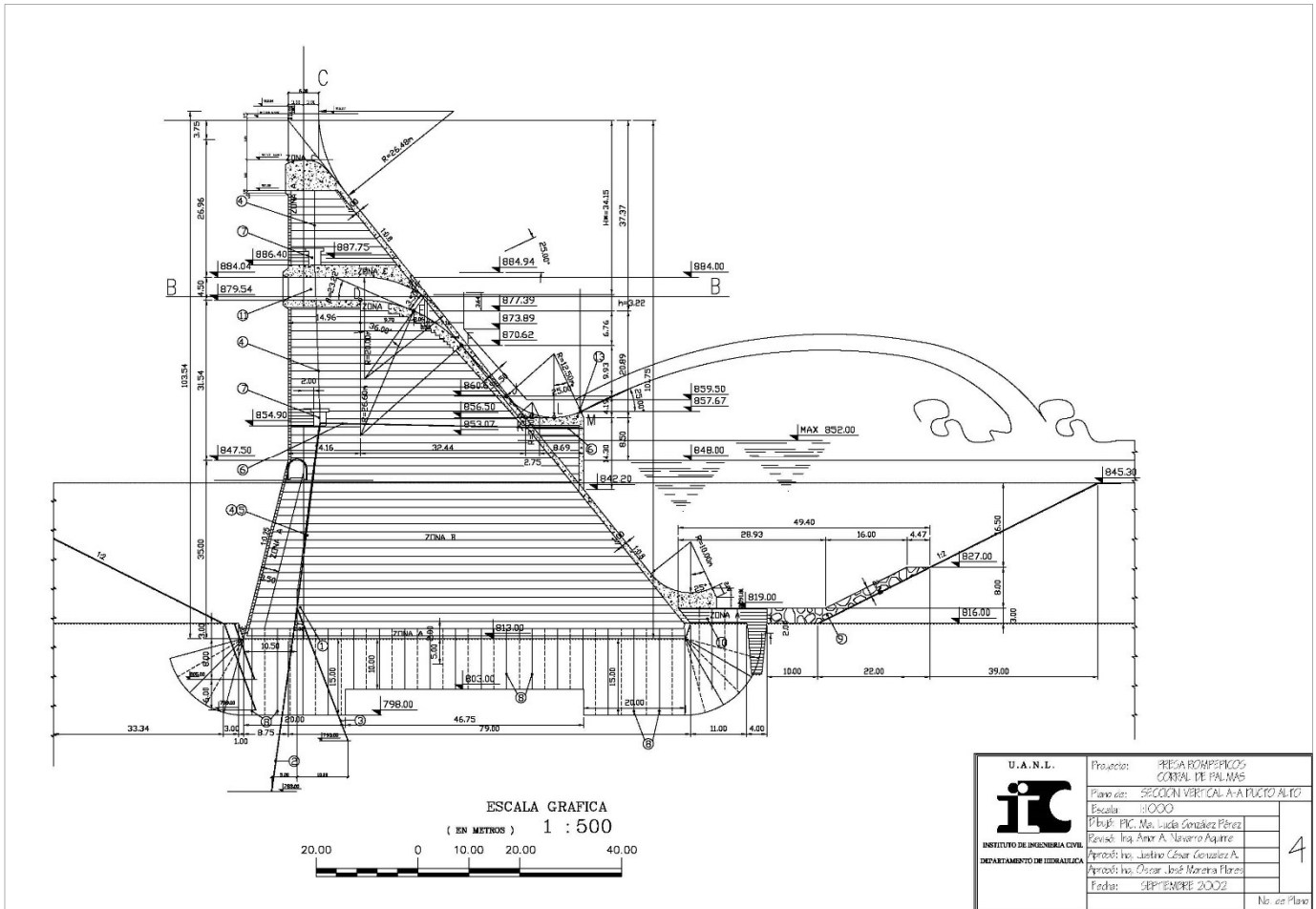




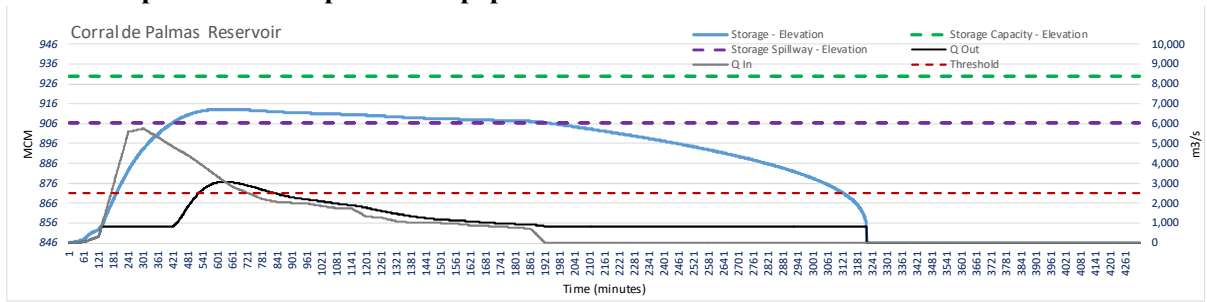
U.A.N.L. INSTITUTO DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA

Proyecto: PRESA ROMPEPICOS CORRAL DE PALMAS  
 Plano de: VERTEDOR DE DEMAGIAS  
 Escala: 1:1000  
 Pibuj: P.C. Ma. Lucía González Pérez  
 Revisó: Ing. Amor A. Navarro Acuña  
 Aprobó: Ing. Justino César González A.  
 Aprobó: Ing. Oscar José Herrera Flores  
 Fecha: Septiembre 2002

No. de Plano: 3



## G.- Modelo de operación de la presa Rompepicos “Corral de Palmas”



Desfogue = 838 m<sup>3</sup>/s  
 Storm Type = 1  
 Time step = 1 minutes  
 Max Streamflow Threshold = 2500 m<sup>3</sup>/s  
 Storage Capacity = 156.181 million m<sup>3</sup>  
 Storage at the Spillway = 65.227 million m<sup>3</sup>

TS_Date	Streamflow	Q <sub>In</sub>	S <sub>t-1</sub>	H(S <sub>t-1</sub> )	S <sub>t-1</sub> +Q <sub>In</sub>	H(S <sub>t-1</sub> +Q <sub>In</sub> )	Q <sub>t</sub> <sup>Desfogue</sup>	Q <sub>t</sub> <sup>Spillway</sup>	S <sub>t</sub>	S <sub>t</sub> <sup>Exceedance</sup>	Q <sub>t</sub> <sup>Out</sup>			
		(m <sup>3</sup> /s)	(MCM)	(msnm)	(MCM)	(msnm)	(m <sup>3</sup> /s)	(MCM)	(m <sup>3</sup> /s)	(MCM)	(m <sup>3</sup> /s)	(MCM)		
0:00	0.0001	0	0.0000	0.0	846.0	0.0000	846.0	0.0001	0.0000	0	0.0000	0.0	0.0000	
1:00	35.515	0.01	1	0.0000	0.0	846.0	0.0000	846.0	0.592015	0.0000	0.0	0.0000	0.6	0.0000
2:00	315.122	0.02	1	0.0001	0.0	846.0	0.0001	846.0	1.18393	0.0001	0.0	0.0000	1.2	0.0001
3:00	2944.31	0.03	2	0.0001	0.0	846.0	0.0001	846.1	1.775845	0.0001	0.0	0.0000	1.8	0.0001
4:00	5587.051	0.04	2	0.0001	0.0	846.0	0.0001	846.1	2.36776	0.0001	0.0	0.0000	2.4	0.0001
5:00	5753.006	0.05	3	0.0002	0.0	846.0	0.0002	846.1	2.959675	0.0002	0.0	0.0000	3.0	0.0002
6:00	5311.912	0.06	4	0.0002	0.0	846.0	0.0002	846.1	3.55159	0.0002	0.0	0.0000	3.6	0.0002
7:00	4835.638	0.07	4	0.0002	0.0	846.0	0.0002	846.2	4.143505	0.0002	0.0	0.0000	4.1	0.0002
8:00	4414.454	0.08	5	0.0003	0.0	846.0	0.0003	846.2	4.73542	0.0003	0.0	0.0000	4.7	0.0003
9:00	3886.663	0.09	5	0.0003	0.0	846.0	0.0003	846.2	5.327335	0.0003	0.0	0.0000	5.3	0.0003
10:00	3332.149	0.10	6	0.0004	0.0	846.0	0.0004	846.2	5.91925	0.0004	0.0	0.0000	5.9	0.0004
11:00	2820.536	0.11	7	0.0004	0.0	846.0	0.0004	846.3	6.511165	0.0004	0.0	0.0000	6.5	0.0004
12:00	2521.229	0.12	7	0.0004	0.0	846.0	0.0004	846.3	7.10308	0.0004	0.0	0.0000	7.1	0.0004
13:00	2207.449	0.13	8	0.0005	0.0	846.0	0.0005	846.3	7.694995	0.0005	0.0	0.0000	7.7	0.0005

Figura 56.- Operación de la presa Corral de Palmas durante el huracán Gilberto

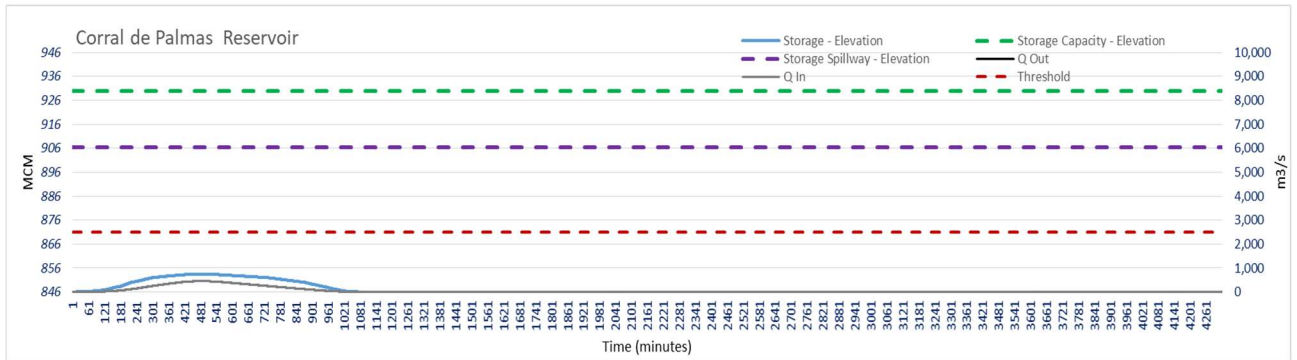


Figura 57.- Operación de la presa Corral de Palmas . Tr=2 años de periodo de retorno, no considera Cambio Climático

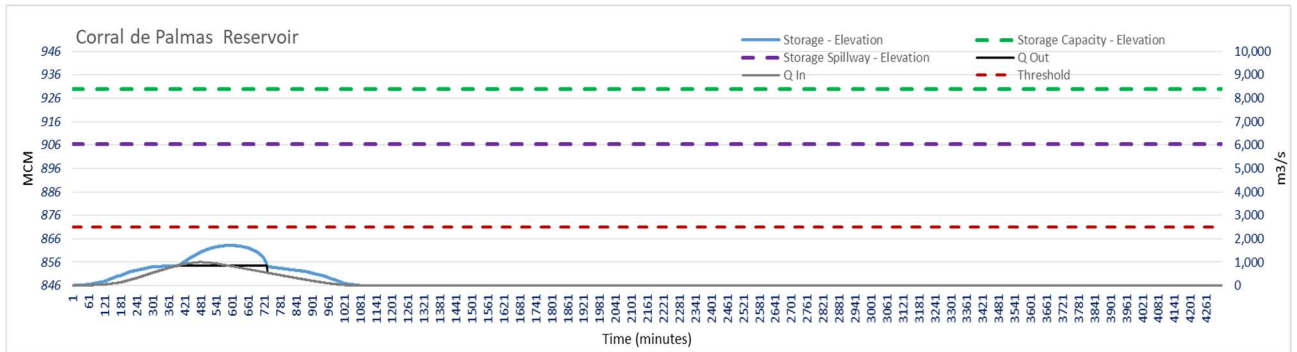


Figura 58.- Operación de la presa Corral de Palmas . Tr=5 años de periodo de retorno, no considera Cambio Climático



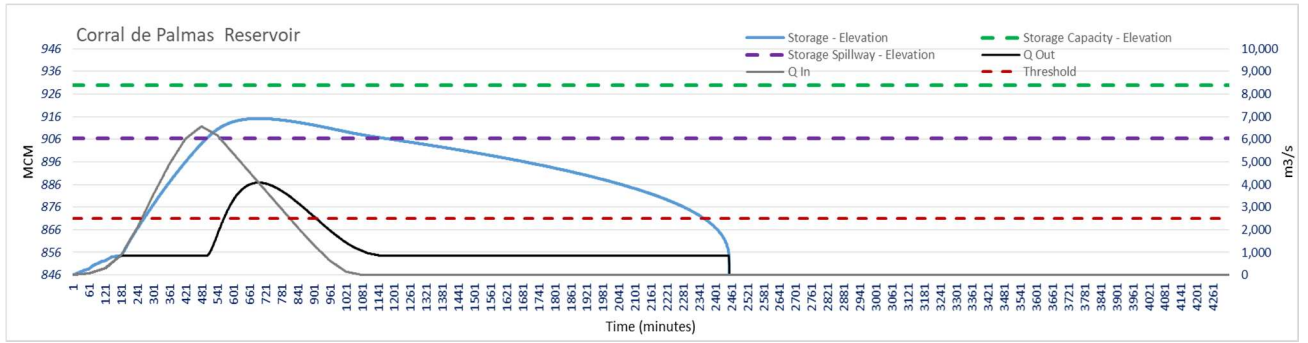


Figura 59.- Operación de la presa Corral de Palmas .  $Tr=500$  años de periodo de retorno, no considera Cambio Climático

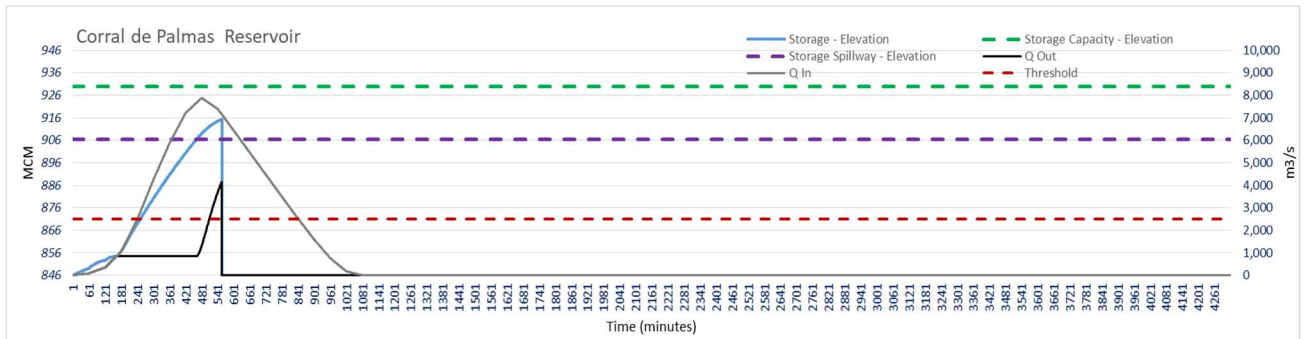


Figura 60.- Operación de la presa Corral de Palmas .  $Tr=2000$  años de periodo de retorno, no considera Cambio Climático

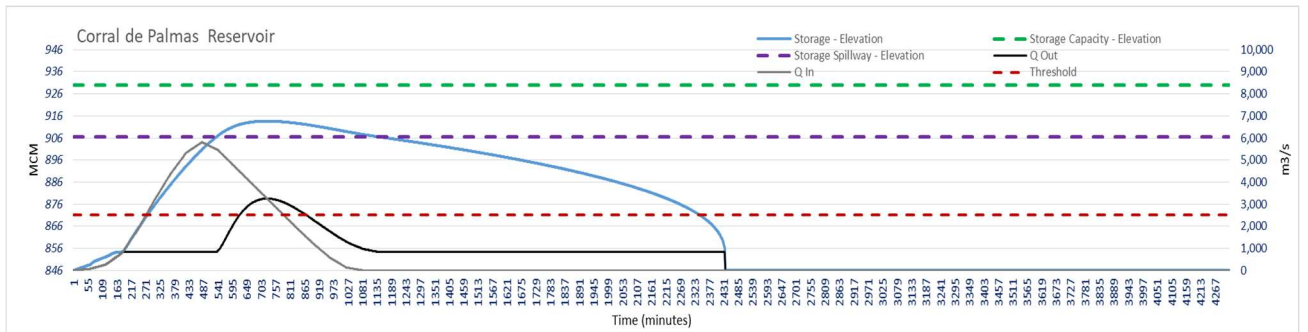


Figura 61.- Operación de la presa Corral de Palmas .  $Tr=1000$  años de periodo de retorno, considera Cambio Climático

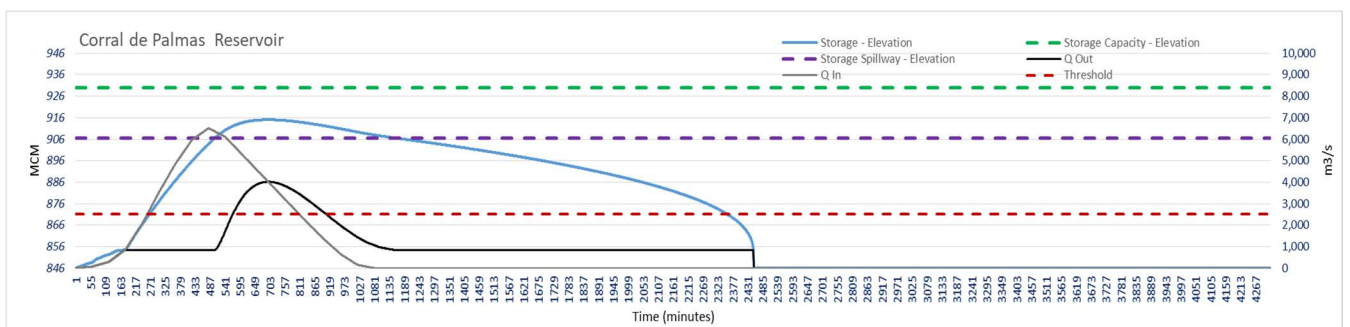


Figura 62.- Operación de la presa Corral de Palmas .  $Tr=2000$  años de periodo de retorno, considera Cambio Climático