

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología
Unidad Valle de las Palmas



ESCENARIOS HIDRICOS PARA LA CUENCA DEL RIO TIJUANA

Tesis que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

RUBEN OROZCO SANCHEZ

Director de tesis:

MICHELLE HALLACK ALEGRIA

Tijuana, Baja California

AGOSTO, 2016

A MIS PADRES, QUIENES DÍA A DÍA DAN LO MEJOR DE SÍ PARA QUE SEA FELIZ. GRACIAS POR TANTO AMOR, SIEMPRE SERÁN MIS ÍDOLOS.

A MI HERMANA, NUNCA DEJES DE SER ESA NIÑA TAN FELIZ QUE ME ALEGRA LA VIDA

A TODOS Y CADA UNO, QUE CON SU PRESENCIA, CONSEJOS, VOZ Y EXPERIENCIAS ME HAN CONVERTIDO EN UNA GRAN PERSONA. DE CORAZÓN, GRACIAS

“MERECE LO QUE SUEÑAS” G. CERATI

INDICE

PORTADA.....	1
HOJA DE FIRMA DE SINODALES	2
HOJA DE AGRADECIMIENTOS.....	3
INDICE	4
1.- OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS	6
1.1.- OBJETIVOS GENERALES	6
1.2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	6
2.- PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACION	7
2.1.- PROBLEMÁTICA	7
2.2.- JUSTIFICACION	7
3.- MARCO TEORICO	8
3.1.- CONCEPTOS DE HIDROLOGIA.....	8
3.1.1.- HIDROLOGIA.....	8
3.1.2.- EL CICLO HIDROLOGICO	8
3.1.3.- CUENCA HIDROLOGICA.....	9
3.1.4.- PRECIPITACION	11
3.1.5.- HIDROLOGIA PROBABILISTICA	12
3.1.6.- EVAPOTRANSPIRACION	14
3.2.- AREA DE ESTUDIO.....	16
3.2.1.- LA CUENCA DEL RIO TIJUANA	16
3.2.2.- CARACTERISTICAS DE CLIMA Y SUELO	17
4.- MATERIALES Y METODOS	19
4.1.- ANALISIS REGIONAL DE FRECUENCIAS PARA LA CRT	19
4.2.- BALANCE HIDRICO POR EL METODO DIRECTO.....	23
5.- RESULTADOS	27
6.- CONCLUSIONES	30
8.- BIBLIOGRAFIA	31
7.- ANEXOS	34

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.- EL CICLO HIDRICO	9
FIGURA 2.- TIPOS DE CUENCA	10
FIGURA 3.- CARACTERISTICAS DE LA CUENCA	11
FIGURA 4.- PLUVIOMETRO Y PLUVIOGRAFO	12
FIGURA 5.- LA CUENCA DEL RIO TIJUANA	16
FIGURA 6.- TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN EL CARRIZO	18
FIGURA 7.- PRECIPITACION ANUAL EN EL CARRIZO	19
FIGURA 8.- ETAPAS DEL ARF-LM	20
FIGURA 9.- ESTACIONES CLIMATOLOGICAS EN CRT	22
FIGURA 10.- UBICACION ESTACION 102 EL CARRIZO	24
FIGURA 11.- ESTACION CLIMATOLOGICA NO. 102 EL CARRIZO	24
FIGURA 12.- CARACTERISTICAS DE LA ESTACION EL CARRIZO.....	24
FIGURA 13.- DIAGRAMA DEL BALANCE HIDRICO	26
FIGURA 14.- ETP DESDE 1990 AL 2014	28
FIGURA 15.- PRECIPITACION E.T. POTENCIAL MENSUAL A 5 AÑOS	29

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.- LLUVIA ESPERADA PARA 5,10 Y 20 AÑOS USANDO DATOS INCOMPLETOS	20
TABLA 2.- ESTACIONES CLIMATOLOGICAS EN CRT	21
TABLA 3.- MEDIDA DE HETEROGENEIDAD PARA CRT	23
TABLA 4.- PRECIPITACION ANUAL DESDE 1990 HASTA 2014	27
TABLA 5.- HIPOTESIS DE RESERVA PARA EL SITIO DE INTERES	29

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.- RESULTADOS PARA P.R. DE 5, 10 Y 20 AÑOS	34
ANEXO 2.- LLUVIA MENSUAL EL CARRIZO 1990-2014	39
ANEXO 3.- DATOS DE CUANTILES, P.R. : 20 AÑOS AÑOS	40
ANEXO 4.- DATOS DE CUANTILES, P.R. : 10 AÑOS	41
ANEXO 5.- DATOS DE CUANTILES, P.R. : 5 AÑOS	42
ANEXO 6.- DATOS DE CUANTILES Y LLUVIA ESPERADA PARA CADA MES	43

1.- OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS

1.1.- Objetivo General

Estimar los escenarios de balance hídrico para el área de estudio de la estación climatológica El Carrizo dentro de la cuenca del Río Tijuana (CRT).

1.2.- Objetivos Específicos

- Estimar la lluvia esperada en la Cuenca del Río Tijuana para los periodos de retorno de 5,10 y 20 años, mediante la aplicación del Análisis Regional de Frecuencias basado en los L-momentos (ARF-LM).
- Realizar un balance hídrico a partir de las características del suelo y registros termo pluviométricos de la estación El Carrizo en el periodo comprendido de 1990 al año 2014.

2.- PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN

2.1.- Problemática

La concurrente sequía que azota la mayor parte del Estado de Baja California ha estado provocando serios problemas agrícolas en la región, así como la afectación en el sistema de abastecimiento de agua.

Un ejemplo de la afectación de la sequía dentro de la Cuenca del Río Tijuana es la presa Abelardo L. Rodríguez, la cual, cuenta con una capacidad de 137 millones de metros cúbicos de agua, y que actualmente cuenta con 14 millones de metros cúbicos de agua (Durán Cabrera Hernando, CESPT).

2.2 Justificación

Dentro de la Cuenca del Río Tijuana (CRT), se encuentra la ciudad de Tijuana que cuenta con una población de 1, 641,570 habitantes (INEGI, 2015), representa cerca del 60% del PIB estatal (casi los 260 mil millones de pesos), para dicha zona metropolitana es de vital importancia contar con agua suficiente y de calidad para abastecer a la ciudad y sus dinámicas sociales y económico-productivas. Un desabasto del agua en la Cuenca del Río Tijuana puede provocar erosión en el suelo, transformación del paisaje, cambios en los hábitos diarios de la población, incrementos superiores a la inflación promedio anual en la canasta básica y productos de uso diario. El agua es la base para la población y el desarrollo, su ausencia puede tener consecuencias peligrosas.

Las variaciones de precipitación dentro de la Cuenca del Río Tijuana van desde 200mm hasta los 1100mm (SDSU, 2005) generan incertidumbre con respecto a los escenarios de precipitación esperados, provocando algunos puntos con potencial de aprovechamiento y a su vez otros lugares donde la precipitación es mínima y requiere obras abastecimiento complejos.

El presente estudio tiene por objeto realizar un balance hídrico utilizando los datos de la estación climatológica El Carrizo para diferentes periodos de retorno, que sea representativo de gran parte de las condiciones existente en la Cuenca del Río Tijuana (CRT), de forma tal que se pueda estimar las condiciones de sequía regionales y establecer planes de acción eficientes para el abastecimiento de agua a la población y campos agrícolas.

3.- MARCO TEORICO

3.1 CONCEPTOS SOBRE HIDROLOGÍA

3.1.1 HIDROLOGIA

La Hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos. (Aparicio, 1992)

Es necesario limitar la parte de la hidrología que se estudia en la ingeniería a una rama que comúnmente se llama ingeniería hidrológica o hidrología aplicada que incluye aquellas partes del campo de la hidrología que atañen al diseño y operación de proyectos de ingeniería para el control y aprovechamiento del agua. El ingeniero que se ocupa de proyectar, construir o supervisar el funcionamiento de instalaciones hidráulicas debe resolver numerosos problemas prácticos de muy variado carácter. Por ejemplo, se encuentra con la necesidad de diseñar puentes, estructuras para el control de avenidas, presas, vertedores, sistemas de drenaje para poblaciones, carreteras y aeropistas y sistemas de abastecimiento de agua. Sin excepción, estos diseños requieren de análisis hídricos cuantitativos para la selección del evento de diseño necesario.

El objetivo de la hidrología aplicada es la determinación de esos eventos, que son análogos a las cargas de diseño en el análisis estructural, por poner un ejemplo de la ingeniería civil. Los resultados son normalmente sólo estimaciones, con aproximación limitada en muchos casos y burda en algunos otros. Sin embargo, estas estimaciones rara vez son menos aproximadas que las cargas usadas en el análisis estructural o el volumen de tráfico en carreteras, por ejemplo.

La hidrología juega también un papel importante en la operación efectiva de estructuras hidráulicas, especialmente aquellas que se destinan a la generación de energía y control de avenidas, donde se requiere con frecuencia de pronóstico de avenidas y sequías. Es así que la hidrología, en cuanto trata con un aspecto importante y vital del medio ambiente, que es el agua, es una ciencia esencial para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos y el diseño de obras de defensa.

3.1.2. EL CICLO HIDROLOGICO

En la Tierra, el agua existe en un espacio llamado hidrosfera, que se extiende desde unos quince kilómetros arriba en la atmósfera hasta un kilómetro por debajo de la litosfera o corteza terrestre. El agua circula en la hidrosfera a través de un laberinto de caminos que constituyen el ciclo hídrico. (Ven T. Chow, 1977)

El ciclo hídrico, como ya se mencionó, se considera el concepto fundamental de la hidrología. De las muchas representaciones que se pueden hacer de él, la más

ilustrativa es quizás la descriptiva (Figura 1). Como todo ciclo, el hídrico no tiene ni principio ni fin; y su descripción puede comenzar en cualquier punto. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra. El agua interceptada y una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente. De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega hasta los océanos y otros grandes cuerpos de agua, como presas y lagos. Del agua infiltrada, una parte es absorbida por las plantas y posteriormente es transpirada, casi en su totalidad, hacia la atmósfera y otra parte fluye bajo la superficie de la tierra hacia las corrientes. La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía superficial regresa a la atmósfera mediante la evaporación. El agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial, y finalmente fluye hacia el mar o se evapora en la atmósfera a medida que el ciclo hídrico continúa.

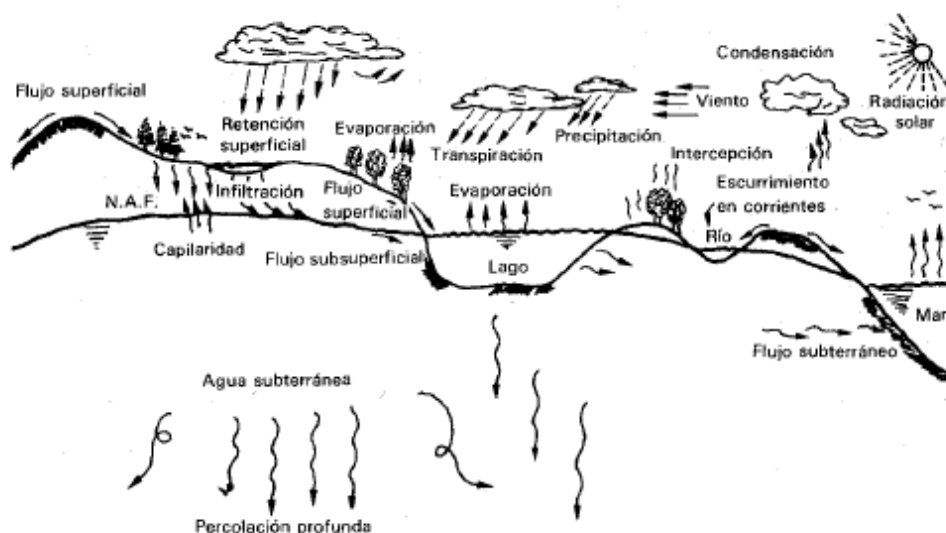


Figura 1.- El Ciclo Hídrico. Fuente: Aparicio-Mijares, 1992.

3.1.3. CUENCA HIDROLOGICA

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida (Aparicio, 1992). La definición anterior se refiere a una cuenca superficial; asociada a cada una de éstas existe también

una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial. De ahí la aclaración de que la definición es válida si la superficie fuera impermeable.

Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. En las primeras el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago; en las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar (Figura 2).

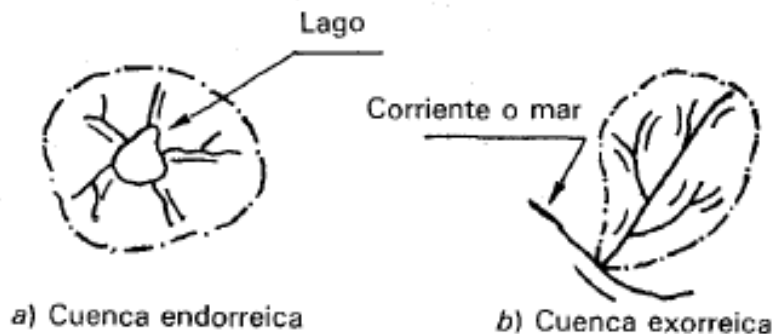


Figura 2.- Tipos de Cuenca. Fuente: Aparicio-Mijares, 1992.

El ciclo hídrico, visto a nivel de una cuenca, se puede esquematizar como un estímulo, constituido por la precipitación, al que la cuenca responde mediante el escurrimiento en su salida. Entre el estímulo y la respuesta ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre uno y otra, y que están controlados por las características geomorfológicas de la cuenca y su urbanización. Dichas características se clasifican en dos tipos, según la manera en que controlan los fenómenos mencionados: las que condicionan el volumen de escurrimiento, como el área de la cuenca y el tipo de suelo, y las que condicionan la velocidad de respuesta, como son el orden de corrientes, pendiente de la cuenca y los cauces, etc. Algunas de las características de la cuenca y los cauces de mayor importancia por sus efectos en la relación precipitación-escurrimiento se representan en la Figura 3 y son las siguientes:

- El parte aguas es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas.
- El área de la cuenca se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parte aguas.
- La corriente principal de una cuenca es la corriente que pasa por la salida de la misma. Nótese que esta definición se aplica solamente a las cuencas exorreicas.
- Las demás corrientes de una cuenca de este tipo se denominan corrientes tributarias. Todo punto de cualquier corriente tiene una cuenca de aportación, toda cuenca tiene una y sólo una corriente principal. Las cuencas correspondientes a las corrientes tributarias o a los puntos de salida se llaman cuencas tributarias o subcuencas.

Entre más corrientes tributarias tenga una cuenca, es decir, entre mayor sea el grado de bifurcación de su sistema de drenaje, más rápida será su respuesta a la precipitación.

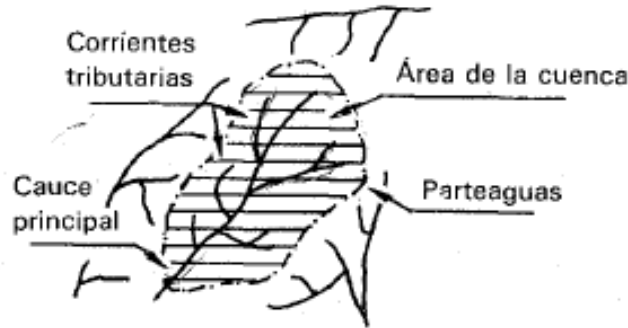


Figura 3.- Características de la Cuenca. Fuente: Aparicio-Mijares, 1992.

3.1.4. PRECIPITACION

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua. (Aparicio, 1992)

La precipitación puede definirse como el fenómeno físico que consiste en la transferencia de volúmenes de agua, en sus diferentes formas (lluvia, nieve, granizo, etc.) de la atmosfera a la superficie terrestre. El proceso de generación de la precipitación involucra la humedad en la atmosfera la cual es influenciada por factores climáticos tales como el viento, la temperatura y la presión atmosférica. La humedad de la atmosfera es necesaria pero la precipitación no ocurre si no se tiene la suficiente condensación.

Debido a la condensación sobre núcleos, se forman gotas de tamaño entre 100 y 500 μ , que, debido al propio peso, se precipitan. En la caída, al chocar con otras gotas, van creciendo y pueden alcanzar diámetros entre 5 y 7 mm. (Pérez Morales, Rodríguez Castro, 2009)

Las masas de aire continental por lo general contienen muy poca humedad, por lo que la mayoría de la precipitación proviene de corrientes de aire húmedo que se genera sobre los océanos. Los principales tipos de precipitación son: Llovizna, lluvia, nieve, aguanieve, lluvia congelante y granizo.

Debido a que la precipitación ocurre en un espacio geográfico, resulta más conveniente expresarla en términos de una altura de lámina de agua, en mm. Sin embargo, es necesario suponer que se distribuye uniformemente sobre un área unitaria. Esto no es necesariamente cierto, ya que es común, aún en eventos de poca extensión, notar diferencias en la cantidad de agua precipitada, pero para

finés prácticos y con el objeto de facilitar el análisis, se asume el principio de uniformidad.

La mayoría de los aparatos que se utilizan para medir precipitación se basan en recipientes cilíndricos, expuestos a la intemperie y abiertos en la parte superior para captar el agua que se precipita, registrando su altura. (Pérez Morales, Rodríguez Castro, 2009).

El Pluviómetro es un cilindro con un embudo que alimenta una probeta graduada en el cual se miden alturas totales de lluvia. Un esquema simplificado de este aparato se muestra en la Figura 4-A.

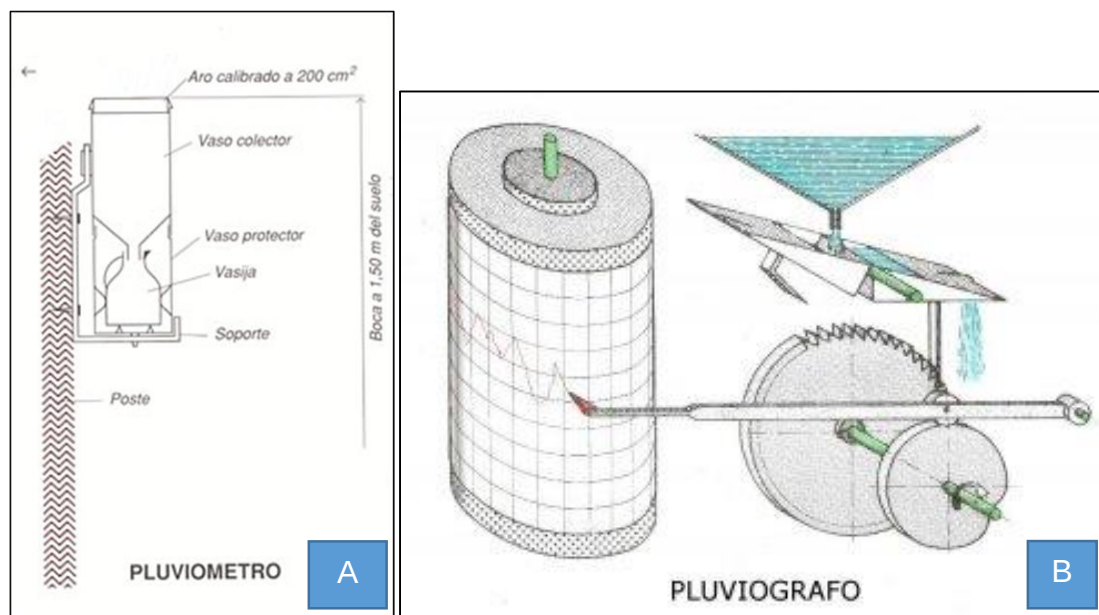


Figura 4.- Pluviómetro y Pluviógrafo. Fuente: <http://www.progettodighe.it/> , 2009

Los pluviógrafos son semejantes a los pluviómetros, con la diferencia de que tienen un mecanismo para producir un registro continuo de precipitación. Este mecanismo está formado por un tambor que gira a velocidad constante sobre el que se coloca un papel graduado especialmente. En el recipiente se coloca un flotador que se une mediante un juego de varillas a una plumilla que marca las alturas de precipitación en el papel (véase Figura 4-B). El recipiente normalmente tiene una capacidad de 10 mm de lluvia y, al alcanzarse esta capacidad, se vacía automáticamente mediante un sifón. El pluviógrafo antes descrito es el de uso más común en México. (Pérez Morales, Rodríguez Castro, 2009)

3.1.5 HIDROLOGIA PROBABILISTICA

Los métodos estadísticos están basados en principios matemáticos que describen la variación aleatoria de un conjunto de observaciones de un proceso, y estos centran su atención en las observaciones mismas en lugar de los principios físicos que las producen. La estadística es una ciencia de descripción, no de causalidad

(Ven Te Chow, 1996). Este tipo de tratamiento es apropiado para observaciones de eventos hidrológicos extremos, como crecientes o sequías, y para información hidrológica promediada a lo largo de intervalos de tiempo grandes, como la precipitación anual.

Así pues, en la sequía, posible resultado del balance hídrico, el tratamiento probabilístico es fundamental para poder estimar el periodo de recurrencia de esta amenaza natural que afecta a la zona estudiada. La magnitud con la que una sequía se presente esta inversamente relacionada con su frecuencia de ocurrencia. Entre más intensa sea la sequía menor será la frecuencia que aquellas sequías moderadas.

El objetivo del análisis de frecuencia de estos eventos hidrológicos es relacionar su magnitud con su frecuencia de ocurrencia a través del uso de las llamadas funciones de distribución de probabilidad. Para ello, se requiere partir de algunos supuestos básicos, como son la independencia estadística de la variable en estudio, que el sistema hidrológico que la produce es aleatorio, estacionario y se encuentra idénticamente distribuido e independiente del tiempo y del espacio (Chow et al, 1996)

Para calcular el balance hídrico es necesario estimar el periodo de retorno asociado al evento especificado, basado en una serie histórica de registros de precipitación anual para el sitio o área de estudio, los cuales habitualmente consistirán en datos registrados en una estación meteorológica.

El ingeniero/analista debe poder resolver dos cuestiones básicas en esta cuando las series de datos disponibles sea escasa o insuficiente, para enfrentar el problema de realizar inferencias cuando el periodo de retorno es bastante mayor a la longitud de registros que tenemos disponibles: Establecer en primer lugar qué tipo de modelos permiten caracterizar adecuadamente la función de distribución de probabilidad y por otro lado, cual es el procedimiento más adecuado para determinar las características del modelo que mejor representa esa distribución de probabilidad a partir de la serie de datos disponibles (Hallack-Alegría, 2010).

Entre los métodos para la estimación de los parámetros de la distribución y su mejor ajuste más utilizados son:

- Método gráfico
- Método de los momentos
- Método de máxima verosimilitud
- Procedimiento de mínimos cuadrados
- Método de los momentos ponderados por probabilidad
- Método de los L-momentos
- Estimación bayesianas
- Método de máxima entropía
- Método multicriterio

3.1.6 EVAPOTRANSPIRACION

La evapotranspiración es el resultado del proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a estado gaseoso y directamente, o a través de las plantas, vuelve a la atmosfera en forma de vapor. Es la suma de evaporación y transpiración, y solo es aplicable a una determinada área de terreno cubierta por vegetación. Cuando no exista vegetación presente solo podrá hablarse de evaporación. (Aparicio, 1992)

Los factores que inciden en la evapotranspiración son:

1. Factores meteorológicos:
 - a) Radiación solar. - La evaporación varia con la latitud, hora del día y condiciones de nubosidad.
 - b) Viento. - La velocidad y turbulencia del viento ayuda a la renovación de la masa de aire que recibe el vapor y, en consecuencia, disminuye su tensión de vapor, incrementando la evaporación.
2. Calidad del Agua. - El efecto de la salinidad o la presencia de solidos disueltos en el agua, reduce la tensión de vapor de la solución y con ello disminuye la evaporación. Sin embargo, con la reducción de evaporación se produce un aumento de temperatura del agua que compensa parcialmente la reducción de tensión de vapor, por lo que los efectos de la salinidad pueden depreciarse en la estimación de la evaporación.
3. Temperatura. - Influyendo sobre todo la exposición de la hoja de la planta nativa al sol.
4. La humedad del aire
5. La humedad del suelo. - De la que depende la cantidad de agua que puede disponer la planta.

Desde el punto de vista práctico, dado que la evapotranspiración depende, entre otros, de dos factores muy variables y difíciles de medir, tales como el contenido de humedad del suelo y el desarrollo vegetativo de la planta, Thornthwaite (1948) introdujo un nuevo concepto, optimizando ambos factores y lo denominó Evapotranspiración Potencial (ETP), la cual se define como la cantidad máxima posible de agua que perdería el suelo, tanto por evaporación y por transpiración, suponiendo que el mismo se mantuviera con una capacidad de campo permanentemente completa y con un desarrollo vegetal óptimo. Solo en condiciones ideales, la evaporación real coincidirá con la potencial. Cabe señalar que se entiende por capacidad de campo al contenido de humedad de un suelo una vez que ha cesado el drenaje natural del mismo por gravedad.

Para estimar la Evapotranspiración (ET) la metodología de Thornthwaite es adecuada para la Evapotranspiración Potencial (ETP), y la fórmula de Turc para la Evapotranspiración Real (ETR), que se encuentran descritas por Aparicio Mijares (1992) y por Custodio (1983).

Según Francisco Aparicio (1992), el método de Thornthwaite utiliza los datos de temperaturas medias mensuales y obtiene la ETP a partir de la siguiente fórmula:

$$ETP = 1.6ka\left(\frac{10T}{I}\right)^a \quad (1)$$

Dónde:

ETP = Evaporación potencial no ajustada para meses de 30 días de 12 horas luz (mm).

T = Temperatura media mensual (°C).

ka = constante que depende de la latitud y el mes del año.

I = suma de (i) para todos los meses del año o semana anual de calor.

a = constante que depende del lugar y que es función del índice de eficiencia anual de temperatura, cuyo valor es:

$$a = 0.000000675 I^3 - 0.0000771 I^2 + 0.017925I + 0.49239 \quad (2)$$

i = eficiencia de la temperatura

I = índice anual de calor (o temperatura). Es la suma de las eficiencias mensuales de Temperatura.

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \quad (3)$$

La evapotranspiración potencial no ajustada se corrige por la duración real del día en horas y los días del mes y se obtiene la evapotranspiración potencial ajustada.

El método de Turc, según Custodio y Llamas (1983), determina la ETR a partir de los datos de precipitación anual y de temperatura media anual mediante la siguiente expresión:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (4)$$

Dónde:

ETR = Evapotranspiración anual (mm).

P = precipitación anual (mm).

L = coeficiente que depende de la temperatura media anual, y se obtiene:

$$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$$

T = temperatura media del aire (°C)

3.2. AREA DE ESTUDIO

3.2.1 LA CUENCA DEL RIO TIJUANA

Los sistemas humanos y naturales de la Cuenca del Río Tijuana (CRT) se caracterizan por su diversidad, complejidad y dinamismo. La cuenca de 4,532 kilómetros cuadrados se encuentra en ambos lados de la línea internacional (ver Figura 5). Esta cuenca tiene diversos relieves y topografía que varían desde un estuario con mareas en la boca del Río Tijuana hasta montañas cubiertas de bosques de pinos con elevaciones de 1,829 metros en el extremo superior de la cuenca. Las mesetas y relieves costeros; los amplios valles interiores que incluyen los de Tijuana, Alamar, Las Palmas y Tecate; y una altiplanicie y montañas en la orilla este de la cuenca integran el panorama de la topografía de la cuenca. La topografía variada y el clima mediterráneo producen temperaturas promedio que oscilan entre los 8 y 18 grados Celsius y precipitaciones anuales desde 150 a 650 milímetros (SDSU, 2005) que ocurren principalmente en los meses invernales durante unas cuantas tormentas. Aunque la mayor parte de la cuenca se encuentra dentro de un régimen climático mediterráneo, una parte de su superficie está sujeta a condiciones áridas y semiáridas. Las variaciones en su topografía, geología, precipitación y temperatura han producido una diversidad extraordinaria de ecosistemas y especies de flora y fauna. El cambio en los usos del suelo, provocados por el crecimiento poblacional, ha causado que esta región tenga uno de los mayores números de especies amenazadas y en peligro de extinción que en cualquier otra parte de Norteamérica.

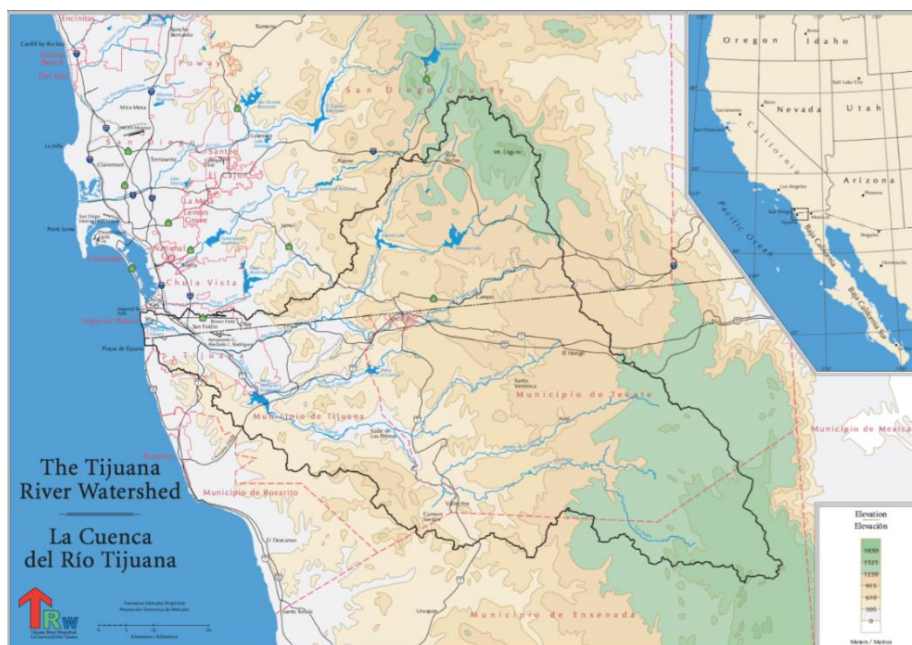


Figura 5.- La Cuenca del Río Tijuana. Fuente: Atlas de la Cuenca del Río Tijuana, 2005

El dinamismo, la diversidad y la complejidad también caracterizan los sistemas humanos de la CRT. Dos naciones distintas con idiomas, culturas, sistemas políticos y administrativos, tradiciones jurídicas y economías muy diferentes

ocupan porciones de la cuenca, separadas por una línea internacional permeable. El acelerado crecimiento poblacional se debe a la migración de otras partes de México y de los Estados Unidos. La tasa actual del crecimiento anual de la población de Tijuana es de 4.9%. Ésta impulsa la expansión urbana que amenaza con crear una zona urbana contigua aguas arriba hacia Tecate y el Valle de Las Palmas, pasando por los cerros costeros hacia Playas de Rosarito. Las orillas de la parte baja de la CRT en San Diego están siendo rápidamente edificadas con desarrollos residenciales y comerciales. La parte alta de la cuenca en el Condado de San Diego también se encuentra bajo intensa presión de desarrollo. (SDSU, 2005)

La línea internacional que atraviesa a la CRT separa la economía sumamente desarrollada de San Diego de las economías en vías de desarrollo de Tijuana y Tecate. Las asimetrías económicas, que son muy significativas, son evidentes a través de la frontera. Por lo general, el salario mínimo y el producto regional bruto de San Diego son de 10 a 15 veces más altos que los de Tijuana. Los niveles desiguales de inversión en la infraestructura urbana y de transporte también reflejan las asimetrías económicas. Asimismo, se manifiestan diferencias en las características urbanas, tales como la densidad de vivienda que es mucho mayor en la parte bajacaliforniana de la CRT. Los crecientes enlaces económicos a través de la frontera en la CRT están produciendo una economía regional integrada. La población transfronteriza también se está integrando más mediante la tendencia a largo plazo de una población creciente de origen mexicano en la parte sandieguina de la CRT, tanto en la parte baja como en la parte alta de la cuenca. Además de los grupos poblacionales dominantes de mexicanos y anglos, la CRT cuenta con grupos afroamericanos, así como también de chinos y otros asiáticos. Los pueblos tribales de americanos nativos, los primeros habitantes de la región, también son importantes en la mezcla cultural de la CRT.

En esta investigación se presenta la regionalización de CRT en dos regiones homogéneas estadísticamente a partir de los registros históricos de precipitación, resultado de un Análisis Regional de Frecuencias. El área de estudio se limitará a la Región 1, que concentra a la Ciudad de Tijuana, Valle de las Palmas, San Diego, estuario de la cuenca y el sistema de presas del lado mexicano de la CRT, en este sentido se presentan las características climáticas del área de estudio, apoyándose en los datos termopluviométricos de la estación climática El Carrizo, que del lado mexicano de la CRT posee el registro más amplio de años de operación con la mayor cantidad de datos para el Balance Hídrico propuesto.

3.2.2. CARACTERÍSTICAS DE CLIMA Y SUELO DE EL CARRIZO

La estación meteorológica No. 102 “El Carrizo” (A. Carrizo, Río Tijuana) se encuentra ubicada en Longitud 116° 41’55.8”, Latitud 32° 28’ 48.2” y 295msnm de Altitud. Según la clasificación climatológica de Koppen-Gerger, el clima donde se ubica la Presa El Carrizo pertenece a una región BSk; clima seco, semiárido y frío,

donde la precipitación anual es menor a la evaporación del agua en la zona. (Kottek M., 2006)

En cuanto los vientos que predominan en la zona, la mayor parte del año provienen del suroeste al noroeste. Entre abril y mayo la temperatura de la región tiende a ascender, y los vientos de Santa Ana se vuelven más comunes por las diferencias de temperatura en algunos niveles del suelo. Por lo mismo los vientos soplan hacia el sur de E.U.A. a través de la costa y montañas del suroeste de California, la dirección del viento cambia y proviene de la costa de California (E.U.A.), y se extienden hacia las costas de Baja California (Westerling A.L., 2004). Los vientos de Santa Ana, además de provocar cambios en la humedad y la temperatura, también pueden ocasionar incendios debido a climas muy secos, que en consecuencia afecta los hábitats de la región.

De acuerdo con datos de INEGI (2015) La vegetación que predomina en el área de influencia está conformada principalmente por pastizales inducidos y chaparrales. Es importante hacer mención que esta vegetación presenta rasgos que le permiten sobrevivir a una ausencia de suministro de agua abundante. Sin embargo, las condiciones del suelo y su ambiente de aridez se deben a pocas precipitaciones en conjunto con un alta ET debido al viento y/o las altas temperaturas, al igual que a una escasa retención del agua en el suelo (Hanson R.L., 1988).

Con los datos obtenidos de la CONAGUA la temperatura media anual desde 1990 hasta el 2014 en el área de estudio es de 18.0°C, en la que el mes de agosto es el más caliente con una temperatura media de 23.6 ° C y los meses de diciembre y enero los más fríos con una temperatura media de 13.6°C. Las temperaturas medias varían en 10.0°C a lo largo del año. La Figura 6 presenta las temperaturas registradas por la Estación climática.

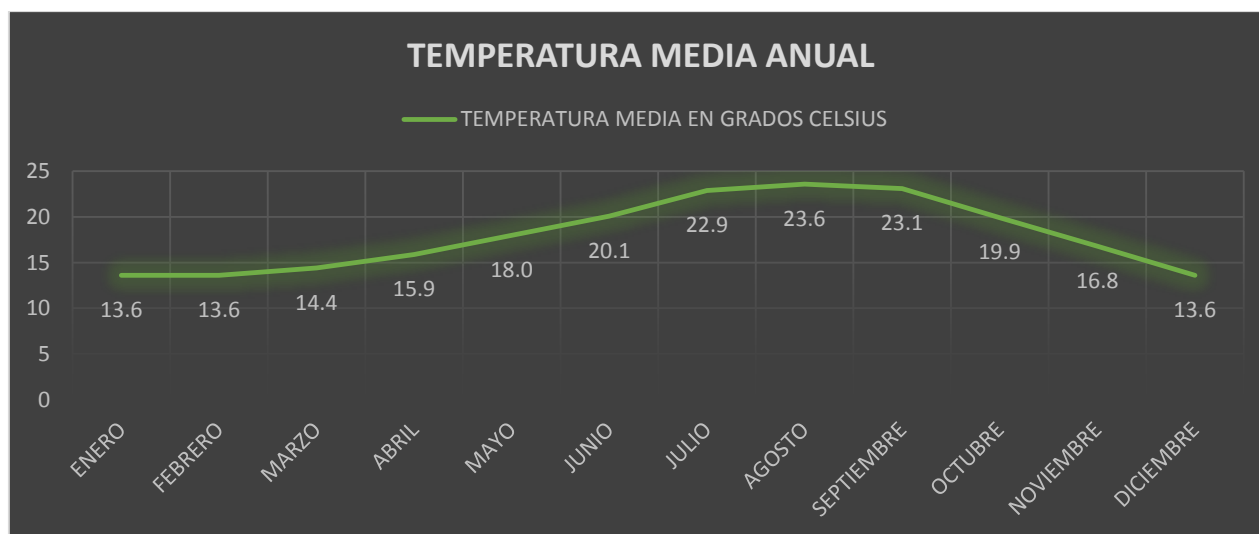


Figura 6.- Temperatura Media Anual registrada en El Carrizo.
Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de CONAGUA.

Los datos de la precipitación media anual registrados por la estación El Carrizo para el periodo de 1990 a 2014 se muestra en la Figura 7. Se logra observar a simple vista que los valores de precipitación anual son bajos en casi la mitad del periodo y varían en grandes cantidades; con mínimas que van desde los 123mm hasta máximos en el orden de 454mm. A partir de esta variación se puede justificar la necesidad de caracterizar los años “tipo” en secos, medios y húmedos y la importancia de determinar estos límites, particularmente se considerará como años secos aquellos cuya precipitación media anual se encuentre por debajo del 15% de la media anual histórica, análogamente como años húmedos aquellos que se encuentran arriba del 15% de dicha media, y los años medios aquellos que se encuentran dentro del 15% de variación de la media.

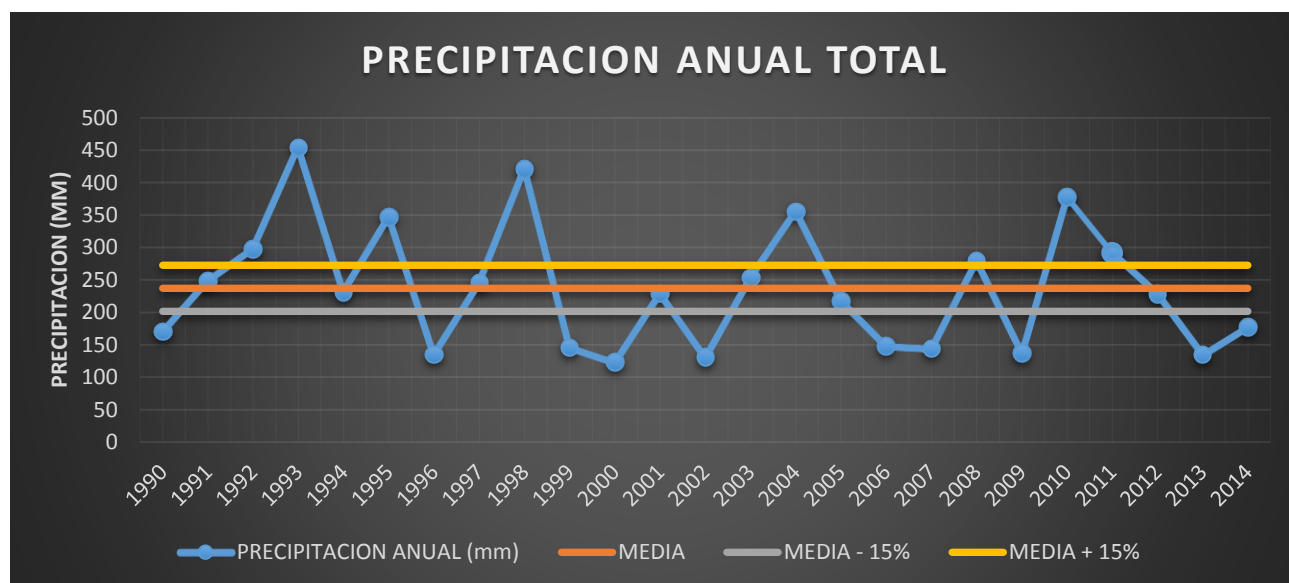


Figura 7.- Precipitación anual total en El Carrizo.
Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de CONAGUA.

4.- MATERIALES Y METODOS

4.1. ANALISIS REGIONAL DE FRECUENCIAS (ARF-LM) PARA LA CRT.

El Análisis Regional de Frecuencias basado en los L-momentos (ARF-LM), desarrollado por Hosking y Wallis (1997) y consta de 4 etapas, otros autores como Nuñez et al., (2011) y Hallack et al., (2012) han añadido el mapeo como quinta etapa para el análisis de intensidad, duración y frecuencia de fenómenos de sequía. Las etapas son entonces (Figura 8):

- 1.- Preparación de los datos y control de calidad.
- 2.- Identificación de regiones homogéneas.
- 3.- Selección de la distribución de frecuencia (probabilidad).
- 4.- Estimación de parámetros y la función de cuantiles.
- 5.- Mapeo.

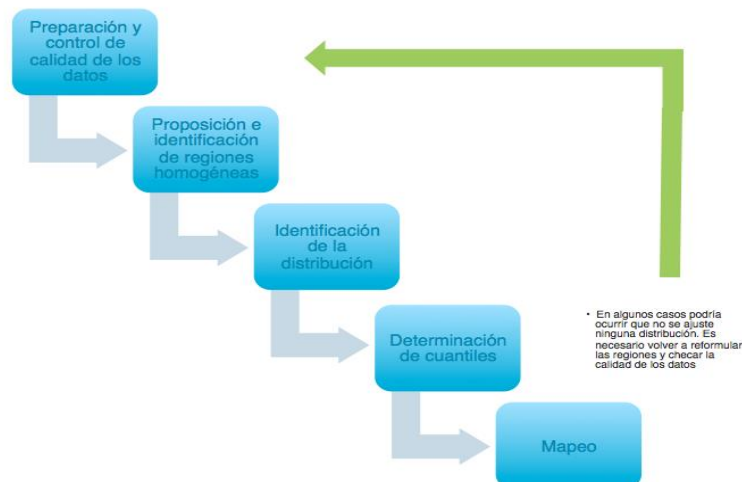


Figura 8.- Etapas del ARF-LM, Fuente: Elaboración propia.

En el año 2014 se realizó una primera aproximación de la estimación de lluvia esperada para CRT aplicando el ARF-LM, con diez estaciones climatológicas para los periodos de retorno de 5, 10 y 20 años, cuyos resultados se muestran en la Tabla 1.

NOMBRE ESTACIÓN	LLUVIA ESPERADA (mm)		
	5 AÑOS	10 AÑOS	20 AÑOS
BARRET DAM	82.23	67.4	57.96
EL ALAMAR	172.32	141.25	121.47
EL FLORIDO	134.2	110.0	94.6
LOWER OTAY RESERVOIR	53.31	43.7	37.58
LA PUERTA	214.66	175.95	151.32
PRESA RODRIGUEZ	141.76	116.2	99.93
AGUA CALIENTE	162.3	127.13	102.79
BELÉN (RIO TIJUANA)	207.84	162.81	131.63
CAMPO CA	76.5	59.92	48.45
ESTACION EL CARRIZO	127.98	100.25	81.05

Tabla 1.- Lluvia esperada para 5, 10 y 20 años usando datos incompletos

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAGUA y NOAA.

Sin embargo, la información utilizada se limitaba al año 2007. Por lo que se utilizaron los datos climatológicos obtenidos por Gutiérrez et al. (2015), ya que cuentan con más estaciones climatológicas dentro de la CRT (30 en total) e incluyen registros de precipitación actualizados hasta el año 2014, que ofrecen mayor precisión con respecto a las estimaciones realizadas.

Gutiérrez-Moreno & Hallack-Alegría (2015) regionalizaron la Cuenca del Río Tijuana utilizando el ARF-LM, utilizando datos de las estaciones climatológicas disponibles en la red del Centro del Clima de la Región Occidental de los Estados Unidos (WRCC), así como las que administra el Organismo de Cuenca Península de Baja California de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en México, el

procesamiento de los datos se realizó apoyándose en el software L-RAP, desarrollado por MGS-Engineering Consultants. Se resume a continuación los datos y resultados más relevantes de este estudio:

Existiendo 39 estaciones disponibles en CRT y sus proximidades, solo 30 de ellas cumplieron con el control de calidad que se establece en ARF-LM (latitud, longitud, elevación, precipitación media anual, series de tiempo parciales, periodo mínimo de registro de 15 años), de las cuales 15 están ubicadas en México y las otras 15 en los Estados Unidos de América, las cuales se presentan en la Tabla 2.

	NOMBRE DE ESTACION	PAIS DE ORIGEN
1	Alpine	USA
2	Barrett Dam	USA
3	Bonita	USA
4	Cabazon	USA
5	Chula Vista	USA
6	El Alamar	MEXICO
7	El Cajon Yale Ranch	USA
8	El Cajon	USA
9	El Capitan Dam	USA
10	El Carrizo (A. Carrizo, Rio Tijuana)	MEXICO
11	La Mesa	USA
12	La Puerta (Rio Tecate, afluente del R. Tijuana)	MEXICO
13	Lakeside 2E	USA
14	Lower Otay Reservoir	USA
15	Presa Rodriguez (Rio Tijuana)	MEXICO
16	San Diego Wso Airport	USA
17	Valle de las Palmas	MEXICO
18	AGUA CALIENTE	MEXICO
19	AGUA HECHICERA	MEXICO
20	BELEN (RIO TIJUANA)	MEXICO
21	Boulevard	USA
22	CAMPO	USA
23	CUYAMA	USA
24	Ej. Carmen Serdan (Rio Tijuana-Las Palmas)	MEXICO
25	El. Jose Ma. Pino Suarez	MEXICO
26	Ejido Cajume	MEXICO
27	El Hongo (A. Tecate, Rio Tijuana)	MEXICO
28	EL TESTERAZO	MEXICO
29	La Rumorosa	MEXICO
30	SIERRA DE JUAREZ	MEXICO

Tabla 2. Estaciones climatológicas en CRT.

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente figura presenta las 30 estaciones utilizadas por Gutiérrez et al. (2015) y de acuerdo al tamaño del círculo se indica la densidad de años del periodo de operación de cada estación climatológica.

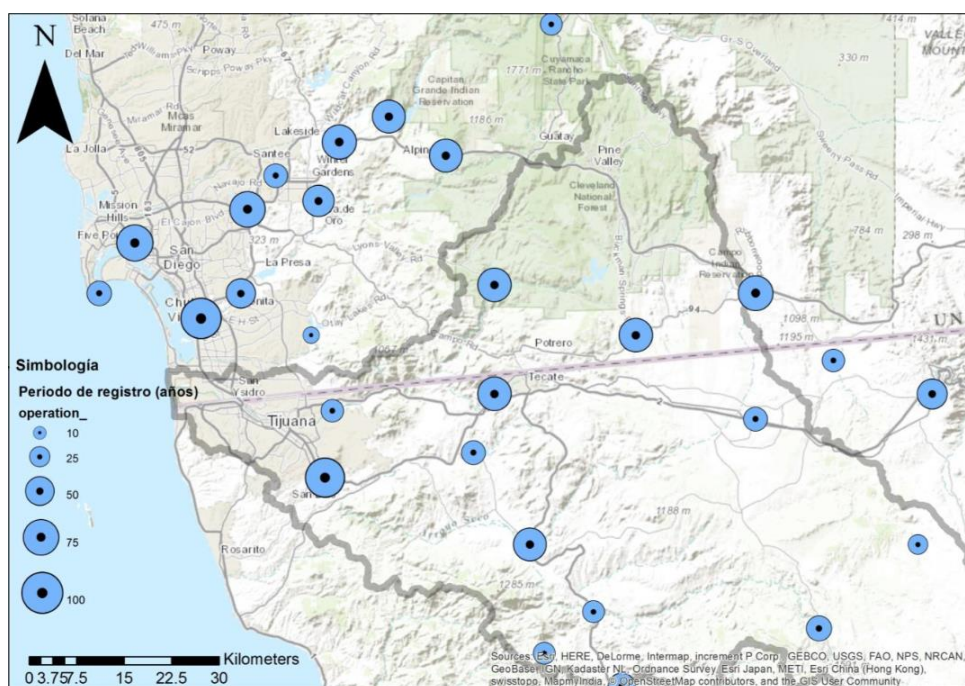


Figura 9.- Estaciones climatológicas en CRT. Fuente: Gutiérrez et al. (2015).

La identificación de regiones homogéneas (es decir: aquellas cuyas características sean muy similares estadísticamente), es un proceso iterativo, que fue determinado a partir de los datos obtenidos de las estaciones climatológicas mediante el software L-RAP, calculando el Índice de Estacionalidad y el Día Juliano Medio. La medida de heterogeneidad para la aceptación de regiones homogéneas es la siguiente:

REGION HOMOGENEA $H \leq 1$ H1, H2, H3

REGION HETEROGENEA $H \geq 2$ H1, H2, H3

La medida de heterogeneidad H1, desarrollada por Hosking y Wallis (1997) sirve como indicador del grado de heterogeneidad en los L-momentos-ratios para un grupo de estaciones climatológicas. Así mismo mide la variabilidad relativa del coeficiente L-Variación (L-CV) y se utiliza para analizar la heterogeneidad en cada una de las regiones homogéneas propuestas (Wallis et al, 2007). Existen otras dos medidas adicionales para determinar la heterogeneidad, H2 y H3 (Nuñez Cobo, Hallack Alegría, 2010), sin embargo, por su notable falta de potencia estadística no se recomienda utilizarla (Viglioni et al, 2007). 3m3 de 250 y 4 de 200

Después de varias iteraciones CRT se encontraron dos regiones (R1 y R2) en la que los valores de H1, H2 y H3 se presentan a continuación en la Tabla 3:

ANUAL	MEDIDA DE HETEROGENEIDAD		
	H1	H2	H3
R1	0.55	-1.9	-1.79
R2	0.59	-0.56	-1.65

Tabla 3. - Medida de Heterogeneidad para CRT.

Fuente: Gutiérrez et al., 2015.

Además de los valores de H1, H2 y H3 se calcula la medida de discordancia, el cual es un indicador secundario y permite evaluar el grado en el que los L-momentos de cada estación se apartan del patrón medio de los L-momentos regionales, para este caso ninguna estación fue discordante en la región homogénea que fue agrupada, lo que habla de la certidumbre de que en dicho espacio territorial se comparten características climáticas comunes. El estudio de Gutiérrez et al. (2015) indica que para la Región 1 la precipitación media anual es 302.95mm y 311.74mm para la Región 2, en base a los datos históricos de todas las estaciones que las conforman.

4.2. BALANCE HÍDRICO POR EL METODO DIRECTO (BHD)

Para realizar el Balance Hídrico, se calcularon los parámetros de la Evapotranspiración Potencial (ETP) y la Evapotranspiración Real (ETR) mediante el programa HIDROBAS v3.0 (2000), a partir de los datos históricos termopluviométricos de la Estación El Carrizo, incluidos en el Extractor Rápido de Información Climática (ERIC) del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y fueron complementados para los años más recientes hasta 2014 por información solicitada al Organismo de Cuenca Península de Baja California de la CONAGUA. Permitiendo la temperatura mensual de los últimos 25 años (desde 1990 hasta 2014).

Los registros pluviómetros mensuales de la estación El Carrizo (anexo 2) fueron multiplicados por los cuantiles resultantes del ARF-LM de Gutiérrez et al. (2015) para los periodos de retorno de 5, 10 y 20 años (anexos 3, 4, 5), dichos resultados se presentan en el anexo 6. En este sentido, los datos de precipitación que se ingresaron al HIDROBAS para hacer el Balance Hídrico regional fueron estos últimos, donde la precipitación se veía modificada por la probabilidad de no excedencia determinada por el ARF-LM para los diferentes periodos de retorno en la Región 1 de la CRT.

Las Figuras 10, 11 y 12 representan parte de los trabajos de campo realizados para constatar las condiciones físicas del sitio y el estado de operación de la Estación en la Presa El Carrizo.

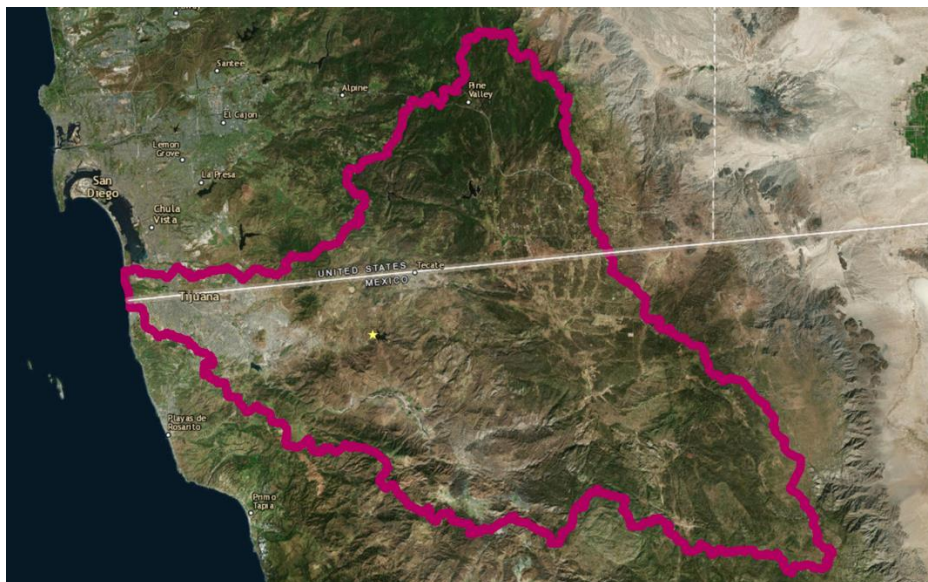


Figura 10.- Ubicación Estación 102 El Carrizo. Fuente: Google Earth



Figura 11. - Estación Climatológica No.102 El Carrizo. Fuente: Elaboración Propia.



Figura 12. - Características de la Estación El Carrizo. Fuente: Elaboración Propia.

Se llevó a cabo una serie de técnicas estadísticas mediante el paquete HIDROBAS Versión 3.0, el cual permitió hacer un ajuste de distribución y definición de años tipo y cálculos de ET. El paquete HIDROBAS Versión 3.0, fue utilizado para realizar un contraste, completado y corrección de datos climatológicos como: precipitación y temperatura. Las aplicaciones que conforman el software, se enfocan en la evaluación de análisis hídricos incluyendo, evaluación de aportaciones hídricas totales y estimación de recarga en acuíferos. No obstante, la aplicación del software va dirigida en la homogenización de datos climatológicos, la cual permite obtener datos de precipitación con errores acotados (Ortiz López J.I., 2001).

La metodología desarrollada por el paquete de software HIDROBAS Versión 3.0, implica un análisis previo de información climatológica a partir de los registros obtenidos de la estación climatológica El Carrizo, incluyendo: la serie de registros disponibles, su extensión y disponibilidad, así como su distribución espacial. Los datos necesarios para comenzar el análisis fueron la precipitación y temperatura de la estación, que representan las condiciones climáticas del área de estudio. Posteriormente, se llevó a cabo una corrección de valores erróneos mediante correlaciones ortogonales (Aguilera H, Murillo J, 2006) o regresión lineal, que una vez concretada, los valores obtenidos se utilizaron para complementar la serie de datos en aquellos espacios temporales en los que no se disponía de información.

Se definieron los tipos de años (medio, seco y húmedo) en base a las medias de los años definidos como secos, media de la serie y media de años húmedos respectivamente, mediante HIDROBAS Versión 3.0, con el fin de evaluar la disponibilidad de agua más adversa, quedando caracterizados los años hídricos, medios secos como: los años donde la precipitación es 15% menor a la media anual; los años húmedos, en contraste, aquellos que contaron con una precipitación mayor al 15%, en la Figura 7 se muestran estos límites superiores e inferiores en 15% de la media anual de precipitación registrada, en este sentido, se calculó un año tipo para cada categoría a partir de los datos de precipitación.

El software HIDROBAS utiliza la metodología del Balance Hídrico Directo (BHD), el cual calcula el balance de todo el sistema al utilizar los valores del resultado de la precipitación mensual y anual para el año hídrico en análisis y la estimación de la evapotranspiración potencial mensual y anual.

Se parte de un supuesto que existen precipitaciones que son entradas al sistema y salidas del mismo, las cuales pueden ser Evapotranspiración Potencial (ETP) y Evapotranspiración Real (ETR), así mismo que el suelo en la cuenca interceptara una cantidad de agua de acuerdo a su capacidad de almacenamiento, la cual se conoce como hipótesis de reserva de agua en el suelo, este parámetro se propone y se establece de acuerdo a diferentes propiedades del suelo, tales como capacidad de campo, punto de marchitamiento, espesor medio del suelo y densidad del suelo.

El método de balance hídrico directo (BHD) supone que el agua en el suelo disminuye a través del tiempo hasta un punto en que la reserva se convierte en cero, estando disponible para cubrir las necesidades hídricas del sistema. El método BHD estima los siguientes parámetros cada mes: Precipitación (P), Evapotranspiración Potencial (ETP), Evapotranspiración Real (ETR), la diferencia entre P-ETP, la Reserva de agua en el suelo (R), la Variación de la Reserva (VR), el Exceso de agua y el Déficit de agua. Cabe resaltar que la ETP calculada mediante el método de Thornthwaite representa la cantidad de agua que se puede evapotranspirar en el sistema si éste no tuviese restricción alguna del recurso hídrico, y la ETR representa el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes y depende estrechamente del volumen de agua disponible (Del Toro-Guerrero, Francisco José, Kretschmar, Thomas, Hinojosa-Corona, Alejandro, 2014) , de tal manera que cuando la diferencia de P-ETP sea menor que cero, el valor de la ETR será igual a la precipitación o entrada disponible.

En la Figura 13 se representa de una forma sencilla el balance hídrico, la cual considera la hipótesis de reserva como la cantidad de agua extra disponible en el suelo, que durante el periodo húmedo (lluvias), inicialmente se infiltra y el cual limita a la entrada de agua al sistema, pero después estará disponible para cubrir las necesidades hídricas del sistema, de tal manera que cuando las precipitaciones sean superiores a las salidas, llámese evapotranspiración, y el suelo se encuentre saturado, entonces sucederá una excedente que llevará a un escurrimiento superficial o sub-superficial, o en caso contrario, cuando las salidas (evapotranspiración) sean superiores a las entradas de agua al sistema y ya no exista la reserva del suelo, entonces habrá un faltante, que es un claro indicio de los periodos secos.

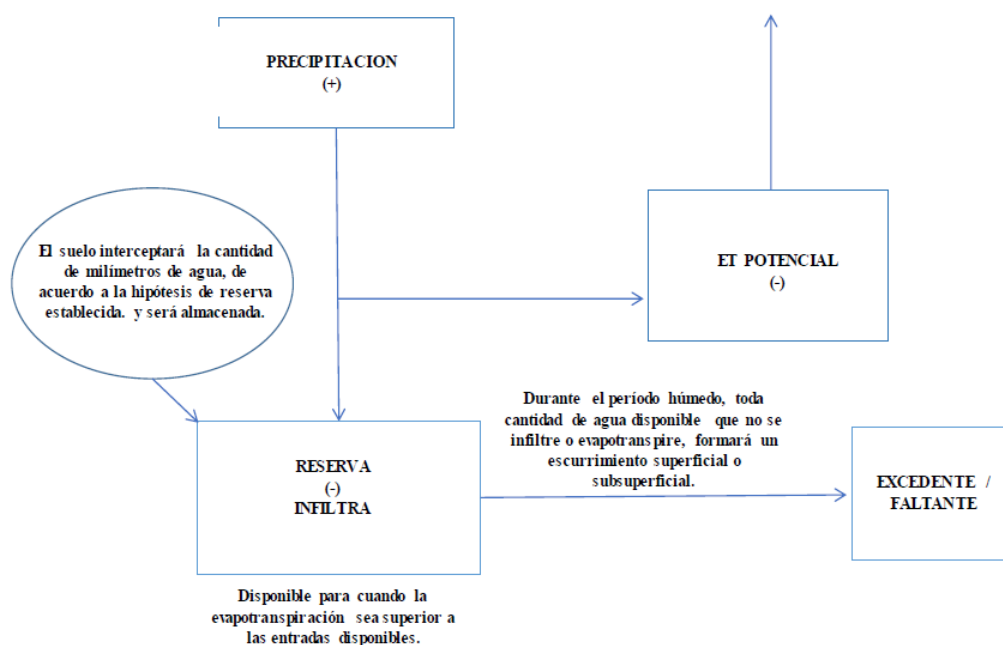


Figura 13.- Diagrama del balance hídrico. Fuente: Hallack et al. 2015, Cap. 2.6

5.- RESULTADOS

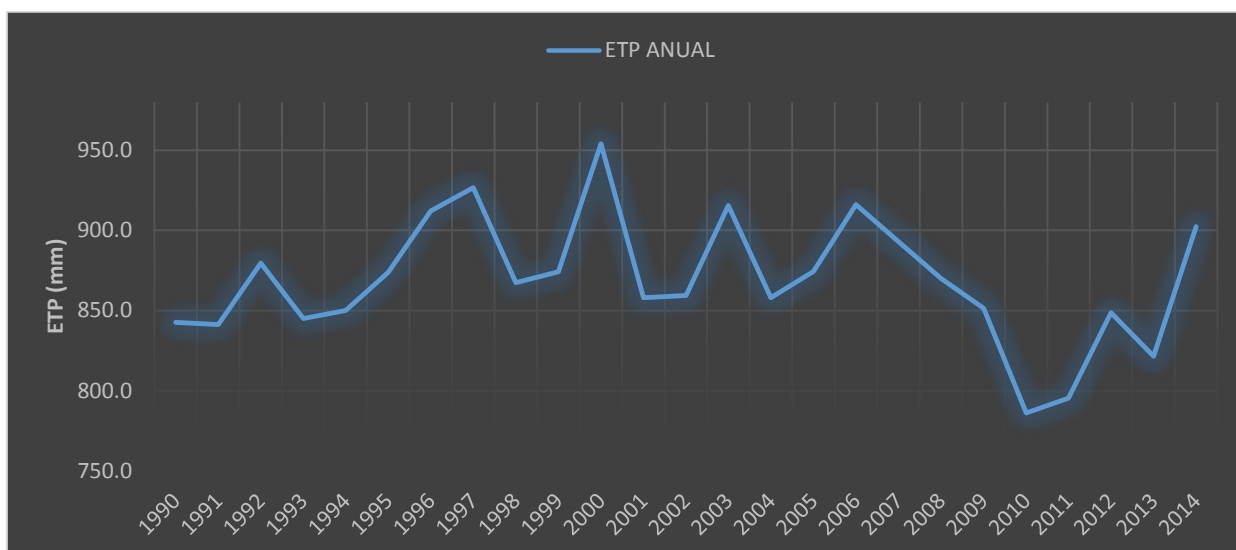
Los años tipo (seco, medio, húmedo) que se determinaron con el software HIDROBAS, definieron a los años secos como aquellos que cuenten con precipitación menor a 201.5mm, años húmedos a aquellos que tengan registro de precipitación mayor a 272.6mm y años medios aquellos que su precipitación oscile entre el límite inferior y el límite superior, dicha información se resume en Tabla 4.

Tabla 4. – Precipitación Anual desde 1990 hasta 2014 en Estación El Carrizo.

AÑOS HUMEDOS <i>Precipitación anual mayor a 272.6mm</i>	1992 – 297.6mm
	1993 – 453.8mm
	1995 – 347.2mm
	1998 – 421.1mm
	2004 – 355.9mm
	2008 – 279.3mm
	2010 – 377.5mm
AÑOS MEDIOS <i>Precipitación anual entre 201.5mm y 272.6mm</i>	2011 – 291.8mm
	1991 – 248.2mm
	1994 – 231.6mm
	1997 – 245.6mm
	2001 – 229.1mm
	2003 – 253.7mm
	2005 – 217.6mm
AÑOS SECOS <i>Precipitación anual menor a 201.5mm</i>	2012 – 228.6mm
	1990 – 170.1mm
	1996 – 135.3mm
	1999 – 146.1mm
	2000 – 123.3mm
	2002 – 131.2mm
	2006 – 148.1mm
	2007 – 144.4mm
	2009 – 279.3mm

Tabla 4. – Precipitación Anual desde 1990 hasta 2014 en Estación El Carrizo.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAGUA.

La media de la Evapotranspiración Potencial para los años 1990-2014 es de 868mm, donde el año 2010 destaca por ser el registro más bajo con 786mm, en contraste con el año 2000, el cual cuenta con el registro más alto con 954mm. La diferencia entre el registro más bajo y el más alto en el periodo de 25 años (1990-2014) es de 168mm. En la Figura 14 se presentan los resultados del periodo.



AÑO	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
ETP (mm)	843	841	880	845	850	874	912.2	927	868	857	954	858	860
AÑO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
ETP (mm)	916	858	878	916	893	870	851.4	786	795	849	822	902	

Figura 14. - ETP desde 1990 al 2014. Fuente: Elaboración propia

Los resultados del Balance Hídrico para los 3 años tipo establecidos, entregan valores de deficiencia en el volumen de agua disponible, asociado a alta evapotranspiración en la región. Se presenta a continuación, en esta sección los resultados bajo la hipótesis de reserva de 40 (que representa la capacidad de campo del suelo en milímetros, en la estación del Carrizo y alrededores) para el periodo de retorno de 5 años; el resto de los periodos de retorno 10 y 20 años y la hipótesis de reserva de 60 se encuentran en el Anexo 1, debido a que el escenario es aún más adverso que el presentado a continuación en la Tabla 5.

HIPOTESIS DE RESERVA 40 (PERIODO DE RETORNO 5 AÑOS)													
AÑO SECO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
PRECIPITACION	14.28	5.35	4.59	2.92	.39	.24	0	.40	.04	.05	4.09	7.5	39.85
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125.4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	14.28	5.35	4.59	2.92	.39	.24	0	.4	.04	.05	4.09	7.5	39.85
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	-29.62	-23.45	-31.51	-22.08	-49.81	-97.66	-122.7	-111.7	-125.36	-102.05	-61.71	-25.2	
AÑO MEDIO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
PRECIPITACION	14.28	5.35	4.59	2.92	.39	.24	0	.40	.04	.05	4.09	7.5	39.85
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125.4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	14.28	5.35	4.59	2.92	.39	.24	0	.4	.04	.05	4.09	7.5	39.85
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	-29.62	-23.45	-31.51	-22.08	-49.81	-97.66	-122.7	-111.7	-125.36	-102.05	-61.71	-25.2	
AÑO HUMEDO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
PRECIPITACION	9.49	19.6	23.9	1.91	.21	0	0	.44	0	1.76	.87	16.23	74.41
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125.4	102.1	65.8	32.7	842.7

E.T. REAL	9.49	19.6	23.9	1.91	.21	0	0	.44	0	1.76	.87	16.23	74.41
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	-	-9.2	-12.2	-	-	-97.9	-	-	-125.4	-	-	-	
	34.41			23.09	49.99		122.7	111.66		100.34	64.93	16.47	

Tabla 5. Hipótesis de reserva para el sitio de análisis.

Fuente: Elaboración propia



Figura 15.- Precipitación y E.T. Potencial mensual a 5 años

Fuente: Elaboración propia.

6.- CONCLUSIONES

La estimación del balance hídrico por el método directo nos permite observar un panorama general a futuro no solo para la Estación El Carrizo, si no a toda la Región 1 en la Cuenca del Río Tijuana (CRT). Esta misma incluye a la ciudad de Tijuana. El panorama a 5 años no es favorable para la acumulación de agua por medio de la precipitación y generar una reserva. Todo esto debido a la mínima precipitación esperada incluso en los meses invernales que es cuando más precipitación se espera en el año.

Tal escenario genera preocupación para la ciudad de Tijuana, ya que con estos resultados se habla de una potencial sequía para 5, 10 y 20 años. Esta potencial sequía emite una alerta no solo para quien lee los resultados de esta investigación, si no para la comunidad en general que puede ser afectada, la cual asciende a más de 1 millón 600 mil habitantes solo en la ciudad de Tijuana y al mismo gobierno, tanto municipal, estatal como federal.

Una mayor cultura del ahorro del agua en la sociedad Tijuanaense se vuelve prioridad, así como dar mayor difusión a los beneficios e implementar en forma más amplia dentro de los diferentes sectores Tijuanaenses el reúso del agua. Todo esto permite mejorar la calidad de vida y prepararse ante la potencial sequía.

El gobierno tiene que hacer frente a la realidad que se va a presentar, y tomar las medidas adecuadas y pertinentes para que no exista un déficit en el suministro del vital líquido en la región. Ya sea mediante la construcción de obras de captación, de traslado o de tratamiento, el ingeniero civil es parte fundamental para la realización de este tipo de obras para poder prever el futuro adverso.

7.- BIBLIOGRAFIA

- Aguilera, H. and J. Murillo, Estimación de la recarga natural en cuatro acuíferos kársticos del alto Vinalopó (Alicante) y relación con el cambio climático. Boletín Geológico y Minero, 2006. 117(Especial): p. 601-604.
- Allen, R.G., Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Vol. 56. 2006: Food & Agriculture Org.
- Aparicio, F., Fundamentos de Hidrología de Superficie, México: Limusa, 1992.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua - Gerencia del Organismo de Cuenca Península de Baja California. 2015, <http://www.conagua.gob.mx/>
- Del Toro-Guerrero, Francisco José, Kretzschmar, Thomas, & Hinojosa-Corona, Alejandro. (2014). Estimación del balance hídrico en una cuenca semiárida, El Mogor, Baja California, México. Tecnología y ciencias del agua, 5(6), 69-81.
- Delgado, J.D. and V.C. Escobar, Ajuste de modelos probabilísticos para el estudio de la variabilidad espacio-temporal de la precipitación: caso de estudio sistema Sara-Brut 2006.
- E. Custodio y M. LLamas, Hidrología Subterránea, Tomo I, vol. Tomo I, Barcelona: Omega, 1983
- E. Eiji, D. Wilberg, P. Pellikka, "Estimating reference evapotranspiration using remote sensing and empirical models in a region with limited ground data availability in Kenya," Applied Geography, vol. 31, pp. 251-258, 2011.
- E. Glenna, L. Mexicano, J. Garcia-Hernandez, P. Naglerc, M. Gomez, D. Tanga, M. Lomeli, J. Ramirez, F. Zamora, "Evapotranspiration and water balance of an anthropogenic coastal desert wetland: Responses to fire, inflows and salinities," Ecological Engineering, vol. Article in Press, 2013.
- Francisco J. Aparicio. (1992). Fundamentos de hidrología de superficie. MEXICO: LIMUSA.
- Glenn, E.P., et al., Evapotranspiration and water balance of an anthropogenic coastal desert wetland: Responses to fire, inflows and salinities. Ecological Engineering, 2013. 59: p. 176-184.
- Hanson, R.L., Evapotranspiration and droughts. Paulson, RW, Chase, EB, Roberts, RS, and Moody, DW, Compilers, National Water Summary, 1988: p. 99-104.
- Hidrobas v 3.0 win, J. Alonso, J. Arjona, A. Ballester, F. Elorza, M. Gomez, R. Hernandez, M. Hervas, A. Iglesias, T. Iglesias, J. Lopez, J.A. Lopez, A. de Mera, J. Ortiz, "Hidrobas v 3.0 win," Instituto Geológico y Minero de España y Universidad Politécnica de Madrid, 2000.
- INEGI. Mapa Digital de México. 2015; Available from: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>.

- J. Fuentes y G. Garcia, *Técnicas de Riego-Sistemas de Riego en la Agricultura, Mexico y España*: Mundi-Prensa Mexico, S.A de C.V., 1999.
- J.H. Núñez, K. Verbist, J.R. Wallis, M.G. Schaefer, L. Morales, W.M. Cornelis . (2011). Regional frequency analysis for mapping drought events in north-central Chile. *Journal of Hydrology*, 405, 352-366. 2016.
- Jensen, M.E., R.D. Burman, and R.G. Allen. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. 1990. ASCE.
- Kottek, M., et al., World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 2006. 15(3): p. 259-263.
- L-RAP, v1.0 "Software". (2008), MGS CONSULTANTS
- Lomeli, M.A., et al., Monthly Water Balance of an Iconic Coastal Desert Wetland Under Reduced Flows and Increased Salinities; Implications for Management. *Wetlands*, 2015. 35(4): p. 783-793.
- M. Hallack-Alegría, J. Ramirez-Hernandez and D. W. Watkins, Jr., "ENSO-conditioned rainfall drought frequency analysis in northwest Baja California, Mexico," *Royal Meteorological Society, International Journal of Climatology*, 2011.
- M. Hallack-Alegria, J. Ramirez-Hernandez and D. W. Watkins, Jr.. (2012). ENSO-conditioned rainfall drought frequency analysis in northwest Baja California, Mexico. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*, 32, 831-842. 2016.
- M. Lakatos, A. Czudar and L. Szlavik, "Forecast of changes concerning the Water Budget in a Wetland of Danube Floodplain," *Journal of Environmental Science and Engineering*, vol. 5, pp. 523-532, 2011.
- Ortiz López, J.I., et al. *Desarrollo de programas para el tratamiento de series hidrológicas y evaluación de aportaciones hídricas subterráneas (HIDROBAS v. 3.0)*. 2001.
- Perez Morales Guillermo Benjamin, Rodriguez Castro J. Alberto. *Apuntes de Hidrología Superficial UMSNH*, 2009, p. 20-23.
- Piccolo, M. C., & Marini, M. F. (2000). El balance hídrico en la Cuenca del Río Quequén Salado: Argentina. *Papeles de Geografía*, (31), 39-54.
- San Diego State University. (2005). *Atlas de la Cuenca del Río Tijuana*. San Diego State University Press. 2016,
- Sánchez, J.M., et al., Cálculo de la evapotranspiración real diaria en la zona norte de Finlandia empleando técnicas de teledetección. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 2005(5): p. 278-300.
- Sánchez, M. and L. Carvacho, Estimación de evapotranspiración potencial, ETP, a partir de imágenes NOAAVHRR en la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2006(36): p. 49-60.
- Sundaravadivel, M. and S. Vigneswaran, *Constructed wetlands for wastewater treatment*, 2004.
- Ven T. Chow, L. W. Mays. (1977). *HIDROLOGIA APLICADA*. U.S.A.: McGraw Hill.

- W. Barclay, S. Huddleston, C. Boudreau and A. O'Reilly, "Sensitivity of wetland saturated hydraulic heads and water budgets to evapotranspiration wetlands," *The Society of Wetlands Scientist*, Vols. 28,, no. 4, pp. 1040-1047, 2008.
- Weiß, M. and L. Menzel, A global comparison of four potential evapotranspiration equations and their relevance to stream flow modelling in semi-arid environments. *Advances in Geosciences*, 2008. 18(18): p. 15-23.
- Westerling, A.L., et al., Climate, Santa Ana winds and autumn wildfires in southern California. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 2004. 85(31): p. 289-296.

ANEXO 1.- RESULTADOS PARA P.R. DE 5, 10 Y 20 AÑOS

HIPOTESIS DE RESERVA 60 (PERIODO DE RETORNO 5 AÑOS)													
AÑO SECO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
PRECIPITACION	14.28	5.35	4.59	2.92	.39	.24	0	.40	.04	.05	4.09	7.5	39.85
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125.4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	14.28	5.35	4.59	2.92	.39	.24	0	.4	.04	.05	4.09	7.5	39.85
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	-29.62	-23.45	-31.51	-22.08	-49.81	-97.66	-122.7	-111.7	-125.36	-102.05	-61.71	-25.2	
AÑO MEDIO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
PRECIPITACION	14.28	5.35	4.59	2.92	.39	.24	0	.40	.04	.05	4.09	7.5	39.85
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125.4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	14.28	5.35	4.59	2.92	.39	.24	0	.4	.04	.05	4.09	7.5	39.85
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	-29.62	-23.45	-31.51	-22.08	-49.81	-97.66	-122.7	-111.7	-125.36	-102.05	-61.71	-25.2	
AÑO HUMEDO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
PRECIPITACION	9.49	19.6	23.9	1.91	.21	0	0	.44	0	1.76	.87	16.23	74.41
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125.4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	9.49	19.6	23.9	1.91	.21	0	0	.44	0	1.76	.87	16.23	74.41
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	-34.41	-9.2	-12.2	-23.09	-49.99	-97.9	-122.7	-111.66	-125.4	-100.34	-64.93	-16.47	

HIPOTESIS DE RESERVA 40 (PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS)													
AÑO SECO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
PRECIPITACION	6.12	2.87	2.72	1.4	.12	.14	0	.16	.02	.02	1.97	3.6	19.14
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125.4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	6.12	2.87	2.72	1.4	.12	.14	0	.16	.02	.02	1.97	3.6	19.14
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	-37.78	-25.93	-33.38	-23.6	-50.08	-97.76	-122.7	-111.94	-125.38	-102.08	-63.83	-29.1	
AÑO MEDIO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
PRECIPITACION	.07	4.67	21.18	.14	0	0	1.96	.2	0	.84	2.32	2.7	34.08
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125.4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	.07	4.67	21.18	.14	0	0	1.96	.2	0	.84	2.32	2.7	34.08
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	-43.83	-24.13	-14.92	-24.86	-50.2	-97.9	-120.74	-111.9	-125.4	-101.26	-63.48	-30.00	
AÑO HUMEDO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
PRECIPITACION	4.07	10.5	14.16	.91	.06	0	0	.18	0	.7	.42	7.79	38.79
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125.4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	4.07	10.5	14.16	.91	.06	0	0	.18	0	.7	.42	7.79	38.79
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	-39.83	-18.3	-21.94	-24.09	-50.14	-97.9	-122.7	-111.92	-125.4	-101.4	-65.38	-24.91	

HIPOTESIS DE RESERVA 60 (PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS)													
AÑO SECO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
PRECIPITACION	6.12	2.87	2.72	1.4	.12	.14	0	.16	.02	.02	1.97	3.6	19.14
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125.4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	6.12	2.87	2.72	1.4	.12	.14	0	.16	.02	.02	1.97	3.6	19.14
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	-37.78	-25.93	-33.38	-23.6	-50.08	-97.76	-122.7	-111.94	-125.38	-102.08	-63.83	-29.1	
AÑO MEDIO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
PRECIPITACION	.07	4.67	21.18	.14	0	0	1.96	.2	0	.84	2.32	2.7	34.08
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125.4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	.07	4.67	21.18	.14	0	0	1.96	.2	0	.84	2.32	2.7	34.08
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	-43.83	-24.13	-14.92	-24.86	-50.2	-97.9	-120.74	-111.9	-125.4	-101.26	-63.48	-30.00	
AÑO HUMEDO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
PRECIPITACION	4.07	10.5	14.16	.91	.06	0	0	.18	0	.7	.42	7.79	38.79
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125.4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	4.07	10.5	14.16	.91	.06	0	0	.18	0	.7	.42	7.79	38.79
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	-39.83	-18.3	-21.94	-24.09	-50.14	-97.9	-122.7	-111.92	-125.4	-101.4	-65.38	-24.91	

HIPOTESIS DE RESERVA 40 (PERIODO DE RETORNO 20 AÑOS)													
AÑO SECO	OCT	NOV	DIC	ENE	FE B	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTA L
PRECIPITACION	2.72	1.72	1.87	.76	0	.09	0	.04	0	.01	.71	1.8	9.72
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125. 4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	2.72	1.72	1.87	.76	0	.09	0	.04	0	.01	.71	1.8	9.72
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	- 41.1 8	- 27.0 8	- 34.2 3	- 24.2 4	- 50.2	- 97.8 1	-122.7	- 112.0 6	- 125. 4	- 102.0 9	- 65.0 9	-30.9	
AÑO MEDIO	OCT	NOV	DIC	ENE	FE B	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTA L
PRECIPITACION	.03	2.8	14.5 6	.08	0	0	1.23	.05	0	.28	.83	1.35	21.21
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125. 4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	.03	2.8	14.5 6	.08	0	0	1.23	.05	0	.28	.83	1.35	21.21
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	- 43.8 7	- 26.0 0	- 21.5 4	- 24.9 2	- 50.2	-97.9	- 121.4 7	- 112.0 5	- 125. 4	- 101.8 2	- 64.9 7	- 31.3 5	
AÑO HUMEDO	OCT	NOV	DIC	ENE	FE B	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTA L
PRECIPITACION	1.81	6.3	9.74	.5	0	0	0	.04	0	.23	.15	3.89	22.66
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125. 4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	1.81	6.3	9.74	.5	0	0	0	.04	0	.23	.15	3.89	22.66
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	- 42.0 9	-22.5	- 26.3 6	-24.5	- 50.2	-97.9	-122.7	- 112.0 6	- 125. 4	- 101.8 7	- 65.6 5	- 28.8 1	

HIPOTESIS DE RESERVA 60 (PERIODO DE RETORNO 20 AÑOS)													
AÑO SECO	OCT	NOV	DIC	ENE	FE B	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTA L
PRECIPITACION	2.72	1.72	1.87	.76	0	.09	0	.04	0	.01	.71	1.8	9.72
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125.4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	2.72	1.72	1.87	.76	0	.09	0	.04	0	.01	.71	1.8	9.72
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	-41.18	-27.08	-34.23	-24.24	-50.2	-97.81	-122.7	-112.06	-125.4	-102.09	-65.09	-30.9	
AÑO MEDIO	OCT	NOV	DIC	ENE	FE B	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTA L
PRECIPITACION	.03	2.8	14.56	.08	0	0	1.23	.05	0	.28	.83	1.35	21.21
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125.4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	.03	2.8	14.56	.08	0	0	1.23	.05	0	.28	.83	1.35	21.21
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	-43.87	-26.00	-21.54	-24.92	-50.2	-97.9	-121.47	-112.05	-125.4	-101.82	-64.97	-31.35	
AÑO HUMEDO	OCT	NOV	DIC	ENE	FE B	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTA L
PRECIPITACION	1.81	6.3	9.74	.5	0	0	0	.04	0	.23	.15	3.89	22.66
E.T. POTENCIAL	43.9	28.8	36.1	25.0	50.2	97.9	122.7	112.1	125.4	102.1	65.8	32.7	842.7
E.T. REAL	1.81	6.3	9.74	.5	0	0	0	.04	0	.23	.15	3.89	22.66
RESERVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EXC. O DEF.	-42.09	-22.5	-26.36	-24.5	-50.2	-97.9	-122.7	-112.06	-125.4	-101.87	-65.65	-28.81	

ANEXO 2.- LLUVIA MENSUAL EL CARRIZO 1990-2014 (mm)

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL	PROMEDIO
1990	68	19.1	17	12.7	3	1.5	0	4	0.4	0.3	14.1	30	170.1	14.2
1991	0.8	31.1	132.4	1.3	0	0	24.5	5	0	14	16.6	22.5	248.2	20.7
1992	45.2	70	88.5	8.3	1.6	0	0	4.4	0	11.7	3	64.9	297.6	24.8
1993	311.7	73.1	31.4	0	0.6	4.5	0	0	0	1.1	14	17.4	453.8	37.8
1994	18.1	65.4	83.7	25.8	0.4	0	0	0	0	0.5	16.7	21	231.6	19.3
1995	139.7	33.2	107.7	29.6	17.6	3.9	1.1	0	0	0	2.8	11.6	347.2	28.9
1996	31.6	29.3	19.2	3.4	0	0	0	0	0	13.4	26.7	11.7	135.3	11.3
1997	69.5	26.2	0	4.5	0.1	3.5	0	0	19.3	1.8	24.9	95.8	246.6	20.5
1998	30.6	220.5	61.2	34.4	18.6	0	0	3	2.8	15.8	25.1	9.1	421.1	35.1
1999	34.7	16.6	21.5	49.1	0	5.6	0	0	9	0	12	0	146.1	12.2
2000	4.2	67.3	21.9	7.6	0.3	3	0	1.2	0	11.9	3.9	2	123.3	10.3
2001	73.7	73.8	22.3	28.8	0	0	0	0	0	0	14	16.5	229.1	19.1
2002	15	2.5	18.8	14.1	0	0	0	0	13.4	1.6	26.2	39.6	131.2	10.9
2003	0	117	61.4	33.1	10.7	0	3.3	0	0	0	11.8	16.4	253.7	21.1
2004	11.3	89.9	13.7	25.8	0	0	0	0	130.5	19.2	65.5	355.9	29.7	29.7
2005	83.9	90.3	19.7	7.4	0.2	0	0	0	2	10.5	0.7	2.9	217.6	18.1
2006	4.2	24.8	61.1	22.5	14.1	0	1.2	0	0	0	6.5	13.7	148.1	12.3
2007	27.9	41.9	6.3	8.8	0.1	0	0	0	13.6	1	18.3	26.5	144.4	12.0
2008	58.8	29.6	7.5	0.7	2.5	0	0	8.8	0	0.8	57.9	112.7	279.3	23.3
2009	0	43.9	0.1	13.3	0	0	0	0	0	0	20.3	59.9	137.5	11.5
2010	91.5	76.7	29.3	41.5	0	0	0	0	4	38.6	14.7	81.2	377.5	31.5
2011	25.8	97.9	36.7	8.1	6	0	1.2	0	0	5.4	89.6	21.1	291.8	24.3
2012	10.6	37.9	44.8	43.7	0	0	0	13.1	20	2.7	8.9	46.9	228.6	19.1
2013	42.4	21.3	20.3	0	4.2	0	0	1	0	21.4	6.2	18	134.8	11.2
2014	4.5	27.8	16.4	12.5	0	0	10.3	3.7	0	0	11.8	90.7	177.7	14.8
PROMEDIO	48.1	57.1	37.7	17.5	3.2	0.9	1.7	1.8	3.4	11.3	18.2	36.3	237.1	19.8

MEDIA	237.1
15%	35.6
P _{sup.} =	277.6
P _{inf.} =	201.5

ANEXO 3.- DATOS DE CUANTILES, PERIODO DE RETORNO: 20 AÑOS

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL	PROMEDIO
1990	2.72	1.719	1.87	0.762	0	0.09	0	0.04	0.004	0.006	0.705	1.8	9.72	0.8
1991	0.032	2.799	14.564	0.078	0	0	1.225	0.05	0	0.28	0.83	1.35	21.21	1.8
1992	1.808	6.3	9.735	0.498	0	0	0	0.044	0	0.234	0.15	3.894	22.66	1.9
1993	12.468	6.579	3.454	0	0	0.27	0	0	0	0.022	0.7	1.044	24.54	2.0
1994	0.724	5.886	9.207	1.548	0	0	0	0	0	0.01	0.835	1.26	19.47	1.6
1995	5.588	2.988	11.847	1.776	0	0.234	0.055	0	0	0	0.14	0.696	23.32	1.9
1996	1.264	2.637	2.112	0.204	0	0	0	0	0	0.268	1.335	0.702	8.52	0.7
1997	2.78	2.358	0	0.27	0	0.21	0	0	0.193	0.036	1.245	5.748	12.84	1.1
1998	1.224	19.845	6.732	2.064	0	0	0	0.03	0.028	0.316	1.255	0.546	32.04	2.7
1999	1.388	1.494	2.365	2.946	0	0.336	0	0	0.09	0	0	0.576	9.20	0.8
2000	0.168	6.057	2.409	0.456	0	0.18	0	0.012	0	0.238	0.195	0.12	9.84	0.8
2001	2.948	6.642	2.453	1.728	0	0	0	0	0	0	0.7	0.99	15.46	1.3
2002	0.6	0.225	2.068	0.846	0	0	0	0	0.134	0.032	1.31	2.376	7.59	0.6
2003	0	10.53	6.754	1.986	0	0	0.165	0	0	0	0.59	0.984	21.01	1.8
2004	0.452	8.091	1.507	1.548	0	0	0	0	0	2.61	0.96	3.93	19.10	1.6
2005	3.356	8.127	2.167	0.444	0	0	0	0	0.02	0.21	0.035	0.174	14.53	1.2
2006	0.168	2.232	6.721	1.35	0	0	0.06	0	0	0	0.325	0.822	11.68	1.0
2007	1.116	3.771	0.693	0.528	0	0	0	0	0.136	0.02	0.915	1.59	8.77	0.7
2008	2.352	2.664	0.825	0.042	0	0	0	0.088	0	0.016	2.895	6.762	15.64	1.3
2009	0	3.951	0.011	0.798	0	0	0	0	0	0	1.015	3.594	9.37	0.8
2010	3.66	6.903	3.223	2.49	0	0	0	0	0.04	0.772	0.735	4.872	22.70	1.9
2011	1.032	8.811	4.037	0.486	0	0	0.06	0	0	0.108	4.48	1.766	20.28	1.7
2012	0.424	3.411	4.928	2.622	0	0	0	0.131	0.2	0.054	0.445	2.814	15.03	1.3
2013	1.696	1.917	2.233	0	0	0	0	0.01	0	0.428	0.31	1.08	7.67	0.6
2014	0.18	2.502	1.804	0.75	0	0	0.515	0.037	0	0	0.59	5.442	11.82	1.0
PROMEDIO	1.9	5.1	4.1	1.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.9	2.2	15.8	1.3

ANEXO 4.- DATOS DE CUANTILES, PERIODO DE RETORNO: 10 AÑOS

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL	PROMEDIO
1990	6.12	2.855	2.72	1.397	0.12	0.135	0	0.16	0.016	0.018	1.974	3.6	19.125	1.6
1991	0.072	4.665	21.184	0.143	0	0	1.96	0.2	0	0.84	2.324	2.7	34.088	2.8
1992	4.068	10.5	14.16	0.913	0.064	0	0	0.176	0	0.702	0.42	7.788	38.791	3.2
1993	28.053	10.965	5.024	0	0.024	0.405	0	0	0	0.066	1.96	2.088	48.585	4.0
1994	1.629	9.81	13.392	2.838	0.016	0	0	0	0	0.03	2.338	2.52	32.573	2.7
1995	12.573	4.98	17.232	3.256	0.704	0.351	0.088	0	0	0	0.392	1.392	40.968	3.4
1996	2.844	4.395	3.072	0.374	0	0	0	0	0	0.804	3.738	1.404	16.631	1.4
1997	6.255	3.93	0	0.495	0.004	0.315	0	0	0.772	0.108	3.486	11.496	26.861	2.2
1998	2.754	33.075	9.792	3.784	0.744	0	0	0.12	0.112	0.948	3.514	1.092	55.935	4.7
1999	3.123	2.49	3.44	5.401	0	0.504	0	0	0.36	0	0	1.152	16.47	1.4
2000	0.378	10.095	3.504	0.836	0.012	0.27	0	0.048	0	0.714	0.546	0.24	16.643	1.4
2001	6.633	11.07	3.568	3.168	0	0	0	0	0	0	1.96	1.98	28.379	2.4
2002	1.35	0.375	3.008	1.551	0	0	0	0	0.536	0.096	3.668	4.752	15.336	1.3
2003	0	17.55	9.824	3.641	0.428	0	0.264	0	0	0	1.652	1.968	35.327	2.9
2004	1.017	13.485	2.192	2.838	0	0	0	0	0	7.83	2.688	7.86	37.91	3.2
2005	7.551	13.545	3.152	0.814	0.008	0	0	0	0.08	0.63	0.098	0.348	26.226	2.2
2006	0.378	3.72	9.776	2.475	0.564	0	0.096	0	0	0	0.91	1.644	19.563	1.6
2007	2.511	6.285	1.008	0.968	0.004	0	0	0	0.544	0.06	2.562	3.18	17.122	1.4
2008	5.292	4.44	1.2	0.077	0.1	0	0	0.352	0	0.048	8.106	13.524	33.139	2.8
2009	0	6.585	0.016	1.463	0	0	0	0	0	0	2.842	7.188	18.094	1.5
2010	8.235	11.505	4.888	4.555	0	0	0	0	0.16	2.316	2.058	9.744	43.271	3.6
2011	2.322	14.685	5.872	0.891	0.24	0	0.096	0	0	0.324	12.544	2.532	39.506	3.3
2012	0.954	5.685	7.168	4.807	0	0	0	0.524	0.8	0.162	1.246	5.628	26.974	2.2
2013	3.816	3.195	3.248	0	0.168	0	0	0.04	0	1.284	0.868	2.16	14.779	1.2
2014	0.405	4.17	2.624	1.375	0	0	0.824	0.148	0	0	1.652	10.884	22.082	1.8
PROMEDIO	4.3	8.6	6.0	1.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.7	2.5	4.4	29.0	2.4

ANEXO 5.- DATOS DE CUANTILES, PERIODO DE RETORNO: 5 AÑOS

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL	PROMEDIO
1990	14.28	5.348	4.59	2.921	0.39	0.24	0	0.4	0.044	0.045	4.089	7.5	39.847	3.3
1991	0.168	8.708	35.748	0.299	0	0	3.675	0.5	0	2.1	4.814	5.625	61.637	5.1
1992	9.492	19.6	23.895	1.909	0.208	0	0	0.44	0	1.755	0.87	16.225	74.394	6.2
1993	65.457	20.468	8.478	0	0.078	0.72	0	0	0	0.165	4.06	4.35	103.776	8.6
1994	3.801	18.312	22.599	5.934	0.052	0	0	0	0	0.075	4.843	5.25	60.866	5.1
1995	29.337	9.296	29.079	6.808	2.288	0.624	0.165	0	0	0.812	0	2.9	81.309	6.8
1996	6.636	8.204	5.184	0.782	0	0	0	0	0	2.01	7.743	2.925	33.484	2.8
1997	14.595	7.336	0	1.035	0.013	0.56	0	0	2.123	0.27	7.221	23.95	57.103	4.8
1998	6.426	61.74	16.524	7.912	2.418	0	0	0.3	0.308	2.37	7.279	2.275	107.552	9.0
1999	7.287	4.648	5.805	11.293	0	0.896	0	0	0.99	0	0	2.4	33.319	2.8
2000	0.882	18.844	5.913	1.748	0.039	0.48	0	0.12	0	1.785	1.131	0.5	31.442	2.6
2001	15.477	20.664	6.021	6.624	0	0	0	0	0	0	4.06	4.125	56.971	4.7
2002	3.15	0.7	5.076	3.243	0	0	0	0	1.474	0.24	7.598	9.9	31.381	2.6
2003	0	32.76	16.578	7.613	1.391	0	0.495	0	0	0	3.422	4.1	66.359	5.5
2004	2.373	25.172	3.699	5.934	0	0	0	0	0	19.575	5.568	16.375	78.696	6.6
2005	17.619	25.284	5.319	1.702	0.026	0	0	0	0.22	1.575	0.203	0.725	52.673	4.4
2006	0.882	6.944	16.497	5.175	1.833	0	0.18	0	0	0	1.885	3.425	36.821	3.1
2007	5.859	11.732	1.701	2.024	0.013	0	0	0	1.496	0.15	5.307	6.625	34.907	2.9
2008	12.348	8.288	2.025	0.161	0.325	0	0	0.88	0	0.12	16.791	28.175	69.113	5.8
2009	0	12.292	0.027	3.059	0	0	0	0	0	0	5.887	14.975	36.24	3.0
2010	19.215	21.476	7.911	9.445	0	0	0	0	0.44	5.79	4.263	20.3	88.94	7.4
2011	5.418	27.412	9.909	1.663	0.78	0	0.18	0	0	0.81	25.984	5.275	77.631	6.5
2012	2.226	10.612	12.096	10.051	0	0	0	1.31	2.2	0.405	2.581	11.725	53.206	4.4
2013	8.904	5.964	5.481	0	0.546	0	0	0.1	0	3.21	1.798	4.5	30.503	2.5
2014	0.945	7.784	4.428	2.875	0	0	1.545	0.37	0	0	3.422	22.675	44.044	3.7
PROMEDIO	10.1	16.0	10.2	4.0	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	1.7	5.3	9.1	57.7	4.8

ANEXO 6.- DATOS DE CUANTILES Y LLUVIA ESPERADA PARA CADA MES

				MEAN AT SITE	valores en mm de precipitación			
CUANTILES ENERO				Precipitación media regional (mm)	LLUVIA ESPERADA ENERO			
Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2		Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2
Periodo de retorno (años)	20	10	5		Periodo de retorno (años)	20	10	5
REGION 1				60.8693	REGION 1			
PEARSON TYPE III	0.04	0.09	0.21			2.4	5.5	12.8
GEN. PARETO	0.04	0.09	0.21			2.4	5.5	12.8
						0.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
				MEAN AT SITE	valores en mm de precipitación			
CUANTILES FEBRERO				Precipitación media regional (mm)	LLUVIA ESPERADA FEBRERO			
Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2		Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2
Periodo de retorno (años)	20	10	5		Periodo de retorno (años)	20	10	5
REGION 1				62.8307	REGION 1			
PEARSON TYPE III	0.07	0.15	0.3			4.4	9.4	18.8
GEN. PARETO	0.09	0.15	0.28			5.7	9.4	17.6
						0.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
				MEAN AT SITE	valores en mm de precipitación			
CUANTILES MARZO				Precipitación media regional (mm)	LLUVIA ESPERADA MARZO			
Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2		Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2
Periodo de retorno (años)	20	10	5		Periodo de retorno (años)	20	10	5
REGION 1				58.0663	REGION 1			
PEARSON TYPE III	0.11	0.16	0.28			6.4	9.3	16.3
GEN. PARETO	0.11	0.16	0.27			6.4	9.3	15.7
						0.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
				Precipitación media regional (mm)	LLUVIA ESPERADA ABRIL			
Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2		Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2
Periodo de retorno (años)	20	10	5		Periodo de retorno (años)	20	10	5
REGION 1				27.2102	REGION 1			
PEARSON TYPE III	0.06	0.11	0.23			1.6	3.0	6.3
GAUCHO	0.02	0.11	0.25			0.5	3.0	6.8
GEN. PARETO	0.06	0.11	0.23			1.6	3.0	6.3
						0.0	0.0	0.0

CUANTILES MAYO				Precipitación media regional (mm)	LLUVIA ESPERADA MAYO			
Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2		Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2
Periodo de retorno (años)	20	10	5		Periodo de retorno (años)	20	10	5
REGION 1				11.5343	REGION 1			
PEARSON TYPE III	0.08	0.08	0.11			0.9	0.9	1.3
GEN. NORMAL	0	0.05	0.14			0.0	0.6	1.6
GEN. PARETO	0	0.04	0.13			0.0	0.5	1.5
						0.0	0.0	0.0
CUANTILES JUNIO				Precipitación media regional (mm)	LLUVIA ESPERADA JUNIO			
Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2		Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2
Periodo de retorno (años)	20	10	5		Periodo de retorno (años)	20	10	5
REGION 1				5.202	REGION 1			
GAUCHO	0.03	0.08	0.17			0.2	0.4	0.9
GEN. NORMAL	0.06	0.09	0.17			0.3	0.5	0.9
GEN. PARETO	0.06	0.09	0.16			0.3	0.5	0.8
GEN. EXTREME VALUE	0.01	0.08	0.18			0.1	0.4	0.9
GEN. LOGISTIC	0.01	0.07	0.18			0.1	0.4	0.9
CUANTILES JULIO				Precipitación media regional (mm)	LLUVIA ESPERADA JULIO			
Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2		Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2
Periodo de retorno (años)	20	10	5		Periodo de retorno (años)	20	10	5
REGION 1				5.2427	REGION 1			
GAUCHO	0.02	0.07	0.17			0.1	0.4	0.9
GEN. NORMAL	0.05	0.09	0.16			0.3	0.5	0.8
GEN. PARETO	0.05	0.08	0.15			0.3	0.4	0.8
GEN. EXTREME VALUE	0.01	0.07	0.18			0.1	0.4	0.9
GEN. LOGISTIC	0	0.07	0.17			0.0	0.4	0.9
CUANTILES AGOSTO				Precipitación media regional (mm)	LLUVIA ESPERADA AGOSTO			
Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2		Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2
Periodo de retorno (años)	20	10	5		Periodo de retorno (años)	20	10	5
REGION 1				9.0491	REGION 1			
GAUCHO	-0.01	0.03	0.11			-0.1	0.3	1.0
GEN. PARETO	0.01	0.04	0.1			0.1	0.4	0.9
GEN. EXTREME VALUE	-0.02	0.03	0.12			-0.2	0.3	1.1
GEN. LOGISTIC	-0.02	0.03	0.12			-0.2	0.3	1.1
GEN. NORMAL	0.03	0.05	0.11			0.3	0.5	1.0

CUANTILES SEPTIEMBRE				Precipitación media regional (mm)	LLUVIA ESPERADA SEPTIEMBRE			
Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2		Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2
Periodo de retorno (años)	20	10	5		Periodo de retorno (años)	20	10	5
REGION 1				10.8745	REGION 1			
GAUCHO	-0.01	0.04	0.12			-0.1	0.4	1.3
GEN. NORMAL	0.02	0.05	0.12			0.2	0.5	1.3
GEN. PARETO	0.01	0.04	0.11			0.1	0.4	1.2
GEN. EXTREME VALUE	-0.03	0.03	0.13			-0.3	0.3	1.4
GEN. LOGISTIC	-0.03	0.03	0.13			-0.3	0.3	1.4
CUANTILES OCTUBRE				Precipitación media regional (mm)	LLUVIA ESPERADA OCTUBRE			
Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2		Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2
Periodo de retorno (años)	20	10	5		Periodo de retorno (años)	20	10	5
REGION 1				19.6741	REGION 1			
GAUCHO	-0.01	0.05	0.16			-0.2	1.0	3.1
GEN. NORMAL	0	0.06	0.16			0.0	1.2	3.1
GEN. PARETO	0.02	0.06	0.15			0.4	1.2	3.0
GEN. EXTREME VALUE	-0.03	0.05	0.18			-0.6	1.0	3.5
GEN. LOGISTIC	-0.05	0.04	0.18			-1.0	0.8	3.5
CUANTILES NOVIEMBRE				Precipitación media regional (mm)	LLUVIA ESPERADA NOVIEMBRE			
Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2		Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2
Periodo de retorno (años)	20	10	5		Periodo de retorno (años)	20	10	5
REGION 1				34.8495	REGION 1			
GAUCHO	0.07	0.14	0.27			2.4	4.9	9.4
GEN. NORMAL	0.07	0.15	0.28			2.4	5.2	9.8
GEN. LOGISTIC	0.03	0.14	0.3			1.0	4.9	10.5
GEN. EXTREME VALUE	0.05	0.14	0.29			1.7	4.9	10.1
CUANTILES DICIEMBRE				Precipitación media regional (mm)	LLUVIA ESPERADA DICIEMBRE			
Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2		Probabilidad de no excedencia	0.05	0.1	0.2
Periodo de retorno (años)	20	10	5		Periodo de retorno (años)	20	10	5
REGION 1				51.5166	REGION 1			
PEARSON TYPE III	0.04	0.11	0.26			2.1	5.7	13.4
GEN. PARETO	0.06	0.12	0.25			3.1	6.2	12.9
						0.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0