



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
HIDRÁULICA – INGENIERÍA CIVIL

Modelos del patrón de comportamiento de la precipitación mensual contra la temperatura media histórica y ante escenarios de cambio climático

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. GONZALO DANIEL MEJIA SANTANA

TUTOR PRINCIPAL
DRA. MARITZA LILIANA ARGANIS JUÁREZ

DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA
DR. MOISÉS BEREZOWSKY VERDUZCO
DR. JESÚS GRACIA SÁNCHEZ
DR. OSCAR POZOS ESTRADA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., ABRIL DE 2018.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. JESÚS GRACIA SÁNCHEZ

Secretario: DR. MOISÉS BEREZOWSKY VERDUZCO

Vocal: DRA. MARITZA LILIANA ARGANIS JUÁREZ

1 er. Suplente: DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA

2 d o. Suplente: DR. OSCAR POZOS ESTRADA

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM.

**TUTOR DE TESIS:
DRA. MARITZA LILIANA ARGANIS JUÁREZ**



FIRMA

***A mis padres por su apoyo incondicional,
a mi esposa por su paciencia y
a mis hijos por su esperanza.***

Indice

1. Introducción.....	3
2. Antecedentes.....	4
2.1. Resumen del Estado del Arte.....	4
2.2. Planteamiento del Problema.....	14
2.3. Hipótesis.....	17
2.4. Objetivo.....	17
3. Metodología.....	17
3.1. Recopilación y análisis de la información.....	18
3.2. Aplicación de los modelos de cambio climático.....	25
3.3. Obtención de modelos de precipitación en función de la temperatura usando programación genética (PG).....	30
3.3.1 Programación genética (PG).....	30
3.3.2 Preparación de los datos para alimentar el programa de PG.....	31
3.3.3 Obtención del Error Medio Cuadrático de cada compilación.....	35
3.4. Validación de los modelos obtenidos.....	37
3.5. Empleo de la Programación Genética a las cifras del SEDEPECC.....	38
3.5.1. Condiciones del modelado PG.....	38
3.5.2. Obtención y aplicación de las ecuaciones PG.....	39
4. Resultados.....	42
4.1. Trazo de gráficas de SEDEPECC.....	42
4.2. Modelado de Año Representativo y Disecciones.....	46
4.3. Análisis de Varianzas.....	62
4.4. Modelado, Aplicación y Parámetros de la Programación Genética para periodos posteriores.....	72
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	102
6. Proyecciones Específicas.....	107
7. Referencias.....	111

1. Introducción.

El estudio de la forma en que han ido o irán cambiando en el tiempo las variables climatológicas ante las emisiones de gases efecto invernadero, ha sido motivo de numerosas investigaciones desde finales del siglo XIX que se han incrementado desde la década de los ochentas del Siglo XX. El crecimiento de la población en el mediano y corto plazo implicará una mayor urbanización con el consecuente cambio en el uso de suelo en un país; las medidas de protección civil que se implemente serán esenciales para alertar y proteger a las futuras poblaciones ante la ocurrencia de fenómenos climatológicos extraordinarios, proporcionando medidas necesarias ante casos como olas de calor, heladas e inundaciones. En particular el conocimiento del comportamiento de la precipitación históricamente ocurrida en un sitio y el pronóstico de la misma en el largo plazo a partir de variables de relativa sencillez de medición (como es la temperatura) puede ser de suma importancia para tener la posibilidad de tomar acciones preventivas. Las precipitaciones pronosticadas con distintos escenarios de cambio climático son de utilidad para la obtención de nuevos modelos de pronóstico que contemplen la historia y una primera aproximación pronosticada de nuevas series con longitud más larga que el registro histórico. El problema de obtener ecuaciones que permitan, no sólo reproducir la historia de un evento, sino también que puedan pronosticar el comportamiento en un futuro cercano, le dará a los tomadores de decisiones en materia de protección civil tiempo para ejercer acciones en materia de prevención y mitigación de daños ante un fenómeno meteorológico como la precipitación. El considerar nuevos datos a partir de suponer escenarios de cambio climático le aporta a la investigación una nueva componente respecto a modelos de pronóstico existentes. Contar con la experiencia y contribución de colaboradores de instituciones nacionales e internacionales le añade relevancia a la investigación.

Se seleccionaron 10 estaciones climatológicas que cuentan con registros diarios de precipitación y temperatura del aire; se identificaron los patrones del comportamiento mensual de la precipitación en función de la temperatura del aire año con año en los valores históricamente registrados. Se obtuvieron modelos de ajuste a los datos históricos con programación genética; dichos modelos se ajustaron a un método de disección tanto vertical como horizontal, acoplándose con una mayor correlación al método de disección horizontal. Estos modelos se usaron posteriormente con los datos generados con cambio climático para observar la viabilidad de su aplicación ante futuras mediciones.

2. Antecedentes.

2.1. Resumen del Estado del Arte.

El estudio de la forma en que han ido o irán cambiando en el tiempo las variables climatológicas ante las emisiones de gases efecto invernadero, ha sido motivo de numerosas investigaciones desde finales del siglo XIX que se han incrementado desde la década de los ochentas del Siglo XXI.

El cómputo evolutivo, algoritmos genéticos, programación genética y otros algoritmos bioinspirados) han cobrado auge en su utilización en problemas de ingeniería desde las últimas dos décadas del Siglo XXI; se pueden mencionar los trabajos de Minjares et al (2008) y Fuentes et al (2015).

Allerup et al (2000), estudian la corrección de las mediciones de precipitación líquida, sólidas o si es el caso en forma mezclada (por ejemplo granizo o nieve junto con lluvia), la cual se lleva a cabo a menudo por medio de un modelo estadístico matemático explícito, debido a los errores aerodinámicos. La magnitud de la corrección, por ejemplo, es calculada como un factor de corrección para la cantidad observada de precipitación, es la variable dependiente, y la velocidad del viento, la temperatura y una medida de la intensidad de las precipitaciones son las variables independientes que entran en el modelo de corrección. Por lo general, estas variables independientes son accesibles en el sitio donde se registran las mediciones de la precipitación. El objetivo del estudio realizado por estos autores fue describir cómo los modelos estadísticos se pueden utilizar en la evaluación del conjunto de información remota y cómo las variables independientes pueden ser utilizadas para la estimación de un factor de corrección fiable en el lugar. La técnica fue aplicada a una red de precipitación en Dinamarca, las medidas estándar sólo es la cantidad de precipitación.

A fin de superar los errores de medición aerodinámicos, la corrección de la medición de precipitaciones líquidas, sólidas o mixtas, pueden llevarse a cabo utilizando modelos estadísticos puesto que los factores de corrección como variables dependientes se derivan de valores conocidos de cuatro variables independientes: la velocidad del viento, intensidad de la lluvia, la temperatura y la mezcla de fracción líquida y sólida de la nieve.

Christensen et al (2008), en el marco del proyecto europeo ENSEMBLES (predicciones basadas en conjuntos de los cambios climáticos y sus impactos), exploraron el sesgo sistemático en la temperatura media simulada y la precipitación

para un conjunto de trece modelos climáticos regionales (RCMs). Los modelos fueron reajustados por el Centro Europeo de Reanálisis de Pronósticos del Tiempo de Mediano Tiempo (ERA40) y se compararon con un nuevo conjunto de datos de observación en mallas de alta resolución.

Se encontró que cada modelo tiene un sesgo sistemático distinto que relaciona el sesgo de temperatura y precipitación con la media observada. Al excluir los veinticinco por ciento más cálidos y los meses más húmedos, respectivamente, se determinó que un ajuste de segundo orden derivado de los meses restantes puede ser usado para estimar los valores de los meses excluidos.

Piani et al (2010), diseñaron, aplicaron y validaron una metodología para corregir la producción de modelos climáticos para reproducir registros que tienen la misma distribución estadística de intensidad que las observaciones. Se refieren a esto como una corrección de sesgo estadístico. La validación de la metodología se llevó a cabo utilizando registros de precipitación diarios, definidos en Europa, a partir del conjunto de datos del modelo climático ENSEMBLES. La corrección de sesgo se calculó utilizando datos de 1961 a 1970, sin distinción entre estaciones, y se aplicó a datos estacionales de 1991 a 2000. Esta elección de períodos de tiempo se realiza para maximizar el retraso entre la calibración y la validación dentro del período de análisis en ERA40.

Los resultados revelaron que el método funciona inesperadamente bien, no sólo la media y otros momentos de la distribución de intensidad mejoraron, como se esperaba, también en sequías y los índice de precipitación pesada, que dependen de los espectros de correlación. Dado que las correcciones se derivaron sin distinción estacional y se basan únicamente en distribuciones de intensidad, una cantidad estadística ajena a las correlaciones temporales, es alentador encontrar que las mejoras están presentes incluso cuando se consideran temporadas y estadísticas temporales.

Tuomenvirta (2010), realizó los ajustes necesarios para producir tres conjuntos homogéneos de datos, las temperaturas medias de 1961 a 1990 en Finlandia, las series de temperatura y precipitación (1890-1990) de la serie de datos climatológicos del Atlántico Norte (NACD) y las series de temperaturas mínimas (1910-1995), así como las razones para realizar tales ajustes. Los ajustes en las temperaturas medias anuales (estacionales) son de hasta ± 1 ° C, y los ajustes anuales de precipitación pueden ser $\pm 40\%$.

En Finlandia, las rupturas de homogeneidad en las temperaturas normales del período y en las temperaturas máximas y mínimas máximas diarias a largo plazo parecen ser aleatorias y, por lo tanto, no sesgaban los promedios basados en un gran número de estaciones.

Sin embargo, tanto la temperatura como las series de precipitación de la NACD habrían sido estadísticamente significativamente sesgadas sin ajustes. Las reubicaciones de estaciones parecen ser la causa más común de roturas de homogeneidad en las series de temperatura. En la NACD, los ajustes resultantes de las reubicaciones son estadísticamente significativos y reflejan cambios en sitios de observación más fríos. Además, los cambios en la fórmula utilizados para el cálculo de las temperaturas medias y la urbanización causan ambos sesgos sistemáticos en los datos.

La instalación de medidores de precipitación mejorados ha sido sistemática en la NACD, por lo tanto, las series originales necesitan ser ajustadas hacia arriba en los primeros años. Los ajustes aplicados son del mismo orden de magnitud que las tendencias observadas a largo plazo.

Para vigilar los cambios climáticos de forma fiable, la red de observación debe estar diseñada para soportar las discontinuidades comunes (por ejemplo, reubicaciones, observación y cambios en el entorno, etc.) en series de observación, ya que el número de pausas de homogeneidad parece ser aproximadamente constante en el tiempo. Además, la introducción de nuevas tecnologías puede causar cambios sistemáticos en las observaciones, y se necesitan medidas de comparación completas.

Berget et al (2005), ocuparon un conjunto de 12 series homogeneizadas de temperatura y precipitación media mensual de Suiza para el período 1864-2000. La metodología de homogeneización estandarizada, que ha sido desarrollada e implementada en la Oficina federal de Meteorología y Climatología de Suiza (MeteoSwiss) durante los últimos años, fue revisada con anterioridad y los tipos de falta de homogeneidad, causas, y magnitudes fueron discutidos.

Un análisis de tendencias se realiza en cada serie de temperatura, precipitación y de temperatura media de Suiza. Los resultados se compararon con los resultados de otros estudios que han examinado la temperatura a largo plazo y las tendencias de precipitación en Suiza y los países vecinos.

Brunetti et al (2005), tomando en cuenta una temperatura mensual en Italia, y una precipitación media, máxima, actualizaron y revisaron la disponibilidad de metadatos, mejorando en gran medida, además los autores de este procedimiento sometieron la serie a un control de calidad detallado y procedimientos de homogeneización. Se determinó que el sesgo que afecta los datos originales se cuantifica mediante el estudio de la evolución temporal de los ajustes medios aplicados a la serie tomando en cuenta los datos históricos de cada estación.

Cahalan et al (1996), recopilaron los datos de la precipitación media mensual y la temperatura de 62 estaciones en los Estados Unidos y Canadá, con un registro de

91 años, analizaron en términos de funciones ortogonales empíricas y sus varianzas.

Se estudiaron los datos mensuales individuales para enero y julio, así como un conjunto de datos combinados de todos los meses. El objetivo de estas funciones, según los propios autores, es que los valores propios de los modelos se encuentren en estrecho acuerdo con los observados incluso cuando el tiempo de correlación se excluye del modelo. En conclusión, las correlaciones temporales sólo afectan ligeramente los resultados de la temperatura y tienen un menor impacto para la precipitación.

Cho et al (2011), investigaron la relación entre la escorrentía anual total, la precipitación, y la temperatura media a partir de datos que se registraron en 829 años en sitios alrededor de todo el mundo.

Los investigadores demostraron que la fuerte relación lineal entre la precipitación anual y el gasto están en función de la temperatura media. En este estudio, los datos observados para los 829 años en sitio se utilizan para derivar una ecuación empírica, la cual establece que el incremento en el gasto es directamente proporcional al incremento de la precipitación e inversamente al incremento de la temperatura media la cual explica la variación de del gasto de escorrentía anual bajo el clima actual.

Strack et al (2008), de acuerdo a los datos expuestos en este estudio, se establece que los cambios en las propiedades superficiales de la tierra alteran el balance energético de la superficie, dando lugar a diferencias en las temperaturas cercanas a la superficie. Para ello se utilizó un conjunto de datos de cobertura del suelo para el Este de los Estados Unidos para examinar la influencia del cambio en la cubierta de la tierra, en base a las temperaturas y precipitaciones históricas de junio.

El equipo de investigación obtuvo un nuevo conjunto de datos que contiene representaciones de la cubierta vegetal y parámetros biofísicos asociados para los años 1650, 1850, 1920, y 1992.

De Lima et al (2012), de acuerdo a los ajustes recientes en el clima de Portugal, particularmente en la intensidad, frecuencia y duración de los eventos extremos, investigaron las tendencias de índices específicos seleccionados que se calculan a partir de los datos de precipitación diaria de 57 estaciones y datos de temperatura del aire de la superficie de 23 estaciones de medición repartidos por todo el territorio. Se enfocaron a determinar una relación entre las diferencias regionales y las variaciones estacionales. Los datos que emplearon abarcan los períodos 1941-2007 para la precipitación, y 1941-2006 para la temperatura.

El equipo encabezado por De Lima determinó que la evolución en los índices de precipitación anual generalmente es débil y estadísticamente puesto que no rebasan el 5%. Sin embargo, exponen una tendencia a la baja en los índices de precipitación total y de precipitaciones extremas. En cuanto a la precipitación estacional se exhibieron tendencias decrecientes significativas en primavera, mientras las fuertes precipitaciones extremas, tanto en magnitud y frecuencia, se originaron en otoño.

Yang et al (1998), emplearon una metodología para el ajuste de la precipitación diaria medida por el Servicio Nacional de Meteorología de EE.UU. (NWS). Mencionan que emplearon los datos de 10 estaciones climatológicas en Alaska con registros de 1982 y 1983 para la aplicación de los procedimientos de ajuste. Determinaron lo siguiente: el ajuste diario inducido por el viento, la pérdida de humedad, y la cantidad de precipitación, aumenta el indicador de precipitación anual medido de 65 a 800 mm para los 2 años (alrededor de 10 a 140% de la calibración medida anualmente) en las 10 estaciones; además, la captura incidental inducida por el viento, es la fuente de error más grande, en comparación con la pérdida de humedad y a la precipitación acumulada, estos catalogados como errores sistemáticos significativos en las regiones del norte de Alaska de baja precipitación, y a la vez indican que los factores de ajuste mensual difieren de acuerdo al tipo de precipitación y la variación de magnitud considerable debido a la fluctuación de la velocidad del viento, temperatura del aire, y la frecuencia de las nevadas. Llegaron a la conclusión que el uso de los factores de corrección de la constante para los registros de precipitación mensual produce una corrección insuficiente y significativa de los errores inducidos por el viento en los sitios y esperan que los ajustes tendrán un impacto importante en la observación del clima a nivel mundial.

Benning et al (2005), establecen que los errores sistemáticos en las mediciones de precipitación afectan a todos los tipos de medidores de precipitación, y estos errores son más sensibles para la precipitación sólida que la de la lluvia. Revelan que, en regiones árticas, estos errores sistemáticos se vuelven significativamente más pronunciados en comparación a otras regiones, debido a las tasas de precipitación relativamente lentas, bajas temperaturas, fuertes vientos, y bajas cantidades de precipitación anual que son característicos del clima ártico. Este estudio realiza los ajustes diarios de los datos de precipitación medidos para el Servicio Meteorológico Nacional en Barrow y Nome, Alaska, durante un período de estudio de 7 años, a partir de 1995 y 2001. Los resultados de este estudio indican que los ajustes de polarización aumentan la precipitación promedio mensual aproximadamente de un 20% a un 180% para Barrow y del 30% al 380% para Nome, con porcentajes más grandes en invierno.

Adam et al (2003), determinan que los sesgos sistemáticos en la medición basada en el medidor de precipitación pueden ser sustanciales y dicho sesgo es inducido por el viento de precipitación sólida, que es, por mucho, el más grande. Desarrollaron una metodología para obtener las relaciones reticulares medias mensuales de captura (SRC) para el ajuste por viento y por pérdidas de humedad, su intención era adecuarlo para su aplicación a productos de precipitación cuadrículadas continentales o mundiales. Estimaron los ajustes para la precipitación sólida inducida por el viento utilizando ecuaciones de regresión específicos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para la medición de la precipitación sólida, en un plano de comparación. Relacionaron estudios recientes que utilizan un método similar para tener en cuenta las deficiencias de captura inducidas por el viento, sus estimaciones inducidas por el viento son de 1.6 hasta 7.9% más alto sobre una base media anual, y establecieron que sus datos ajustados son ligeramente mayores en la temporada cálida.

Cheval et al (2010), tomaron como fundamento la influencia de la velocidad del viento, la velocidad de la precipitación sólida, y las pérdidas de humedad y ajustaron las cantidades mensuales registradas en 159 estaciones meteorológicas en el periodo entre 1961 y 2006. Sus resultados pusieron en relieve las distribuciones espaciales y temporales distintas a la magnitud de ajuste. Llegaron a establecer que los factores de corrección aumentan con la altitud y tienen altos valores en la estación fría, ya que dependen en gran medida de la velocidad del viento y el porcentaje de la precipitación sólida. Demostraron que, en Rumania, las correcciones de las desviaciones aumentan la precipitación mensual en menos del 10 % de junio a septiembre, en un 10 al 20 % en los meses de transición, y con los valores más altos durante el invierno.

Budaa et al (2001), ponen en discusión el cambio climático, y como éste afecta la precipitación y la temperatura, desde el punto de vista de los grandes impactos combinados de temperatura y precipitación proyectados en la concentración y disposición húmeda de contaminantes atmosféricos ya que eso es lo más importante en el estudio. Justifican que en el Este de Estados Unidos no son muy numerosos los estudios de climatología sinóptica y la lluvia acida, y los resultados indican que los iones disueltos en la precipitación se depositan más durante el paso de frentes fríos y calientes. Determinaron que, de forma anual, las afectaciones sinópticas de tipo climático causadas por la química de la precipitación en el centro de Pensilvania, son debidas a los cambios en las precipitaciones y la temperatura inducidas por el cambio climático.

Utilizaron un método de regresión múltiple para el desarrollo de las relaciones estadísticas entre las concentraciones de contaminantes en las precipitaciones y la cantidad de temperatura para un sitio en el centro de Pensilvania. Emplearon como

datos la química de la precipitación basada en eventos que se combinaron con la cantidad de temperatura y la cantidad de a precipitación media diaria y luego los agruparon para su análisis de acuerdo con los periodos anuales, los periodos estacionales y tipos sinópticos de clima. Todos los análisis estadísticos los llevaron a cabo a través del software MINITARB® de regresión por pasos hacia adelante, ya que es apropiado para desarrollar las relaciones entre las concentraciones de contaminantes en la deposición húmeda atmosférica y las variables independientes.

Fassnacht et al (2001) indican que el radar climatológico se usa para estimar la precipitación debido a que puede proveer mapas que los pluviómetros no pueden. El principal problema del pluviómetro es la lluvia o nieve que se desplaza debido al viento.

Sin embargo, se puede hacer uso de ambos dispositivos para obtener datos muy confiables. Los pluviómetros distribuidos pueden otorgar lecturas para determinar las condiciones en una cuenca, mientras que los datos que arroja el radar puede proveer un pronóstico del flujo del agua.

Los autores de este estudio se enfocan en la acumulación de la nieve durante tormentas sucesivas en invierno, ya que individualmente no son significantes hidrológicamente, pero el volumen de agua almacenado en la nieve es crucial. Midieron la acumulación de nieve por temporada, mensualmente y semanalmente a través de los pluviómetros, y se compara con las estimaciones de los radares climatológicos. Describen un método para hacer ajustes y correcciones a los datos del radar para considerar variaciones en el tipo de precipitación debido a las condiciones de temperatura y variaciones en la forma de la partícula de nieve.

Boccolari et al (2013) destacan que el cambio climático se ha convertido en uno de los temas más estudiados del mundo, estudiando sus tendencias y cambios a lo largo del tiempo. Para lograrlo es necesario tener largas observaciones y series temporales.

Este grupo de científicos parte de la necesidad de incluir los registros del Observatorio Geofísico de la Universidad de Modena y Reggio Emilia, la cual contiene registros hasta del siglo 19, puesto que nunca se habían realizado estudios internacionales de las series temporales de Italia que tomaran en cuenta este sitio.

Su trabajo se enfoca en el análisis anual y estacional de las tendencias y picos de temperatura, tanto máximos como mínimos, así como los registros en los periodos comprendidos del año de 1861 al 2010 para Temperaturas y de 1831 al 2010 para Precipitaciones. Emplearon métodos estocásticos, y los compararon con los presentados por El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

Xu et al (2008), mencionan la necesidad de evaluar el impacto del cambio climático, en la precipitación y temperatura de forma regional y local en la meseta tibetana ya

que es poco conocida en comparación con muchas otras montañas del mundo. Además de que es este lugar hay un fuerte impacto en la distribución de la precipitación, y un conocimiento de esta distribución es un requisito básico para una planificación y gestión de los recursos hídricos. Para el estudio usaron un método llamado Mann-Kendall, el cual busca una tendencia en una serie de tiempo sin especificar si la tendencia es lineal o no, este método ha sido muy utilizado para evaluar la importancia de las tendencias en series temporales hidroclimáticas.

Zängl (2008), tomó en cuenta las estaciones pluviométricas en los Alpes presentando simulaciones numéricas idealizadas para analizar la dependencia de la temperatura a pequeña escala con el aumento de las precipitaciones en un entorno orográfico no convectiva para distintas alturas de montañas. De acuerdo con sus observaciones cualitativas, las simulaciones indican una marcada dependencia del patrón de precipitación en la posición del nivel de congelación con respecto al pico de la montaña.

La motivación de Zängl para este estudio proviene de un análisis climatológico de estaciones de lluvia calibradas, en el Este de los Alpes bávaros, en el que se indica una dependencia de la temperatura notable.

Detectó que las estaciones climatológicas, se caracterizaba por registrar grandes precipitaciones en pequeña escala, llegando hasta los 900 mm por año en una distancia horizontal de unos 15 km. Examinó una estación cerca del borde norte de los Alpes y cuatro estaciones alpinas afectadas particularmente por el fuerte aumento de las precipitaciones locales.

Cohen (2007), idealiza un método para el diagnóstico de la velocidad de condensación en simulaciones utilizando el Sistema de Modelado Atmosférico Regional (RAMS), donde la temperatura potencial del agua con hielo es una variable de pronóstico y utilizó un procedimiento iterativo para el diagnóstico de la relación de temperatura y vapor de agua de la mezcla de agua con hielo.

Empleó la velocidad de condensación para calcular la eficiencia de precipitación, las determinó como una tasa de precipitación en el suelo y la suma de las tasas de condensación y precipitación. Comparó la eficiencia de precipitación para los pares de simulaciones numéricas, todos sus sondeos tienen todos los parámetros ambientales clave idénticos a excepción de su temperatura.

Estudios previos del autor, mostraron que, con un sondeo inicial más frío, la conversión de la nube de agua a la precipitación es relativamente ineficiente, pero las corrientes de aire son más fuertes y hay relativamente menos evaporación de precipitación.

Abderrahmane et al (2008) indican que se sabe que la temperatura promedio en la superficie terrestre ha aumentado durante el siglo pasado, al igual que la cantidad de precipitaciones que se han presentado. Generalmente la precipitación en el norte

(por encima del grado 30°N) hasta los 70s, y desde entonces ha disminuido. Tendencias de disminución también se han observado en los trópicos desde los años 70s. Dado que los patrones de temperatura y lluvia varían de región a región, muchos países han comenzados sus propios registros.

La mayoría de los estudios realizados analizan las condiciones anuales, sin embargo, los cambios en los picos diarios de temperatura y precipitación tienen mayores impactos sociales, económicos y ambientales.

Los autores eligieron los índices de acuerdo a su relevancia social y económica para el sur de Quebec, por lo que hay algunos que difieren con respecto a los incluidos en estudios anteriores. Además, las estaciones climatológicas fueron elegidas de tal manera que se obtuviera una mayor densidad en la representación espacial del área.

Obtuvieron los datos del archivo del Ministerio de Fomento, Medio Ambiente y Parques de Quebec. Tomaron los datos de 53 estaciones, la mayoría localizadas en lugares rurales o ambientes boscosos, por lo que no deberían de verse influenciados por centros urbanos.

Para el análisis de la temperatura usaron dos métodos para suplir la ausencia de los picos máximos en series largas de tiempo, la primera encontraba la diferencia de temperaturas entre una estación y las estaciones vecinas, y la segunda aplica un modelo de regresión lineal.

Para el análisis de la precipitación, los autores no calcularon los picos máximos diarios faltantes debido a la dificultad por la variación espacial de nieve y agua que cae. Sin embargo, sí hicieron ajustes a los datos diarios obtenidos, principalmente convirtiendo la nieve acumulada en nieve cayendo usando factores de equivalencia entre agua y nieve, adoptado por Mekis y Hopkinson, así mismo agregaron ciertos rastros a los datos diarios obtenidos, dependiendo de la estación estudiada.

Magaña (2006) remarca que el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) define el cambio climático como “una variación estadísticamente significativa, ya sea de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad, que se mantiene durante un periodo prolongado (generalmente durante décadas o por más tiempo)”. El cambio del clima puede deberse a procesos naturales internos o a un forzamiento externo, a cambios duraderos en la composición de la atmósfera o modificaciones en el uso del suelo, resultado de las actividades humanas. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo, define el cambio climático como “cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”. La CMNUCC hace pues una distinción entre “cambio climático”, atribuible a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera, y “variabilidad del clima”, atribuible a causas naturales.

El autor menciona que México como país en desarrollo, tiende a ser más vulnerable al cambio climático que muchos países desarrollados. Las proyecciones del IPCC y otros grupos de científicos dedicados al análisis de los impactos del cambio climático sugieren que aun con aumentos pequeños de la temperatura, el cambio climático podría traducirse en impactos negativos serios sobre diversos sectores, principalmente aquellos relacionados con el recurso agua.

Los escenarios de cambio climático son “una descripción coherente, internamente consistente y plausible de un posible estado futuro del mundo”. No son pronósticos, ya que cada escenario es una alternativa de cómo se puede comportar el clima futuro.

Una proyección puede servir como material fuente para un escenario, pero los escenarios en general requieren de información adicional; por ejemplo, condiciones de emisiones de gases de efecto invernadero o de un escenario base. Un conjunto de escenarios se adopta para reflejar, de la mejor manera posible, el rango de incertidumbre en las proyecciones

Los escenarios socioeconómicos pueden ser contruidos como lo ha hecho el IPCC en el Informe Especial de Escenarios de Emisiones. Estos escenarios se realizaron para explorar el desarrollo futuro del medio ambiente global, con especial énfasis en la producción de gases de efecto invernadero.

La emisión de estos gases a la atmósfera depende en gran medida del nivel de desarrollo de los países a futuro, de su población y del uso de hidrocarburos como fuente principal de abastecimiento de energía. Para poder hablar de escenarios, primero se debe conocer la terminología:

- Escenario: proyecciones de un futuro potencial, con base en una lógica clara y una línea evolutiva cuantificada.
- Línea evolutiva: Descripción narrativa de un escenario (o familia de escenarios) que resalta sus principales características, las relaciones entre las fuerzas determinantes fundamentales y la dinámica de su evolución.
- Familia de escenarios: Escenarios que tienen una línea evolutiva similar en lo que respecta a sus características demográficas, sociales, económicas y de cambio tecnológico. La serie de escenarios del SRES consta de cuatro familias: A1, A2, B1 y B2.

En el Informe Especial del IPCC sobre Escenarios de Emisiones se elaboraron cuatro líneas evolutivas (A1, A2, B1 y B2), en los que se describen las fuerzas determinantes en las emisiones de gases de efecto invernadero y aerosoles, así como su evolución durante el siglo XXI tanto en términos globales como de distintas regiones. Cada línea evolutiva representa un nivel de desarrollo divergente en cuestiones demográficas, sociales, económicas y tecnológicas.

Magaña explica que en términos simples, las cuatro líneas evolutivas combinan dos series de tendencias divergentes: una serie desarrolla las variaciones entre valores económicos y ambientales; la otra serie explora las variaciones entre mayor globalización y regionalización. Estas líneas evolutivas pueden resumirse de la siguiente forma:

- Emisiones Altas A1B
- Emisiones Media – Alta A2
- Emisiones Media – Baja B2
- Emisiones Bajas B1

2.2. Planteamiento del Problema.

El crecimiento de la población en el mediano y corto plazo implicará una mayor urbanización con el consecuente cambio en el uso de suelo en un país; las medidas de protección civil que se implementen serán esenciales para alertar y proteger a las futuras poblaciones ante la ocurrencia de fenómenos climatológicos extraordinarios. En los distintos países se cuenta con las dependencias encargadas de dar aviso a la población en estos casos.

Actualmente se cuentan con modelos que permiten hacer un pronóstico en el corto plazo de la posible ocurrencia de un fenómeno, por ejemplo, precipitación o alerta volcánica o llegada de un huracán a un sitio, lo que permite salvaguardar a la población.

En particular el conocimiento del comportamiento de la precipitación históricamente ocurrida en un sitio y el pronóstico de la misma en el largo plazo a partir de variables de relativa sencillez de medición (como es la temperatura) es de suma utilidad para tener la posibilidad de tomar acciones preventivas.

Las precipitaciones pronosticadas con distintos escenarios de cambio climático son de utilidad para la obtención de nuevos modelos de pronóstico que contemplen la historia y una primera aproximación pronosticada de nuevas series con longitud más larga que el registro histórico.

Dentro del cómputo evolutivo los algoritmos genéticos y la programación genética (PG) son herramientas que ayudan a obtener parámetros de modelos propuestos o a obtener modelos totalmente nuevos en su forma con los que se logra reproducir el patrón de comportamiento de una variable dependiente en función de n variables independientes (Cramer, 1985, Koza, 1989, Goldberg, 1989).

El problema de obtener ecuaciones que permitan, no sólo reproducir la historia de un evento, en este proyecto, la variable precipitación en función de la temperatura, (En la **Figura 1** se ejemplifica el caso de la estación climatológica 25172 San

Joaquín cuyas coordenadas geográficas son Latitud: 25.6678° Longitud : -108.02°), sino también que puedan pronosticar el comportamiento en un futuro cercano, le dará a los tomadores de decisiones en materia de protección civil tiempo para la toma de decisiones en materia de prevención y mitigación de daños ante un fenómeno meteorológico como la precipitación.

El considerar nuevos datos a partir de suponer escenarios de cambio climático, como los que se pueden obtener del programa Sedepecc del IMTA, <http://galileo.imta.mx/aplisedepecc.php?entrar=1>, esto se puede apreciar mejor en las **Figuras 2 y 3** le aporta a la investigación una nueva componente respecto a modelos de pronóstico existentes

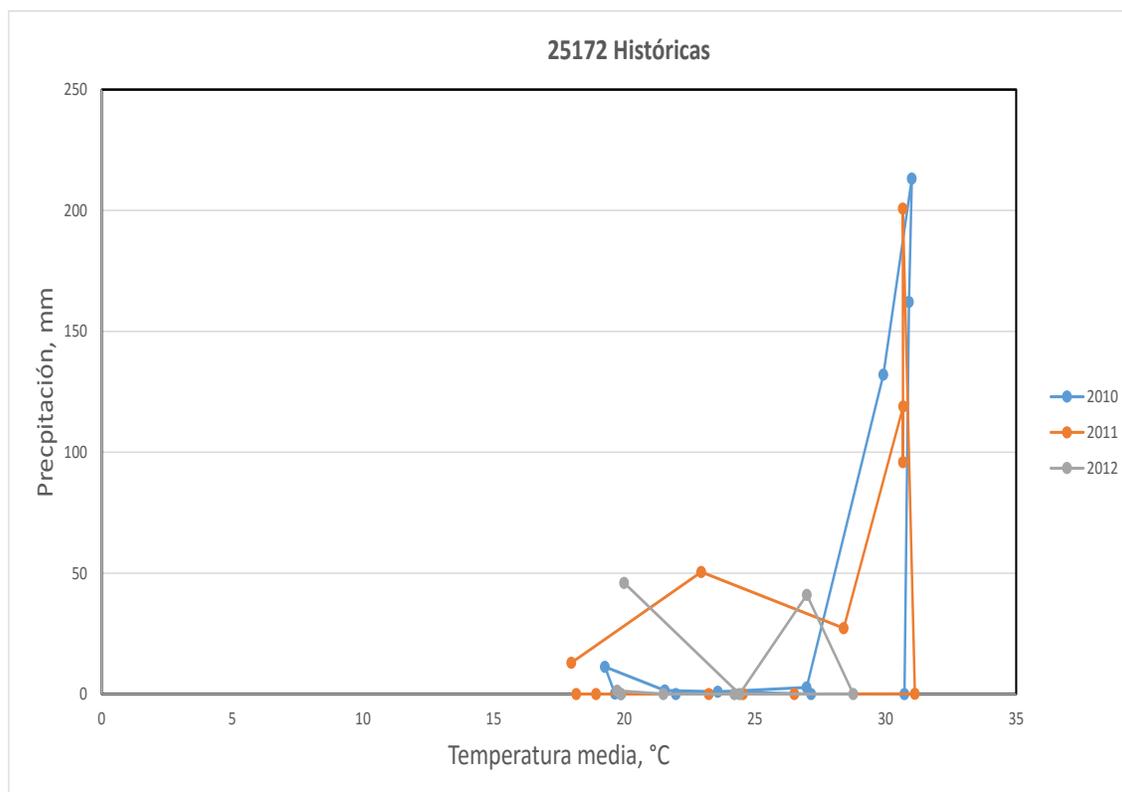


Figura 1. Comportamiento de la temperatura media mensual vs la precipitación histórica en tres años sucesivos (CONAGUA, 2015).

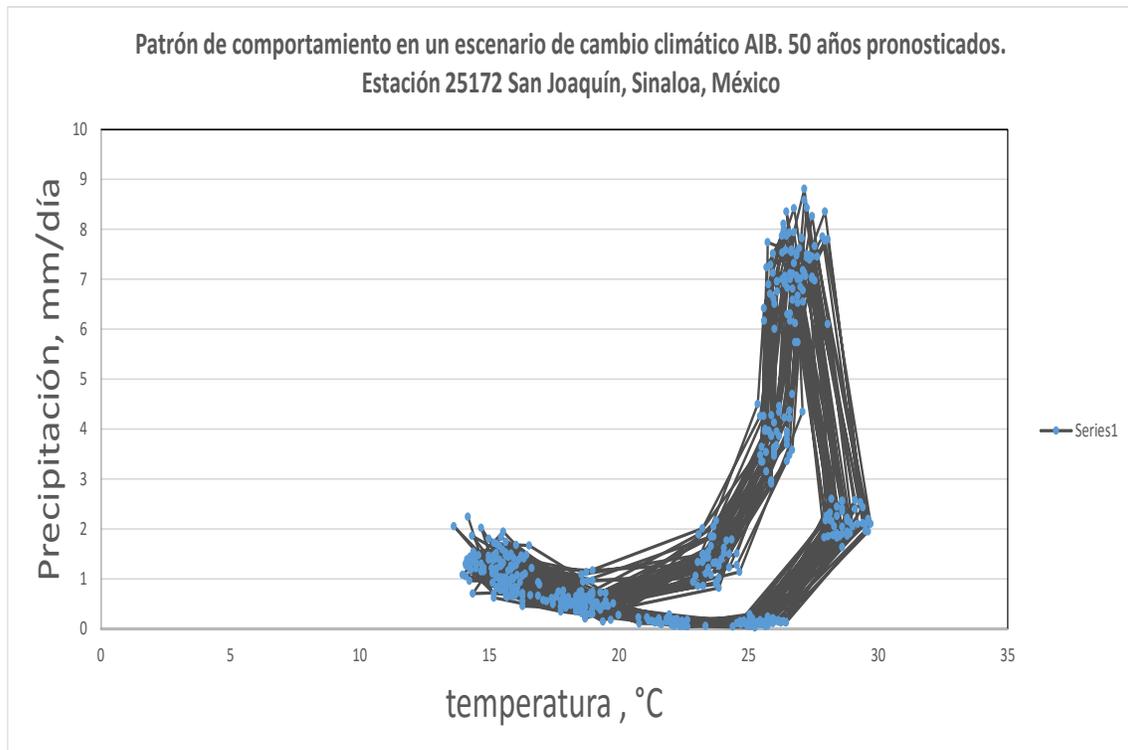


Figura 2 Comportamiento de la temperatura mensual vs la intensidad de precipitación pronosticada para 50 años en un escenario de cambio climático A1B con el Sedepecc, IMTA.

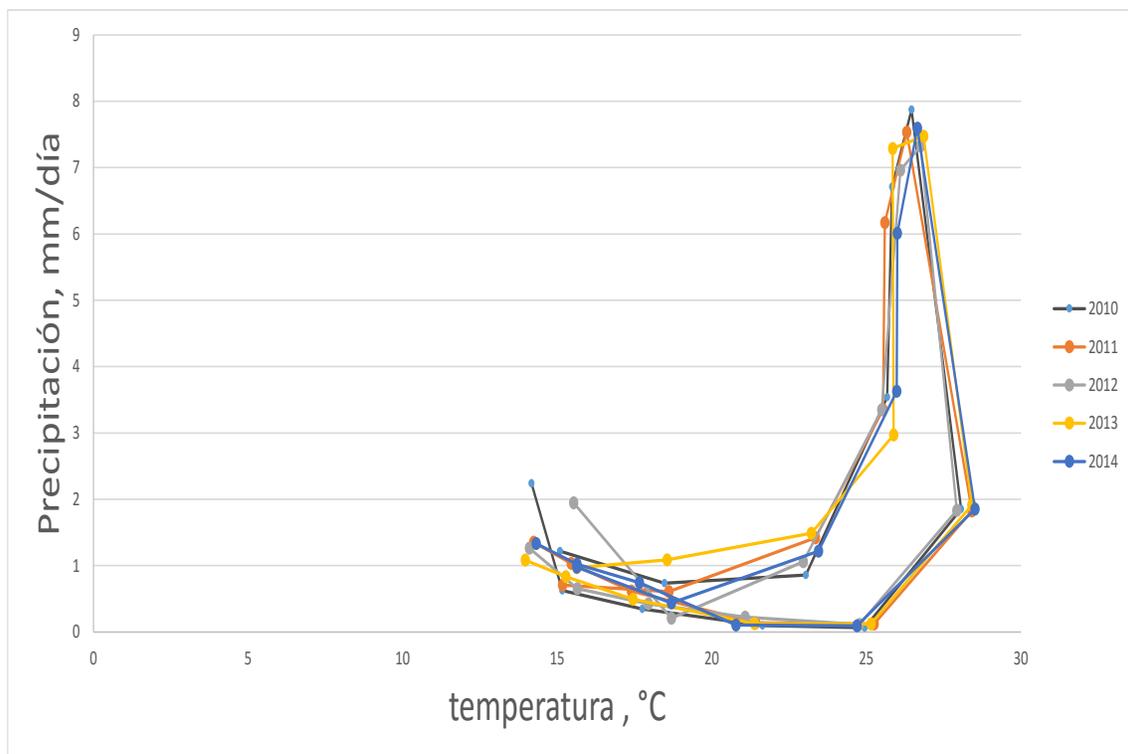


Figura 3. Detalle del patrón de comportamiento de la temperatura mensual vs intensidad de precipitación pronosticada para los años 2010 a 2014 en un escenario de cambio climático A1B con el Sedepecc, IMTA.

2.3. Hipótesis.

La precipitación histórica en diversos sitios del mundo ha cambiado debido a la variación de la temperatura ambiente atribuidas al cambio climático, por lo que es importante contar con modelos que relacionen a estas variables para analizar este comportamiento.

2.4. Objetivo.

Obtener modelos del patrón del comportamiento de la precipitación en función de la temperatura que se ha observado históricamente y añadiendo datos pronosticados ante escenarios de cambio climático con fines de pronóstico de la precipitación en un sitio en el corto y largo plazo.

3. Metodología.

Se seleccionaron 10 estaciones climatológicas que cuentan con registros diarios de precipitación y temperatura del aire; se identificaron los patrones del comportamiento mensual de la precipitación en función de la temperatura año con año en los valores históricamente registrados.

Se obtuvieron modelos de ajuste a los datos históricos con programación genética (PG); a partir de estos resultados se separaron los datos tomando en cuenta los meses en el que el modelo dio los mayores errores en la dirección vertical y horizontal y se calcularon modelos para cada caso, se obtuvo una mayor correlación con los datos separados por error horizontal.

Este procedimiento se usó posteriormente con los datos de la plataforma SEDEPECC (Sistema para la Exhibición de Datos del Ensamble Ponderado de Escenarios de Cambio Climático para México), empleando la programación genética para determinar los modelos de los primeros 35 años y ajustarlos a los 15 años restantes de un periodo comprendido entre los años 2010 y 2060, observando grandes posibilidades de su aplicación ante futuras mediciones.

3.1. Recopilación y análisis de la información.

En México se emplea un sistema de recopilación de las normales de las estaciones climatológicas el cual es de dominio público y está a cargo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); las estaciones seleccionadas en esta herramienta para realizar el análisis y proceso de ajuste fueron las siguientes:

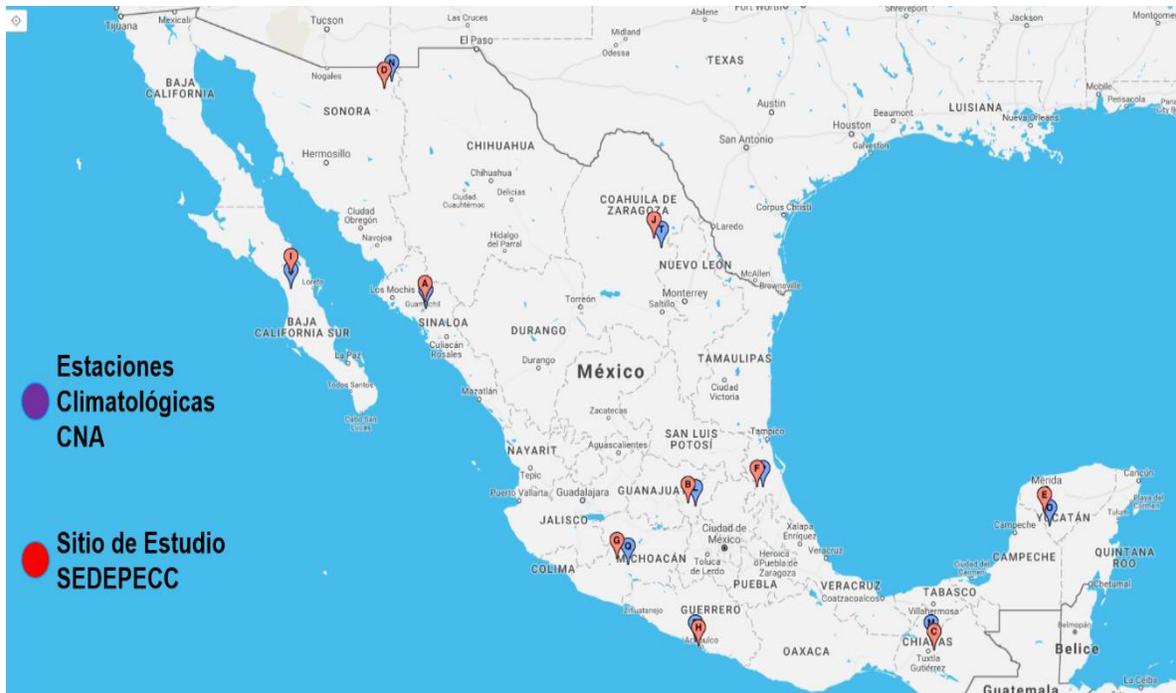
Tabla 1. Estaciones Climatológicas distribuidas a lo largo del Territorio Nacional.

Est.	Estado	Nombre	Municipio	Clave CONAGUA
A	Sinaloa	San Joaquín	Sinaloa	25172
B	Querétaro	Coyotillos	El Marqués	22043
C	Chiapas	Cauhtémoc	Ixtapa	7343
D	Sonora	Colonia Morelos	Agua Prieta	26022
E	Yucatán	Santa Elena	Santa Elena	31027
F	Veracruz de Ignacio de la Llave	Chicontepec de Tejeda	Chicontepec de Tejeda	30041
G	Michoacán de Ocampo	Acahuato	Apatzingán	16228
H	Guerrero	Acapulco de Juárez	Acapulco de Juárez	12142
I	Baja California Sur	Ojo de Agua	Comondu	3039
J	Coahuila de Zaragoza	Ejido Primero de Mayo	Escobedo	5147

De estas estaciones, se extrajeron los registros de las variables climatológicas de:

- Precipitación
- Evaporación
- Temperatura del aire máxima
- Temperatura del aire mínima

Pero como en cualquier sistema existen pérdidas de información debido a fallas técnicas ya sea por consecuencia de algún evento extremo, caída del sistema o por mantenimiento de la misma estación, por lo cual se vio en la necesidad de recurrir a información adyacente, es decir, a información de estaciones adjuntas o cercanas, con el cuidado necesario que la distancia que existe entre una y otra no excediera de 20 km de separación; a continuación se muestran las estaciones que complementaron el registro y la distancia que existe una con la otra:



Mapa 1. Ubicación de Estaciones Climatológicas.

- A.** Estado: Sinaloa
Nombre: San Joaquín
Municipio: Sinaloa
Clave: 25172
- Estado: Sinaloa
Nombre: Sinaloa de Leyva
Municipio: Sinaloa
Clave: 25090
Separación entre Estaciones: 12 km
- B.** Estado: Querétaro
Nombre: Coyotillos
Municipio: El Marques
Clave: 22043
- Estado: Querétaro
Nombre: La Venta
Municipio: Pedro Escobedo
Clave: 22067
Separación entre Estaciones: 13 km
 - Estado: Querétaro

Nombre: Nogales
Municipio: Colón
Clave: 22046
Separación entre Estaciones: 13 km

- Estado: Querétaro
Nombre: Santa Teresa
Municipio: Huimilpan
Clave: 22067
Separación entre Estaciones: 15.3 km

Para los datos faltantes de la Estación Coyotillos (22043), primero se promediaron mensualmente los aspectos climatológicos de precipitación, temperatura máxima y media, de la misma forma se hizo en las estaciones de la Venta, Nogales y Santa Teresa; posteriormente se identificaron los meses con datos vacíos en la estación de Coyotillos, enseguida, de acuerdo al mes identificado se buscó en las otras tres estaciones las características climáticas que tuvieran una mayor correlación con la estación base, complementando así los datos faltantes, este paso se repitió con los demás meses con carencias de información de la Estación Coyotillos y a su vez con las demás Estaciones. A continuación se enlistan del lado derecho las estaciones base y del lado izquierdo las estaciones complementarias:

C. Estado: Chiapas
Nombre: Cuauhtémoc
Municipio: Ixtapa
Clave: 07343

- Estado: Chiapas
Nombre: Ixtapa
Municipio: Ixtapa
Clave: 7188
Separación entre Estaciones: 5.03 km
- Estado: Chiapas
Nombre: El Burrero
Municipio: Ixtapa
Clave: 7040
Separación entre Estaciones: 10.5 km
- Estado: Chiapas
Nombre: Puente Colgante
Municipio: Chiapa de Corzo
Clave: 7134
Separación entre Estaciones: 11.8 km

D. Estado: Sonora
Nombre: Colonia Morelos
Municipio: Agua Prieta
Clave: 26022

- Estado: Sonora
Nombre: Colonia Oaxaca
Municipio: Bavispe
Clave: 26023
Separación entre Estaciones: 19 km
- Estado: Sonora
Nombre: Cabullona
Municipio: Agua Prieta
Clave: 26192
Separación entre Estaciones: 20 km

E. Estado: Yucatán
Nombre: Santa Elena
Municipio: Santa Elena
Clave: 31027

- Estado: Yucatán
Nombre: Ticul
Municipio: Ticul
Clave: 31063
Separación entre Estaciones: 11 km
- Estado: Yucatán
Nombre: Muna
Municipio: Muna
Clave: 31021
Separación entre Estaciones: 19.6 km
- Estado: Yucatán
Nombre: C.I.A.P.Y. (Centro de Investigaciones Agrícolas de la Península de Yucatán)
Municipio: Muna
Clave: 31005
Separación entre Estaciones: 16.1 km

- F.** Estado: Veracruz de Ignacio de la Llave
Nombre: Chicontepec de Tejeda
Municipio: Chicontepec de Tejeda
Clave: 30041
- Estado: Veracruz de Ignacio de la Llave
Nombre: Terrerillos
Municipio: Chicontepec de Tejeda
Clave: 30180
Separación entre Estaciones: 5.5 km
 - Estado: Veracruz de Ignacio de la Llave
Nombre: Benito Juárez
Municipio: Benito Juárez
Clave: 30016
Separación entre Estaciones: 12.5 km
 - Estado: Hidalgo
Nombre: Huautla
Municipio: Huautla
Clave: 13139
Separación entre Estaciones: 13.5 km

- G.** Estado: Michoacán de Ocampo
Nombre: Acahuato
Municipio: Apatzingán
Clave: 16228
- Estado: Michoacán de Ocampo
Nombre: Apatzingán
Municipio: Apatzingán
Clave: 16007
Separación entre Estaciones: 11.5 km
 - Estado: Michoacán de Ocampo
Nombre: Parácuaro
Municipio: Parácuaro
Clave: 16085
Separación entre Estaciones: 11.4 km

- H.** Estado: Guerrero
Nombre: Acapulco de Juárez
Municipio: Acapulco de Juárez
Clave: 12142
- Estado: Guerrero
Nombre: Acapulco de Juárez (DGE)
Municipio: Acapulco de Juárez
Clave: 12137
Separación entre Estaciones: 2.5 km
 - Estado: Guerrero
Nombre: La Sabana
Municipio: Acapulco de Juárez
Clave: 12183
Separación entre Estaciones: 5.2 km
 - Estado: Guerrero
Nombre: Carrera Larga
Municipio: Coyuca de Benítez
Clave: 12016
Separación entre Estaciones: 19.5 km
- I.** Estado: Baja California Sur
Nombre: Ojo de Agua
Municipio: Comondu
Clave: 3039
- Estado: Baja California Sur
Nombre: Comondu
Municipio: Comondu
Clave: 3008
Separación entre Estaciones: 18.3 km
 - Estado: Baja California Sur
Nombre: La Purísima
Municipio: Comondu
Clave: 3029
Separación entre Estaciones: 18.3 km
 - Estado: Baja California Sur
Nombre: Guajademi
Municipio: Comondu
Clave: 3029
Separación entre Estaciones: 18.3 km

J. Estado: Coahuila de Zaragoza
Nombre: Ejido Primero de Mayo
Municipio: Escobedo
Clave: 5147

- Estado: Coahuila de Zaragoza
Nombre: Abasolo
Municipio: Abasolo
Clave: 5150
Separación entre Estaciones: 20 km
- Estado: Coahuila de Zaragoza
Nombre: Rodríguez
Municipio: Abasolo
Clave: 5167
Separación entre Estaciones: 14.3 km

Ya elaborado un registro continuo, se realizó una representación gráfica de los valores obtenidos, las representaciones fueron las siguientes:

- Precipitación contra temperatura máxima.
- Precipitación contra temperatura media.
- Precipitación por año
- Temperatura del aire media por año
- Precipitación contra temperatura media de todos los registros

Lo anterior se representó de esa forma para observar el comportamiento de estas variables, y compararlo con los comportamientos registrados y modelados en la plataforma del SEDEPECC.

Un punto a destacar, son los cambios observados en la tasa de crecimiento de estos fenómenos puesto que si se realiza un análisis visual, tomando como base la línea roja de la **Figura 4** la cual marca el máximo valor de temperatura del año 1980 y se comparan con los valores registrados en los últimos años se puede establecer un crecimiento del 15%, esto es de mayor importancia al momento de modelar y predecir valores en estos puntos.

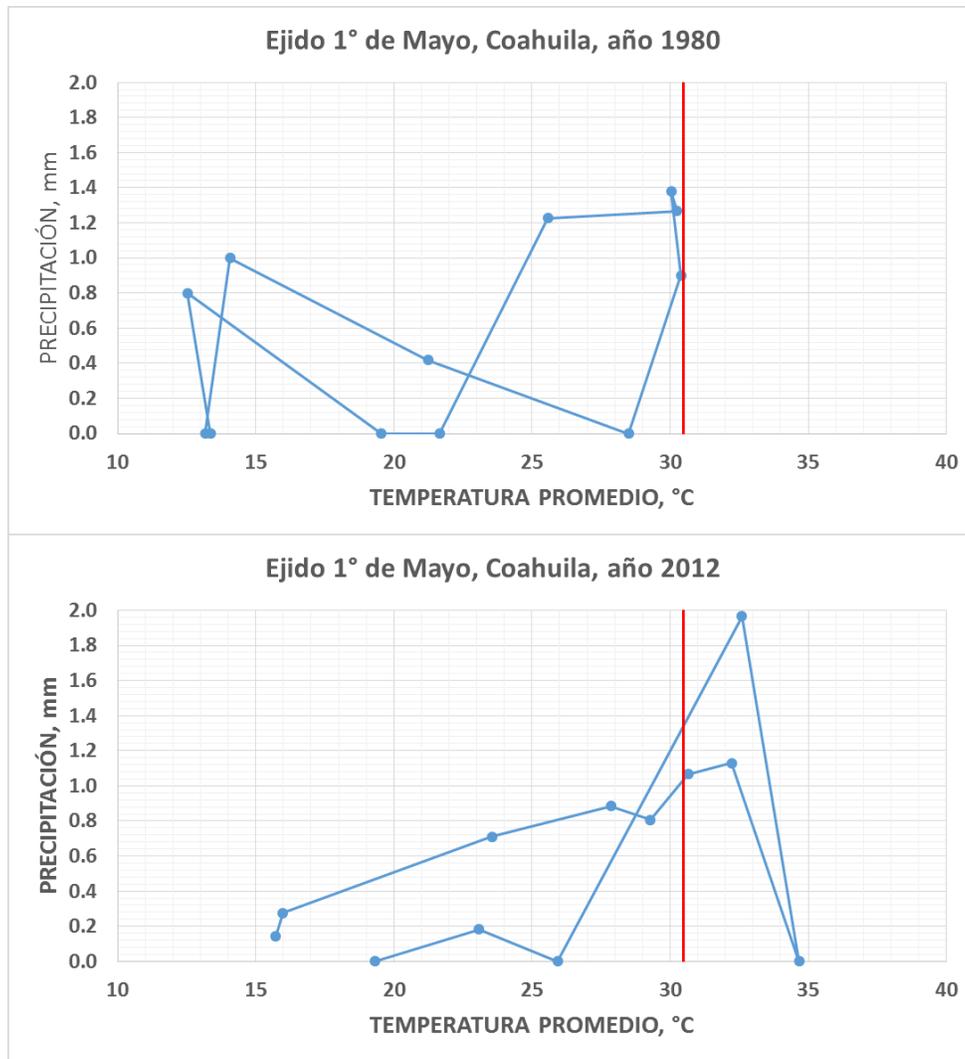


Figura 4. Comparación entre los primeros y últimos años de registro en la página de la CONAGUA de la estación Ejido 1° de Mayo, Coahuila.

3.2. Aplicación de los modelos de cambio climático

La plataforma SEDEPECC del IMTA emplea diferentes escenarios de cambio climático, por lo cual sus registros se tomaron como base en este trabajo; un inconveniente es que dicha plataforma no proporciona una exactitud conveniente para cada estación climatológica de la base de datos de la CONAGUA; la plataforma solo arroja datos del lugar con una aproximación de 0.5°, ya establecidas las coordenadas se limita a un tipo de escenario A1B (Emisiones Altas), para un periodo comprendido desde Enero de 2010 a Enero de 2060, con datos

correspondientes a las Normales o Medias para cada Año, se recopilan los datos de Temperatura e Intensidad de Precipitación.

A continuación se ilustran los pasos realizados para la compilación de los datos de cambio climático:

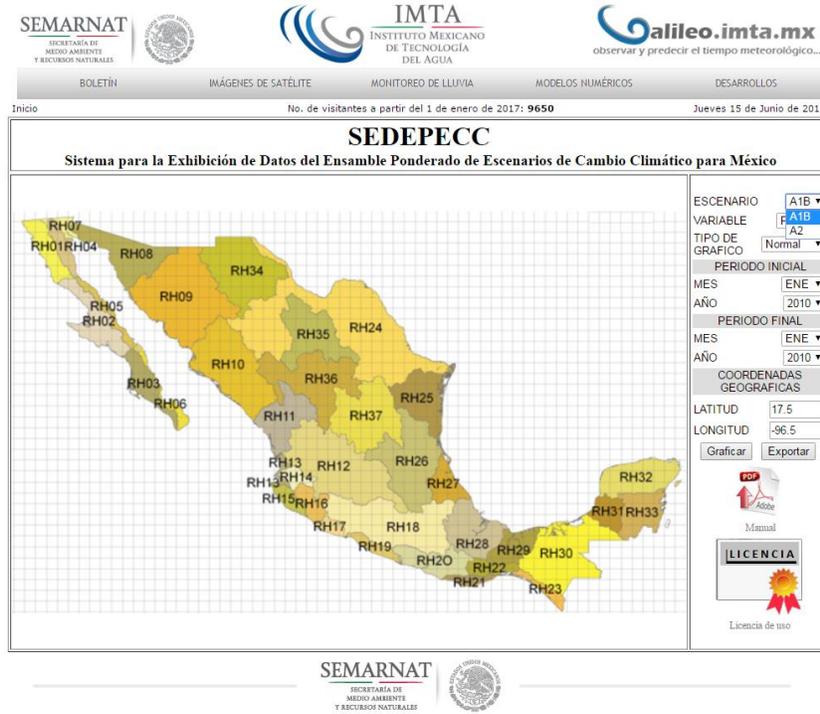


Figura 5.1 Se selecciona el tipo de Escenario de Cambio Climático, en este caso el A1B.

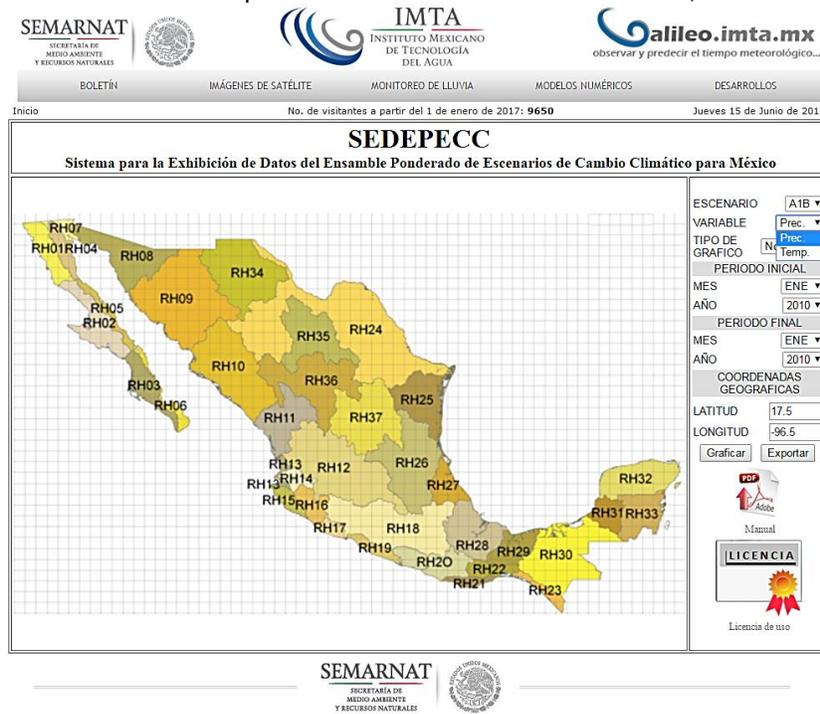


Figura 5.2 Se define la variable (Temperatura o Precipitación).



Figura 5.3 Para obtener datos por cada mes, se especifica una gráfica ABSOLUTA.



Figura 5.4 Se limita el periodo a analizar.

Figura 5.5 Se cargan las coordenadas del sitio en estudio, teniendo en cuenta que la plataforma tiene una precisión de 0.5°.

TIEMPO	VALOR
ENE-2010	1.587
FEB-2010	0.328
MAR-2010	0.174
ABR-2010	0.026
MAY-2010	0.06
JUN-2010	1.89
JUL-2010	8.068
AGO-2010	7.791
SEP-2010	5.203
OCT-2010	1.195
NOV-2010	0.813
DIC-2010	0.874
ENE-2011	0.947
FEB-2011	0.568
MAR-2011	0.354
ABR-2011	0.056
MAY-2011	0.12
JUN-2011	1.64

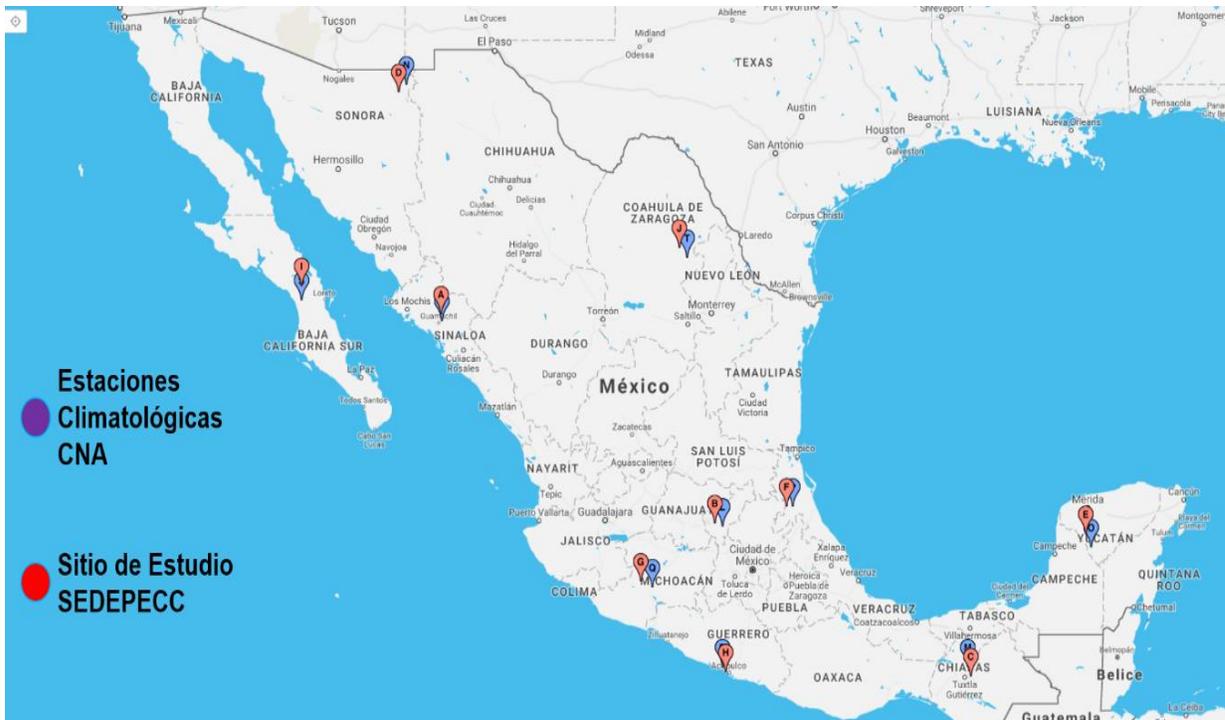
Figura 5.6 Se elige la opción EXPORTAR y posteriormente se puede usar en el formato deseado.

En la **Tabla 2** se muestran los datos reales y los aproximados en cuanto a Ubicación en la plataforma de SEDEPECC, de los cuales se bajó la información para poder trabajar en esta etapa.

Tabla 2. Ubicación de sitios cercanos a las estaciones analizadas de acuerdo a la plataforma SEDEPECC.

ESTACIÓN	NOMBRE	ESTADO	LATITUD, °		LONGITUD, °	
			Real	P/PGalileo	Real	P/PGalileo
25172	San Joaquín	Sinaloa	25.6678	25.5	-108.02	-108
22043	Coyotillos	Querétaro	20.5992	20.5	-100.2097	-100
7343	Cauhtémoc	Chiapas	16.7617	17	-92.9228	-93
26022	Colonia Morelos	Sonora	30.825	31	-109.2217	-109
31027	Santa Elena	Yucatán	20.3275	20	-89.6394	-89.5
30041	Chicontepec de Tejada (SMN)	Veracruz	20.9933	21	-98.1639	-98
16228	Acahuato	Michoacán	19.1478	19	-102.3325	-102
12142	Acapulco de Juárez (SMN)	Guerrero	16.8664	17	-99.9056	-100
3039	Ojo de Agua	Baja California Sur	26.3242	26	-111.9847	-112
5147	Ejido Primero de Mayo	Coahuila	27.2292	27	-101.2275	-101

En el **Mapa 2**, se puede ver de forma más detallada la ubicación de las estaciones climatológicas de la CONAGUA y la separación del sitio que estudia el SEDEPECC del IMTA.



Mapa 2. Ubicación de Estaciones Climatológicas de la CONAGUA y el sitio que modela el SEDEPECC del IMTA

A continuación, se muestra la gráfica correspondiente al sitio cercano de estación San Joaquín, en el estado de Sinaloa con datos recopilados del SEDEPECC con los parámetros de las variables climatológicas de temperatura y precipitación.

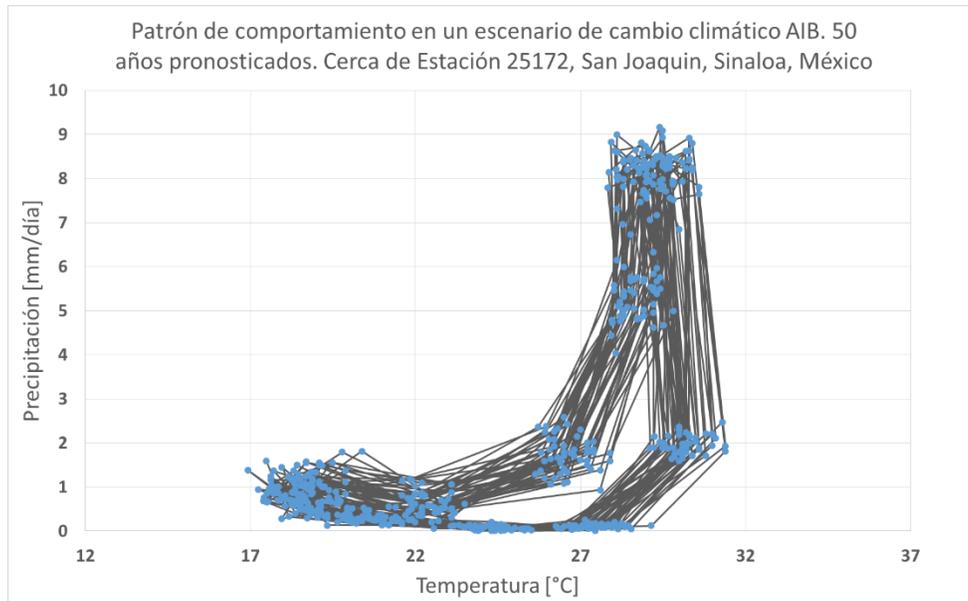


Figura 6. Estado: Sinaloa, Nombre: San Joaquín, Municipio: Sinaloa, Clave: 25172

3.3. Obtención de modelos de precipitación en función de la temperatura usando programación genética (PG).

3.3.1 Programación genética (PG).

La programación genética es una herramienta del cómputo evolutivo que permite obtener modelos matemáticos a partir de datos medidos; con un algoritmo de programación genética se pueden determinar funciones de una o más variables, a partir de datos previamente conocidos con un método de optimización de una función objetivo similar a como funciona un algoritmo genético simple (Cramer, 1985, Koza, 1989, Goldberg, 1989); en este caso los individuos son operadores y constantes a los que se les aplica los operadores intercambio, cruza y mutación, con lo que se construyen modelos matemáticos de los cuales se selecciona el que optimiza a la función objetivo.

En este trabajo se consideraron un conjunto de operadores algebraicos para la determinación de las modelos:

$$TS1=[+,-,*] \quad (1)$$

Se consideraron 200 individuos con 25 nodos y 5000 generaciones para la finalización del proceso.

La función objetivo consistió en la minimización del error medio cuadrático entre las funciones empírica $Hp(T_{med})$ y calculada $Hp(\widehat{T_{med}})$ de la Temperatura Media (T_{med}) de los datos históricos obtenidos directamente de la CONAGUA.

$$Z = \min \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (Hp(T_{med}) - Hp(\widehat{T_{med}}))^2 \quad (2)$$

3.3.2 Preparación de los datos para alimentar el programa de PG

Para determinar qué variables se seleccionan como variables independientes se realiza un análisis de correlación entre la precipitación y la temperatura máxima y entre la precipitación y la temperatura media, del cual, para este estudio, esta última relación es la que se vio favorecida por dicho análisis.

Debido al acomodo y distribución de los datos, se forma un año representativo en cada estación, es decir, se ordenan los datos por mes de registro, por cada mes se rastrea la fecha en donde se presentó la máxima precipitación, compilando junto con este el valor de la Temperatura Máxima, Mínima y Media correspondientes a esta fecha señalada. En la **Tabla 3**, se muestra la selección de datos para el análisis para el ejemplo de la Estación 25172 (San Joaquín, Sinaloa).

Tabla 3. Análisis de Correlación del Año Representativo de la Estación San Joaquín, entre la Precipitación y las Temperaturas Máxima y Media

FECHA		PRECIP	T MAX, °C	T MIN, °C	T PROM, °C
31/01/1992	Enero	234.5	24.85	12.38	18.61
29/02/1980	Febrero	220.5	36.41	23	29.7
30/03/1980	Marzo	34	34.95	22.3	28.62
30/04/1997	Abril	43.5	34.68	11.76	23.22
31/05/1981	Mayo	55.6	26.24	11.11	18.67
30/06/1984	Junio	225	37.85	21.88	29.86
31/07/1990	Julio	567.5	34.41	22.96	28.69
31/08/1989	Agosto	391	34.22	23.66	28.94
30/09/1998	Septiembre	378	37.15	23.03	30.09
31/10/2006	Octubre	193.5	36.62	18.85	27.74
30/11/1994	Noviembre	194.5	31.65	14.48	23.06
31/12/1997	Diciembre	215	26.56	10.98	18.77
Coeficiente de Correlación			0.21		0.41

Ya concentrada la información de los doce meses, se exporta la base de datos a un archivo de texto que contiene a la temperatura media y a la precipitación de cada mes, para que el programa PG en MATLAB® de lectura a dichas variables. Posteriormente dicho programa dio como salida un archivo de solución en notación prefija el cual además viene con operadores propios del programa (una variable numérica representa un operador o una constante), posteriormente se hizo la conversión a notación infija.

En la **Tabla 4**, se ejemplifica el archivo solución para la estación San Joaquín, estableciendo las siguientes condicionantes:

Tabla 4. Resultados en notación prefija, obtenidos por el código PG de MATLAB® para la estación San Joaquín, Sinaloa.

Archivo Solución de MATLAB®	Notación Prefija
2002.00	-
1.98	1.98
2001.00	+
2003.00	*
2001.00	+
2002.00	-
-2.26	-2.26
2002.00	-
1.98	1.98
-2.26	-2.26
2002.00	-
-2.23	-2.23
2002.00	-
1.98	1.98
-2.25	-2.25
1.98	1.98
2003.00	*
2003.00	*
1002.00	T
2003.00	*
1002.00	T
-0.18	-0.18
2002.00	-
0.72	0.72
-0.88	-0.88

Al cambiar de notación prefija a infija obtenemos una ecuación de la siguiente manera:

$$Hp = 1.98 - ((((-2.26 - (1.98 - (-2.26))) + (-2.23 - (1.98 - (-2.25)))) * 1.98) + ((T * (T * (-0.18))) * (0.72 - (-0.88)))) \quad (3)$$

Reduciendo la ecuación obtenemos la siguiente

$$Hp = 0.288T^2 + 27.6408 \quad (4)$$

En donde:

Hp= Precipitación en el mes i, mm

T= Temperatura Media en el mes i, °C

Téngase en cuenta que mientras el programa va efectuando iteraciones, se va graficando el valor de la función objetivo que da el mejor individuo en cada generación, esto puede observarse con mayor detalle en la **Figura 7**.

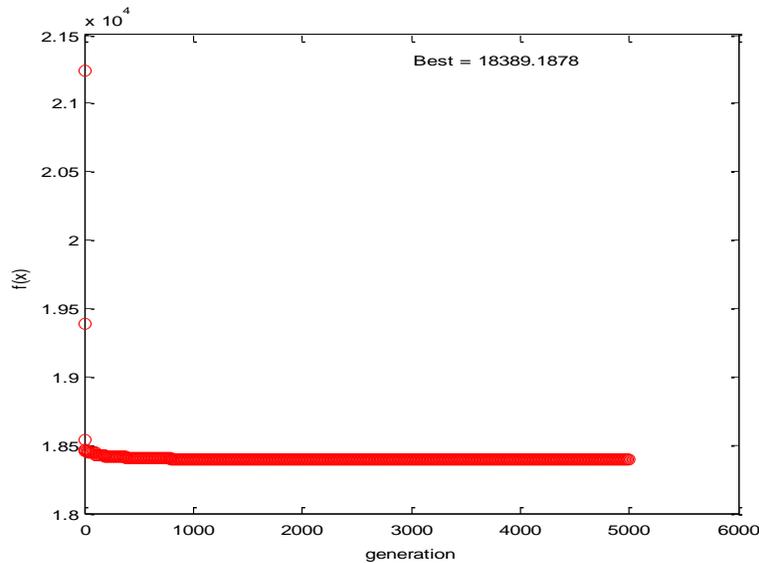


Figura 7. Evaluación de la función objetivo para distintos individuos a través de 5000 generaciones. .

Para comprobar que la función de Hp (T) es la correcta, se sustituye el valor de T por la temperatura de cada mes, para obtener un valor de Hp; se calcula el error restando el valor histórico de la precipitación menos el valor calculado por el modelo de PG y esto elevándolo al cuadrado para obtener el Error Cuadrático; el promedio de esos errores da el Error Medio Cuadrático que debe corresponder a lo que dio la función objetivo en el programa de PG. La **Tabla 5** muestra los resultados de dicho análisis, además se complementa con las gráficas en las cuales se representa los puntos máximos de la precipitación y los puntos calculados por la función emitida por el programa.

Tabla 5. Obtención del Error Medio Cuadrático para la Estación San Joaquín.

Precipitación	T Max, °C	T Min, °C	T Med, °C	Precip calc PG, mm	Error	Error Cuadrático
234.5	24.85	12.38	18.62	131.32	103.18	10645.12
220.5	36.41	23.00	29.71	291.39	-70.89	5025.95
34	34.95	22.30	28.63	272.54	-238.54	56903.46
43.5	34.68	11.77	23.23	188.92	-145.42	21146.00
55.6	26.24	11.11	18.68	132.00	-76.40	5837.19
225	37.85	21.88	29.87	294.24	-69.24	4793.74
567.5	34.42	22.97	28.69	273.72	293.78	86307.86
391	34.23	23.66	28.94	278.02	112.98	12764.08
378	37.15	23.03	30.09	298.27	79.73	6357.47
193.5	36.63	18.85	27.74	257.68	-64.18	4118.74
194.5	31.65	14.48	23.07	186.73	7.77	60.41
215	26.56	10.98	18.77	133.08	81.92	6710.22
PROMEDIO=						18389.18

Otra forma de evaluar los resultados obtenidos, es hacerlo de manera gráfica, por lo cual la **Figura 8**, muestra la relación que existe entre los valores de precipitación máximos mensuales (año representativo) y los valores de la precipitación calculada con Programación Genética en función de la temperatura.

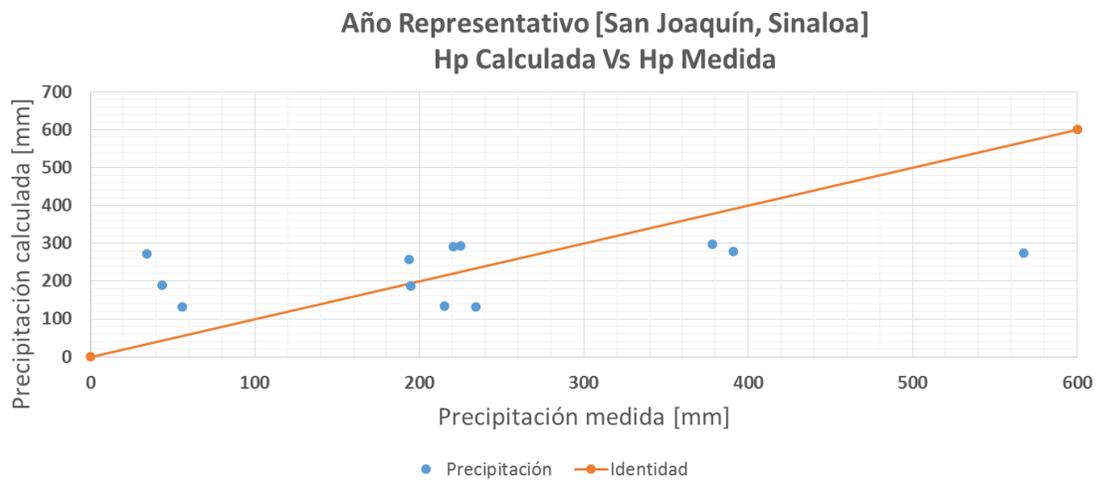
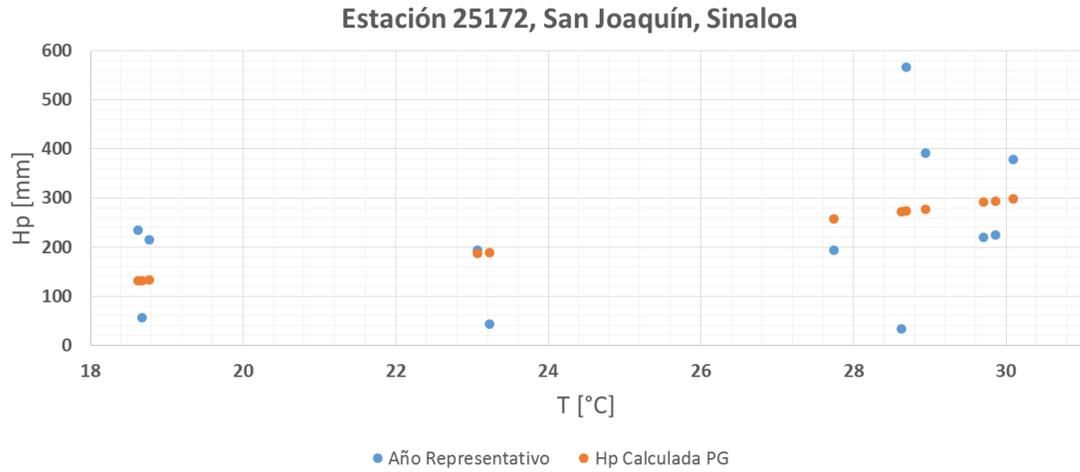


Figura 8. Relación entre Año Representativo y HP en función de la temperatura para la Estación San Joaquín.

Subsecuentemente partiendo del año representativo, se formaron cúmulos de datos que tuvieran características similares (de valores de temperaturas chicas, medianas y altas en un sentido vertical, y precipitaciones chicas, medianas y altas en el sentido horizontal), este proceso se realizó de forma separada en temperatura y en precipitación, se modeló nuevamente obteniendo funciones independientes para cada mes del año con distintas medidas de correlación, a continuación se muestra la manera en que se realizó este análisis agrupado:

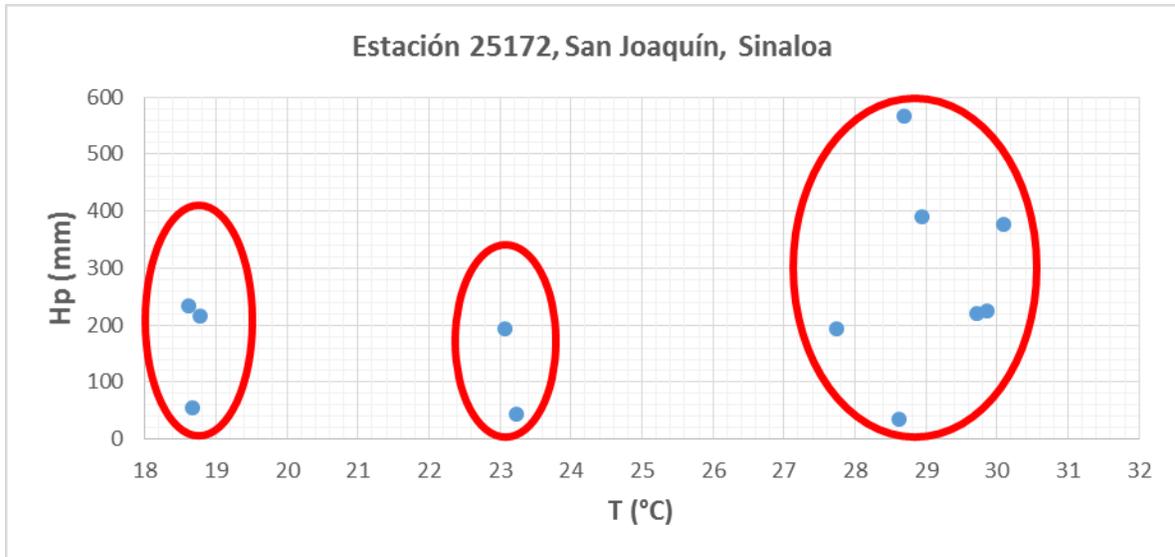


Figura 9.1. Agrupamiento Vertical.

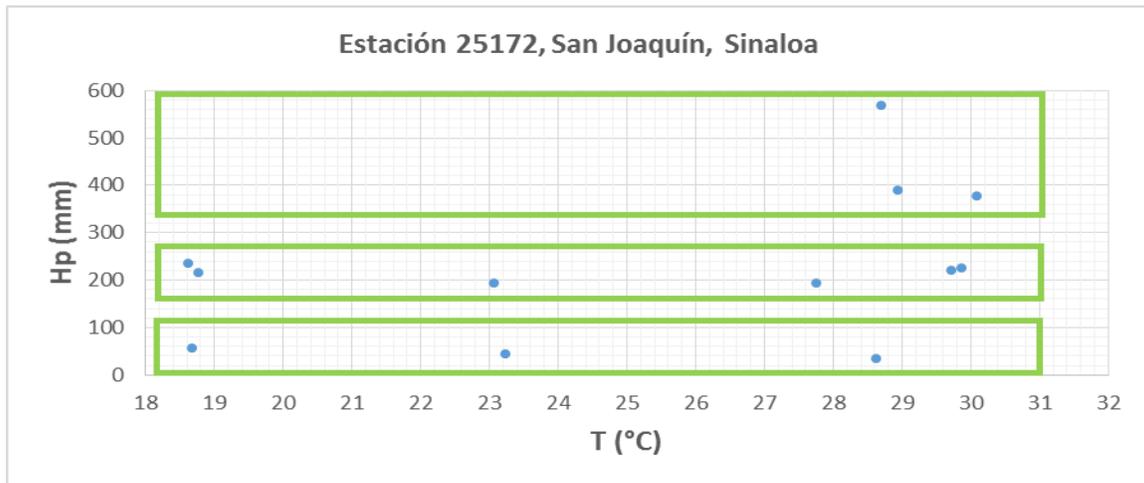


Figura 9.2. Agrupamiento Horizontal.

3.3.3 Obtención del Error Medio Cuadrático de cada compilación.

De aquí en adelante se le denominó Disecciones Horizontales y Verticales al conjunto de datos agrupados, en seguida se presentan los resultados obtenidos mediante el modelado con base en el año representativo y el de disecciones para la estación San Joaquín.

Tabla 6. Resumen de las Precipitaciones calculadas en mm, para distintos métodos de correlación.

Estación: San Joaquín		Clave: 25172		Estado: Sinaloa	
Mes	Precipitación Historica [mm]	Temperatura Media [°C]	Precipitación calculada PG (mm)		
			Año representativo	Disección H _i	Disección V _i
Enero	234.50	18.62	131.32	217.00	166.53
Febrero	220.50	29.71	291.39	211.15	303.15
Marzo	34.00	28.63	272.54	32.11	274.37
Abril	43.50	23.23	188.92	48.37	117.50
Mayo	55.60	18.68	132.00	52.61	168.06
Junio	225.00	29.87	294.24	211.07	307.52
Julio	567.50	28.69	273.72	478.29	276.16
Agosto	391.00	28.94	278.02	464.67	282.71
Septiembre	378.00	30.09	298.27	398.72	313.71
Octubre	193.50	27.74	257.68	212.19	251.87
Noviembre	194.50	23.07	186.73	214.65	120.60
Diciembre	215.00	18.77	133.08	216.91	170.51
Precipitación medida [mm]				Mes	
Varianza	24390.30	R²	0.18	0.94	0.23
SIMBOLOGÍA					
Disección h1	Disección h2	Disección h3	Disección v1	Disección v2	Disección v3

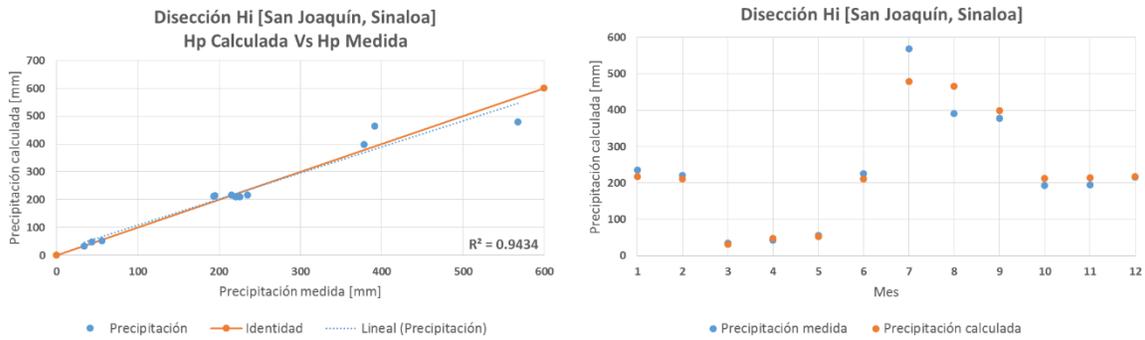


Figura 11. Relación entre los meses de la disección horizontal, Precipitación en función de la Temperatura.

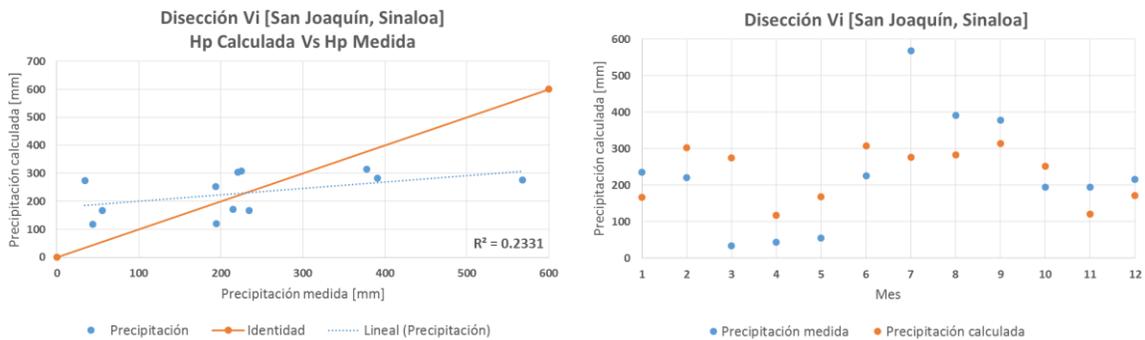


Figura 12. Relación entre los meses de la disección vertical, Precipitación en función de la Temperatura.

Tabla 7. Ecuaciones obtenidas para los diferentes modelos de ajuste.

Estación San Joaquín, Sinaloa, Clave: 25172	
Ecuación Año Representativo	$Hp = 0.2986T^2 + 27.8077$
Ecuación Disección H1	$Hp = -0.0029T^3 + 2.9871T + 16.137$
Ecuación Disección H2	$Hp = 226.8063 - 0.5268T$
Ecuación Disección H3	$Hp = -2.1306T^2 + 68.3457T + 271.4236$
Ecuación Disección V1	$Hp = 0.5676T^2 - 6.5079T - 4.4391$
Ecuación Disección V2	$Hp = 573.253 - 19.6236T$
Ecuación Disección V3	$Hp = 0.8622 (T - 8.3921) (T + 0.2736)$

3.4. Validación de los modelos obtenidos.

Las ecuaciones obtenidas con el método de Programación Genética, fueron implementadas con los datos de la plataforma SEDEPECC para calcular nuevas precipitaciones bajo las condiciones de un escenario de cambio climático.

En el paso siguiente se realizó un análisis y comparación de varianzas obtenidas a través de la fórmula del coeficiente de determinación:

$$R^2 = \frac{\text{Varianza de } y - \text{Varianza del Error}}{\text{Varianza de } y} \quad (4)$$

Con éste análisis se determinó qué modelo de ajuste se adaptaba mejor a los datos del SEDEPECC, por lo que a continuación se muestran una tabla del análisis de varianzas y de acuerdo a esta una gráfica con los datos de la plataforma sobreponiendo los datos calculados con el mejor arreglo para la Estación San Joaquín.

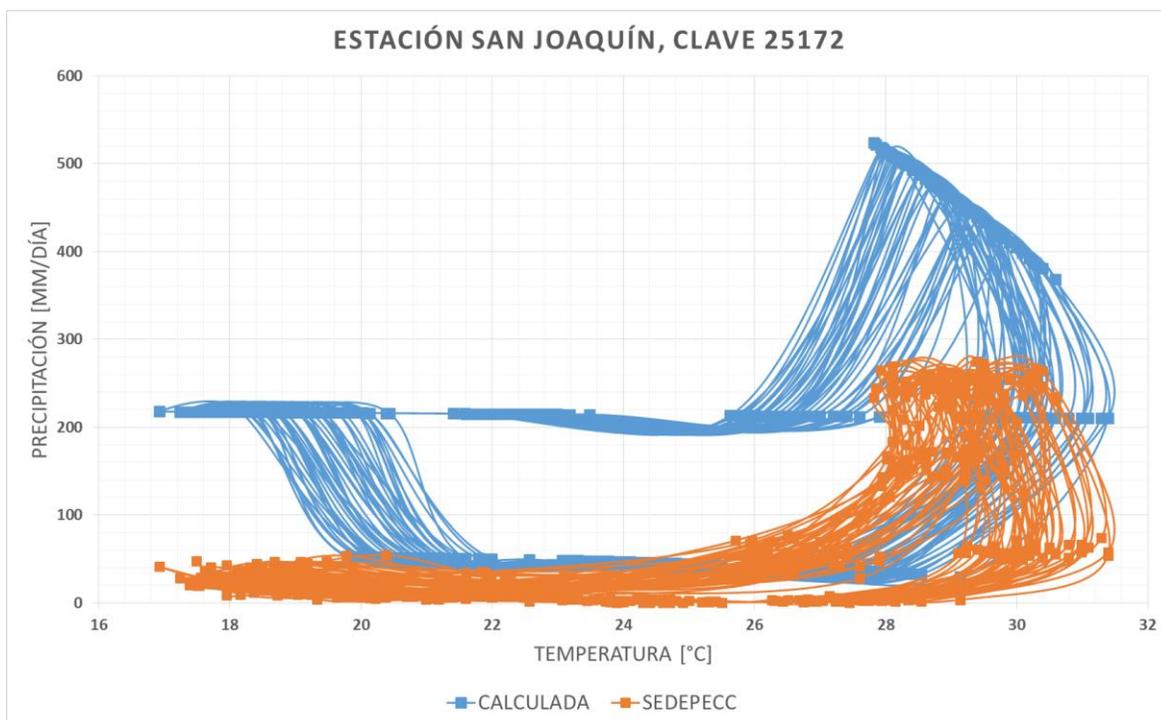


Figura 13. Precipitación contra Temperatura, con formula de ajuste sobreponiendo los resultados registrados en la plataforma SEDEPECC.

Tabla 8 Resumen del análisis de Varianzas.

Estación San Joaquín, Sinaloa, Clave: 25172	
Varianza Históricos	24390.3
Varianza Año Representativo	20059.3
R ² Año Representativo	0.18
Varianza H	1381.54
R ² H	0.94
Varianza V	18704.54
R ² V	0.23

El coeficiente de determinación cuando se tomaron los modelos agrupando los datos por error horizontal en general se observa más alto que cuando los datos fueron agrupados por error vertical de la gráfica Hp vs T.

3.5. Empleo de la Programación Genética a las cifras del SEDEPECC.

3.5.1. Condiciones del modelado PG.

De acuerdo a los parámetros de precisión observados en la programación genética con base en los datos históricos, se tomó la decisión de trabajar de la misma manera los datos expuestos por los escenarios de cambio climático de la plataforma

SEDEPECC, estableciendo condiciones iniciales o de entrada que le dan uniformidad a este análisis.

Las condiciones establecidas fueron:

- Periodo de análisis homogéneo, es decir, la misma longitud de registro para las 10 estaciones.
- El modelado de datos (Programación Genética) se aplicó de manera separada, conforme al mes de estudio.

3.5.2. Obtención y aplicación de las ecuaciones PG.

En el análisis anterior se modelo en base a los datos de registros históricos y las ecuaciones obtenidas se ensayaron con la base de datos de la plataforma SEDEPECC para un intervalo de tiempo comprendido de Enero de 2010 a Enero de 2060, en el análisis siguiente se emplea para el modelado datos de la plataforma de Enero de 2010 a Enero de 2045, con la intención de probar las ecuaciones en los 15 años posteriores, buscando representar el comportamiento de las simulaciones representadas en la misma plataforma.

A continuación se muestran las ecuaciones obtenidas por el modelado en la Estación San Joaquín, con clave 25172, así mismo se representa de manera gráfica los valores emitidos por el SEDEPECC y los calculados con este método:

Tabla 9. Ecuaciones de Intensidad de Precipitación (mm/día), obtenidas de acuerdo al mes de ajuste.

Estación San Joaquín, Sinaloa, Clave: 25172	
Ecuación Enero	$H_p = 0.94$
Ecuación Febrero	$H_p = -0.004T^2 - 0.01T + 2.03$
Ecuación Marzo	$H_p = 0.801 - 0.000029T^4$
Ecuación Abril	$H_p = 0.0802$
Ecuación Mayo	$H_p = 0.0005T^2 + 0.0003T - 0.223$
Ecuación Junio	$H_p = 4.789 - 0.097T$
Ecuación Julio	$H_p = 8.321$
Ecuación Agosto	$H_p = -0.0006T^3 + 0.0084T^2 + 0.499T - 0.089$
Ecuación Septiembre	$H_p = 0.0076T^2 - 0.0329T$
Ecuación Octubre	$H_p = 4.667 - 0.11T$
Ecuación Noviembre	$H_p = 0.635$
Ecuación Diciembre	$H_p = -0.000017T^4 + 0.00019T^3 + 0.00011T^2 + 0.00016T$

Cabe señalar que para este análisis se encontraron funciones en las cuales se determinó un valor constante, las cuales se enfatizan con un color rojo,.

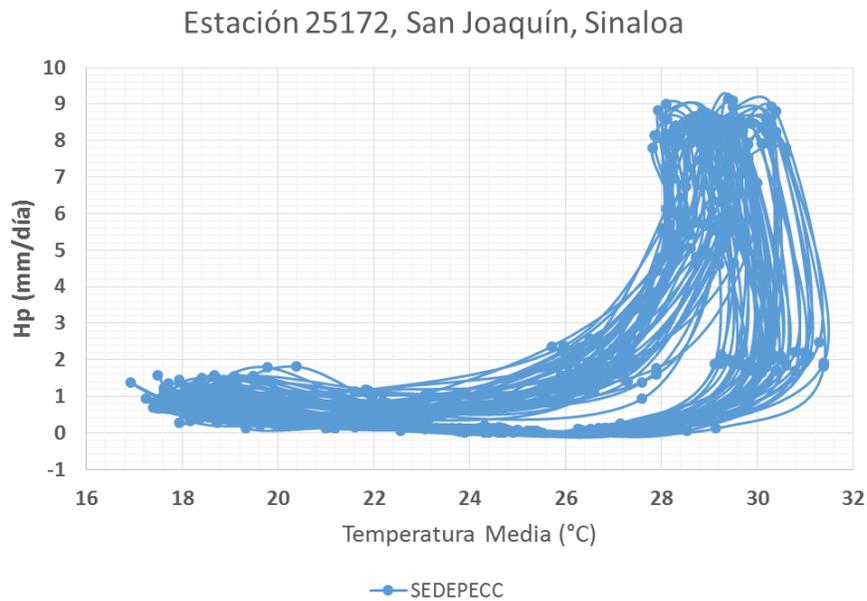


Figura 14. Cifras de la plataforma SEDEPECC, correspondientes a un escenario A1B, con un periodo comprendido entre Enero 2010 y Enero 2045.

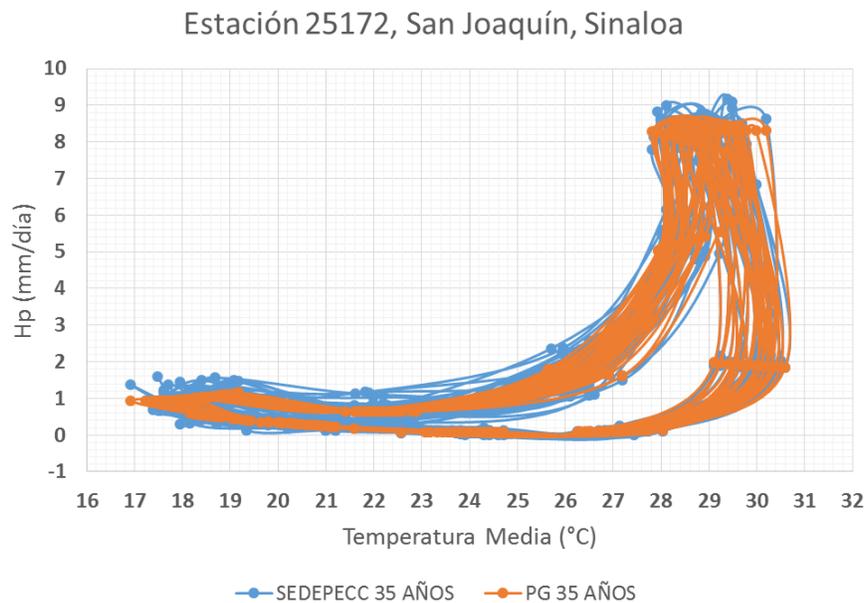


Figura 15. Precipitación contra Temperatura, se sobreponen la gráfica de ajuste obtenida con la PG y la gráfica de los registros del SEDEPECC para un periodo de 35 años.

Es de gran importancia mencionar que los valores calculados con la PG siguen la misma tendencia de comportamiento que los datos difundidos por el SEDEPECC, esto es de resaltar, puesto que, al intentar reproducir los patrones en los siguientes 15 años de estudio con las formulas obtenidas con los 35 años iniciales, el comportamiento de las cifras coincide y además la discrepancia es menor entre los calculados y los tomados como base, esto se puede observar en las gráficas siguientes:

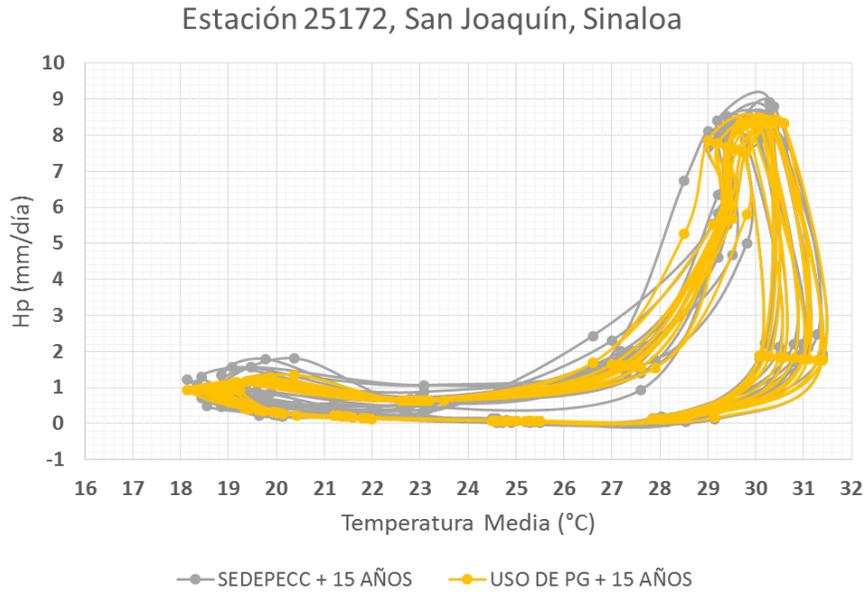


Figura 16. Ajuste obtenido con la PG con 35 años anteriores empleado a los 15 años posteriores sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

La gráfica anterior demuestra ampliamente la eficiencia del método, al emplear ecuaciones obtenidas con un periodo inicial en un periodo de tiempo consecutivo, a continuación se muestran las gráficas que se consiguen al aplicar las mismas ecuaciones a un lapso de tiempo mucho mayor, para este caso de Febrero 2045 a Diciembre 2098.

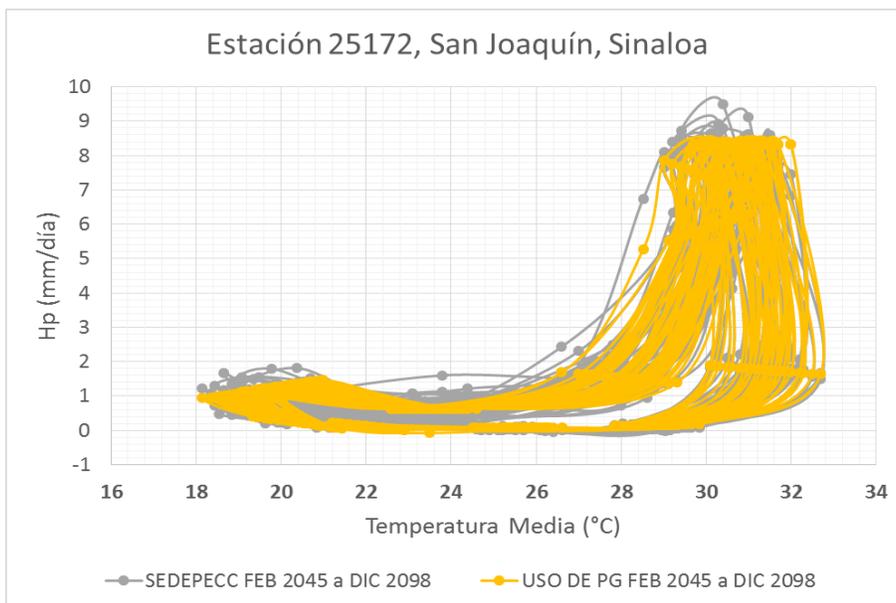


Figura 17. Ajuste obtenido con la PG con 35 años iniciales empleado a un lapso de tiempo mayor sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

A continuación se enlistan los parámetros obtenidos de este proceso, demostrando que la Programación Genética puede ser utilizada para calcular comportamientos a largo y corto plazo tomando como base un periodo inicial representativo.

Tabla 10. Parámetros calculados para distintos periodos subsecuentes.

Estación San Joaquín, Sinaloa, Clave: 25172	
Error Medio Cuadrático 35 años iniciales	0.08
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.09
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.15
Varianza 35 años iniciales	8.51
Varianza 35 años PG	0.08
R ² 35 años PG	0.99
Varianza Feb 2045 a Ene 2060	8.68
Varianza Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.11
R ² Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.99
Varianza Feb 2045 a Dic 2098	7.92
Varianza Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.21
R ² Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.97

4. Resultados.

4.1. Trazo de gráficas de SEDEPECC.

A continuación, se muestran las gráficas correspondientes a cada Estación con datos recopilados del SEDEPECC.

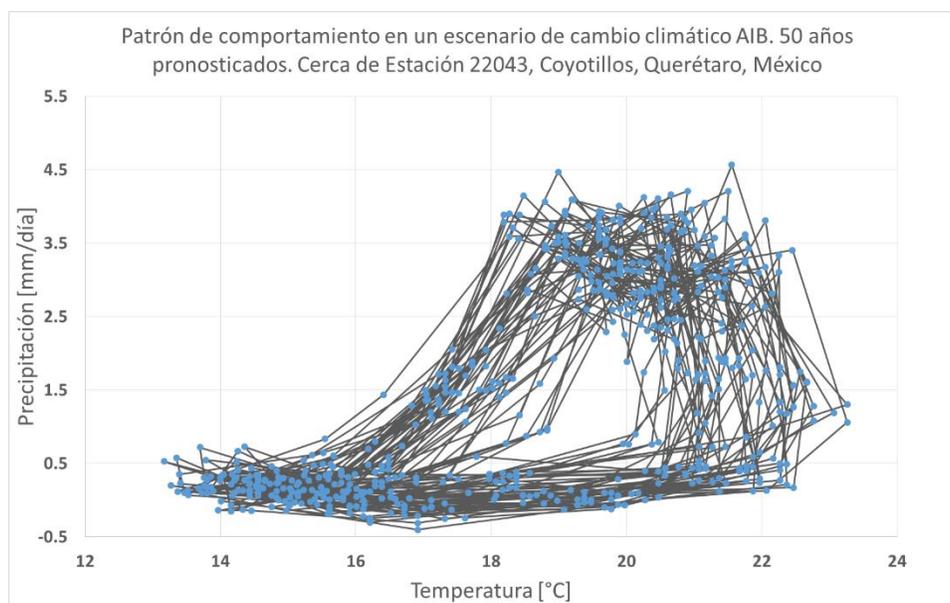


Figura 18.1 Estado: Querétaro, Nombre: Coyotillos, Municipio: El Marqués, Clave: 22043.

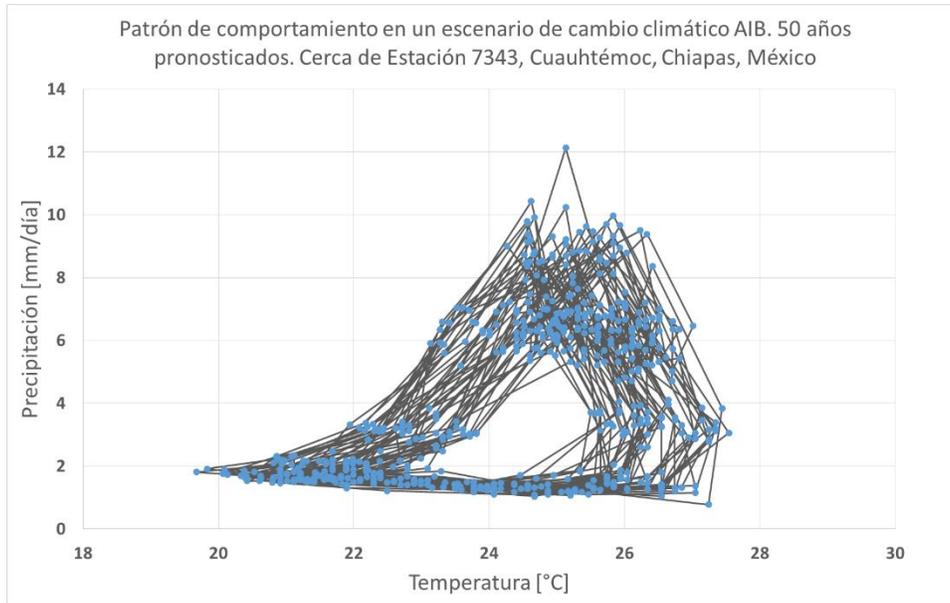


Figura 18.2 Estado: Chiapas, Nombre: Cuauhtémoc, Municipio: Ixtapa, Clave: 07343

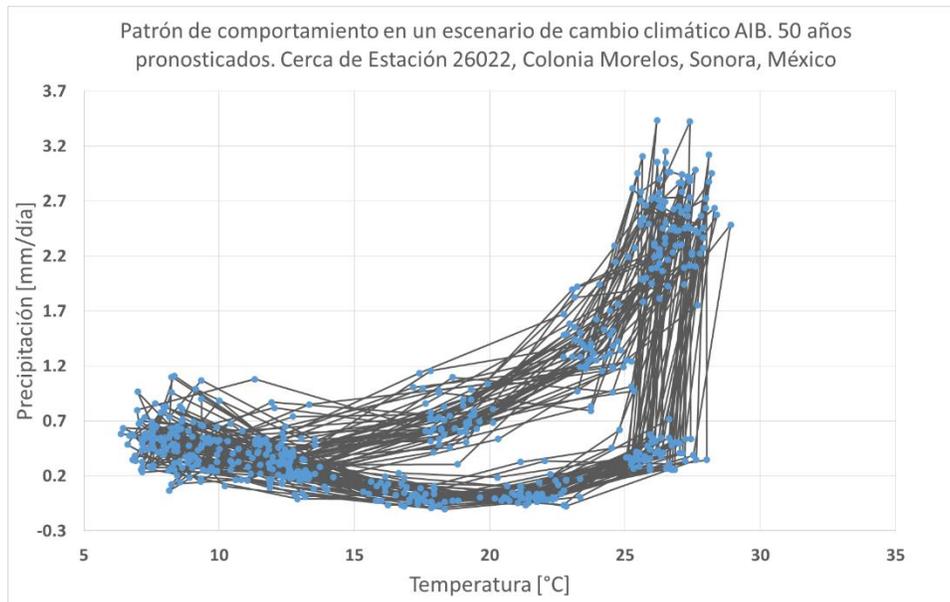


Figura 18.3 Estado: Sonora, Nombre: Colonia Morelos, Municipio: Agua Prieta, Clave: 26022

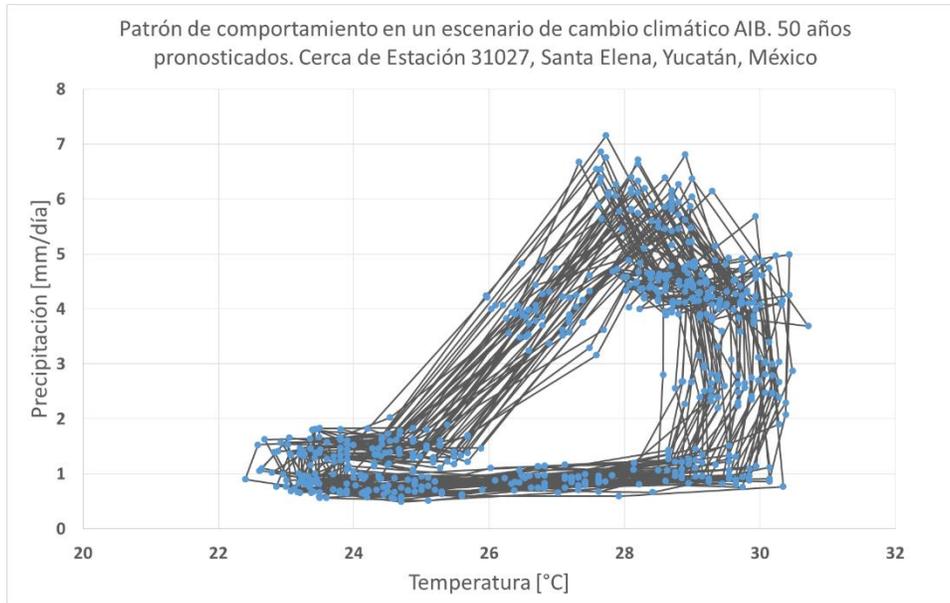


Figura 18.4 Estado: Yucatán, Nombre: Santa Elena, Municipio: Santa Elena, Clave: 31027.

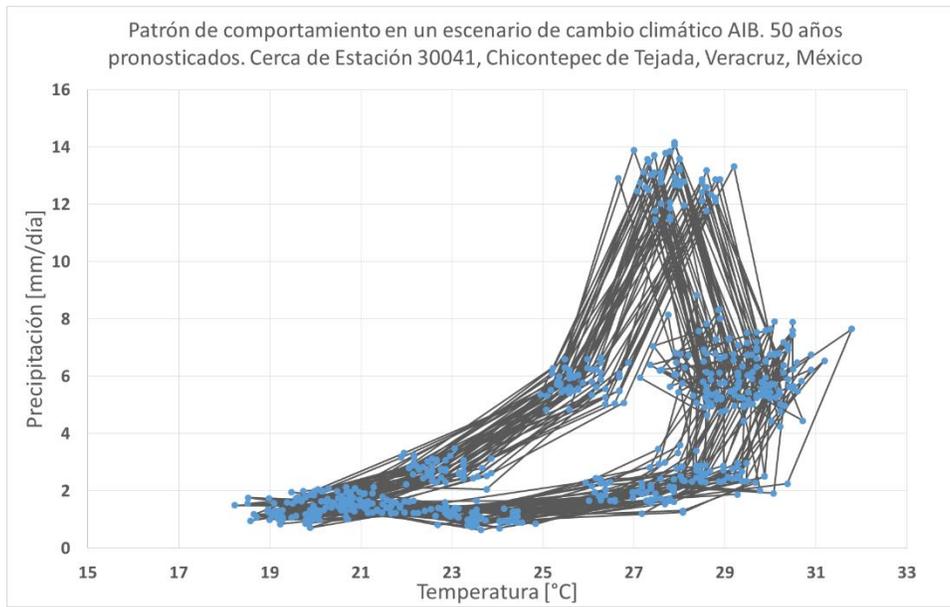


Figura 18.5 Estado: Veracruz de Ignacio de la Llave, Nombre: Chicontepec de Tejada, Municipio: Chicontepec de Tejada, Clave: 30041

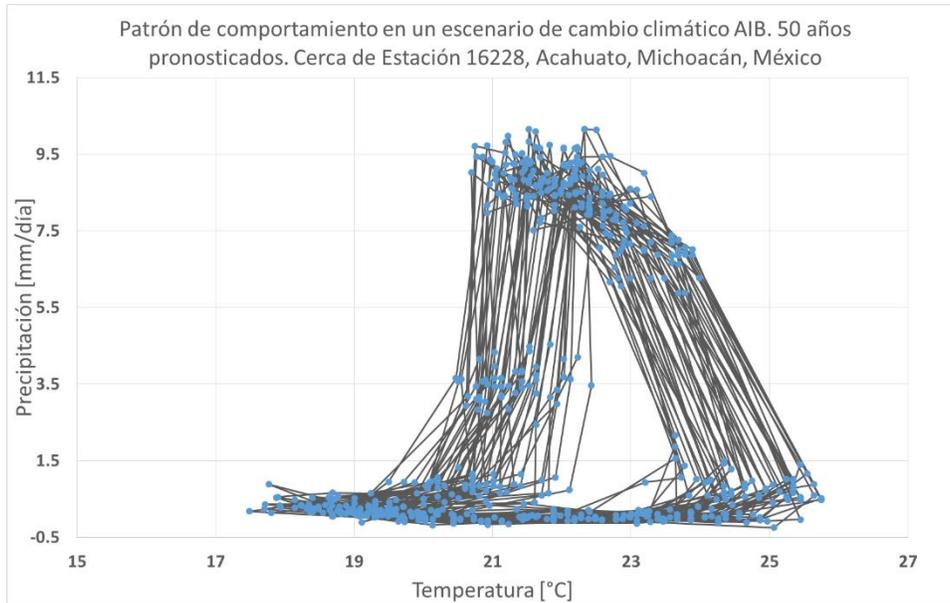


Figura 18.6 Estado: Michoacán de Ocampo, Nombre: Acahuato, Municipio: Apatzingán, Clave: 16228

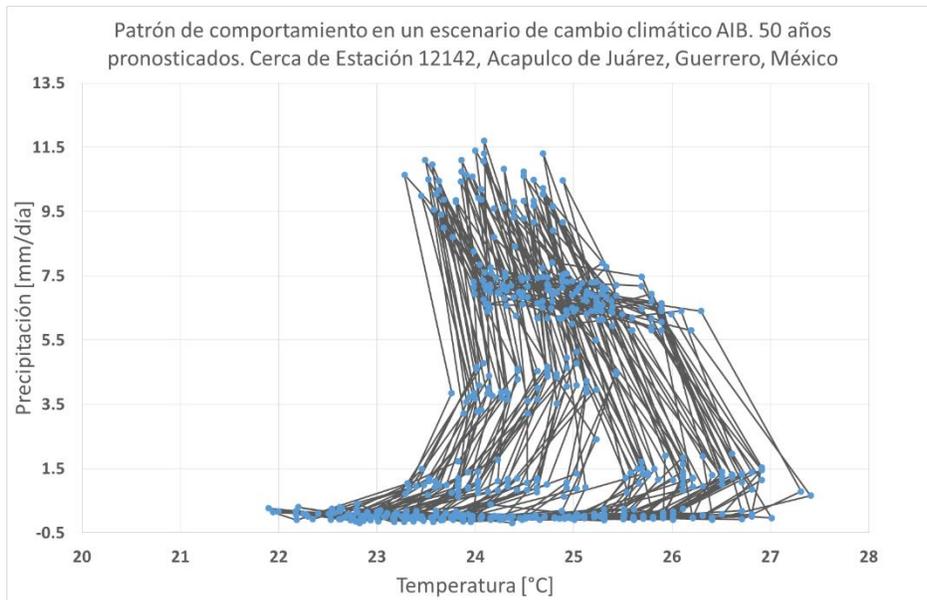


Figura 18.7 Estado: Guerrero, Nombre: Acapulco de Juárez, Municipio: Acapulco de Juárez, Clave: 12142

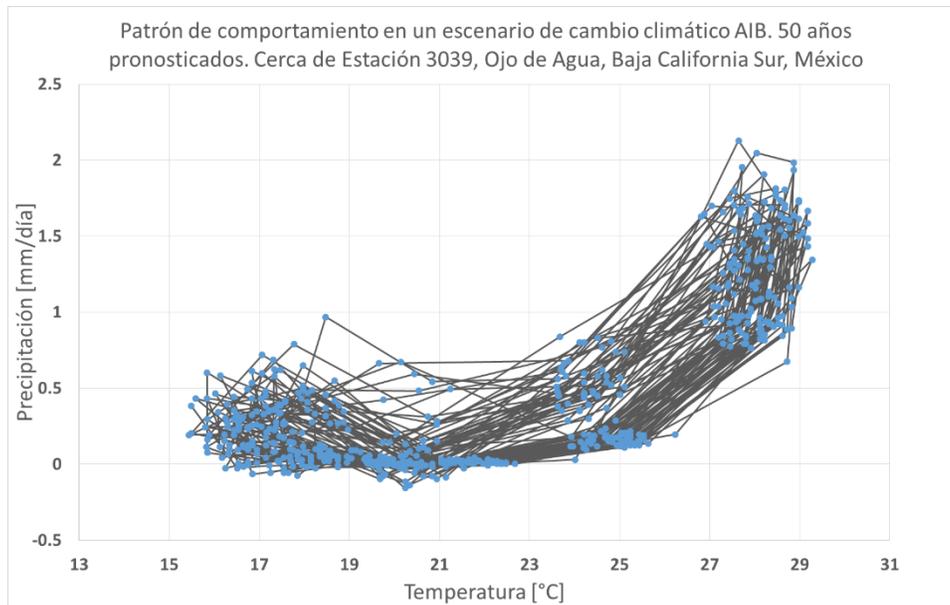


Figura 18.8 Estado: Baja California Sur, Nombre: Ojo de Agua, Municipio: Comondu, Clave: 3039

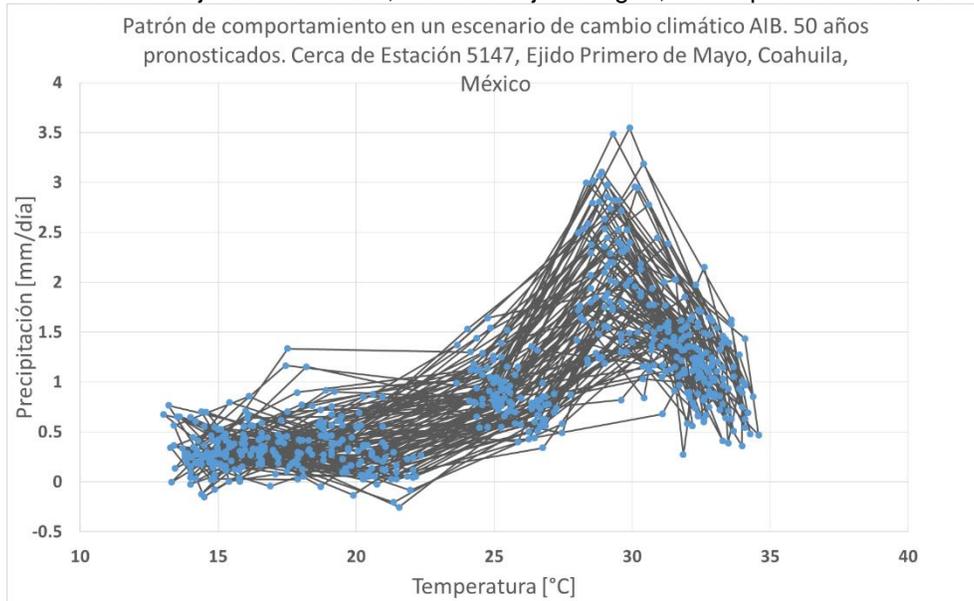


Figura 18.9 Estado: Coahuila de Zaragoza, Nombre: Ejido Primero de Mayo, Municipio: Escobedo, Clave: 5147

4.2. Modelado de Año Representativo y Disecciones.

A continuación se muestran las tablas y gráficas de todas las estaciones, exponiendo los resultados obtenidos mediante el modelado en base al año representativo y el de disecciones, además en algunos casos se puede observar la diminuta diferencia entre los valores reales y los calculados.

➤ Estación San Joaquín, Clave: 24172.

Tabla 11.1.1. Resumen de las Precipitaciones calculadas en mm, para distintos métodos de correlación.

Estación:	San Joaquín	Clave:	25172	Estado:	Sinaloa
Mes	Precipitación Historica [mm]	Temperatura Media [°C]	Precipitación calculada PG (mm)		
			Año representativo	Disección H _i	Disección V _i
Enero	234.50	18.62	131.32	217.00	166.53
Febrero	220.50	29.71	291.39	211.15	303.15
Marzo	34.00	28.63	272.54	32.11	274.37
Abril	43.50	23.23	188.92	48.37	117.50
Mayo	55.60	18.68	132.00	52.61	168.06
Junio	225.00	29.87	294.24	211.07	307.52
Julio	567.50	28.69	273.72	478.29	276.16
Agosto	391.00	28.94	278.02	464.67	282.71
Septiembre	378.00	30.09	298.27	398.72	313.71
Octubre	193.50	27.74	257.68	212.19	251.87
Noviembre	194.50	23.07	186.73	214.65	120.60
Diciembre	215.00	18.77	133.08	216.91	170.51
Varianza	24390.30	R ²	0.18	0.94	0.23
SIMBOLOGÍA					
Disección h1	Disección h2	Disección h3	Disección v1	Disección v2	Disección v3

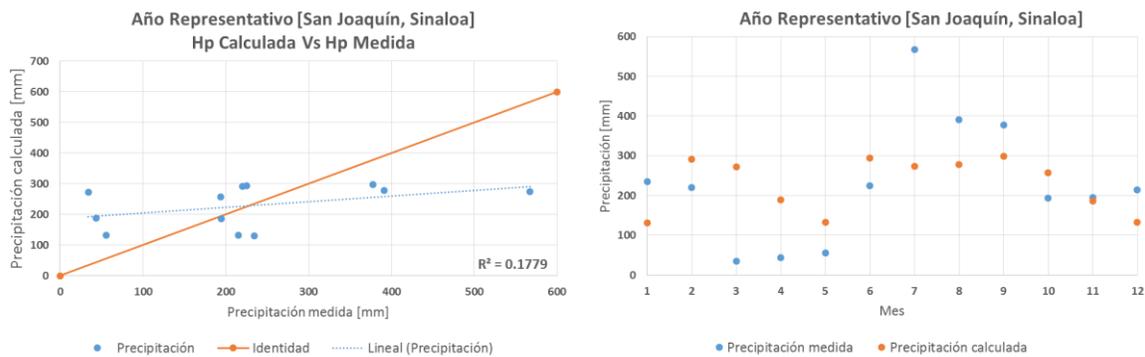


Figura 19.1. Relación entre los meses de año representativo, Precipitación en función de la Temperatura.

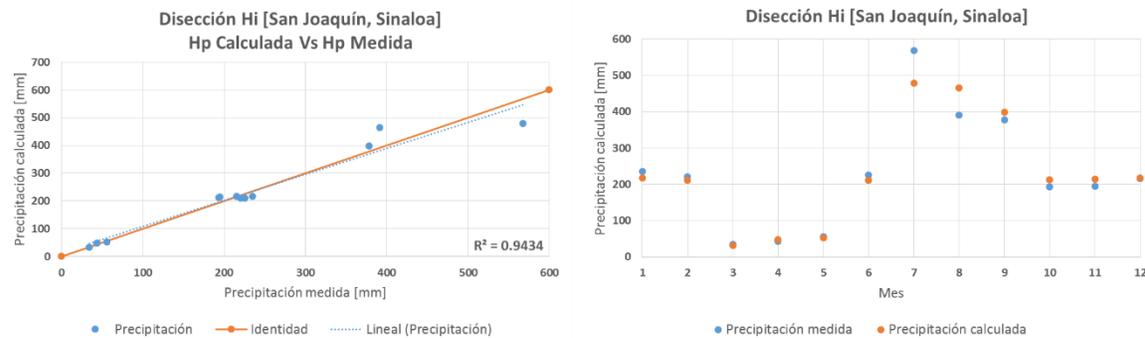


Figura 20.1. Relación entre los meses de la disección horizontal, Precipitación en función de la Temperatura.

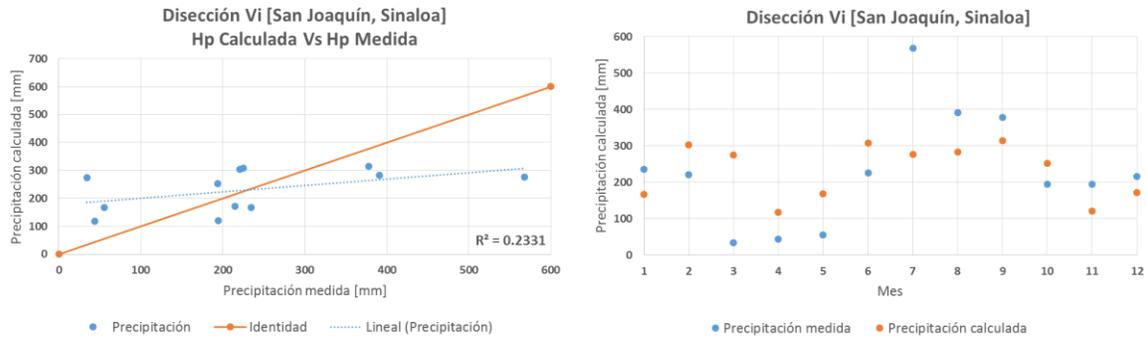


Figura 21.1. Relación entre los meses de la dissección vertical, Precipitación en función de la Temperatura.

Tabla 11.1.2. Ecuaciones obtenidas para los diferentes modelos de ajuste.

Estación San Joaquín, Sinaloa, Clave: 25172	
Ecuación Año Representativo	$Hp = 0.2986T^2 + 27.8077$
Ecuación Dissección H1	$Hp = -0.0029T^3 + 2.9871T + 16.137$
Ecuación Dissección H2	$Hp = 226.8063 - 0.5268T$
Ecuación Dissección H3	$Hp = -2.1306T^2 + 68.3457T + 271.4236$
Ecuación Dissección V1	$Hp = 0.5676T^2 - 6.5079T - 4.4391$
Ecuación Dissección V2	$Hp = 573.253 - 19.6236T$
Ecuación Dissección V3	$Hp = 0.8622 (T - 8.3921) (T + 0.2736)$

➤ **Estación Cuauhtémoc, Clave 7343.**

Tabla 11.2.1. Resumen de las Precipitaciones calculadas en mm, para distintos métodos de correlación.

Estación:	Cuauhtémoc	Clave:	7343	Estado:	Chiapas
Mes	Precipitación Historica [mm]	Temperatura Media [°C]	Precipitación calculada PG (mm)		
			Año representativo	Dissección H _i	Dissección V _i
Enero	21.00	16.02	85.50	19.32	19.18
Febrero	22.90	16.64	95.50	22.88	22.76
Marzo	67.20	21.50	186.40	58.79	58.84
Abril	106.50	23.37	227.16	76.34	215.66
Mayo	230.60	26.58	304.92	250.42	220.03
Junio	448.70	21.67	189.91	489.88	472.93
Julio	380.00	24.32	249.29	250.60	216.96
Agosto	493.70	21.82	193.21	438.66	467.97
Septiembre	250.98	22.35	204.62	264.41	450.72
Octubre	213.70	22.41	205.76	238.48	214.35
Noviembre	172.30	23.13	221.70	244.20	215.33
Diciembre	29.50	22.69	212.09	69.77	439.33
Varianza	27612.80	R²	0.16	0.90	0.27
SIMBOLOGÍA					
Dissección h1	Dissección h2	Dissección h3	Dissección v1	Dissección v2	Dissección v3

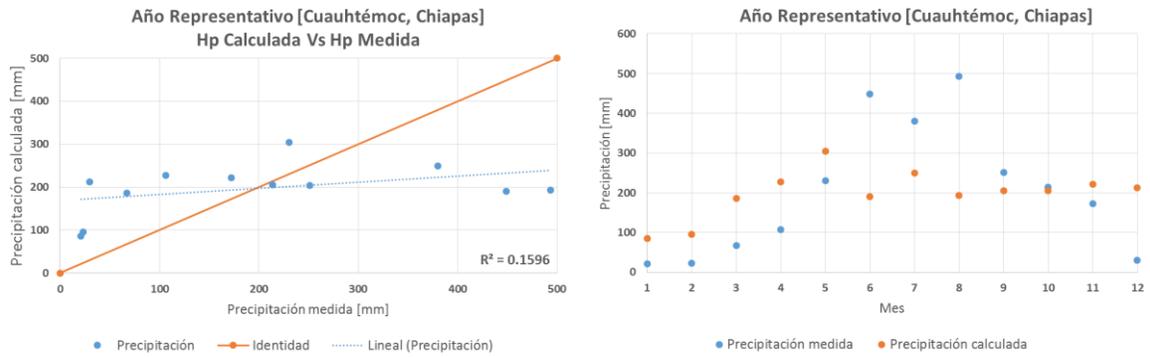


Figura 19.2. Relación entre los meses de año representativo, Precipitación en función de la Temperatura.

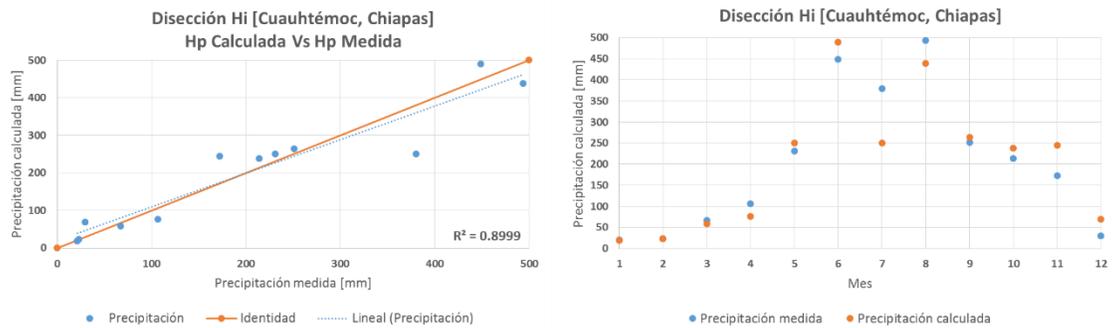


Figura 20.2. Relación entre los meses de la disección horizontal, Precipitación en función de la Temperatura.

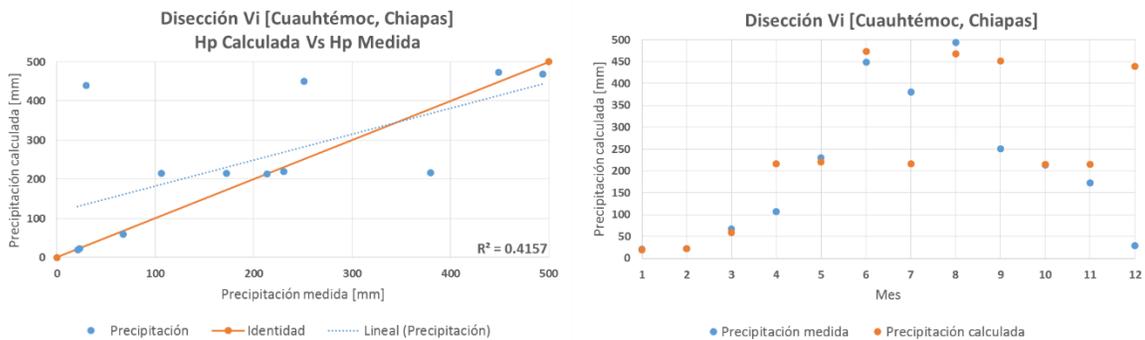


Figura 21.2. Relación entre los meses de la disección vertical, Precipitación en función de la Temperatura.

Tabla 11.2.2. Ecuaciones obtenidas para los diferentes modelos de ajuste.

Estación Cauhtémoc, Chiapas, Clave: 7343	
Ecuación Año Representativo	$Hp = 0.4644T^2 + T - 49.77$
Ecuación Disección H1	$Hp = 0.2986T^2 - 4T + 6.7202$
Ecuación Disección H2	$Hp = -0.0509T^3 + 2.2049T^2 - 13.1732T + 0.1922$
Ecuación Disección H3	$Hp = 7608.29 - 328.542T$
Ecuación Disección V1	$Hp = -4T + 0.2996T^2 + 6.3504$
Ecuación Disección V2	$Hp = -1.0503T^2 + 13.877T + 665.31$
Ecuación Disección V3	$Hp = 1.3597T + 183.88$

➤ Estación Coyotillos, Clave 22043

Tabla 11.3.1. Resumen de las Precipitaciones calculadas en mm, para distintos métodos de correlación.

Estación:	Coyotillos		Clave:	22043	Estado:	Querétaro
Mes	Precipitación Historica [mm]	Temperatura Media [°C]	Precipitación calculada PG (mm)			
			Año representativo	Disección H _i	Disección V _i	
Enero	1.56	13.39	1.37	1.18	0.80	
Febrero	0.59	13.84	1.57	1.22	1.11	
Marzo	1.66	20.29	5.53	1.78	5.44	
Abril	2.37	19.03	4.60	3.08	3.58	
Mayo	3.48	20.00	5.31	2.93	4.34	
Junio	7.85	20.07	5.36	7.91	4.58	
Julio	8.22	20.64	5.80	7.80	6.84	
Agosto	7.42	20.78	5.91	7.77	7.44	
Septiembre	8.15	17.97	3.87	8.15	4.97	
Octubre	3.79	15.60	2.45	3.63	3.00	
Noviembre	1.61	15.27	2.27	1.35	2.55	
Diciembre	1.77	18.85	4.47	1.66	3.81	
Varianza	8.93	R²	0.32	0.98	0.53	
SIMBOLOGÍA						
Disección h1	Disección h2	Disección h3	Disección v1	Disección v2	Disección v3	

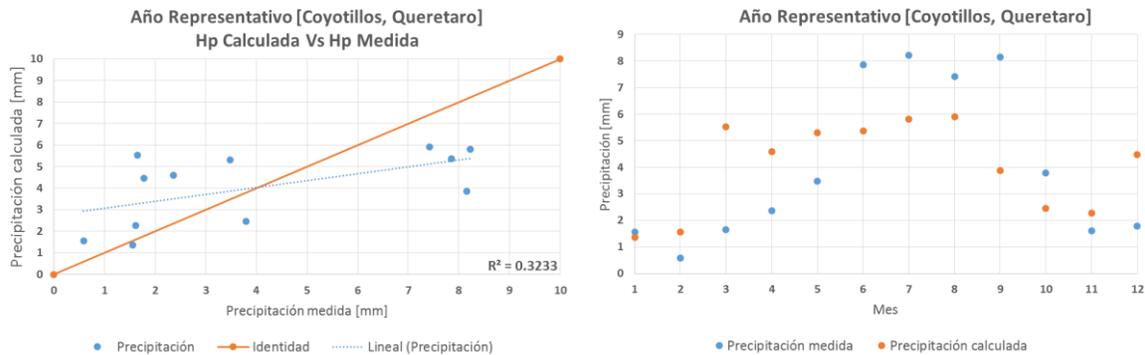


Figura 19.3. Relación entre los meses de año representativo, Precipitación en función de la Temperatura.

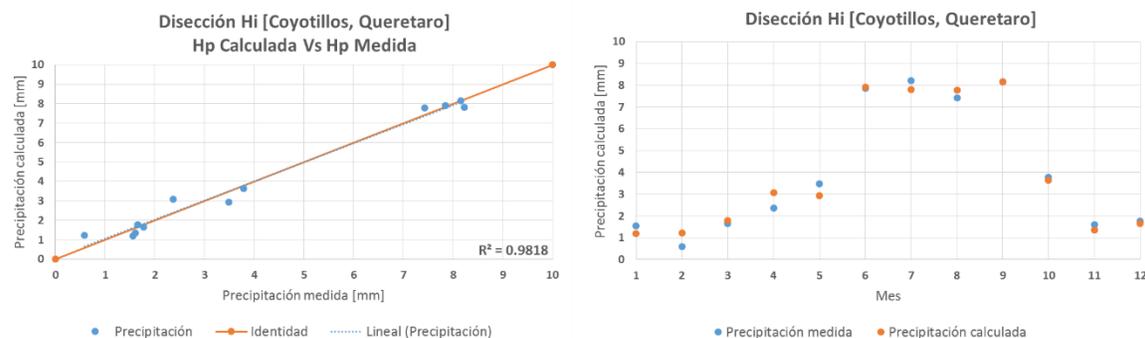


Figura 20.3. Relación entre los meses de la disección horizontal, Precipitación en función de la Temperatura.

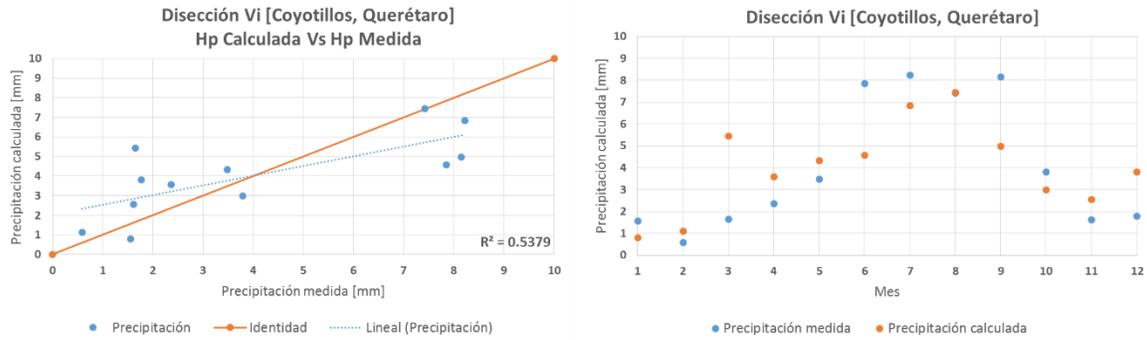


Figura 21.3. Relación entre los meses de la disección vertical, Precipitación en función de la Temperatura.

Tabla 11.3.2. Ecuaciones obtenidas para los diferentes modelos de ajuste.

Estación Coyotillos, Querétaro, Clave: 22043	
Ecuación Año Representativo	$Hp = 0.0246T^2 - 0.2283T$
Ecuación Disección H1	$Hp = 0.0862T + 0.0294$
Ecuación Disección H2	$Hp = 6.1393 - 0.1606T$
Ecuación Disección H3	$Hp = -0.0281T^2 + 0.9542T + 0.0856$
Ecuación Disección V1	$Hp = 0.00825216 T^3 - 0.185434 T^2 + 1.15628 T - 1.24966$
Ecuación Disección V2	$Hp = 28.4117 - 1.3047T$
Ecuación Disección V3	$Hp = 0.0003T^4 - 0.006T^3 + 0.0046T^2 - 2.1973$

➤ **Estación Colonia Morelos, Clave 26022.**

Tabla 11.4.1. Resumen de las Precipitaciones calculadas en mm, para distintos métodos de correlación.

Estación:	Colonia Morelos	Clave:	26022	Estado:	Sonora
Mes	Precipitación Historica [mm]	Temperatura Media [°C]	Precipitación calculada PG (mm)		
			Año representativo	Disección H _i	Disección V _i
Enero	130.50	11.15	106.06	148.85	118.84
Febrero	90.00	12.24	107.15	88.42	105.89
Marzo	63.50	12.19	107.10	62.62	106.66
Abril	63.00	18.20	113.11	58.82	104.67
Mayo	38.00	22.71	117.62	40.94	95.65
Junio	114.00	26.22	121.13	102.40	135.80
Julio	165.50	26.40	121.31	178.17	135.80
Agosto	168.70	25.35	120.26	176.15	135.80
Septiembre	95.00	27.83	122.73	104.01	135.80
Octubre	200.00	20.19	115.10	166.24	100.68
Noviembre	86.00	13.98	108.89	90.17	62.47
Diciembre	151.00	9.81	104.72	146.29	122.33
Varianza	2484.47	R²	0.03	0.93	0.17
SIMBOLOGÍA					
Disección h1	Disección h2	Disección h3	Disección v1	Disección v2	Disección v3

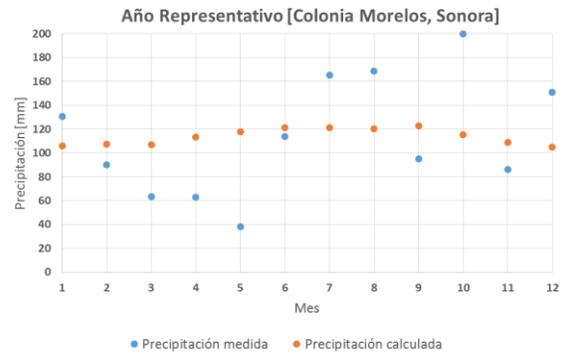
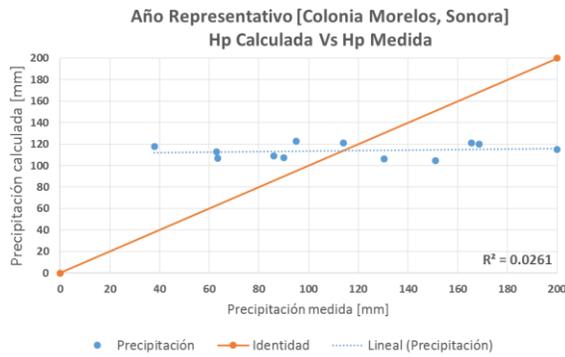


Figura 19.4. Relación entre los meses de año representativo, Precipitación en función de la Temperatura.

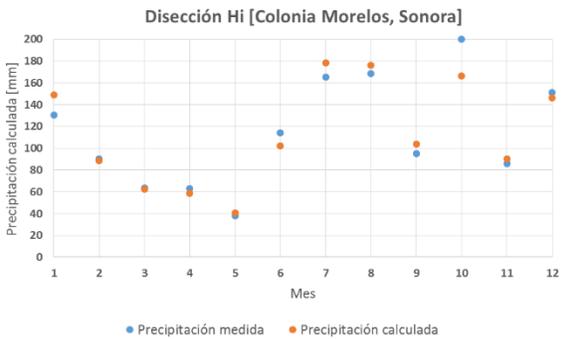
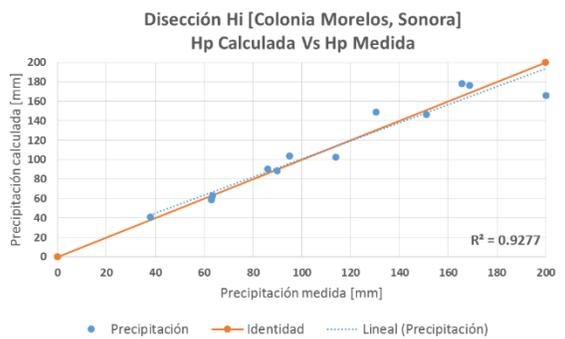


Figura 20.4. Relación entre los meses de la disección horizontal, Precipitación en función de la Temperatura.

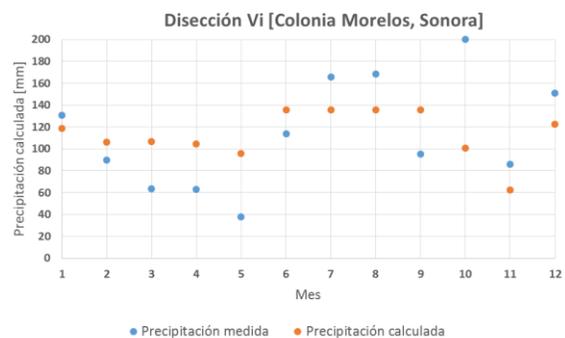
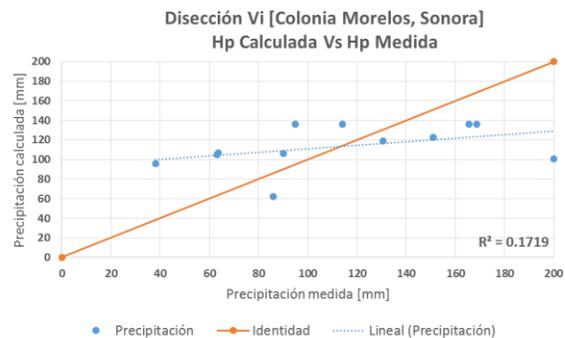


Figura 21.4. Relación entre los meses de la disección vertical, Precipitación en función de la Temperatura.

Tabla 11.4.2. Ecuaciones obtenidas para los diferentes modelos de ajuste.

Estación Colonia Morelos, Sonora, Clave: 26022	
Ecuación Año Representativo	$Hp = T + 94.9099$
Ecuación Disección H1	$Hp = 9T - 0.3168$
Ecuación Disección H2	$Hp = T + 76.1834$
Ecuación Disección H3	$Hp = 1.9214T + 127.435$
Ecuación Disección V1	$Hp = -0.1988T^3 + 2.8142T^2 + 4T$
Ecuación Disección V2	$Hp = 141.069 - 2T$
Ecuación Disección V3	$Hp = 135.8$

➤ Estación Santa Elena, Clave 31027.

Tabla 11.5.1. Resumen de las Precipitaciones calculadas en mm, para distintos métodos de correlación.

Estación:	Santa Elena	Clave:	31027	Estado:	Yucatán
Mes	Precipitación Historica [mm]	Temperatura Media [°C]	Precipitación calculada PG (mm)		
			Año representativo	Disección H _i	Disección V _i
Enero	128.90	22.06	177.12	110.79	129.27
Febrero	79.00	21.42	163.58	110.15	102.18
Marzo	172.20	22.95	196.95	183.12	171.65
Abril	209.20	24.55	234.68	207.23	289.71
Mayo	256.00	26.48	284.29	236.40	311.60
Junio	403.80	26.50	284.73	396.58	311.60
Julio	292.70	25.88	268.31	387.09	279.13
Agosto	275.00	29.75	377.96	285.66	311.60
Septiembre	504.50	25.18	250.24	376.34	285.65
Octubre	313.70	23.76	215.62	354.69	292.67
Noviembre	111.50	25.35	254.74	114.09	284.20
Diciembre	125.80	21.44	163.91	110.17	102.82
Varianza	16349.03	R ²	0.26	0.84	0.45
SIMBOLOGÍA					
Disección h1	Disección h2	Disección h3	Disección v1	Disección v2	Disección v3

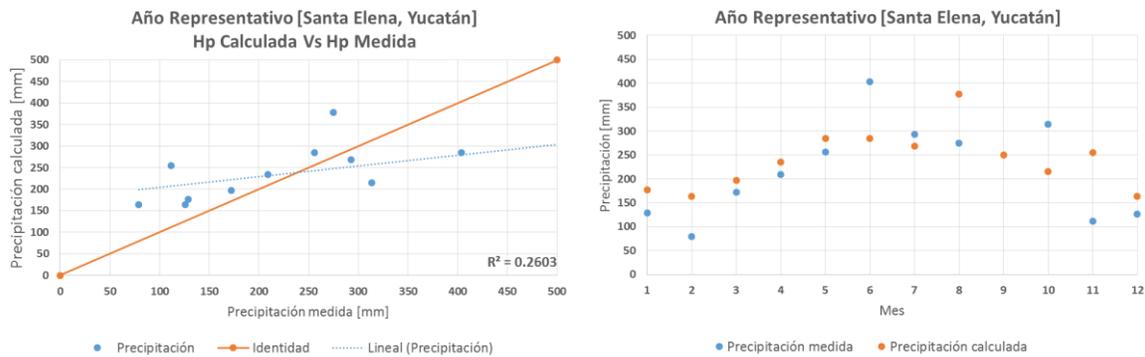


Figura 19.5. Relación entre los meses de año representativo, Precipitación en función de la Temperatura.

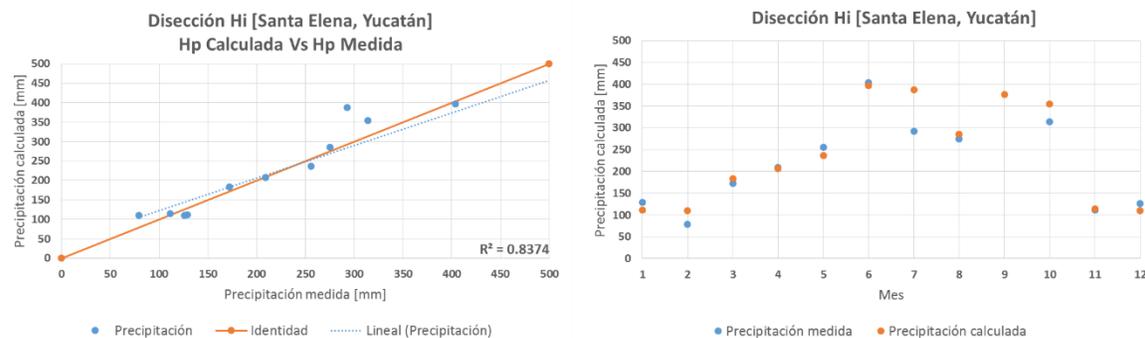


Figura 20.5. Relación entre los meses de la disección horizontal, Precipitación en función de la Temperatura.

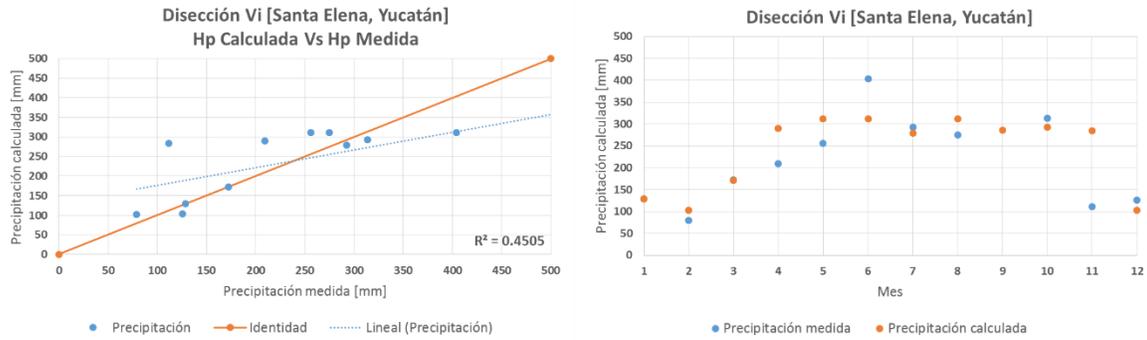


Figura 21.5. Relación entre los meses de la disección vertical, Precipitación en función de la Temperatura.

Tabla 11.5.2. Ecuaciones obtenidas para los diferentes modelos de ajuste.

Estación Santa Elena, Yucatán, Clave: 31027	
Ecuación Año Representativo	$Hp = 0.5811T^2 - 4T - 17.3519$
Ecuación Disección H1	$Hp = T + 88.7339$
Ecuación Disección H2	$Hp = 15.0841T - 163.089$
Ecuación Disección H3	$Hp = 15.2765T - 8.24838$
Ecuación Disección V1	$Hp = 0.0617T^3 - 0.9708T^2 - 2.7539T$
Ecuación Disección V2	$Hp = -0.0517T^3 + 1.8444T^2 - 2.3425T + 0.54$
Ecuación Disección V3	$Hp = 311.6$

➤ **Estación Chicontepec de Tejada, Clave 30041.**

Tabla 11.6.1. Resumen de las Precipitaciones calculadas en mm, para distintos métodos de correlación.

Estación:	Chicontepec de Tejada	Clave:	30041	Estado:	Veracruz
Mes	Precipitación Historica [mm]	Temperatura Media [°C]	Precipitación calculada PG (mm)		
			Año representativo	Disección H _i	Disección V _i
Enero	219.50	15.93	353.94	283.70	341.06
Febrero	377.50	15.65	341.78	283.70	336.43
Marzo	237.00	27.13	666.44	283.70	440.15
Abril	302.00	22.60	613.94	283.70	252.77
Mayo	610.00	25.94	669.55	570.61	818.50
Junio	1222.00	25.77	668.86	1123.77	869.49
Julio	937.00	25.17	664.37	1079.11	1044.83
Agosto	567.30	27.25	665.30	576.84	400.05
Septiembre	961.00	22.87	621.23	915.22	867.73
Octubre	509.50	22.77	618.76	555.61	652.60
Noviembre	282.50	19.08	489.40	283.70	382.63
Diciembre	548.00	17.74	432.85	531.74	367.37
Varianza	103939.14	R²	0.23	0.96	0.70
SIMBOLOGÍA					
Disección h1	Disección h2	Disección h3	Disección v1	Disección v2	Disección v3

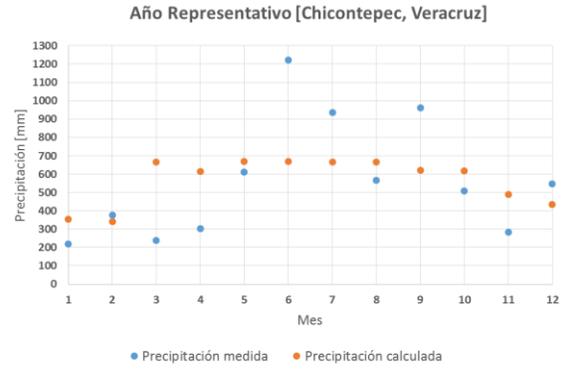
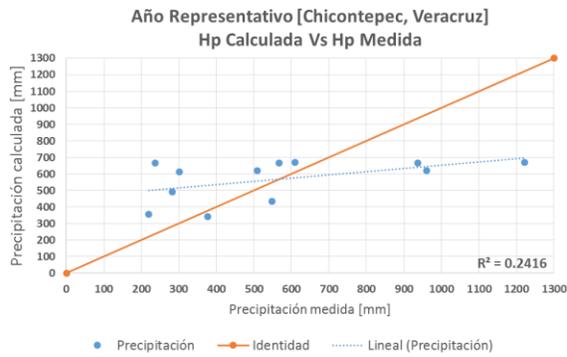


Figura 19.6. Relación entre los meses de año representativo, Precipitación en función de la Temperatura.

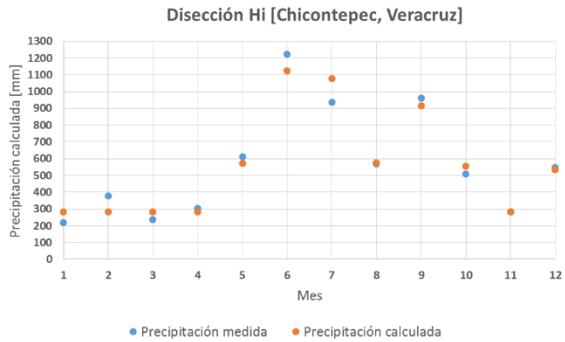
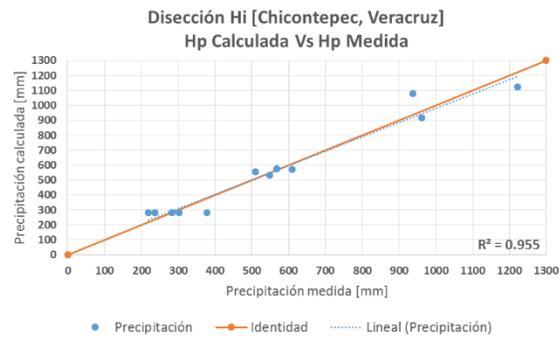


Figura 20.6. Relación entre los meses de la disección horizontal, Precipitación en función de la Temperatura.

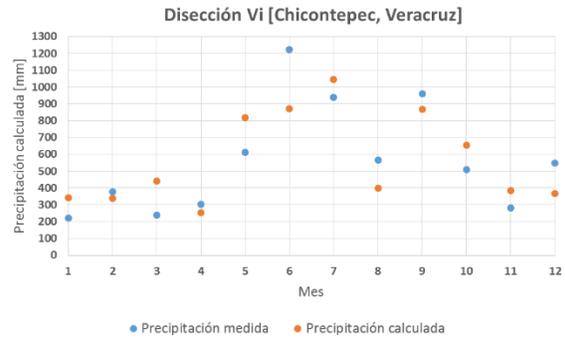
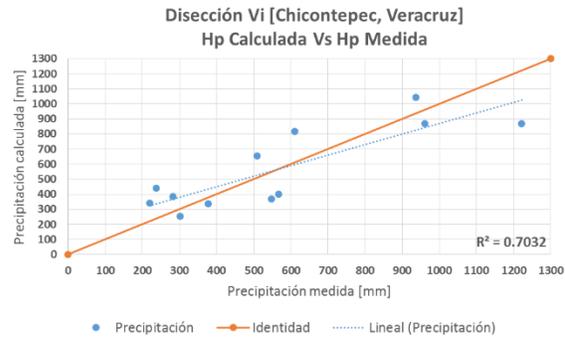


Figura 21.6. Relación entre los meses de la disección vertical, Precipitación en función de la Temperatura.

Tabla 11.6.2. Ecuaciones obtenidas para los diferentes modelos de ajuste.

Estación Chicontepec de Tejeda, Veracruz, Clave: 30041	
Ecuación Año Representativo	$Hp = -0.0024T^4 + 0.0413T^3 + 1.8721T^2 - 8.3055T$
Ecuación Disección H1	$Hp = 283.7$
Ecuación Disección H2	$Hp = 4.7435T + 447.581$
Ecuación Disección H3	$Hp = 1.2376T^2 + 11.724T$
Ecuación Disección V1	$Hp = -T^2 + 48.1974T - 172.966$
Ecuación Disección V2	$Hp = 4.2548T^3 - 93.7123T^2 - 43.9625T$
Ecuación Disección V3	$Hp = -11.0161T^2 + 267.566T + 1289.03$

➤ **Estación Acahuato, Clave 16228.**

Tabla 11.7.1. Resumen de las Precipitaciones calculadas en mm, para distintos métodos de correlación.

Estación:	Acahuato		Clave:	16228		Estado:	Michoacán	
Mes	Precipitación Historica	Temperatura Media	Precipitación calculada PG (mm)					
	[mm]	[°C]	Año representativo	Disección H _i	Disección V _i			
Enero	8.35	19.88	10.27	8.25	7.91			
Febrero	4.75	16.61	8.64	4.12	5.72			
Marzo	0.61	23.14	9.19	1.73	1.14			
Abril	0.27	26.36	3.81	0.56	-1.09			
Mayo	2.84	25.21	6.35	0.98	5.69			
Junio	15.17	23.84	8.45	15.22	13.77			
Julio	17.65	23.06	9.27	18.15	19.75			
Agosto	18.69	23.07	9.25	18.09	16.05			
Septiembre	22.30	21.93	10.00	22.34	9.06			
Octubre	6.90	21.26	10.23	7.14	8.72			
Noviembre	6.27	22.32	9.80	6.14	9.24			
Diciembre	1.05	22.06	9.94	2.13	9.12			
Varianza	60.09	R²	0.23	0.96	0.70			
SIMBOLOGÍA								
Disección h1	Disección h2	Disección h3	Disección v1	Disección v2	Disección v3			

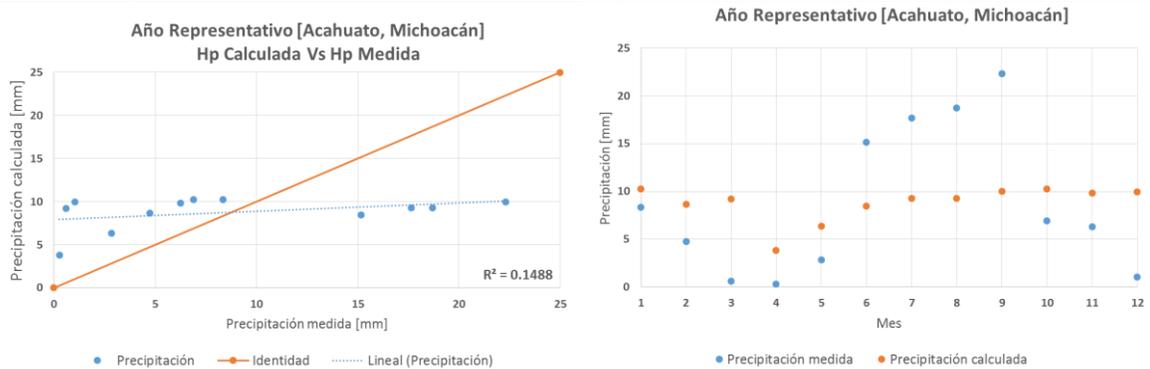


Figura 19.7. Relación entre los meses de año representativo, Precipitación en función de la Temperatura.

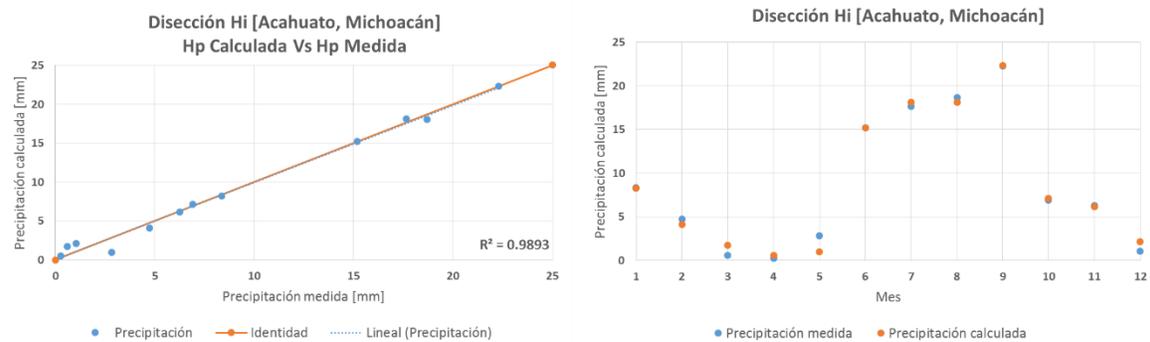


Figura 20.7. Relación entre los meses de la disección horizontal, Precipitación en función de la Temperatura.

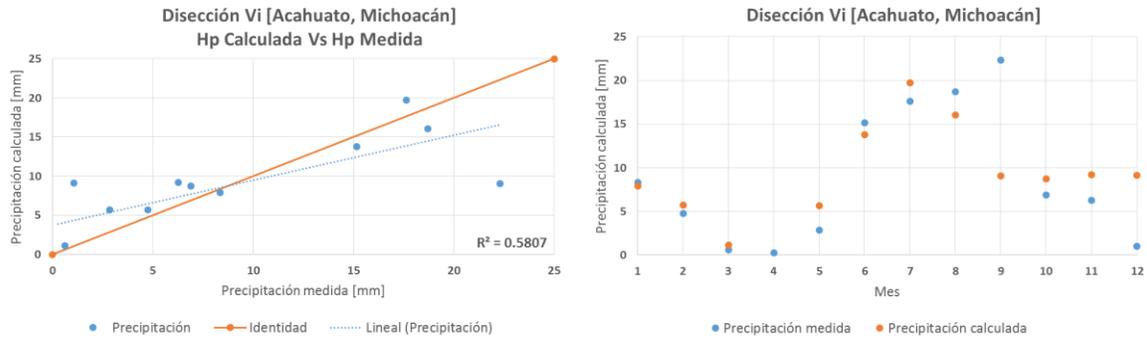


Figura 21.7. Relación entre los meses de la disección vertical, Precipitación en función de la Temperatura.

Tabla 11.7.2. Ecuaciones obtenidas para los diferentes modelos de ajuste.

Estación Acahuato, Michoacan, Clave: 16228	
Ecuación Año Representativo	$Hp = -.0000017T^5 + 0.0134^2 + T - 9.4449$
Ecuación Disección H1	$Hp = 10.1959 - 0.3657T$
Ecuación Disección H2	$Hp = -0.055T^2 + 1.4554T + 1.0515$
Ecuación Disección H3	$Hp = 104.246 - 3.7341T$
Ecuación Disección V1	$Hp = -0.00000005T^6 + 0.000001T^5 + 0.0212T^2 - 0.0196T$
Ecuación Disección V2	$Hp = -0.4174T^3 + 9.2732T^2 + 8.86481T + 1.8319$
Ecuación Disección V3	$Hp = 154.517 - 5.9036T$

➤ **Estación Acapulco, Clave 12142.**

Tabla 11.8.1. Resumen de las Precipitaciones calculadas en mm, para distintos métodos de correlación.

Estación:	Acapulco	Clave:	12142	Estado:	Guerrero
Mes	Precipitación Historica [mm]	Temperatura Media [°C]	Precipitación calculada PG (mm)		
			Año representativo	Disección H _i	Disección V _i
Enero	107.47	26.17	209.77	83.38	90.72
Febrero	100.00	26.40	239.90	86.17	96.42
Marzo	50.40	24.65	21.28	66.16	55.74
Abril	89.00	26.71	279.58	89.85	103.98
Mayo	271.50	28.59	532.93	380.24	431.15
Junio	603.00	28.00	451.77	692.30	555.59
Julio	490.40	28.83	566.76	382.63	378.40
Agosto	818.50	27.90	438.59	724.17	516.38
Septiembre	941.40	27.18	341.96	946.06	516.38
Octubre	526.40	27.73	414.54	371.74	516.38
Noviembre	219.90	27.92	440.42	373.62	516.38
Diciembre	75.70	27.29	356.16	97.01	516.38
Varianza	96443.99	R ²	0.24	0.92	0.44
SIMBOLOGÍA					
Disección h1	Disección h2	Disección h3	Disección v1	Disección v2	Disección v3

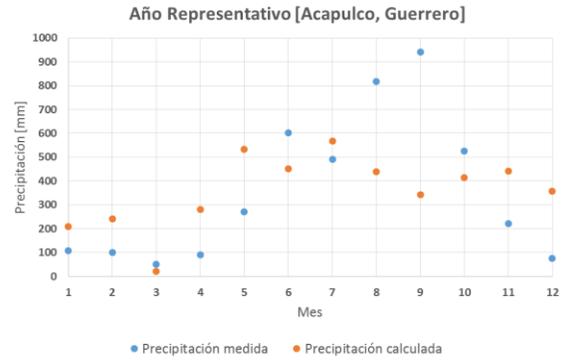
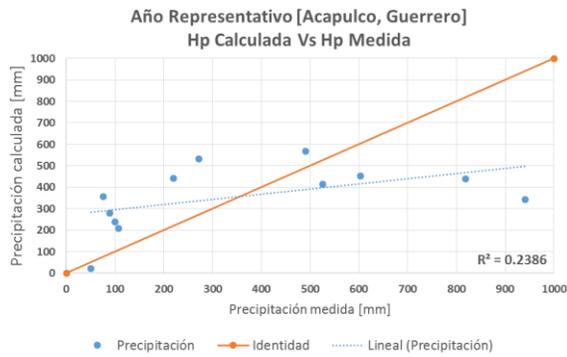


Figura 19.8. Relación entre los meses de año representativo, Precipitación en función de la Temperatura.

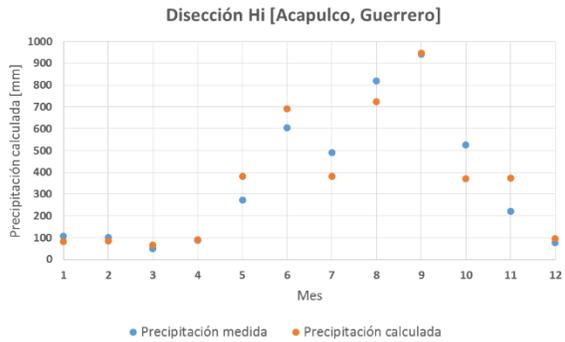
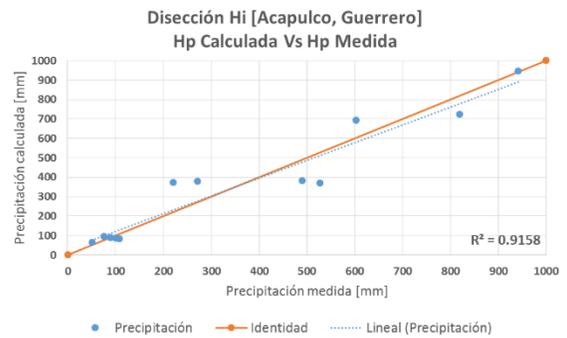


Figura 20.8. Relación entre los meses de la disección horizontal, Precipitación en función de la Temperatura.

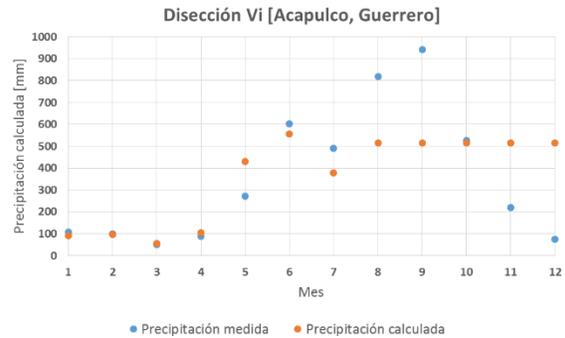
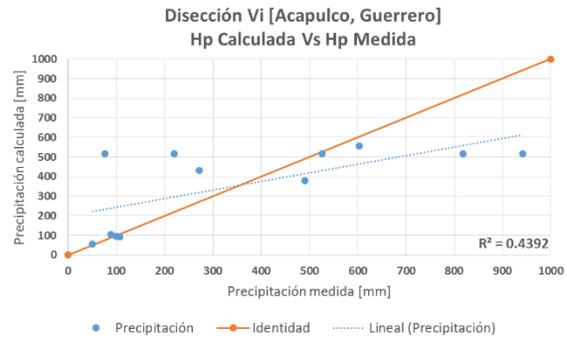


Figura 21.8. Relación entre los meses de la disección vertical, Precipitación en función de la Temperatura.

Tabla 5.8.2. Ecuaciones obtenidas para los diferentes modelos de ajuste.

Estación Acapulco, Guerrero, Clave: 12142	
Ecuación Año Representativo	$Hp = 2.4184T^2 + T - 1472.28$
Ecuación Disección H1	$Hp = 0.3098T^2 - 4.4297T - 12.8772$
Ecuación Disección H2	$Hp = 9.8578T + 98.4202$
Ecuación Disección H3	$Hp = 14.5038T^2 - 0.4864T^3$
Ecuación Disección V1	$Hp = 0.7256T^2 - 13.8839T - 42.8258$
Ecuación Disección V2	$Hp = 516.38$
Ecuación Disección V3	$Hp = -8T^2 + 241.326T + 70.4774$

➤ **Estación Ojo de Agua, Clave 3039.**

Tabla 11.9.1. Resumen de las Precipitaciones calculadas en mm, para distintos métodos de correlación.

Estación:	Ojo de Agua	Clave:	3039	Estado:	Baja California Sur
Mes	Precipitación Historica [mm]	Temperatura Media [°C]	Precipitación calculada PG (mm)		
			Año representativo	Disección H _i	Disección V _i
Enero	5.11	13.58	2.51	5.25	4.73
Febrero	2.14	15.85	2.69	1.58	3.31
Marzo	1.67	18.48	2.90	1.38	0.97
Abril	0.20	19.04	2.95	1.34	0.37
Mayo	0.48	23.39	3.30	1.01	1.85
Junio	0.95	27.53	3.63	0.70	3.67
Julio	4.52	29.53	3.79	4.60	4.89
Agosto	5.48	30.44	3.86	6.25	5.53
Septiembre	7.00	27.92	3.66	6.10	3.88
Octubre	4.65	24.68	3.40	4.60	4.18
Noviembre	1.63	22.71	3.24	1.06	0.73
Diciembre	4.65	14.21	2.56	4.60	4.39
Varianza	5.14	R²	0.04	0.93	0.61
SIMBOLOGÍA					
Disección h1	Disección h2	Disección h3	Disección v1	Disección v2	Disección v3

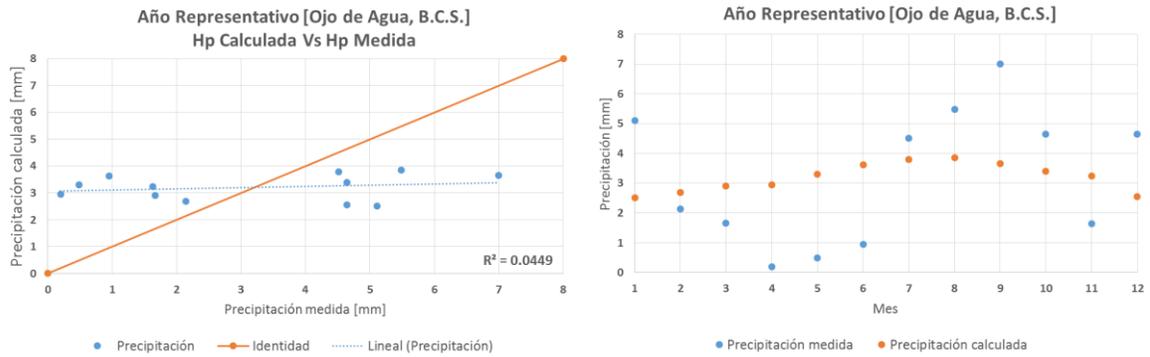


Figura 19.9. Relación entre los meses de año representativo, Precipitación en función de la Temperatura.

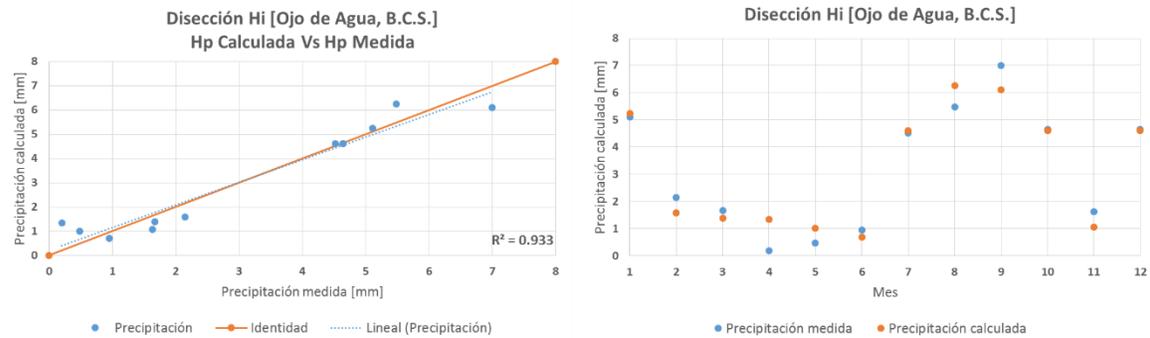


Figura 20.9. Relación entre los meses de la disección horizontal, Precipitación en función de la Temperatura.

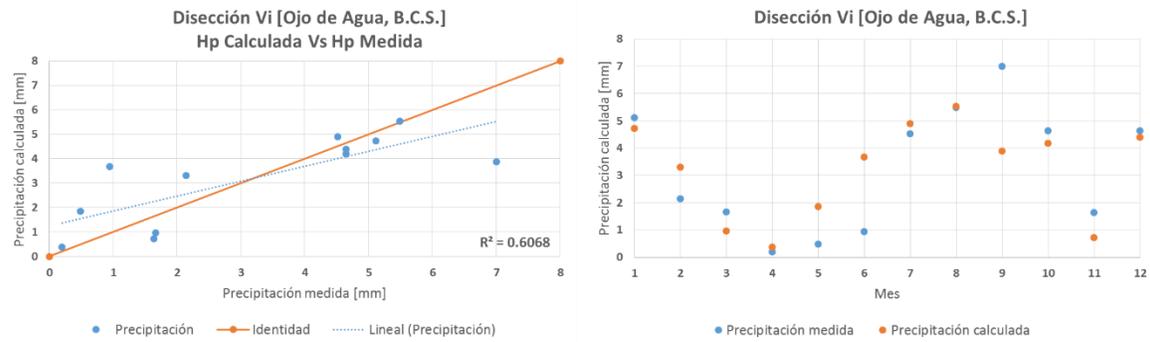


Figura 21.9. Relación entre los meses de la disección vertical, Precipitación en función de la Temperatura.

Tabla 11.9.2. Ecuaciones obtenidas para los diferentes modelos de ajuste.

Estación Ojo de Agua, Baja California Sur, Clave: 3039	
Ecuación Año Representativo	$Hp = 0.0802T + 1.421$
Ecuación Disección H1	$Hp = 2.783 - 0.0758T$
Ecuación Disección H2	$Hp = 4.602$
Ecuación Disección H3	$Hp = 0.0595T + 4.44$
Ecuación Disección V1	$Hp = -0.0541995T^2 + 0.971078T + 1.53413$
Ecuación Disección V2	$Hp = 0.07832T^2 - 1.95524T + 4.74031$
Ecuación Disección V3	$Hp = 6.98531 \times 10^{-6}T^4 - 0.0000164339T^3$

➤ **Estación Ejido 1° de Mayo, Clave 5147.**

Tabla 11.10.1. Resumen de las Precipitaciones calculadas en mm, para distintos métodos de correlación.

Estación:	Ejido 1° de Mayo	Clave:	5147	Estado:	Coahuila
Mes	Precipitación Historica [mm]	Temperatura Media [°C]	Precipitación calculada PG (mm)		
			Año representativo	Disección H _i	Disección V _i
Enero	5.21	3.37	3.65	5.02	5.13
Febrero	1.40	10.95	4.28	1.82	2.15
Marzo	2.10	19.94	5.03	2.54	7.12
Abril	4.15	24.65	5.42	4.62	2.45
Mayo	3.87	23.13	5.29	4.65	3.96
Junio	4.13	29.58	5.82	4.53	6.27
Julio	11.66	26.68	5.58	12.19	8.63
Agosto	4.55	32.58	6.07	4.47	3.31
Septiembre	5.97	27.32	5.64	4.57	8.15
Octubre	3.13	22.65	5.25	2.85	4.44
Noviembre	12.72	19.05	4.95	12.19	8.00
Diciembre	2.46	11.87	4.36	1.87	1.79
Varianza	12.64	R ²	0.04	0.97	0.47
SIMBOLOGÍA					
Disección h1	Disección h2	Disección h3	Disección v1	Disección v2	Disección v3

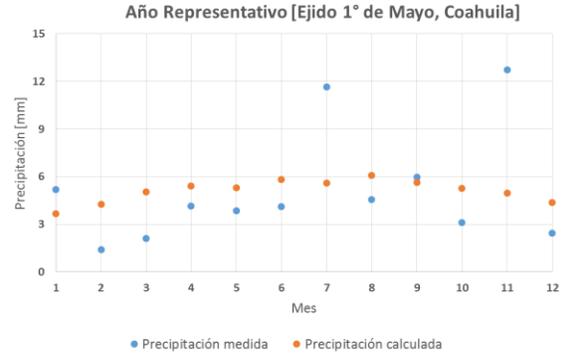
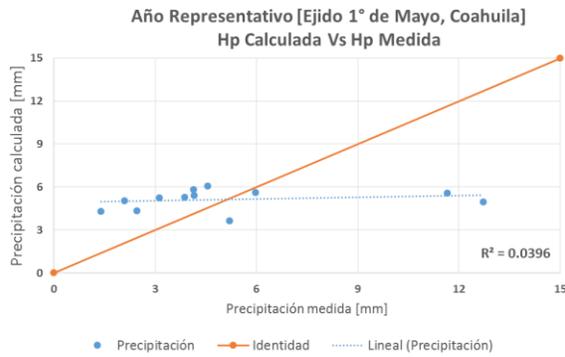


Figura 19.10. Relación entre los meses de año representativo, Precipitación en función de la Temperatura.

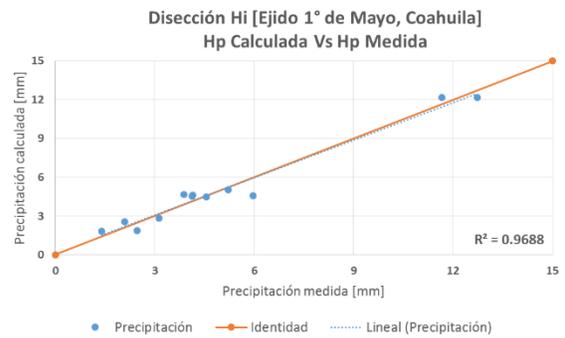


Figura 20.10. Relación entre los meses de la disección horizontal, Precipitación en función de la Temperatura.

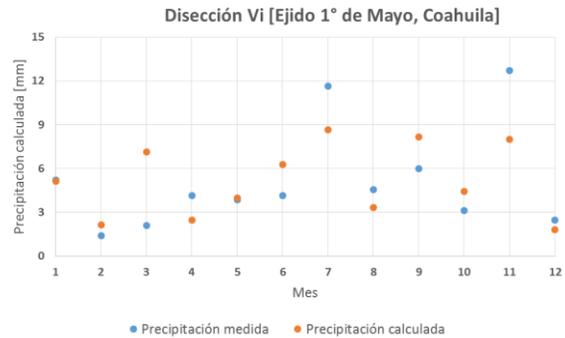
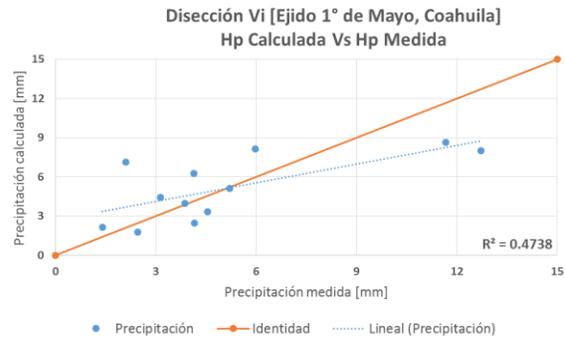


Figura 21.10. Relación entre los meses de la disección vertical, Precipitación en función de la Temperatura.

Tabla 11.10.2. Ecuaciones obtenidas para los diferentes modelos de ajuste.

Estación Ejido 1° de Mayo, Coahuilar, Clave: 5147	
Ecuación Año Representativo	$Hp = 0.0828T + 3.3735$
Ecuación Disección H1	$Hp = 0.0026T^2 + 1.5066$
Ecuación Disección H2	$Hp = 5.0885 - 0.0188T$
Ecuación Disección H3	$Hp = 12.19$
Ecuación Disección V1	$Hp = 6.4528 - 0.3929T$
Ecuación Disección V2	$Hp = 26.8745 - 0.9906T$
Ecuación Disección V3	$Hp = -0.0283T^2 + 0.7795T + 8.036$

4.3. Análisis de Varianzas.

Los gráficos siguientes se elaboraron de acuerdo al análisis de varianzas en las cuales se exhibe el mejor acoplamiento entre los datos de la plataforma del SEDEPECC y los calculados a través de los históricos de la CONAGUA, para la mayoría de los casos el ajuste fue a partir del agrupamiento horizontal.

- Estado: Sinaloa
Nombre: San Joaquín

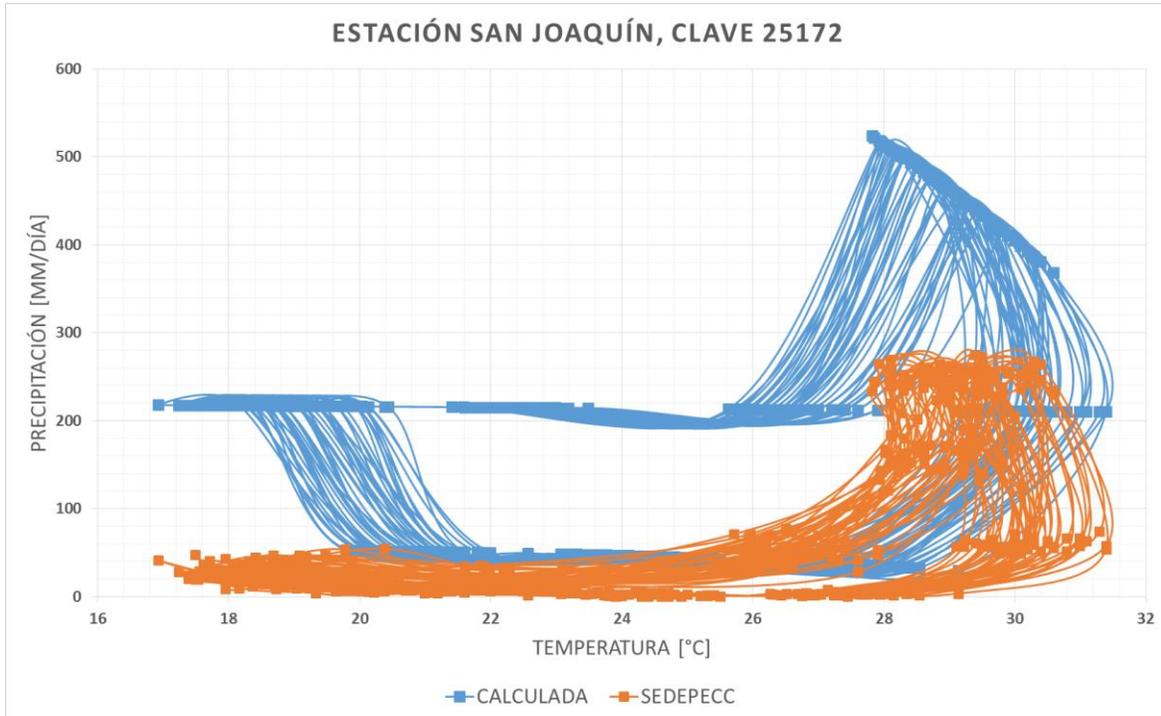


Figura 22.1. Precipitación contra Temperatura, con formula de ajuste sobreponiendo los resultados registrados en la plataforma SEDEPECC.

Tabla 12.1 Resumen del análisis de Varianzas.

Estación San Joaquín, Sinaloa, Clave: 25172	
Varianza Históricos	24390.3
Varianza Año Representativo	20059.3
R ² Año Representativo	0.18
Varianza H	1381.54
R ² H	0.94
Varianza V	18704.54
R ² V	0.23

- Estado: Chiapas
- Nombre: Cuauhtémoc.

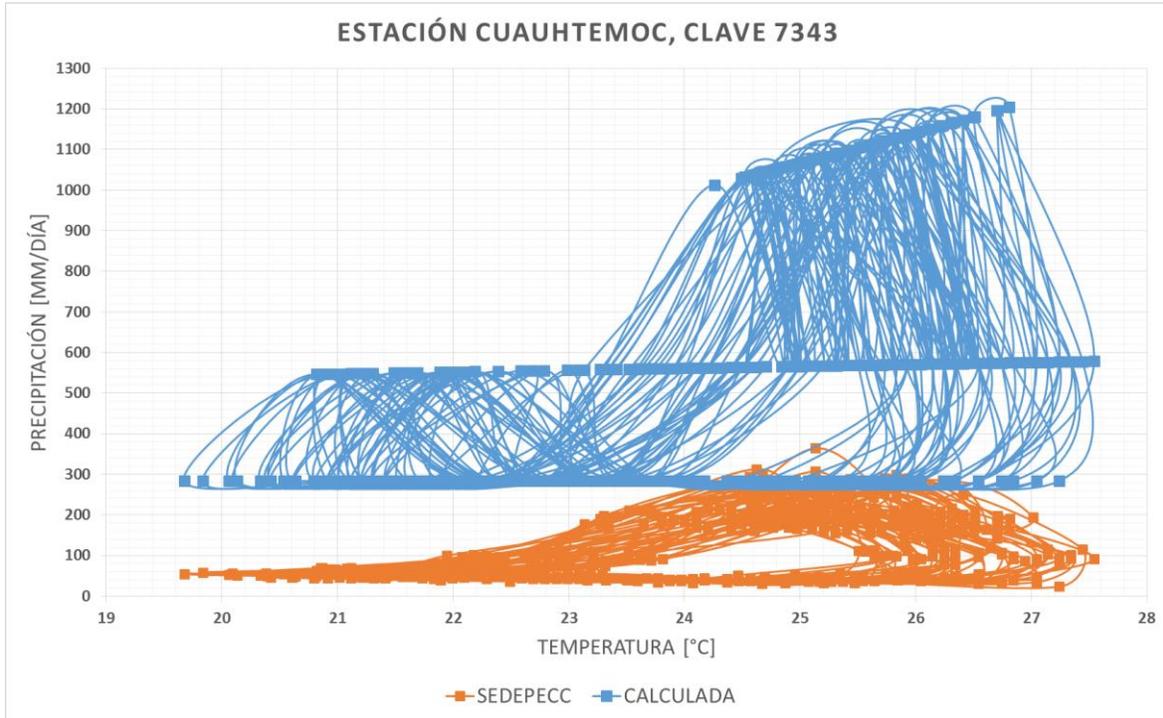


Figura 22.2. Precipitación contra Temperatura, con formula de ajuste sobreponiendo los resultados registrados en la plataforma SEDEPEEC.

Tabla 12.2 Resumen del análisis de Varianzas.

Estación Cuauhtémoc, Chiapas, Clave: 7343	
Varianza Históricos	27612.8
Varianza Año Representativo	23250.63
R ² Año Representativo	0.16
Varianza H	2765.22
R ² H	0.9
Varianza V	20172.84
R ² V	0.27

- Estado: Querétaro
Nombre: Coyotillos

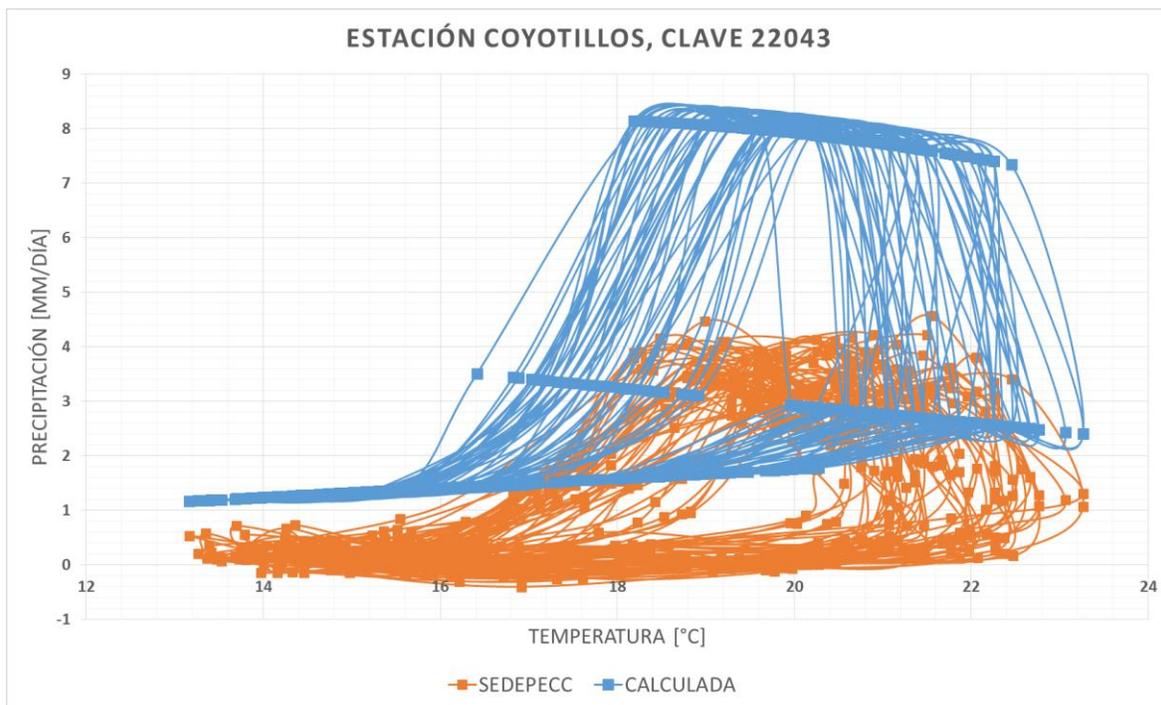


Figura 22.3. Precipitación contra Temperatura, con formula de ajuste sobreponiendo los resultados registrados en la plataforma SEDEPEEC.

Tabla 12.3 Resumen del análisis de Varianzas.

Estación Coyotillos, Querétaro, Clave: 22043	
Varianza Históricos	8.94
Varianza Año Representativo	6.05
R ² Año Representativo	0.32
Varianza H	0.16
R ² H	0.98
Varianza V	4.16
R ² V	0.53

- Estado: Sonora
Nombre: Colonia Morelos

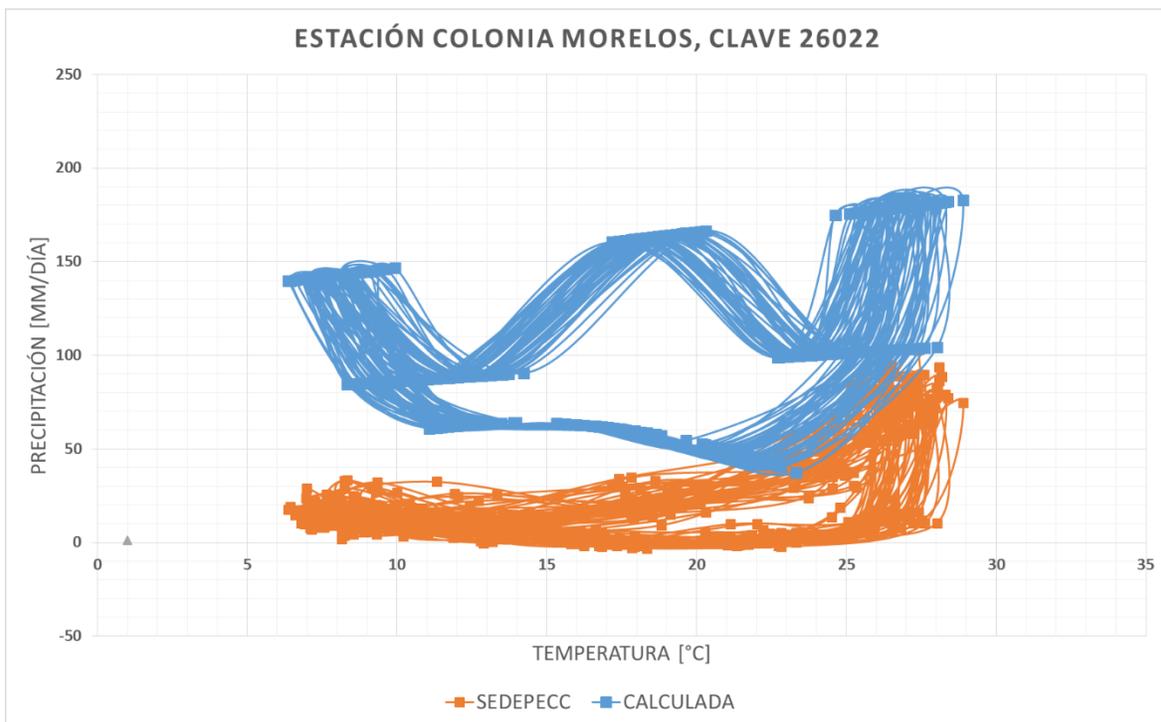


Figura 22.4. Precipitación contra Temperatura, con formula de ajuste sobreponiendo los resultados registrados en la plataforma SEDEPEEC.

Tabla 12.4 Resumen del análisis de Varianzas.

Estación Colonia Morelos, Sonora, Clave: 26022	
Varianza Históricos	2484.47
Varianza Año Representativo	2421.33
R ² Año Representativo	0.03
Varianza H	179.72
R ² H	0.93
Varianza V	2059.38
R ² V	0.17

- Estado: Yucatán
Nombre: Santa Elena

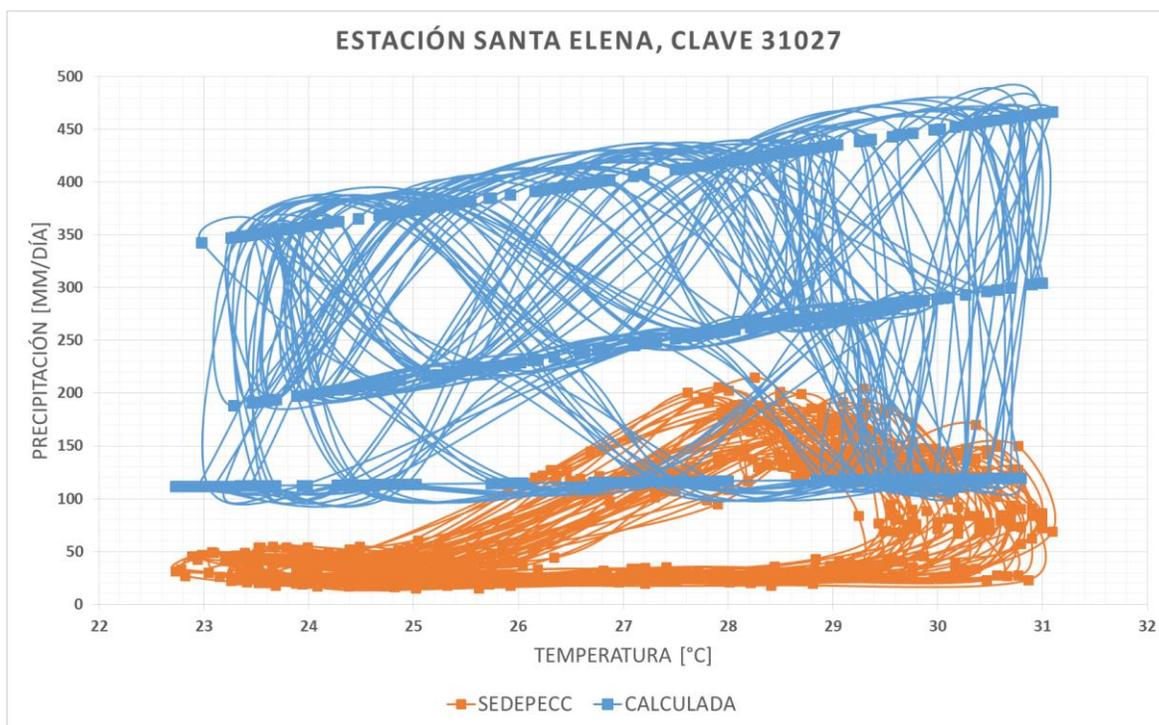


Figura 22.5. Precipitación contra Temperatura, con formula de ajuste sobreponiendo los resultados registrados en la plataforma SEDEPEEC.

Tabla 12.5 Resumen del análisis de Varianzas.

Estación Santa Elena, Yucatán, Clave: 31027	
Varianza Históricos	16349.03
Varianza Año Representativo	12105.04
R ² Año Representativo	0.26
Varianza H	2658.06
R ² H	0.84
Varianza V	8984.39
R ² V	0.45

- Estado: Veracruz de Ignacio de la Llave
Nombre: Chicontepec de Tejeda

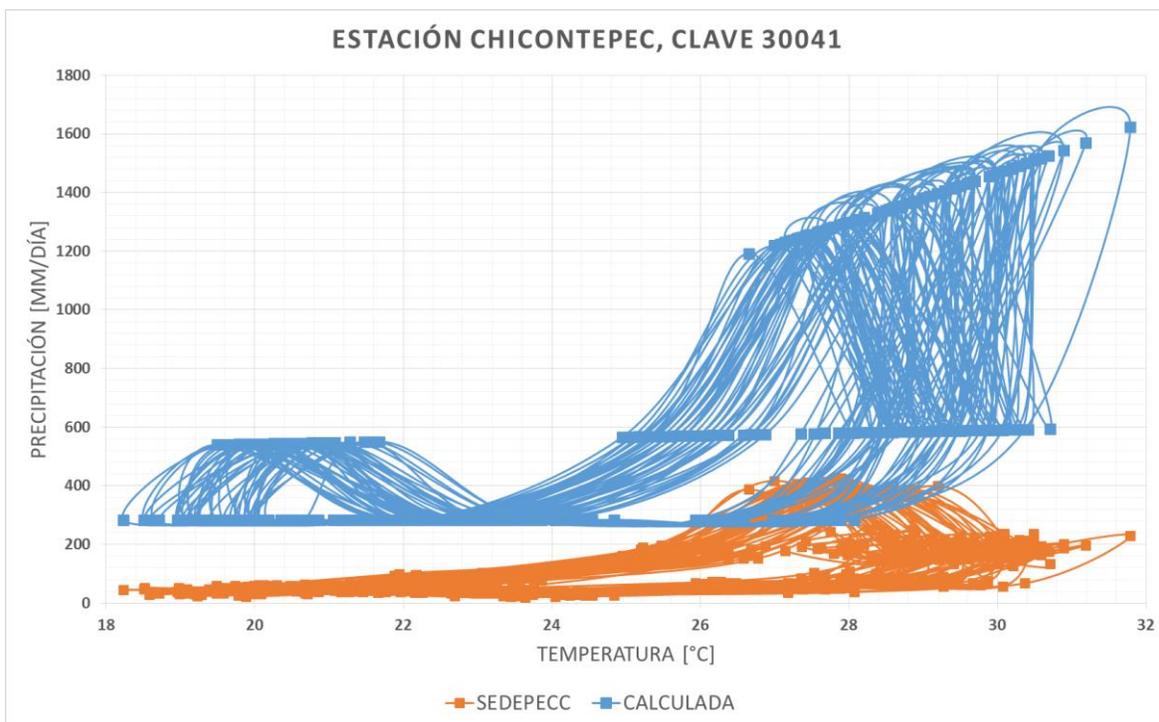


Figura 22.6. Precipitación contra Temperatura, con formula de ajuste sobreponiendo los resultados registrados en la plataforma SEDEPEEC.

Tabla 12.6 Resumen del análisis de Varianzas.

Estación Chicontepec de Tejeda, Veracruz, Clave: 30041	
Varianza Históricos	103939.14
Varianza Año Representativo	79807.27
R ² Año Representativo	0.23
Varianza H	4673.77
R ² H	0.96
Varianza V	30847.92
R ² V	0.7

- Estado: Michoacán de Ocampo
Nombre: Acahuato

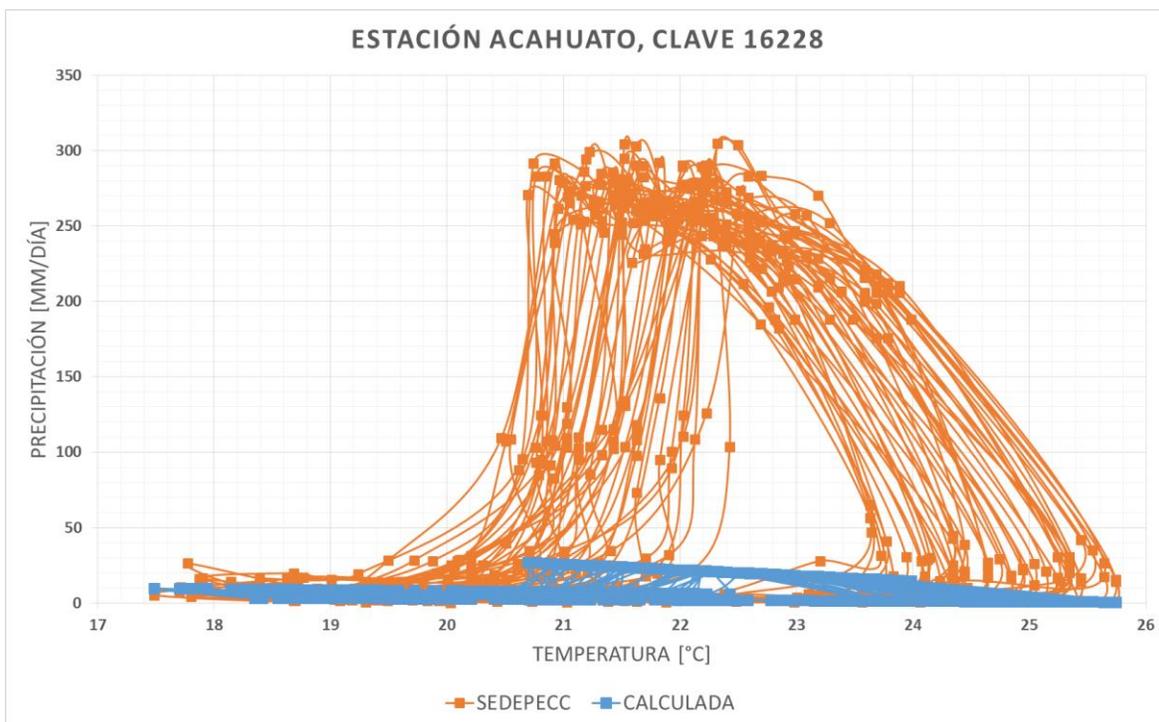


Figura 22.7. Precipitación contra Temperatura, con formula de ajuste sobreponiendo los resultados registrados en la plataforma SEDEPEEC.

Tabla 12.7 Resumen del análisis de Varianzas.

Estación Acahuato, Michoacan, Clave: 16228	
Varianza Históricos	60.09
Varianza Año Representativo	52.35
R ² Año Representativo	0.13
Varianza H	0.64
R ² H	0.99
Varianza V	25.2
R ² V	0.58

- Estado: Guerrero
Nombre: Acapulco de Juárez

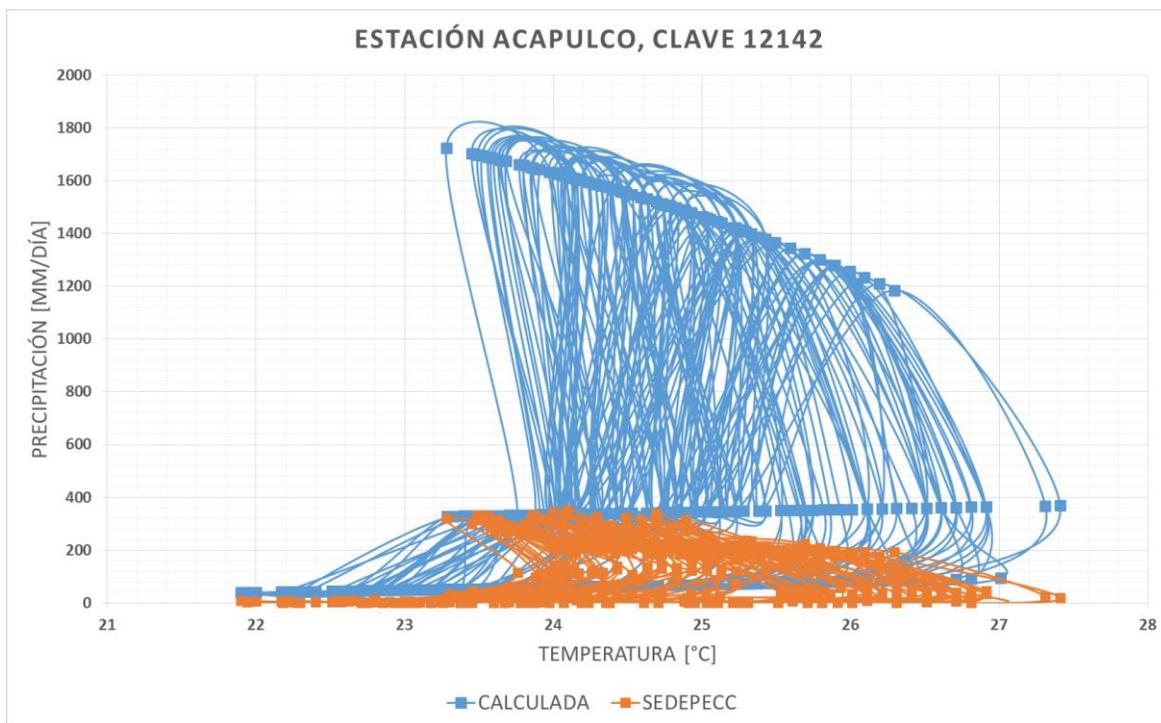


Figura 22.8. Precipitación contra Temperatura, con formula de ajuste sobreponiendo los resultados registrados en la plataforma SEDEPEEC.

Tabla 12.7 Resumen del análisis de Varianzas.

Estación Acapulco, Guerrero, Clave: 12142	
Varianza Históricos	96444.14
Varianza Año Representativo	73428.21
R ² Año Representativo	0.24
Varianza H	8123.47
R ² H	0.92
Varianza V	54085.79
R ² V	0.44

- Estado: Baja California Sur
Nombre: Ojo de Agua

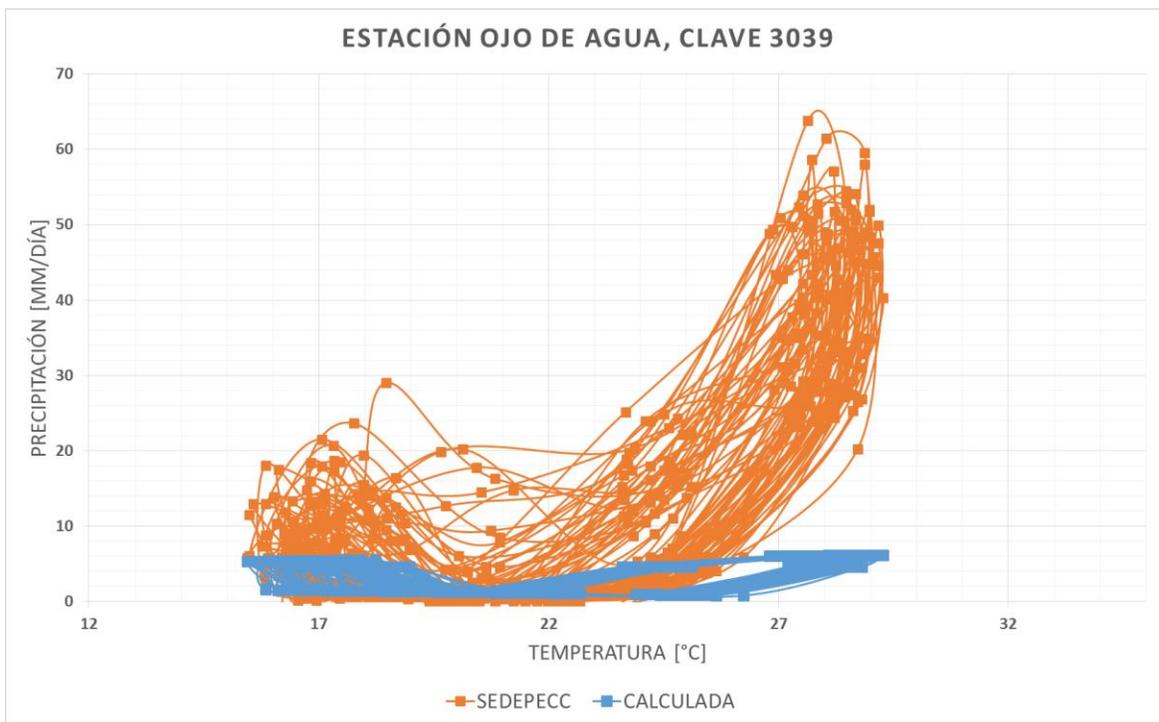


Figura 22.9. Precipitación contra Temperatura, con formula de ajuste sobreponiendo los resultados registrados en la plataforma SEDEPEEC.

Tabla 12.7 Resumen del análisis de Varianzas.

Estación Ojo de Agua, Baja California Sur, Clave: 3039	
Varianza Históricos	5.14
Varianza Año Representativo	4.91
R² Año Representativo	0.0449
Varianza H	0.34
R² H	0.933
Varianza V	2.02
R² V	0.6068

- Estado: Coahuila de Zaragoza
Nombre: Ejido Primero de Mayo

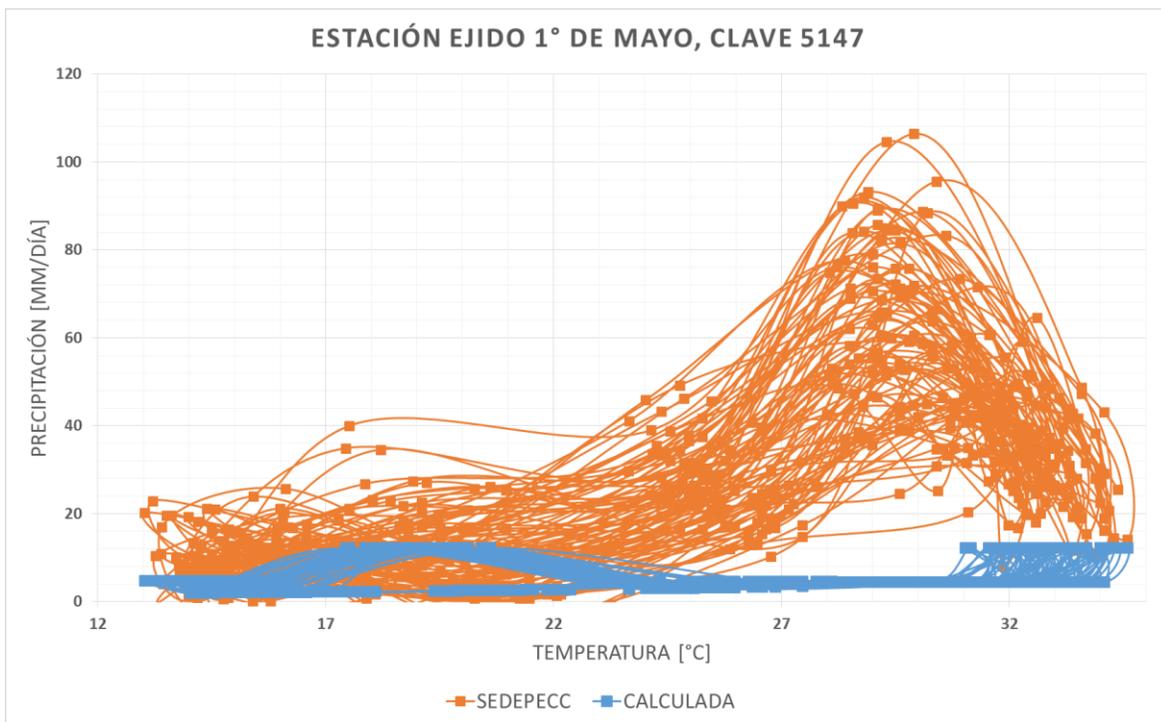


Figura 22.10. Precipitación contra Temperatura, con formula de ajuste sobreponiendo los resultados registrados en la plataforma SEDEPEEC.

Tabla 12.7 Resumen del análisis de Varianzas.

Estación Ejido 1° de Mayo, Coahuilar, Clave: 5147	
Varianza Históricos	12.65
Varianza Año Representativo	12.15
R ² Año Representativo	0.04
Varianza H	0.39
R ² H	0.97
Varianza V	6.66
R ² V	0.47

En la mayoría de los casos cuando los datos se agruparon por error horizontal en general se observa más alto que cuando los datos fueron agrupados por error vertical de la gráfica Hp vs T.

4.4. Modelado, Aplicación y Parámetros de la Programación Genética para periodos posteriores.

En seguida se muestran las tablas y gráficas de todas las estaciones, exponiendo los resultados obtenidos mediante el modelado con base en los 35 años iniciales de la plataforma SEDEPECC y las cifras calculadas en los periodos posteriores, en donde se pueden observar parámetros bastante altos como el R^2 , el cual determina que existe un mayor acoplamiento entre lo calculado y lo simulado por la plataforma

➤ **Estación San Joaquín, Clave: 24172.**

Tabla 13.1.1. Ecuaciones de Intensidad de Precipitación (mm/día), obtenidas de acuerdo al mes de ajuste.

Estación San Joaquín, Sinaloa, Clave: 25172	
Ecuación Enero	$Hp= 0.94$
Ecuación Febrero	$Hp= -0.004T^2-0.01T+2.03$
Ecuación Marzo	$Hp= 0.801-0.000029T^4$
Ecuación Abril	$Hp= 0.0802$
Ecuación Mayo	$Hp= 0.0005T^2+0.0003T-0.223$
Ecuación Junio	$Hp= 4.789-0.097T$
Ecuación Julio	$Hp= 8.321$
Ecuación Agosto	$Hp= -0.0006T^3+0.0084T^2+0.499T-0.089$
Ecuación Septiembre	$Hp= 0.0076T^2-0.0329T$
Ecuación Octubre	$Hp= 4.667-0.11T$
Ecuación Noviembre	$Hp= 0.635$
Ecuación Diciembre	$Hp= -0.000017T^4+0.00019T^3+0.00011T^2+0.000016T$

Se enfatizan con un color rojo, las funciones con valor constante.

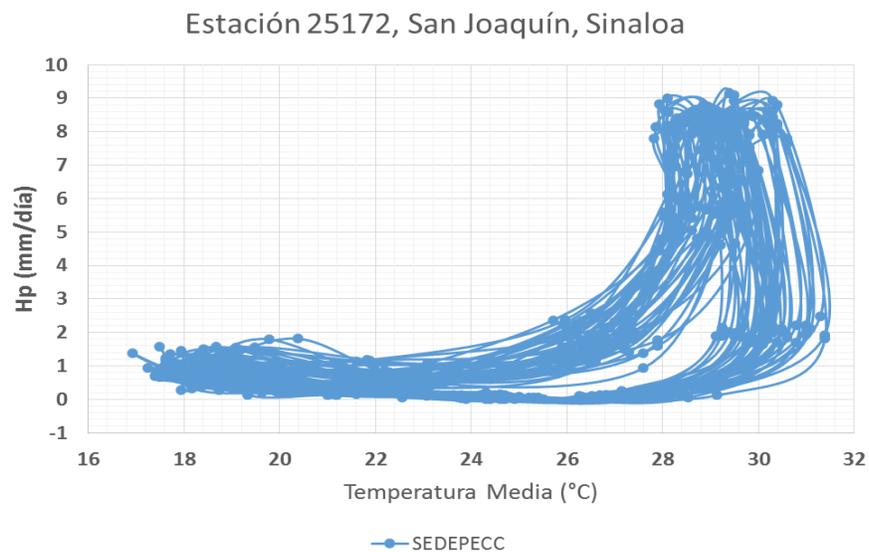


Figura 23.1. Cifras de la plataforma SEDEPECC, correspondientes a un escenario A1B, con un periodo comprendido entre Enero 2010 y Enero 2045.

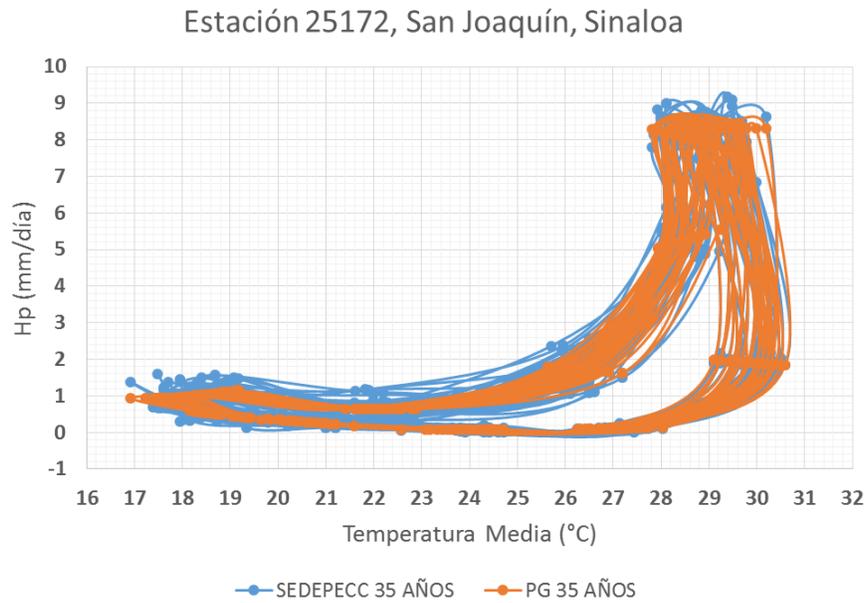


Figura 24.1. Intensidad de Precipitación contra Temperatura, se sobreponen la gráfica de ajuste obtenida con la PG y la gráfica de los registros del SEDEPECC para un periodo de 35 años.

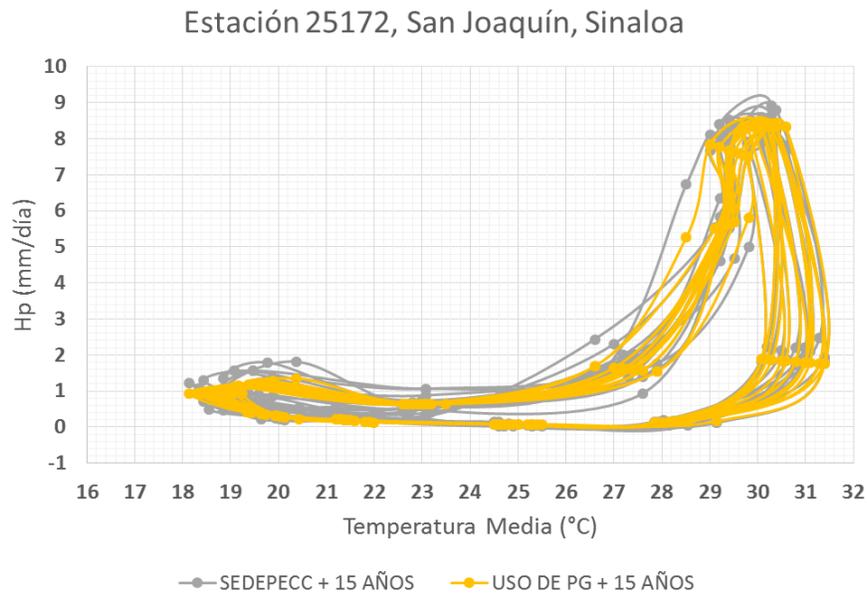


Figura 25.1. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Enero 2060 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

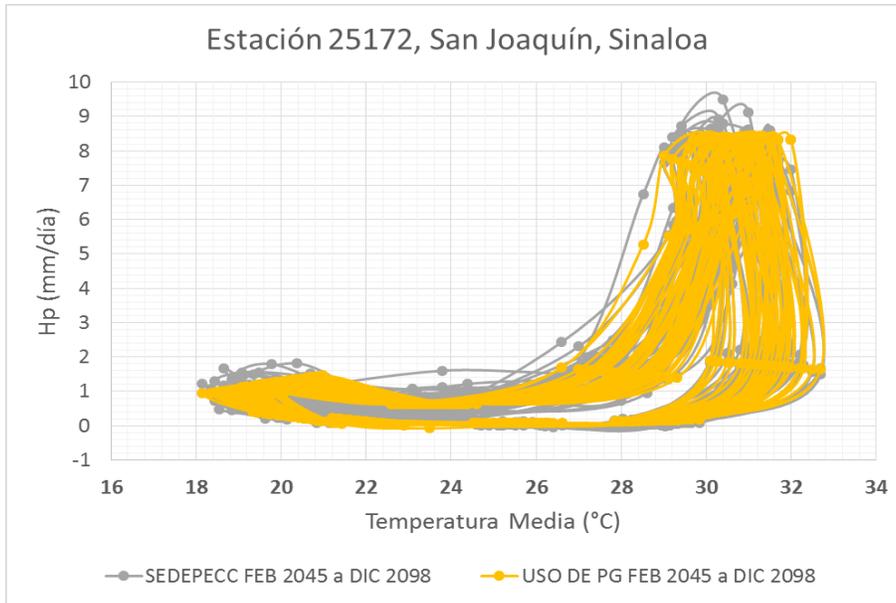


Figura 26.1. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Dic 2098 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

Tabla 13.1.2. Parámetros calculados para distintos periodos subsecuentes.

Estación San Joaquín, Sinaloa, Clave: 25172	
Error Medio Cuadrático 35 años iniciales	0.08
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.09
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.15
Varianza 35 años iniciales	8.51
Varianza 35 años PG	0.08
R ² 35 años PG	0.99
Varianza Feb 2045 a Ene 2060	8.68
Varianza Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.11
R ² Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.99
Varianza Feb 2045 a Dic 2098	7.92
Varianza Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.21
R ² Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.97

➤ **Estación Coyotillos, Clave: 22043.**

Tabla 13.1.3. Ecuaciones de Intensidad de Precipitación (mm/día), obtenidas de acuerdo al mes de ajuste.

Estación Coyotillos, Querétaro, Clave: 22043	
Ecuación Enero	$Hp = 0.706 - 0.02998T$
Ecuación Febrero	$Hp = -0.0001T^3 + 0.002T^2 - 0.085T + 1.16$
Ecuación Marzo	$Hp = 1.197 - 0.0001T^3$
Ecuación Abril	$Hp = -0.003T^2 - 0.0006T + 1.8$
Ecuación Mayo	$Hp = 7.3 - 0.26T$
Ecuación Junio	$Hp = -0.03T^2 + 0.82T - 0.053$
Ecuación Julio	$Hp = -0.039(T - 24.04)(T - 1.99)$
Ecuación Agosto	$Hp = 6.155 - 0.155T$
Ecuación Septiembre	$Hp = 7.05 - 0.19T$
Ecuación Octubre	$Hp = 0.074T + 0.159$
Ecuación Noviembre	$Hp = 0.00002T^3 - 0.002T^2 + 0.798$
Ecuación Diciembre	$Hp = 0.8229 - 0.0449T$

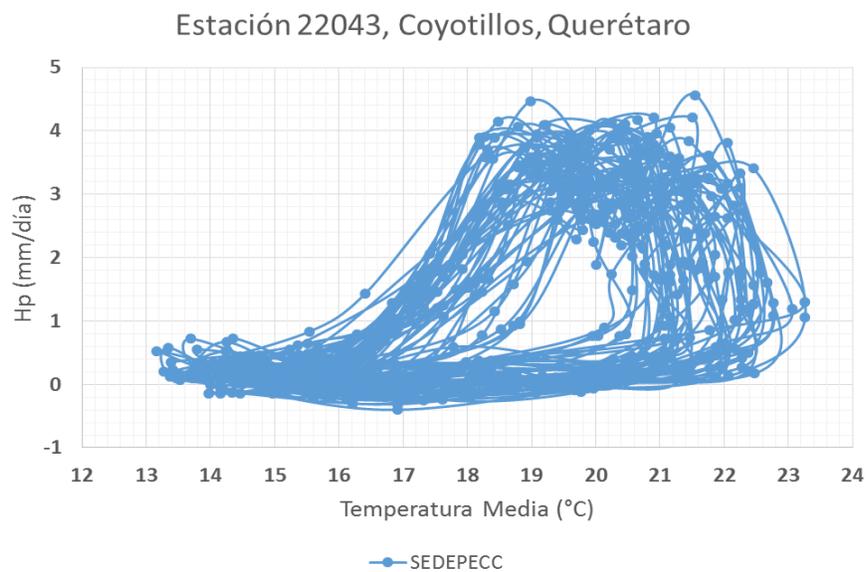


Figura 23.2. Cifras de la plataforma SEDEPECC, correspondientes a un escenario A1B, con un periodo comprendido entre Enero 2010 y Enero 2045.

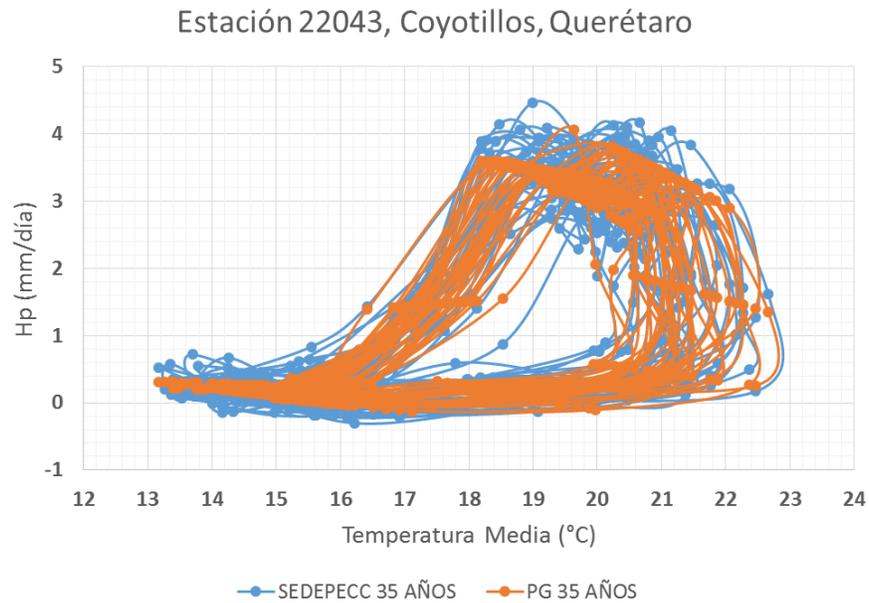


Figura 24.2. Intensidad de Precipitación contra Temperatura, se sobreponen la gráfica de ajuste obtenida con la PG y la gráfica de los registros del SEDEPECC para un periodo de 35 años.

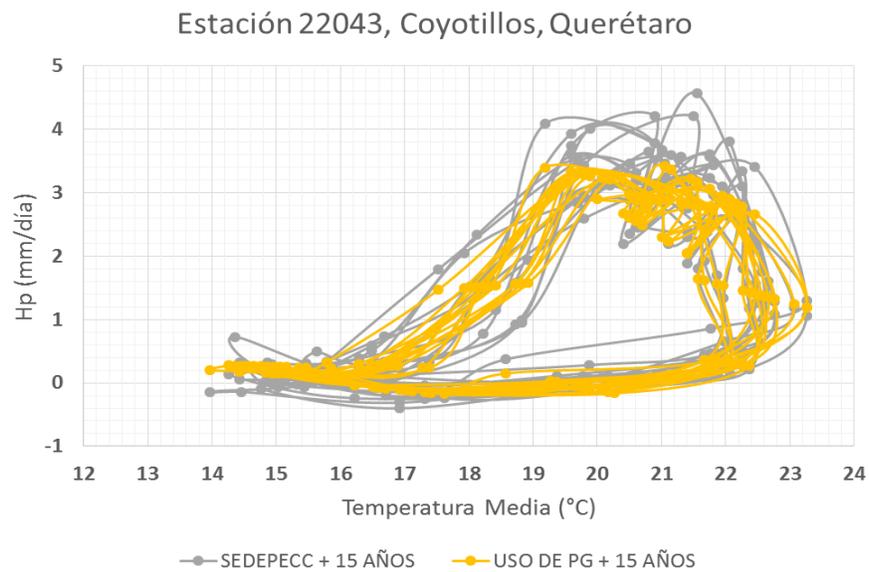


Figura 25.2. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Enero 2060 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

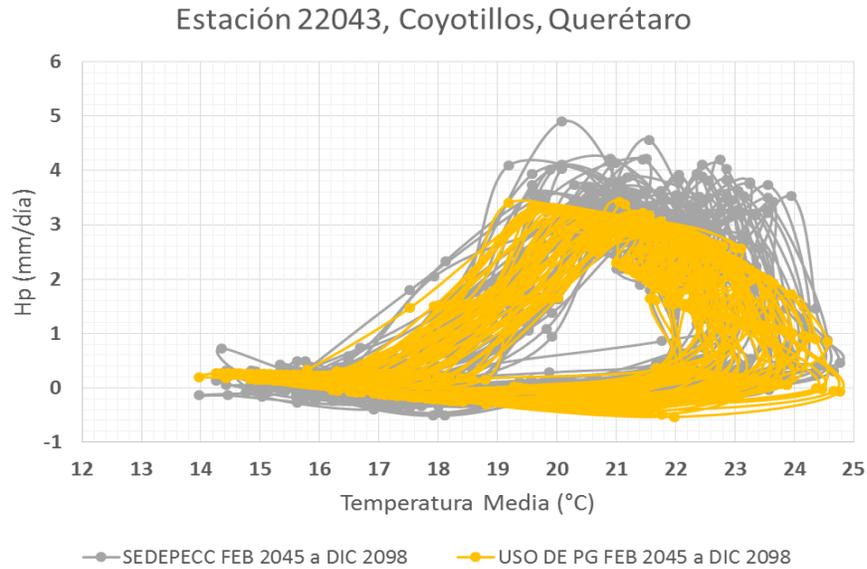


Figura 26.2. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Dic 2098 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

Tabla 13.1.4. Parámetros calculados para distintos periodos subsecuentes.

Estación Coyotillos, Querétaro, Clave: 22043	
Error Medio Cuadrático 35 años iniciales	<i>0.09</i>
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Ene 2060 PG	<i>0.10</i>
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Dic 2098 PG	<i>0.17</i>
Varianza 35 años iniciales	<i>1.98</i>
Varianza 35 años PG	<i>0.09</i>
R ² 35 años PG	<i>0.96</i>
Varianza Feb 2045 a Ene 2060	<i>1.99</i>
Varianza Feb 2045 a Ene 2060 PG	<i>0.13</i>
R ² Feb 2045 a Ene 2060 PG	<i>0.94</i>
Varianza Feb 2045 a Dic 2098	<i>1.91</i>
Varianza Feb 2045 a Dic 2098 PG	<i>0.23</i>
R ² Feb 2045 a Dic 2098 PG	<i>0.88</i>

➤ **Estación Cuauhtémoc, Clave: 7343.**

Tabla 13.1.5. Ecuaciones de Intensidad de Precipitación (mm/día), obtenidas de acuerdo al mes de ajuste.

Estación Cuauhtémoc, Chiapas, Clave: 7343	
Ecuación Enero	$H_p = 3.840 - 0.104T$
Ecuación Febrero	$H_p = 3.24 - 0.075T$
Ecuación Marzo	$H_p = 2.71 - 0.0578T$
Ecuación Abril	$H_p = 4.858 - 0.129T$
Ecuación Mayo	$H_p = 5.207 - 0.067T$
Ecuación Junio	$H_p = 12.378 - 0.217T$
Ecuación Julio	$H_p = -0.029T^2 + 0.917T + 1.09$
Ecuación Agosto	$H_p = -0.03T^2 + 1.05T - 0.021$
Ecuación Septiembre	$H_p = 9.025$
Ecuación Octubre	$H_p = 0.115T + 3.53$
Ecuación Noviembre	$H_p = -0.0099T^2 + 0.358T + 0.087$
Ecuación Diciembre	$H_p = -0.01T^2 + 0.32T - 0.214$

Se enfatizan con un color rojo, las funciones con valor constante.

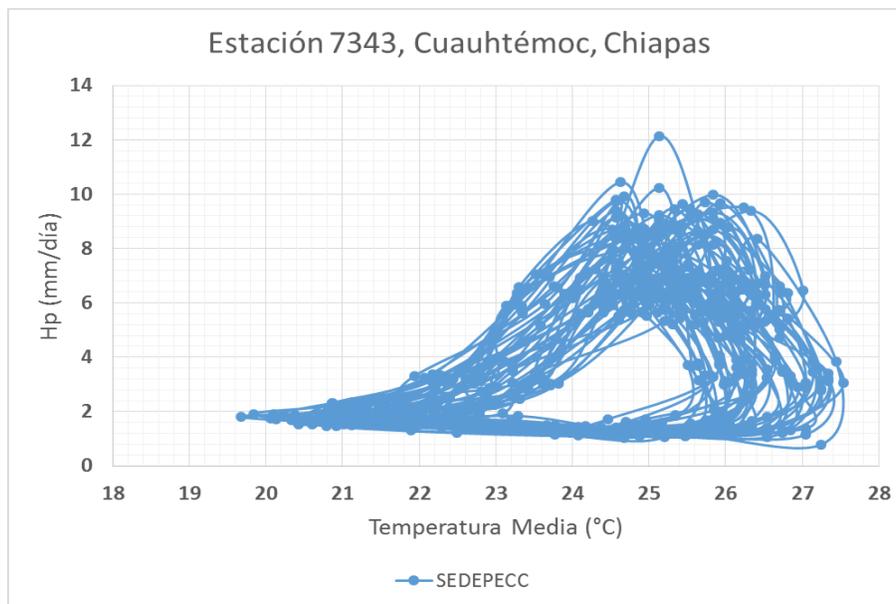


Figura 23.3. Cifras de la plataforma SEDEPECC, correspondientes a un escenario A1B, con un periodo comprendido entre Enero 2010 y Enero 2045.

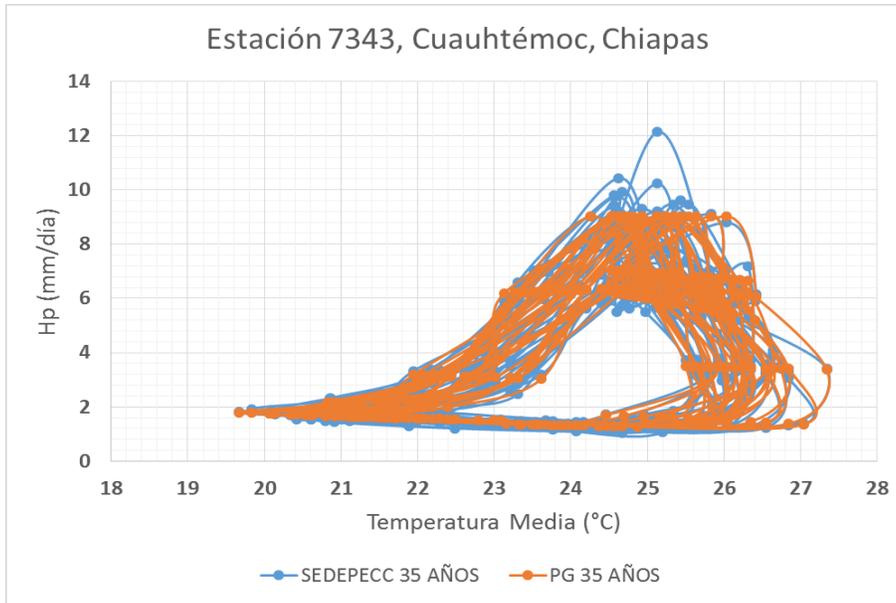


Figura 24.3. Intensidad de Precipitación contra Temperatura, se sobreponen la gráfica de ajuste obtenida con la PG y la gráfica de los registros del SEDEPECC para un periodo de 35 años.

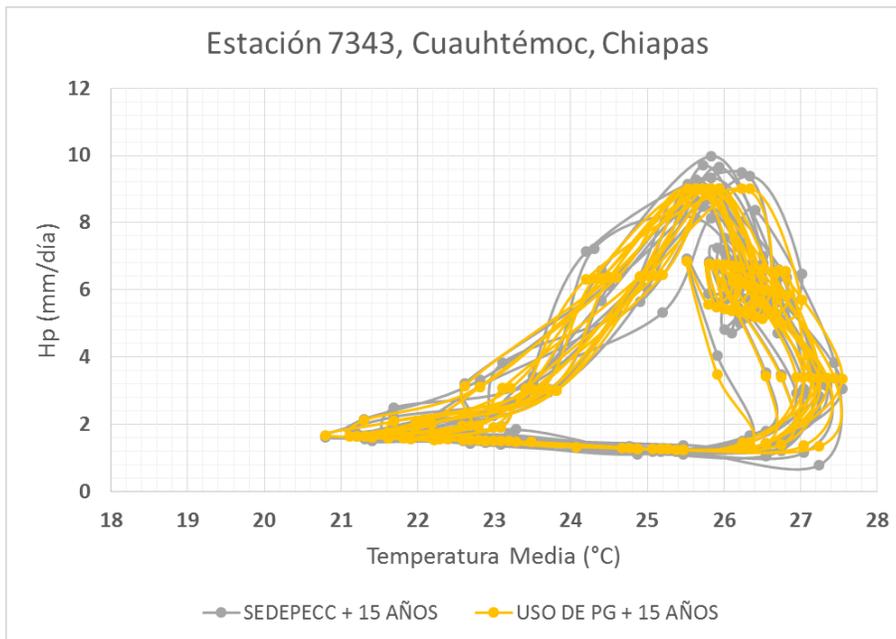


Figura 25.3. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Enero 2060 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

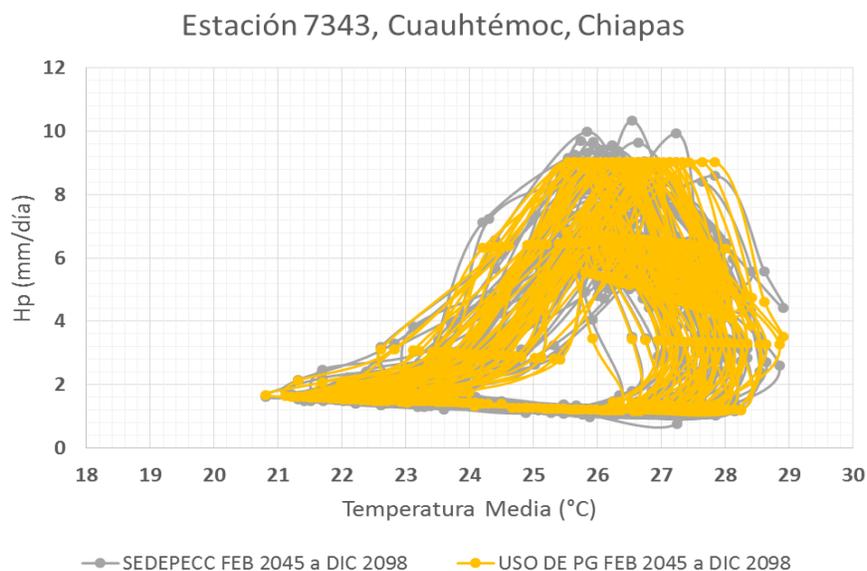


Figura 26.3. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Dic 2098 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

Tabla 13.1.6. Parámetros calculados para distintos periodos subsecuentes.

Estación Cuauhtémoc, Chiapas, Clave: 7343	
Error Medio Cuadrático 35 años iniciales	0.17
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.17
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.20
Varianza 35 años iniciales	6.71
Varianza 35 años PG	0.17
R² 35 años PG	0.97
Varianza Feb 2045 a Ene 2060	6.52
Varianza Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.16
R² Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.98
Varianza Feb 2045 a Dic 2098	5.67
Varianza Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.24
R² Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.96

➤ **Estación Colonia Morelos, Clave: 26022.**

Tabla 13.1.7. Ecuaciones de Intensidad de Precipitación (mm/día), obtenidas de acuerdo al mes de ajuste.

Estación Colonia Morelos, Sonora, Clave: 26022	
Ecuación Enero	$Hp = 0.00014T^3 - 0.025T + 0.62$
Ecuación Febrero	$Hp = -0.0044T^2 - 0.0022T + 0.81$
Ecuación Marzo	$Hp = -0.00036T^3 - 0.00016T^2 + 0.986$
Ecuación Abril	$Hp = 0.0396$
Ecuación Mayo	$Hp = 0.00004T^3 - 0.0009T^2 + 0.0023T$
Ecuación Junio	$Hp = 0.995 - 0.0239T$
Ecuación Julio	$Hp = 0.436T - 0.0125T^2$
Ecuación Agosto	$Hp = 0.0599T + 0.785$
Ecuación Septiembre	$Hp = 5.892 - 0.193T$
Ecuación Octubre	$Hp = 0.712$
Ecuación Noviembre	$Hp = 0.41$
Ecuación Diciembre	$Hp = 0.612$

Se enfatizan con un color rojo, las funciones con valor constante.

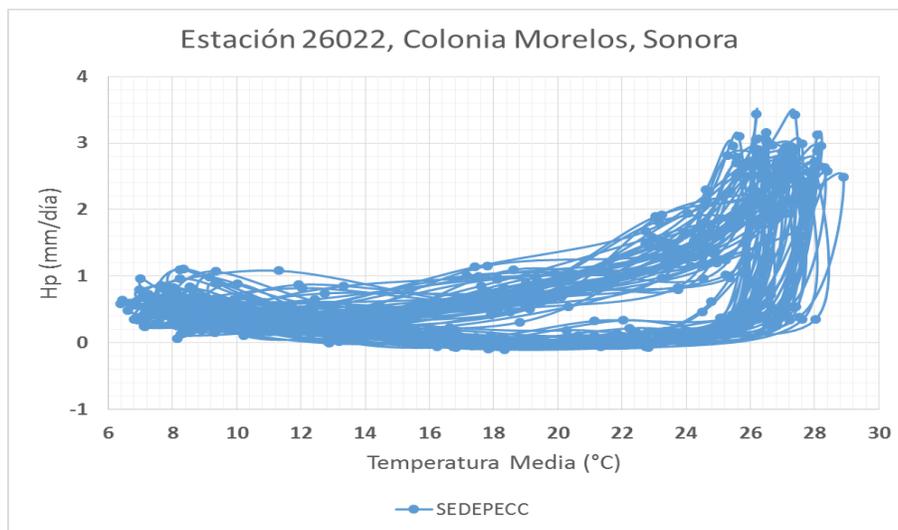


Figura 23.4. Cifras de la plataforma SEDEPECC, correspondientes a un escenario A1B, con un periodo comprendido entre Enero 2010 y Enero 2045.

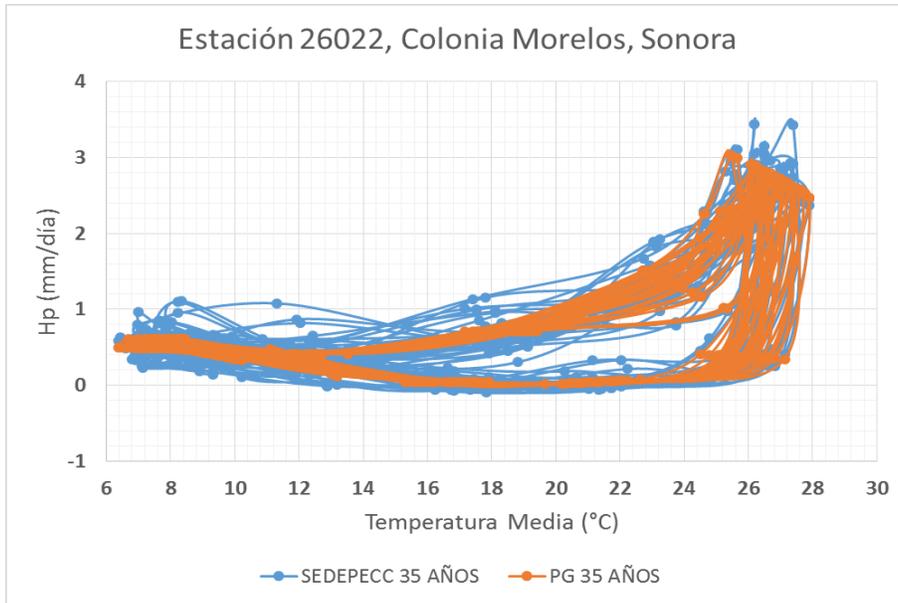


Figura 24.4. Intensidad de Precipitación contra Temperatura, se sobreponen la gráfica de ajuste obtenida con la PG y la gráfica de los registros del SEDEPECC para un periodo de 35 años.

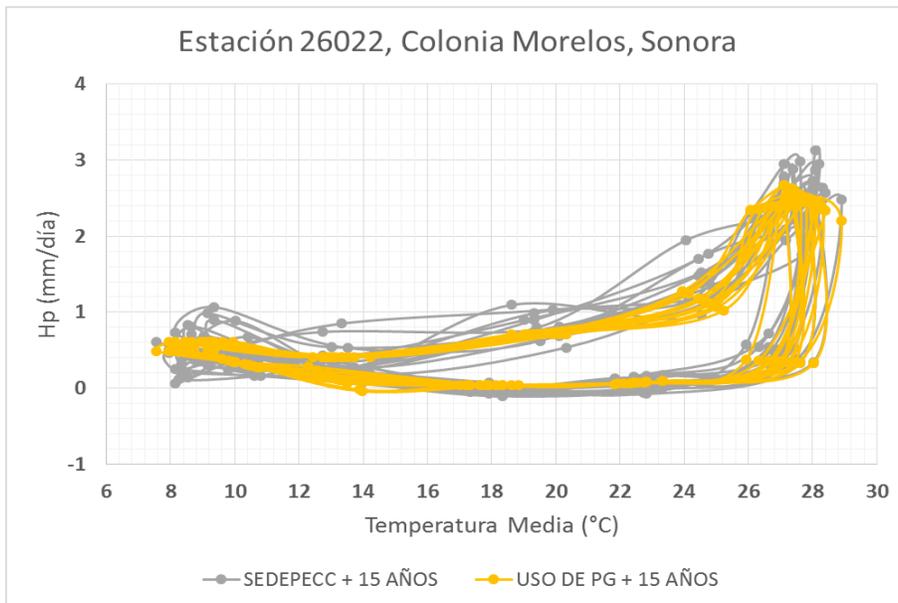


Figura 25.4. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Enero 2060 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

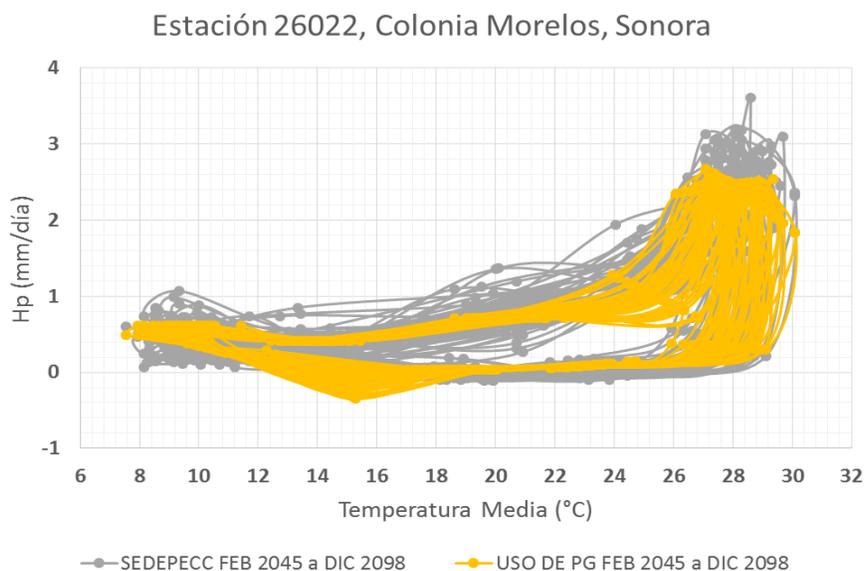


Figura 26.4. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Dic 2098 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

Tabla 13.1.8. Parámetros calculados para distintos periodos subsecuentes.

Estación Colonia Morelos, Sonora, Clave: 26022	
Error Medio Cuadrático 35 años iniciales	0.04
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.04
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.06
Varianza 35 años iniciales	0.73
Varianza 35 años PG	0.04
R ² 35 años PG	0.95
Varianza Feb 2045 a Ene 2060	0.73
Varianza Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.05
R ² Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.94
Varianza Feb 2045 a Dic 2098	0.80
Varianza Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.08
R ² Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.90

➤ **Estación Santa Elena, Clave: 31027.**

Tabla 13.1.9. Ecuaciones de Intensidad de Precipitación (mm/día), obtenidas de acuerdo al mes de ajuste.

Estación Santa Elena, Yucatán, Clave: 31027	
Ecuación Enero	$Hp= 0.8228$
Ecuación Febrero	$Hp= 0.7659$
Ecuación Marzo	$Hp= 0.9052$
Ecuación Abril	$Hp= 1.0894$
Ecuación Mayo	$Hp= 2.82-0.006T$
Ecuación Junio	$Hp= -0.02T^2+0.77T-0.52$
Ecuación Julio	$Hp= 12.32-0.27T$
Ecuación Agosto	$Hp= 4.32$
Ecuación Septiembre	$Hp= 23.49-0.61T$
Ecuación Octubre	$Hp= 5.34-0.053T$
Ecuación Noviembre	$Hp= 1.446$
Ecuación Diciembre	$Hp= 2.499-0.044T$

Se enfatizan con un color rojo, las funciones con valor constante.

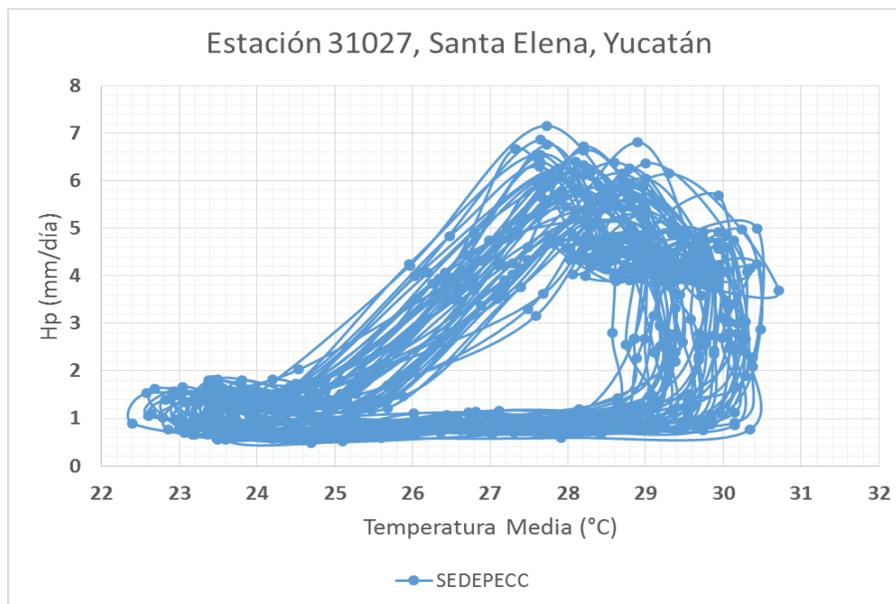


Figura 23.5. Cifras de la plataforma SEDEPECC, correspondientes a un escenario A1B, con un periodo comprendido entre Enero 2010 y Enero 2045.

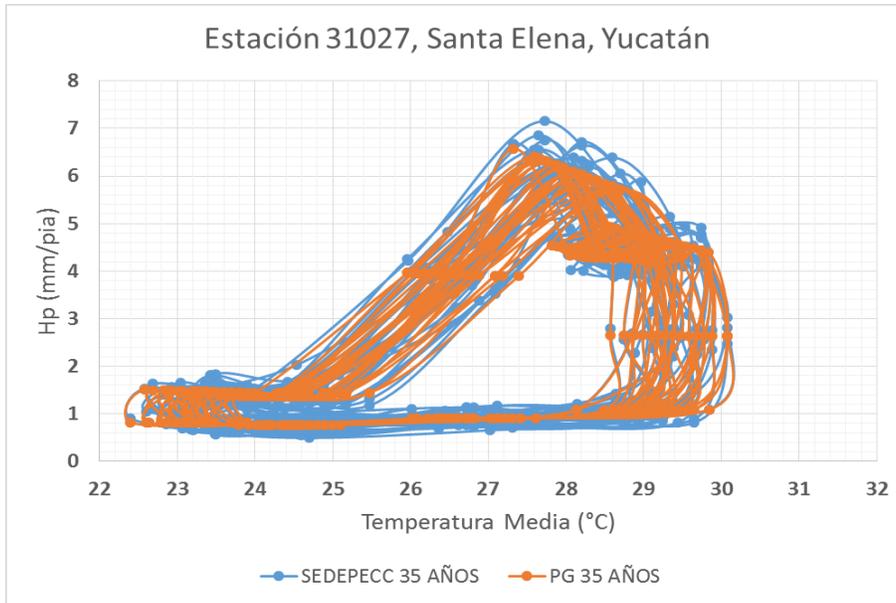


Figura 24.5. Intensidad de Precipitación contra Temperatura, se sobreponen la gráfica de ajuste obtenida con la PG y la gráfica de los registros del SEDEPECC para un periodo de 35 años.

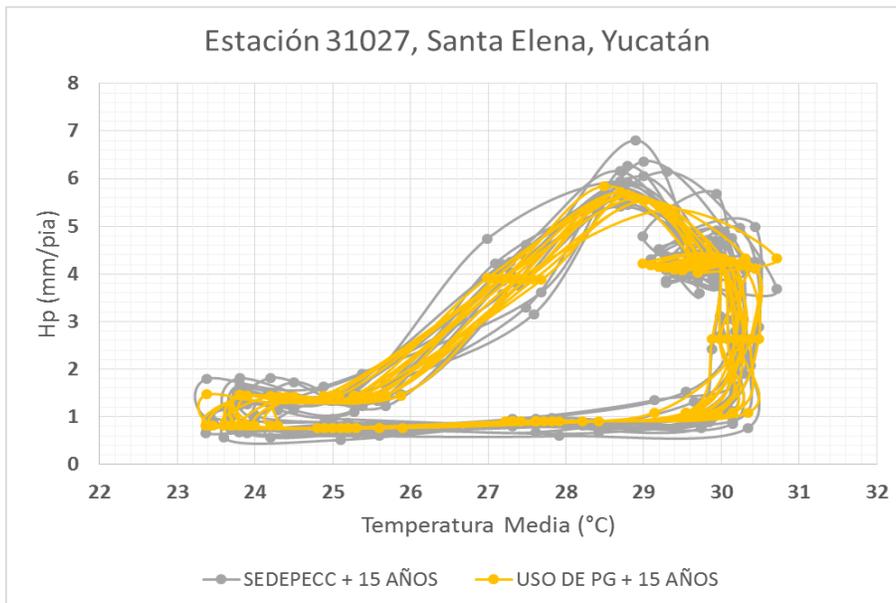


Figura 25.5. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Enero 2060 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

Estación 31027, Santa Elena, Yucatán

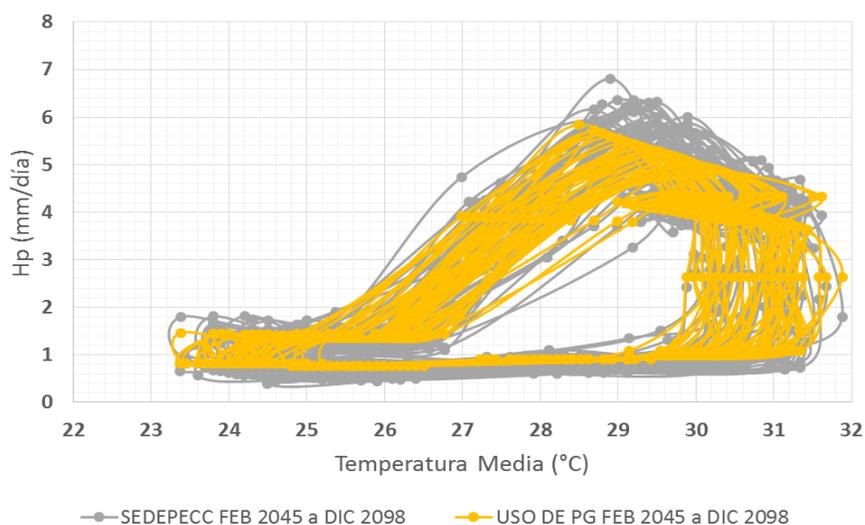


Figura 26.5. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Dic 2098 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

Tabla 13.1.10. Parámetros calculados para distintos periodos subsecuentes.

Estación Santa Elena, Yucatán, Clave: 31027	
Error Medio Cuadrático 35 años iniciales	0.07
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.08
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.10
Varianza 35 años iniciales	3.30
Varianza 35 años PG	0.07
R ² 35 años PG	0.98
Varianza Feb 2045 a Ene 2060	3.13
Varianza Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.11
R ² Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.96
Varianza Feb 2045 a Dic 2098	2.94
Varianza Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.12
R ² Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.96

➤ **Estación Chicontepec de Tejada, Clave: 30041.**

Tabla 13.1.11. Ecuaciones de Intensidad de Precipitación (mm/día), obtenidas de acuerdo al mes de ajuste.

Estación Chicontepec de Tejada (SMN), Veracruz, Clave: 30041	
Ecuación Enero	$Hp = -0.003T^2 + 0.065T + 1.173$
Ecuación Febrero	$Hp = 1.495$
Ecuación Marzo	$Hp = 1.125$
Ecuación Abril	$Hp = 5.108 - 0.118T$
Ecuación Mayo	$Hp = -0.007T^2 + 0.255T + 0.79$
Ecuación Junio	$Hp = -0.0169T^2 + 0.665T + 2.168$
Ecuación Julio	$Hp = 11.21 - 0.18T$
Ecuación Agosto	$Hp = 5.25$
Ecuación Septiembre	$Hp = -0.02T^2 + 0.9997T + 0.799$
Ecuación Octubre	$Hp = 0.224T + 0.04$
Ecuación Noviembre	$Hp = 8.41 - 0.25T$
Ecuación Diciembre	$Hp = 0.12T - 0.73$

Se enfatizan con un color rojo, las funciones con valor constante.

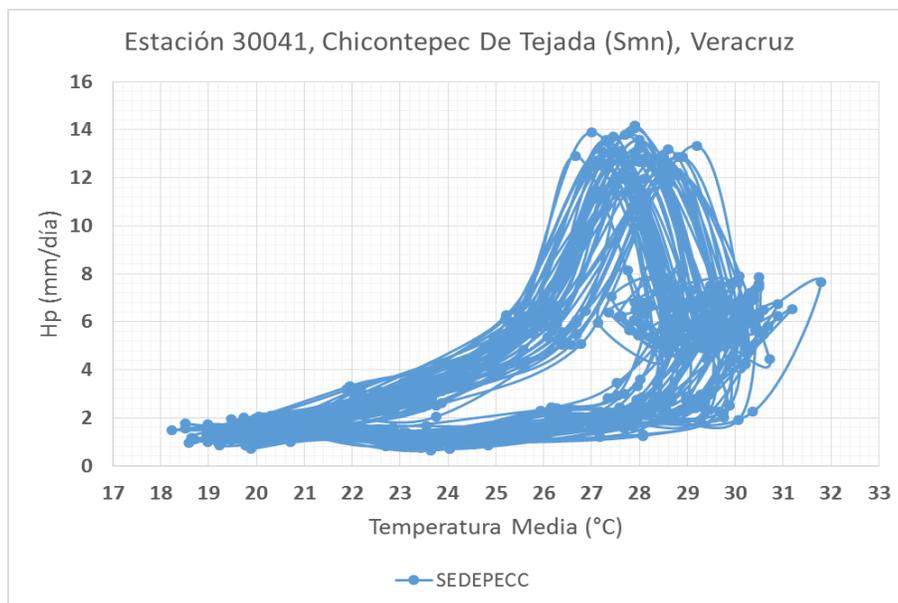


Figura 23.6. Cifras de la plataforma SEDEPECC, correspondientes a un escenario A1B, con un periodo comprendido entre Enero 2010 y Enero 2045.

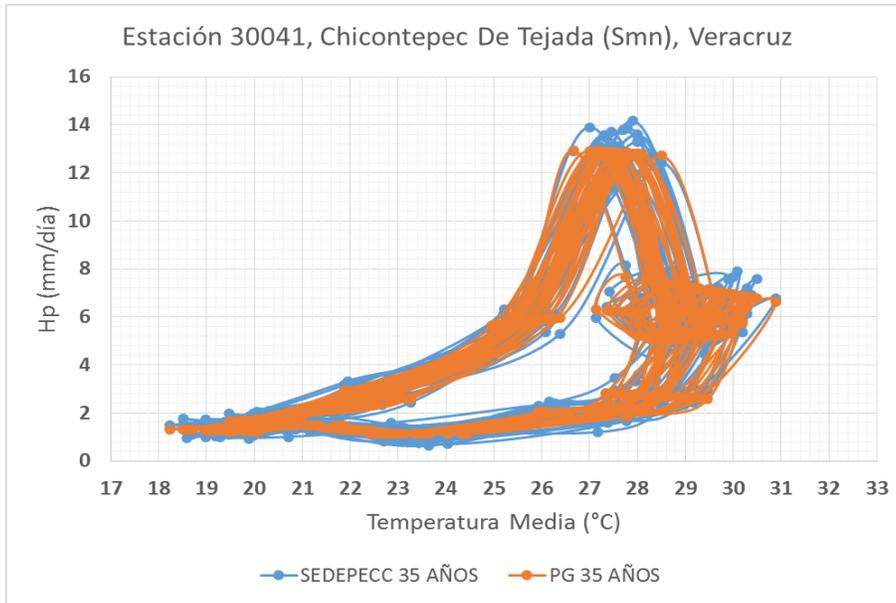


Figura 24.6. Intensidad de Precipitación contra Temperatura, se sobreponen la gráfica de ajuste obtenida con la PG y la gráfica de los registros del SEDEPECC para un periodo de 35 años.

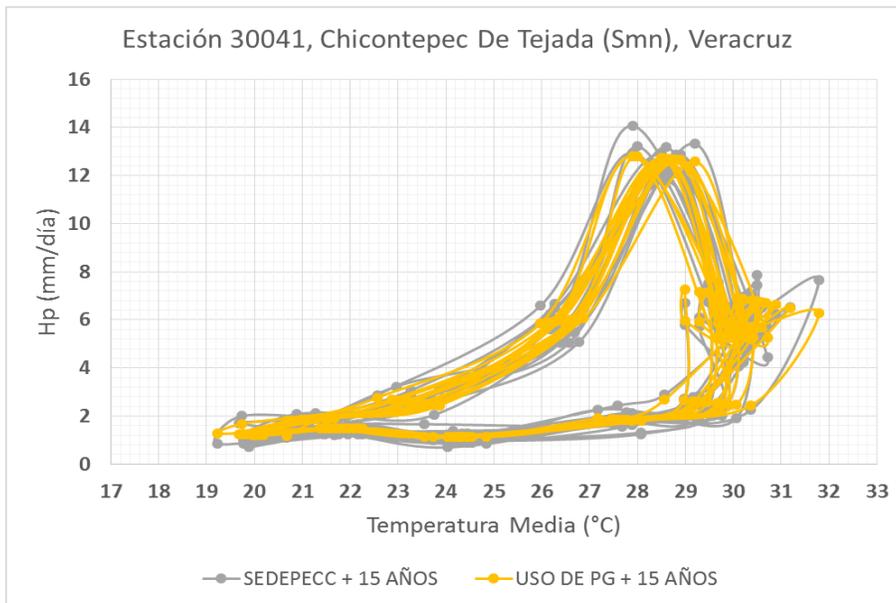


Figura 25.6. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Enero 2060 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

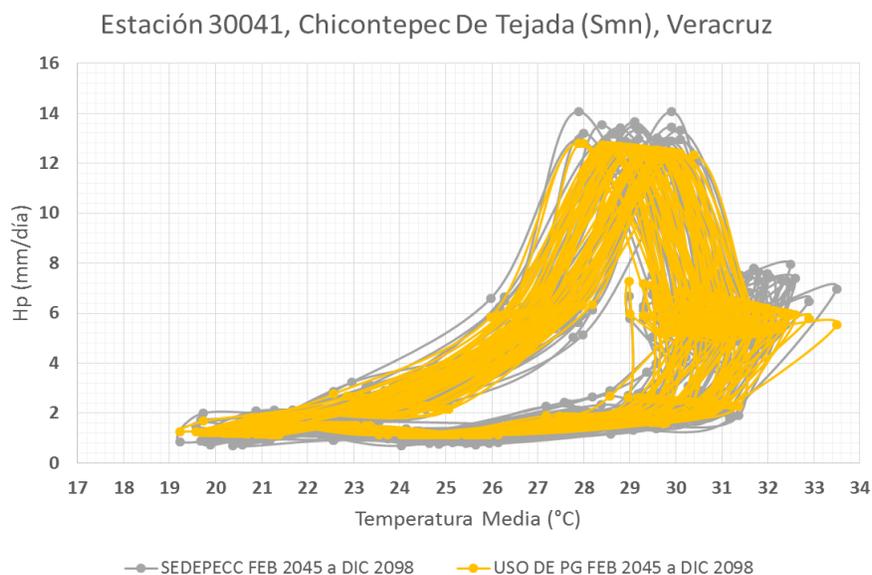


Figura 26.6. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Dic 2098 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

Tabla 13.1.12. Parámetros calculados para distintos periodos subsecuentes.

Estación Chicontepec de Tejada (SMN), Veracruz, Clave: 30041	
Error Medio Cuadrático 35 años iniciales	0.15
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.16
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.19
Varianza 35 años iniciales	11.05
Varianza 35 años PG	0.15
R ² 35 años PG	0.99
Varianza Feb 2045 a Ene 2060	11.06
Varianza Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.18
R ² Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.98
Varianza Feb 2045 a Dic 2098	10.98
Varianza Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.23
R ² Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.98

➤ **Estación Acahuato, Clave: 16228.**

Tabla 13.1.13. Ecuaciones de Intensidad de Precipitación (mm/día), obtenidas de acuerdo al mes de ajuste.

Estación Acahuato, Michoacán, Clave: 16228	
Ecuación Enero	$Hp = -0.00014T^3 - 0.00035T^2 + 1.28$
Ecuación Febrero	$Hp = 1.09 - 0.002T^2$
Ecuación Marzo	$Hp = 2.72 - 0.12T$
Ecuación Abril	$Hp = -0.00001T^4 + 0.0003T^3 - 0.001T^2$
Ecuación Mayo	$Hp = 0.92$
Ecuación Junio	$Hp = -0.036T^2 + 1.08T + 1.314$
Ecuación Julio	$Hp = -0.039T^2 + 1.235T + 0.73$
Ecuación Agosto	$Hp = 9.71 - 0.05T$
Ecuación Septiembre	$Hp = 0.26T + 3.56$
Ecuación Octubre	$Hp = 0.37T - 4.31$
Ecuación Noviembre	$Hp = 0.78$
Ecuación Diciembre	$Hp = 2.22 - 0.102T$

Se enfatizan con un color rojo, las funciones con valor constante.

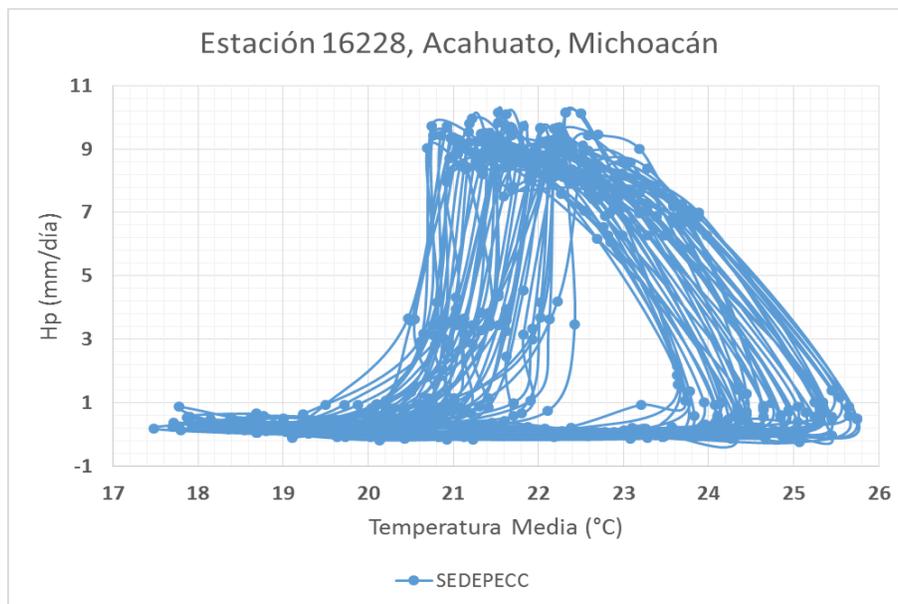


Figura 23.7. Cifras de la plataforma SEDEPECC, correspondientes a un escenario A1B, con un periodo comprendido entre Enero 2010 y Enero 2045.

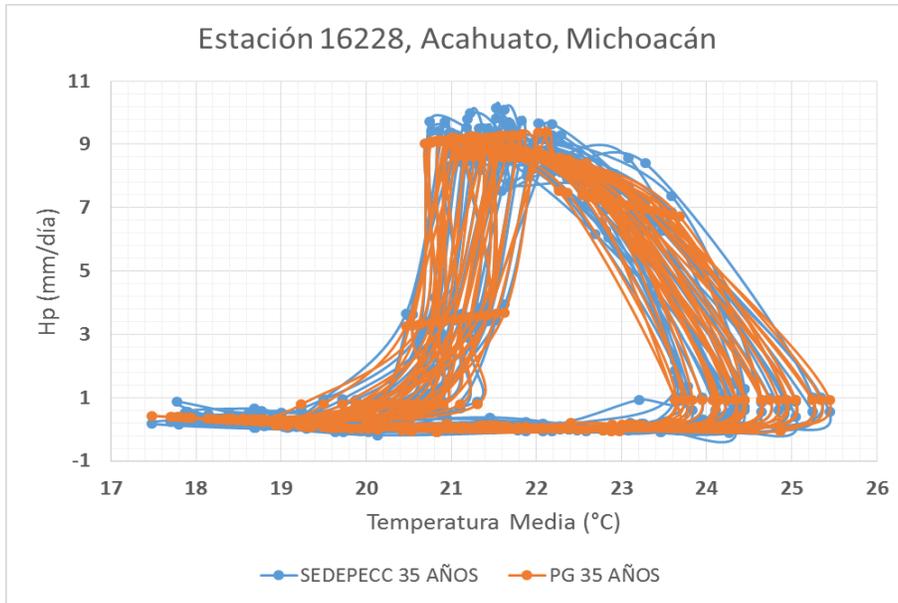


Figura 24.7. Intensidad de Precipitación contra Temperatura, se sobreponen la gráfica de ajuste obtenida con la PG y la gráfica de los registros del SEDEPECC para un periodo de 35 años.

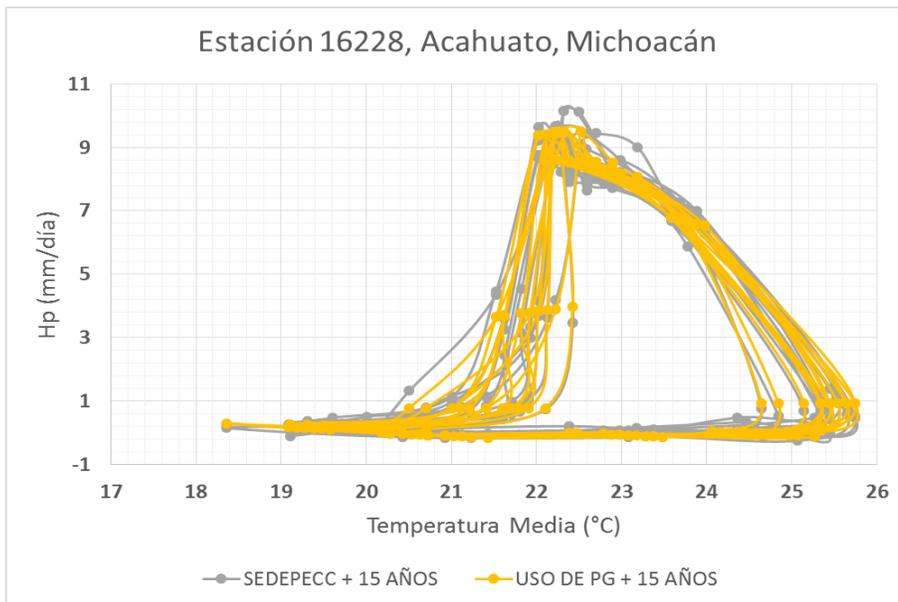


Figura 25.7. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Enero 2060 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

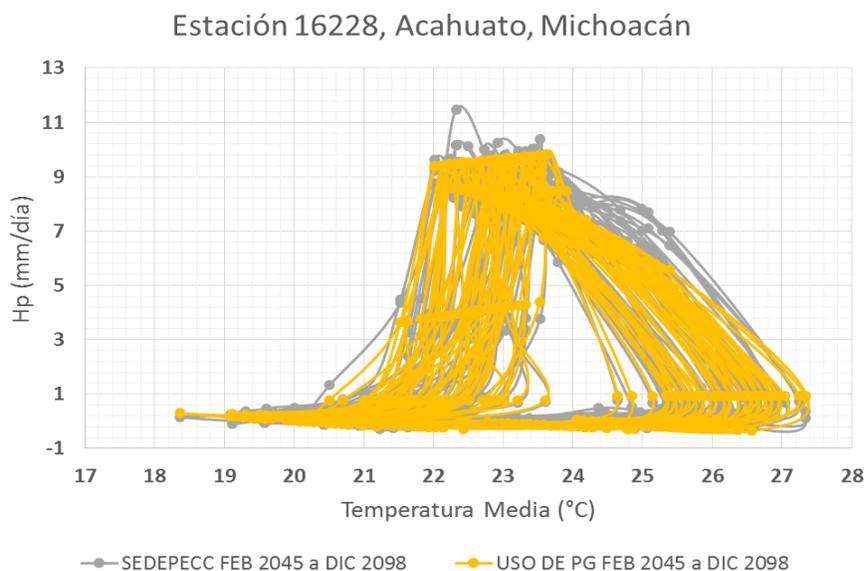


Figura 26.7. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Dic 2098 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

Tabla 13.1.14. Parámetros calculados para distintos periodos subsecuentes.

Estación Acahuato, Michoacán, Clave: 16228	
Error Medio Cuadrático 35 años iniciales	0.12
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.13
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.17
Varianza 35 años iniciales	14.26
Varianza 35 años PG	0.12
R ² 35 años PG	0.99
Varianza Feb 2045 a Ene 2060	14.08
Varianza Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.14
R ² Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.99
Varianza Feb 2045 a Dic 2098	14.14
Varianza Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.21
R ² Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.99

➤ **Estación Acapulco de Juárez, Clave: 12142.**

Tabla 13.1.15. Ecuaciones de Intensidad de Precipitación (mm/día), obtenidas de acuerdo al mes de ajuste.

Estación Acapulco de Juárez (SMN), Guerrero, Clave: 12142	
Ecuación Enero	$H_p = 1.008 - 0.038T$
Ecuación Febrero	$H_p = 1.05 - 0.046T$
Ecuación Marzo	$H_p = 1.43 - 0.06T$
Ecuación Abril	$H_p = 0.994 - 0.001T^2$
Ecuación Mayo	$H_p = 1.32$
Ecuación Junio	$H_p = -0.029T^2 + 1.012T - 0.69$
Ecuación Julio	$H_p = 7.197$
Ecuación Agosto	$H_p = -0.017T^2 + 0.64T + 1.46$
Ecuación Septiembre	$H_p = -0.029T^2 + 1.12T - 0.0297$
Ecuación Octubre	$H_p = 0.00048T^3 - 0.0049T^2$
Ecuación Noviembre	$H_p = 0.043T - 0.00002T^3$
Ecuación Diciembre	$H_p = -0.00001T^3 + 0.0014T + 0.031$

Se enfatizan con un color rojo, las funciones con valor constante.

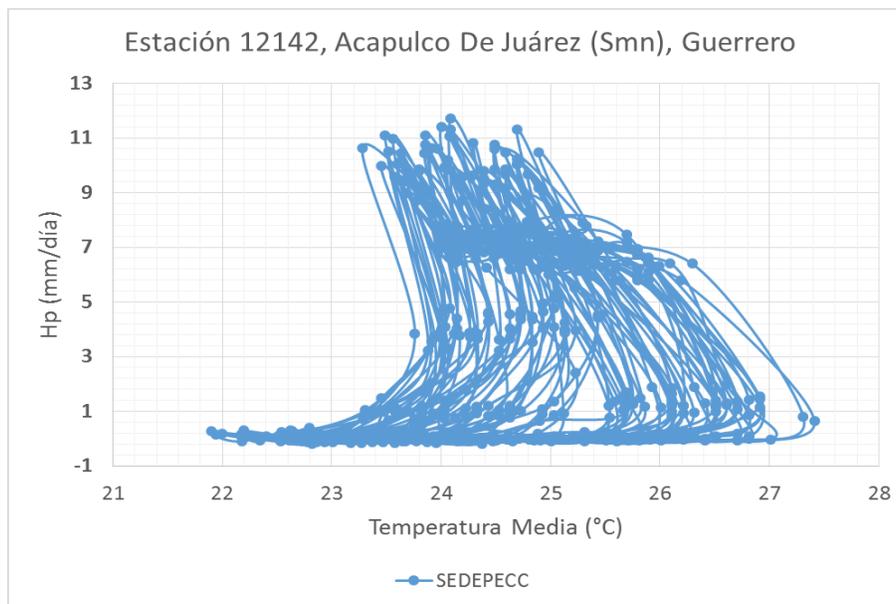


Figura 23.8. Cifras de la plataforma SEDEPECC, correspondientes a un escenario A1B, con un periodo comprendido entre Enero 2010 y Enero 2045.

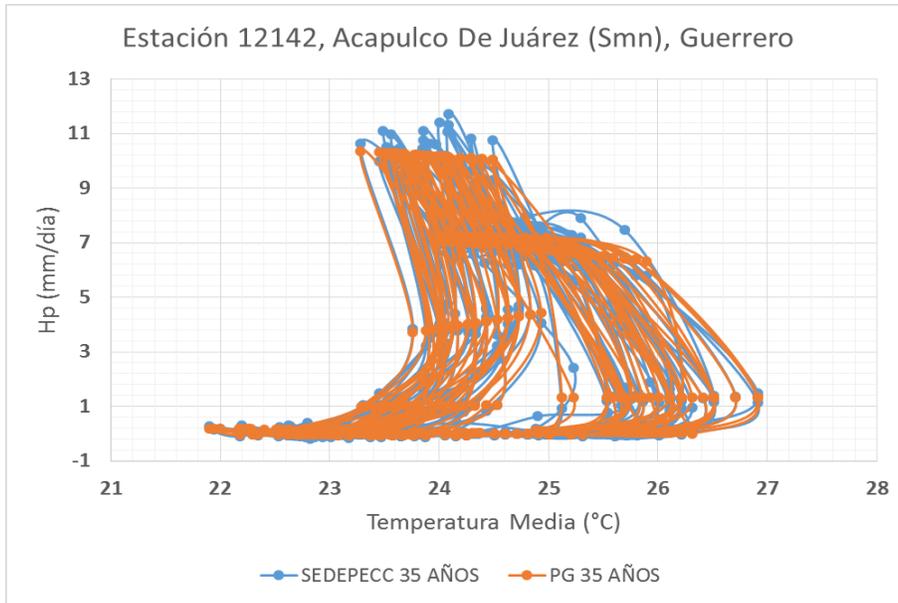


Figura 24.8. Intensidad de Precipitación contra Temperatura, se sobreponen la gráfica de ajuste obtenida con la PG y la gráfica de los registros del SEDEPECC para un periodo de 35 años.

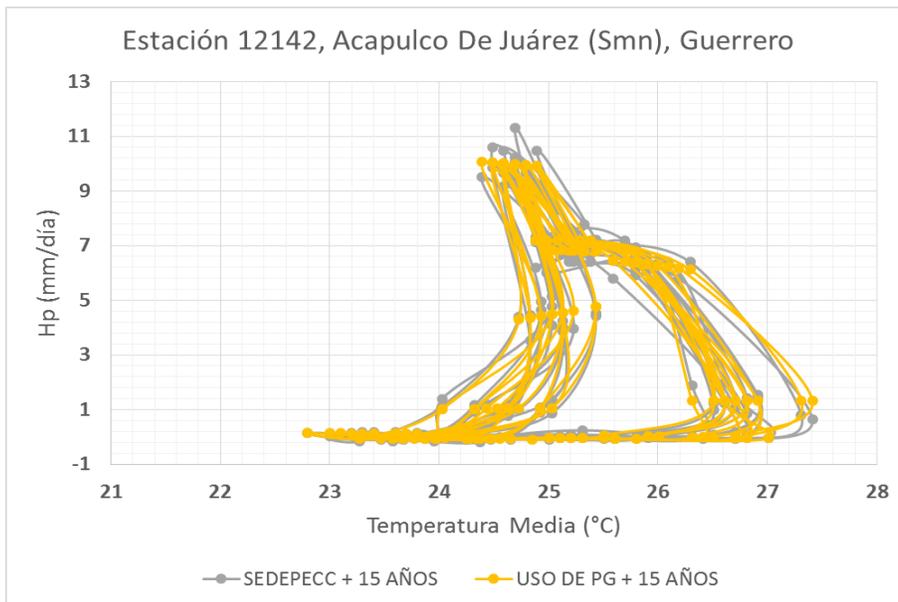


Figura 25.8. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Enero 2060 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

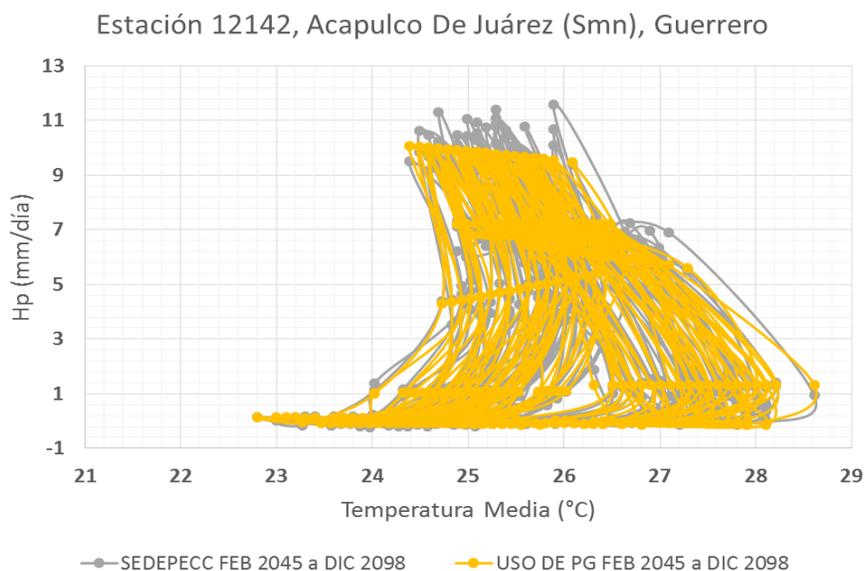


Figura 26.8. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Dic 2098 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

Tabla 13.1.16. Parámetros calculados para distintos periodos subsecuentes.

Estación Acapulco de Juárez (SMN), Guerrero, Clave: 12142	
Error Medio Cuadrático 35 años iniciales	0.13
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.13
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.18
Varianza 35 años iniciales	12.64
Varianza 35 años PG	0.13
R ² 35 años PG	0.99
Varianza Feb 2045 a Ene 2060	11.99
Varianza Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.12
R ² Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.99
Varianza Feb 2045 a Dic 2098	11.88
Varianza Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.25
R ² Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.98

➤ Estación Ojo de Agua, Clave: 3039.

Tabla 13.1.17. Ecuaciones de Intensidad de Precipitación (mm/día), obtenidas de acuerdo al mes de ajuste.

Estación Ojo de Agua, Baja California Sur, Clave: 3039	
Ecuación Enero	$H_p = 0.0096T + 0.159$
Ecuación Febrero	$H_p = 0.856 - 0.0459T$
Ecuación Marzo	$H_p = 0.0516$
Ecuación Abril	$H_p = 0.267 - 0.013T$
Ecuación Mayo	$H_p = 0.0175$
Ecuación Junio	$H_p = .000000003T^4 + 0.00001T^3$
Ecuación Julio	$H_p = 0.002T^2 - 0.03T - 0.0123$
Ecuación Agosto	$H_p = 1.57$
Ecuación Septiembre	$H_p = 1.33$
Ecuación Octubre	$H_p = 0.00009T^3 - 0.008T^2 + 0.129T + 0.667$
Ecuación Noviembre	$H_p = 0.746 - 0.0329T$
Ecuación Diciembre	$H_p = 0.3919$

Se enfatizan con un color rojo, las funciones con valor constante.

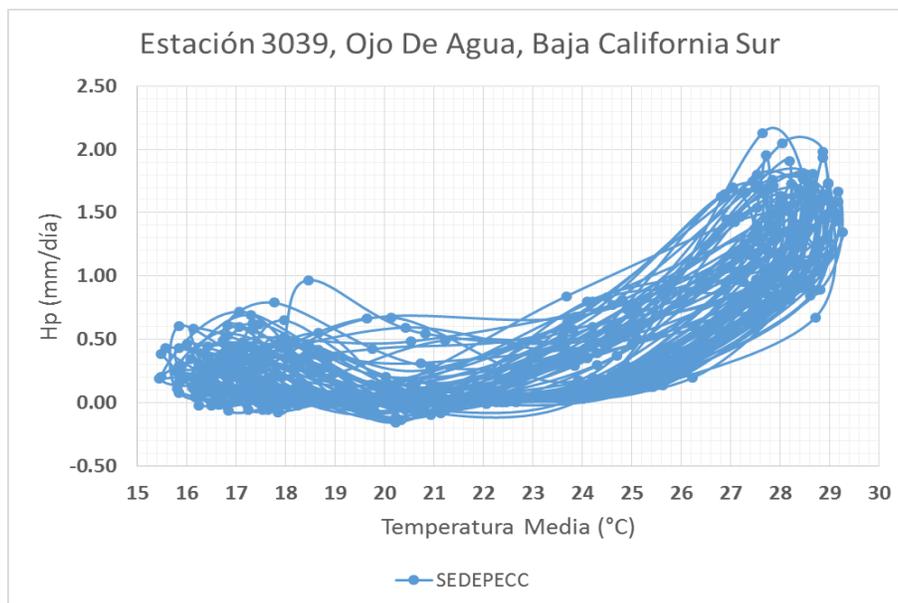


Figura 23.9. Cifras de la plataforma SEDEPECC, correspondientes a un escenario A1B, con un periodo comprendido entre Enero 2010 y Enero 2045.

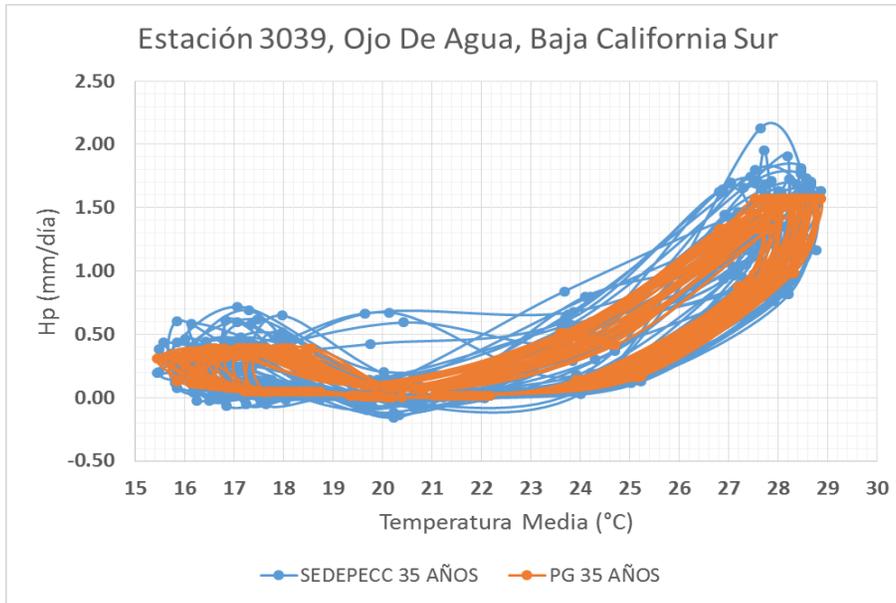


Figura 24.9. Intensidad de Precipitación contra Temperatura, se sobreponen la gráfica de ajuste obtenida con la PG y la gráfica de los registros del SEDEPECC para un periodo de 35 años.

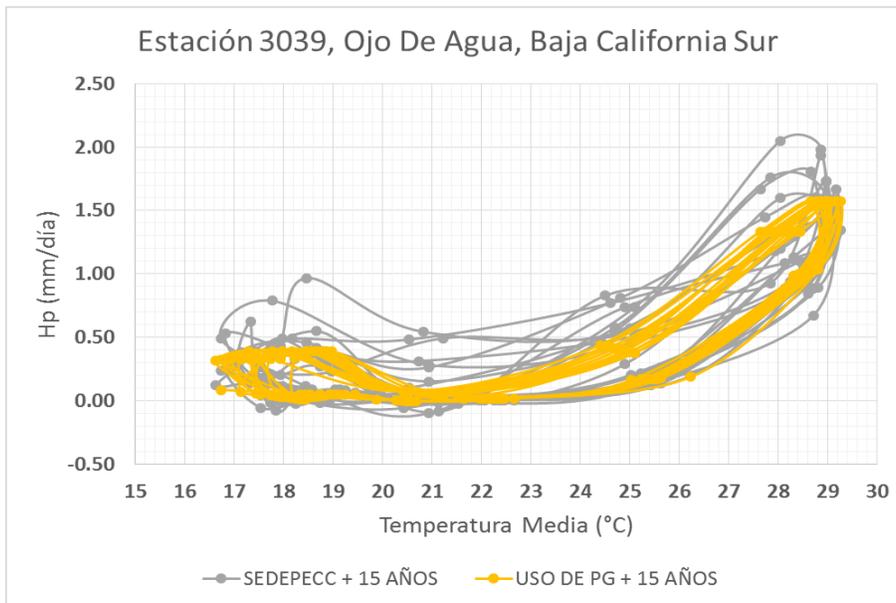


Figura 25.9. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Enero 2060 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

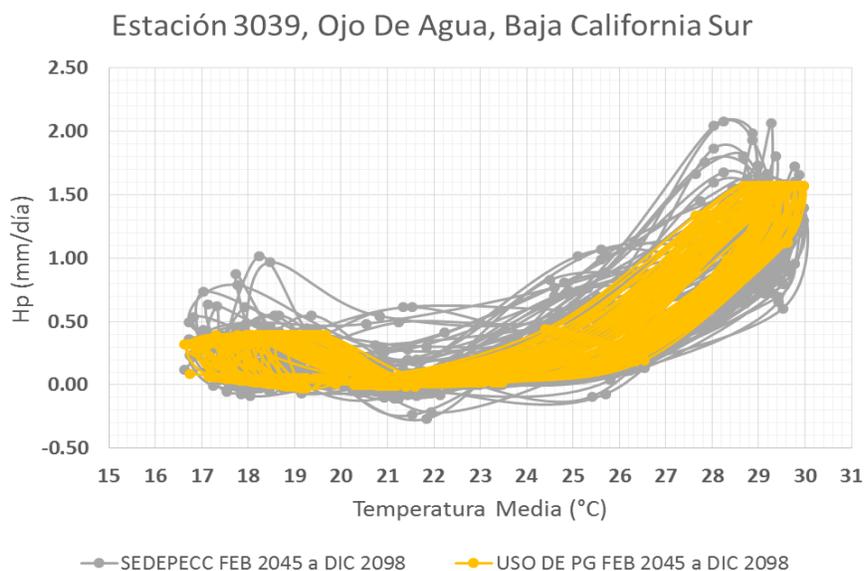


Figura 26.9. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Dic 2098 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

Tabla 13.1.18. Parámetros calculados para distintos periodos subsecuentes.

Estación Ojo de Agua, Baja California Sur, Clave: 3039	
Error Medio Cuadrático 35 años iniciales	0.02
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.02
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.03
Varianza 35 años iniciales	0.29
Varianza 35 años PG	0.02
R ² 35 años PG	0.93
Varianza Feb 2045 a Ene 2060	0.30
Varianza Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.03
R ² Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.90
Varianza Feb 2045 a Dic 2098	0.24
Varianza Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.04
R ² Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.84

➤ **Estación Ejido Primero de Mayo, Clave: 5147.**

Tabla 13.1.19. Ecuaciones de Intensidad de Precipitación (mm/día), obtenidas de acuerdo al mes de ajuste.

Estación Ejido Primero de Mayo, Coahuila, Clave: 5147	
Ecuación Enero	$H_p = 2.124 - 0.13T$
Ecuación Febrero	$H_p = -0.0002T^3 - 0.00003T^2 + 1.31$
Ecuación Marzo	$H_p = 0.223$
Ecuación Abril	$H_p = 0.762$
Ecuación Mayo	$H_p = 3.765 - 0.075T$
Ecuación Junio	$H_p = 5.78 - 0.14T$
Ecuación Julio	$H_p = 8.11 - 0.22T$
Ecuación Agosto	$H_p = 1.35$
Ecuación Septiembre	$H_p = -0.011T^2 + 0.45T - 1.12$
Ecuación Octubre	$H_p = 1.0447$
Ecuación Noviembre	$H_p = -0.005T^2 + 0.065T + 1.219$
Ecuación Diciembre	$H_p = 0.2576$

Se enfatizan con un color rojo, las funciones con valor constante.

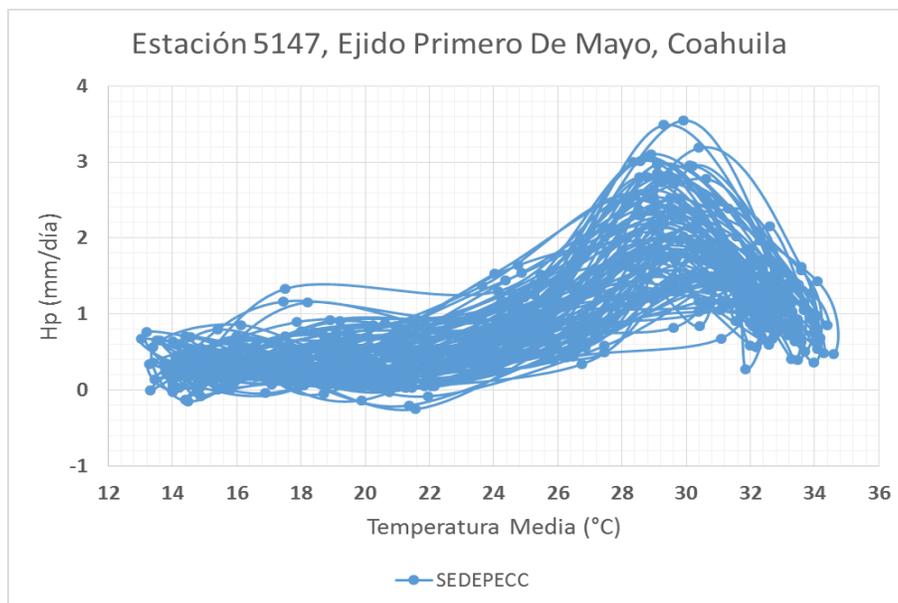


Figura 23.10. Cifras de la plataforma SEDEPECC, correspondientes a un escenario A1B, con un periodo comprendido entre Enero 2010 y Enero 2045.

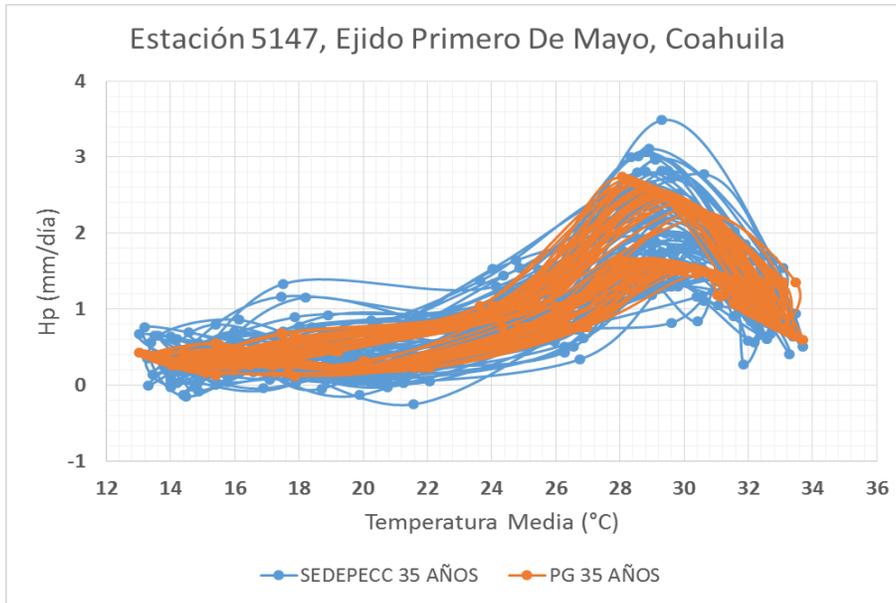


Figura 24.10. Intensidad de Precipitación contra Temperatura, se sobreponen la gráfica de ajuste obtenida con la PG y la gráfica de los registros del SEDEPECC para un periodo de 35 años.

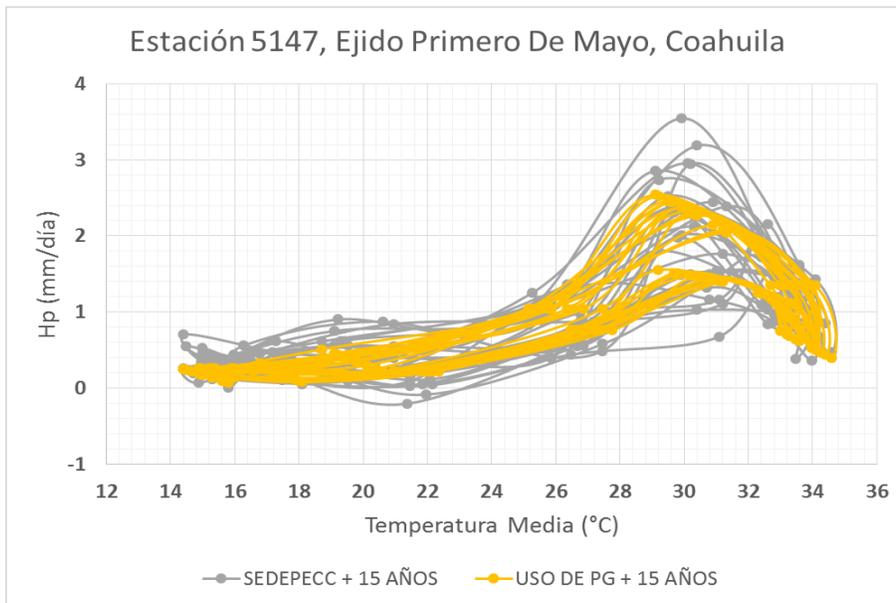


Figura 25.10. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Enero 2060 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

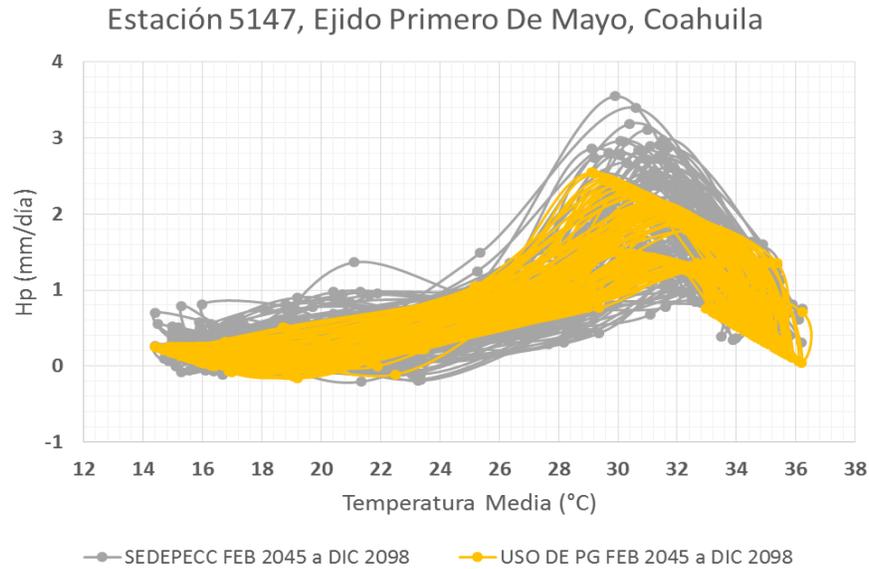


Figura 26.10. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Dic 2098 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

Tabla 13.1.20. Parámetros calculados para distintos periodos subsecuentes.

Estación Ejido Primero de Mayo, Coahuila, Clave: 5147	
Error Medio Cuadrático 35 años iniciales	0.07
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.07
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.09
Varianza 35 años iniciales	0.51
Varianza 35 años PG	0.07
R ² 35 años PG	0.87
Varianza Feb 2045 a Ene 2060	0.50
Varianza Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.08
R ² Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.84
Varianza Feb 2045 a Dic 2098	0.50
Varianza Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.11
R ² Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.78

5. Conclusiones y Recomendaciones.

En este trabajo se obtuvieron modelos para reproducir los patrones de comportamiento de la precipitación en función de su temperatura media en diferentes sitios del territorio mexicano con características fisiográficas e hidrográficas únicas, brindando una herramienta para la predicción de fenómenos meteorológicos de ciertas regiones, ante escenarios de cambio climático a corto y largo plazo.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede establecer que la estación con el mayor R^2 , es decir con el mayor ajuste con base en el comportamiento de la intensidad de precipitación (en mm/día) contra la temperatura media histórica en grados Celsius es la de Acahuato, en Michoacán (Clave 16228), puesto que obtuvo el mayor resultado de R^2 , estableciendo el mejor patrón a través de las siguientes ecuaciones que engloban este análisis de varianzas:

Tabla 14. Ecuaciones obtenidas para los diferentes modelos de ajuste.

Estación Acahuato, Michoacan, Clave: 16228	
Ecuación Año Representativo	$Hp = -.0000017T^5 + 0.0134^2 + T - 9.4449$
Ecuación Disección H1	$Hp = 10.1959 - 0.3657T$
Ecuación Disección H2	$Hp = -0.055T^2 + 1.4554T + 1.0515$
Ecuación Disección H3	$Hp = 104.246 - 3.7341T$
Ecuación Disección V1	$Hp = -0.00000005T^6 + 0.000001T^5 + 0.0212T^2 - 0.0196T$
Ecuación Disección V2	$Hp = -0.4174T^3 + 9.2732T^2 + 8.86481T + 1.8319$
Ecuación Disección V3	$Hp = 154.517 - 5.9036T$

Tabla 15. Resumen del análisis de Varianzas.

Estación Acahuato, Michoacan, Clave: 16228	
Varianza Históricas	60.09
Varianza Año Representativo	52.35
R^2 Año Representativo	0.13
Varianza H	0.64
R^2 H	0.99
Varianza V	25.2
R^2 V	0.58

Enseguida se muestra de manera gráfica, la relación que existe entre el registro en el SEDEPEC del IMTA y lo calculado con las ecuaciones, en la cual, aunque la magnitud de los datos no se asemeja, las tendencias de crecimiento y disminución en la intensidad de precipitación son similares en función de la temperatura, esto se ve reflejado en el parámetro de R^2 y su gran aproximación al valor de 1.

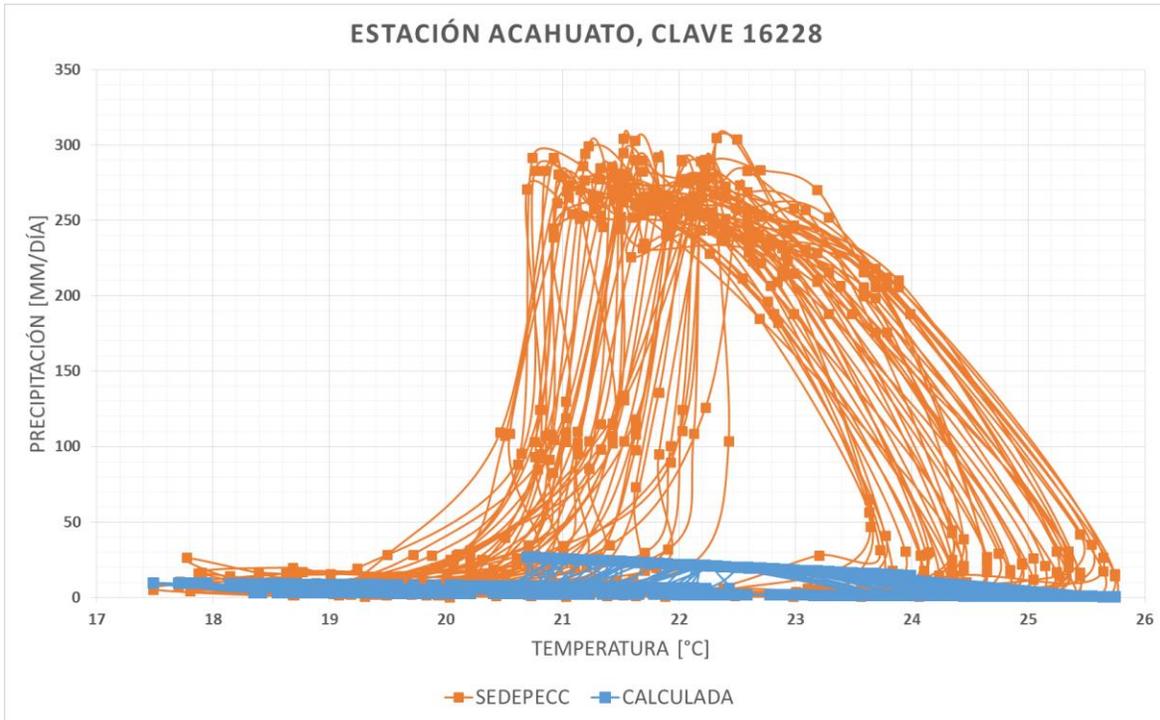


Figura 27. Precipitación contra Temperatura, con formula de ajuste sobreponiendo los resultados registrados en la plataforma SEDEPEEC.

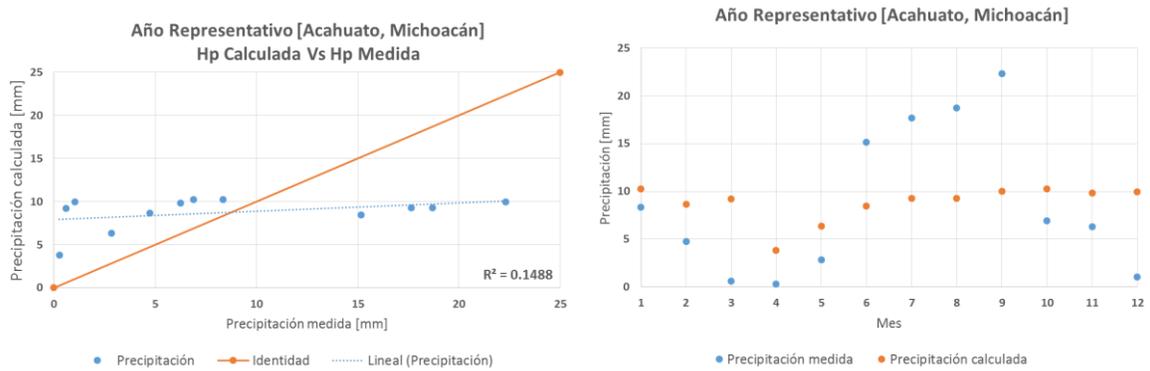


Figura 28. Relación entre los meses de año representativo, Precipitación en función de la Temperatura.

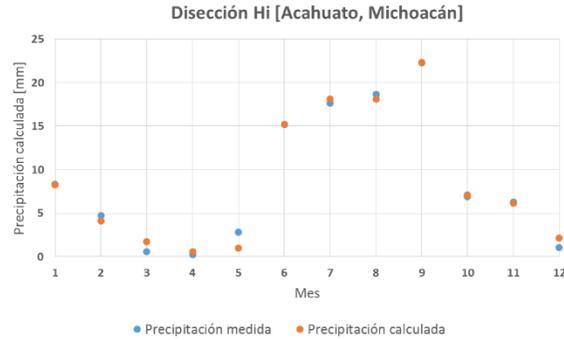
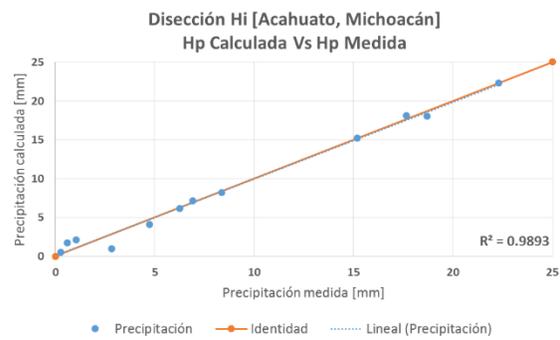


Figura 29. Relación entre los meses de la disección horizontal, Precipitación en función de la Temperatura.

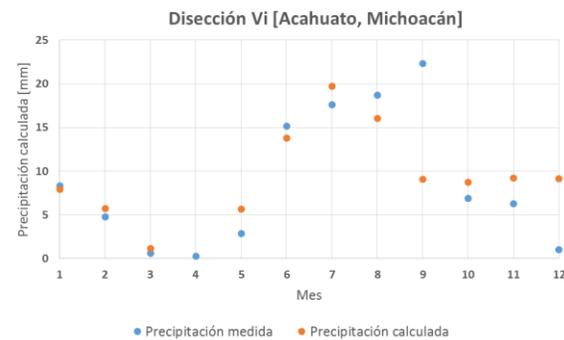
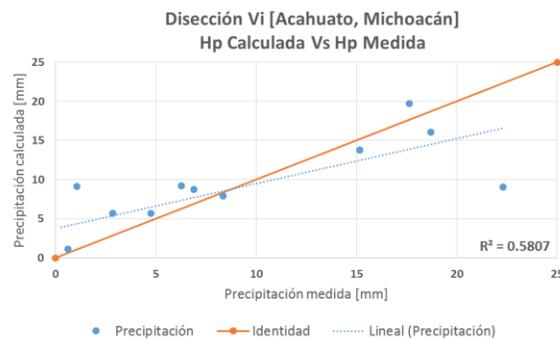


Figura 30. Relación entre los meses de la disección vertical, Precipitación en función de la Temperatura.

Sin embargo, en el modelado de datos en base en las mismas cifras del SEDEPECC, y empleado en periodos posteriores a corto y largo plazo, también se encontraron excelentes ajustes como es el caso de la Estación San Joaquín, Sinaloa, Clave 25172, puesto que, el parámetro de R^2 , fue el mayor en sus tres periodos de análisis.

Tabla 16. Ecuaciones obtenidas de acuerdo al mes de ajuste.

Estación San Joaquín, Sinaloa, Clave: 25172	
Ecuación Enero	$Hp = 0.94$
Ecuación Febrero	$Hp = -0.004T^2 - 0.01T + 2.03$
Ecuación Marzo	$Hp = 0.801 - 0.000029T^4$
Ecuación Abril	$Hp = 0.0802$
Ecuación Mayo	$Hp = 0.0005T^2 + 0.0003T - 0.223$
Ecuación Junio	$Hp = 4.789 - 0.097T$
Ecuación Julio	$Hp = 8.321$
Ecuación Agosto	$Hp = -0.0006T^3 + 0.0084T^2 + 0.499T - 0.089$
Ecuación Septiembre	$Hp = 0.0076T^2 - 0.0329T$
Ecuación Octubre	$Hp = 4.667 - 0.11T$
Ecuación Noviembre	$Hp = 0.635$
Ecuación Diciembre	$Hp = -0.000017T^4 + 0.00019T^3 + 0.00011T^2 + 0.000016T$

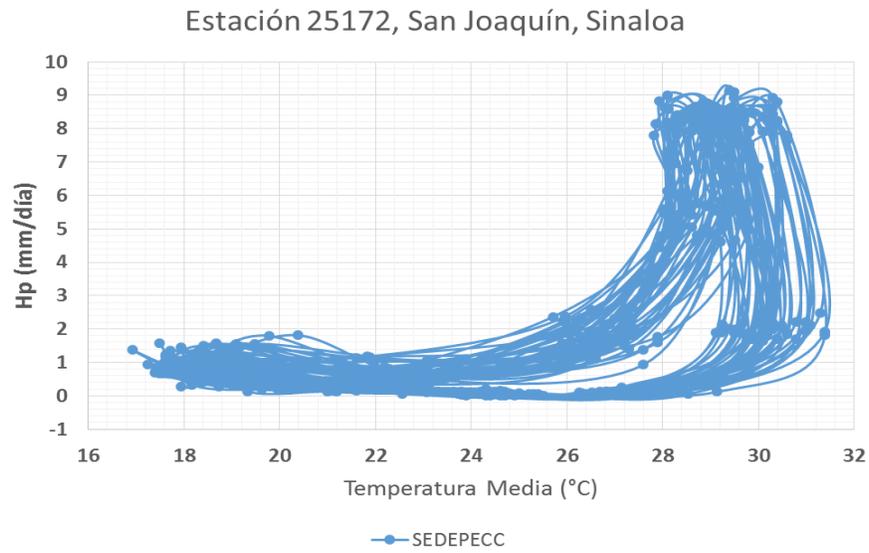


Figura 31. Cifras de la plataforma SEDEPECC, correspondientes a un escenario A1B, con un periodo comprendido entre Enero 2010 y Enero 2045.

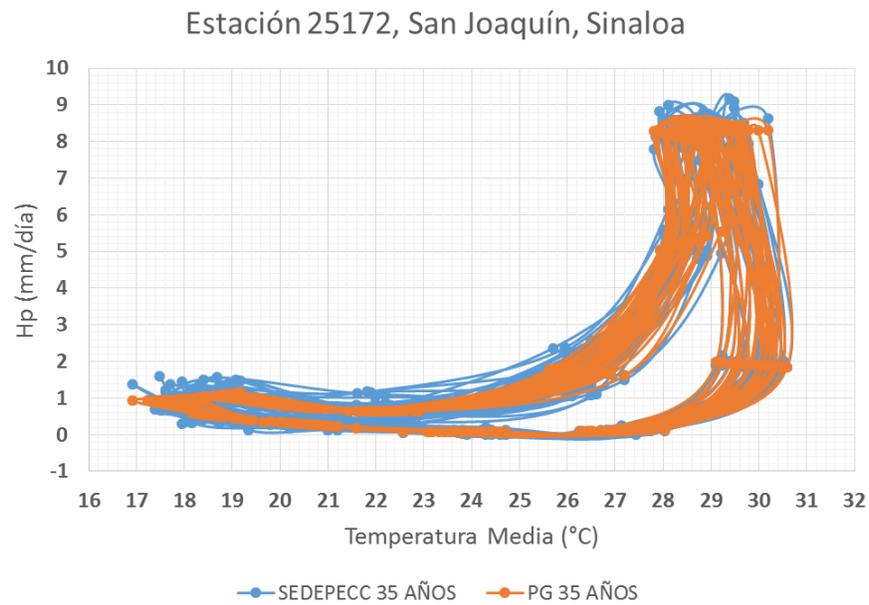


Figura 32. Precipitación contra Temperatura, se sobreponen la gráfica de ajuste obtenida con la PG y la gráfica de los registros del SEDEPECC para un periodo de 35 años.

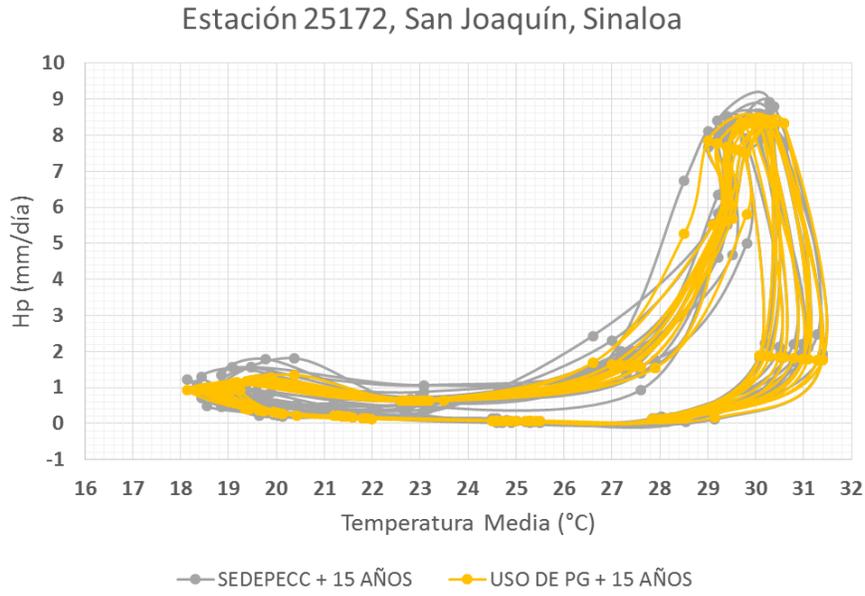


Figura 33. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Enero 2060 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

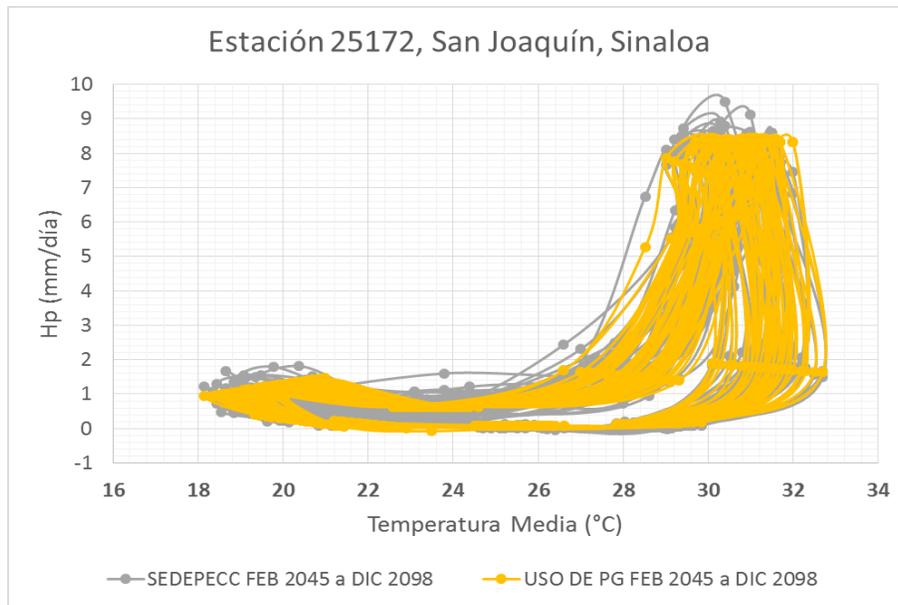


Figura 34. Ajuste obtenido con la PG con datos de Enero 2010 a Enero 2045 empleado a un periodo comprendido entre Feb 2045 a Dic 2098 sobre puesto a la gráfica de los registros del SEDEPECC del mismo periodo subsecuente.

Tabla 17. Parámetros calculados para distintos periodos subsecuentes.

Estación San Joaquín, Sinaloa, Clave: 25172	
Error Medio Cuadrático 35 años iniciales	0.08
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.09
Error Medio Cuadrático Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.15
Varianza 35 años iniciales	8.51
Varianza 35 años PG	0.08
R² 35 años PG	0.99
Varianza Feb 2045 a Ene 2060	8.68
Varianza Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.11
R² Feb 2045 a Ene 2060 PG	0.99
Varianza Feb 2045 a Dic 2098	7.92
Varianza Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.21
R² Feb 2045 a Dic 2098 PG	0.97

Dadas las evidencias anteriores, se puede establecer a través de la Programación Genética es posible modelar y obtener funciones que exponen un panorama en la variación de la intensidad de precipitación (mm/día) en función de la temperatura media (°C) (ascensos y descensos), creando escenarios a corto y largo plazo, en los que se puede instaurar una obra hidráulica o políticas de prevención que mitiguen los efectos provocados por estos cambios en estas características climatológicas.

6. Proyecciones Específicas.

Aplicando los modelos obtenidos a la región sur del país, la cual, actualmente es una de las regiones con gran desarrollo tanto en el ámbito económico como energético, puesto que aportan más del 40% la energía hidroeléctrica nacional, se identificaron los siguientes aspectos:

Tabla 18. Incrementos de Temperatura y Descensos de precipitación.

Estación Cuauhtémoc, Chiapas, 7343									
De Enero 2010 a Enero 2015			De Enero 2055 a Enero 2060			Empleo de Modelos PG		Δ	
Máximas Temperatura Promedio, en °C	Fecha	Precipitación Registrada, en mm/día	Máximas Temperatura Promedio, en °C	Fecha	Precipitación Proyectada, en mm/día	Ecuación Correspondiente al Mes de Mayor Temperatura	Hp Calculada, en mm/día	Incremento en Temperatura	Descenso de Precipitación
25.923	Mayo-2010	3.789	27.443	Mayo-2055	3.839	Hp=5.21-0.067T	3.36	1.52	11.2%
25.503	Mayo-2011	3.719	27.343	Mayo-2056	3.199	Hp=5.21-0.067T	3.37	1.84	9.4%
26.343	Mayo-2012	3.509	27.343	Mayo-2057	3.119	Hp=5.21-0.067T	3.37	1.00	4.0%
Promedio								1.45	8.2%

Se contemplaron las temperaturas medias mensuales más altas registradas dentro del periodo 2010 al 2015, cabe señalar, que estas temperaturas se registraron en el mes de mayo; así mismo se examinaron las temperaturas medias expuestas en los escenarios de cambio climático de la plataforma SEDEPECC, y de igual forma predominaron las del mes de mayo.

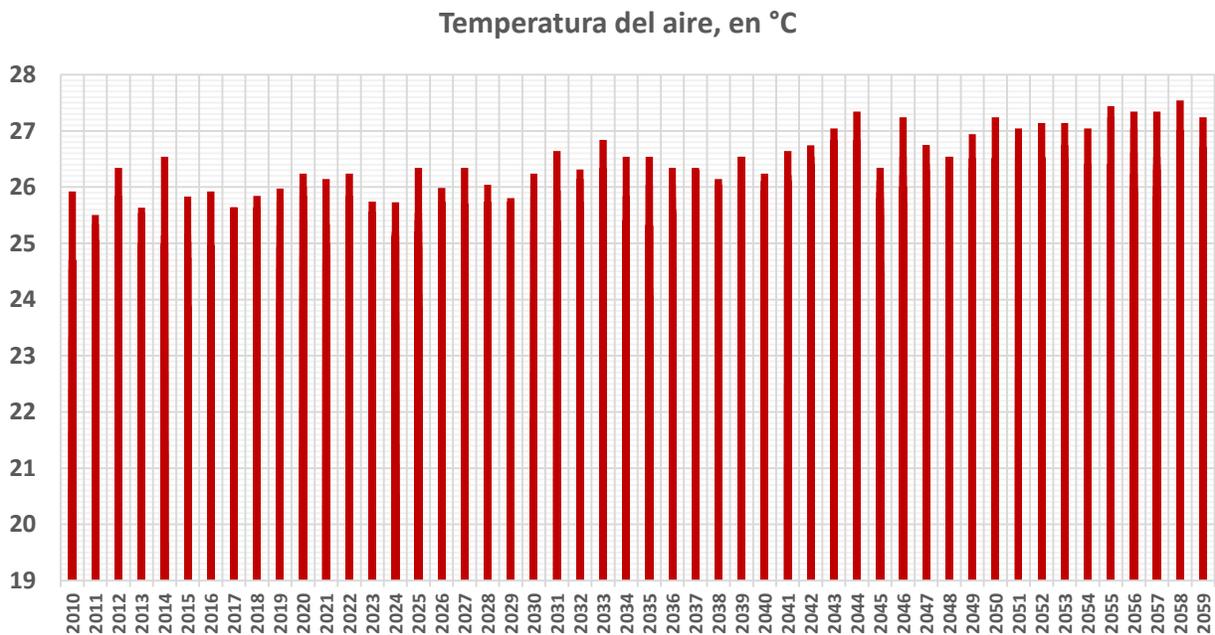


Figura 34. Temperaturas medias máximas mensuales proyectadas por los escenarios de cambio climático.

De las ecuaciones generadas por la PG, cada mes tiene distinto modelo, por consiguiente, se aplicó la del mes de mayo, expresada de la siguiente forma:

$$Hp = 5.21 - 0.067 * \text{TempMed} \quad (\text{ver Tabla 13.1.5})$$

tomando como base las temperaturas medias proyectadas para calcular una precipitación con el menor error de ajuste ante los escenarios de cambio climático.

Hp Calculada, en mm/día

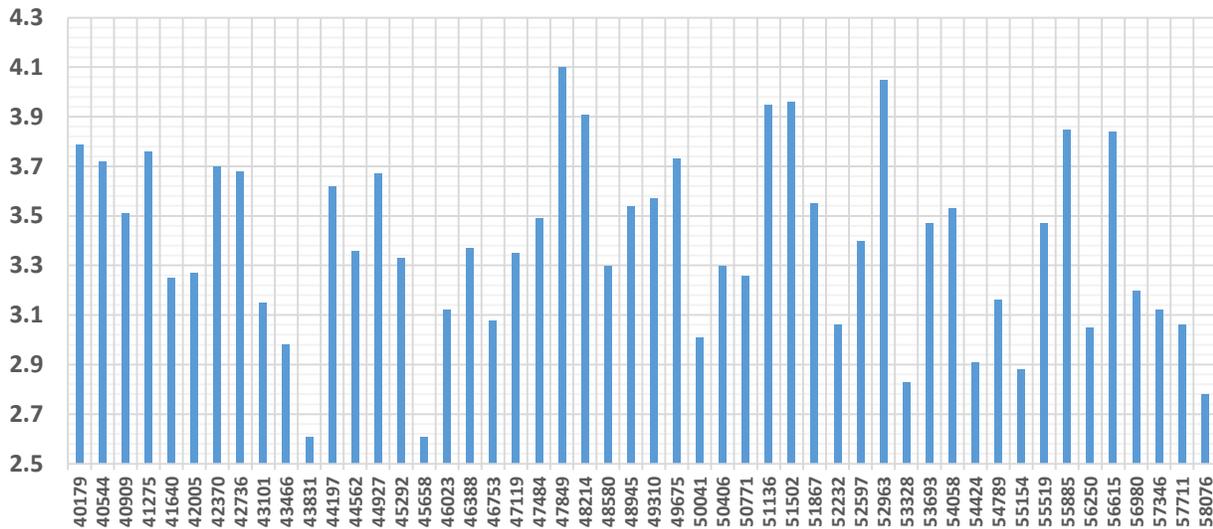


Figura 35. Precipitaciones correspondientes al mes de las temperaturas medias máximas mensuales proyectadas por los escenarios de cambio climático.

Los efectos del cambio climático serán de mayor magnitud en cuencas como la del río Grijalva. Con base en los resultados de los escenarios proyectados a Enero de 2060 para la estación climatológica Cuauhtémoc, Chiapas, se presentan incrementos en la temperatura del orden de los 1.4°C, así como disminución en la precipitación de la lluvia media anual alrededor del 8.2%. Esto, en cuestión de escurrimiento, muestra un severo descenso, traducido en una baja en la generación hidroeléctrica, que se establece para el sistema Grijalva, ver **figura 34 y figura 35**.

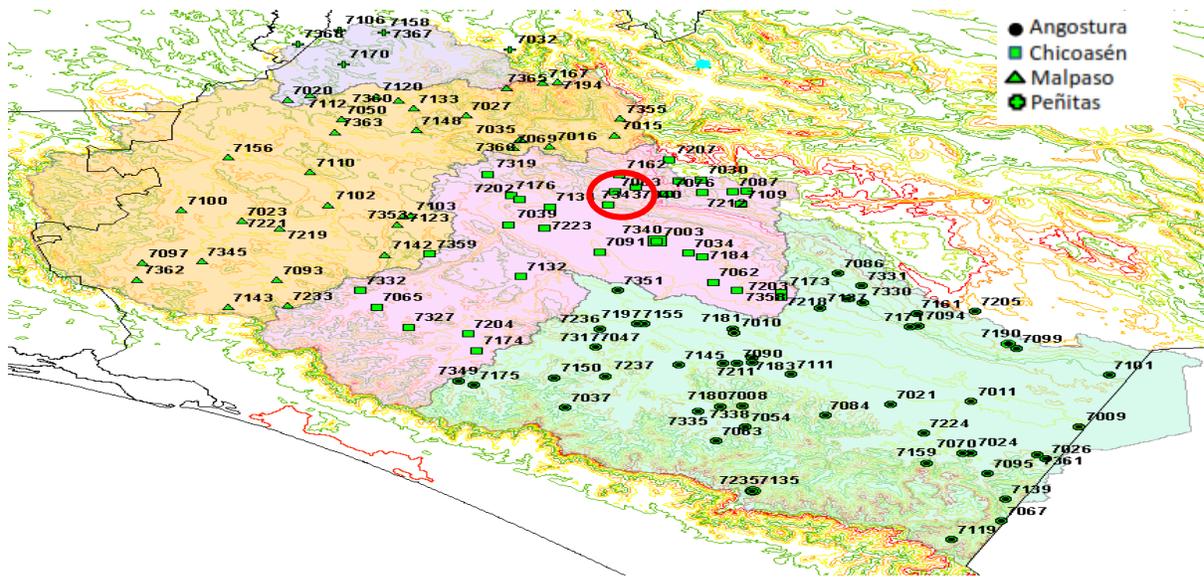


Figura 36. Ubicación de la Estación Cuauhtémoc, Chiapas, perteneciente al Sistema Grijalva de la presa Chicoasén.

De acuerdo a estos escenarios, será posible identificar las secuelas del cambio climático atribuidas a la presencia de fenómenos meteorológicos extremos repercutiendo principalmente a la disponibilidad de agua, en tiempos y medidas de adaptación del propio sistema Grijalva.

En la siguiente figura, se representa las variables de temperatura media del aire y la precipitación, proyectadas en la cuenca del sistema del río Grijalva de acuerdo a un Escenario de Cambio Climático A1B. En dicha figura se puede observar, los cambios de temperatura a lo largo de un periodo de 50 años, el efecto que se produce en la precipitación del sitio.

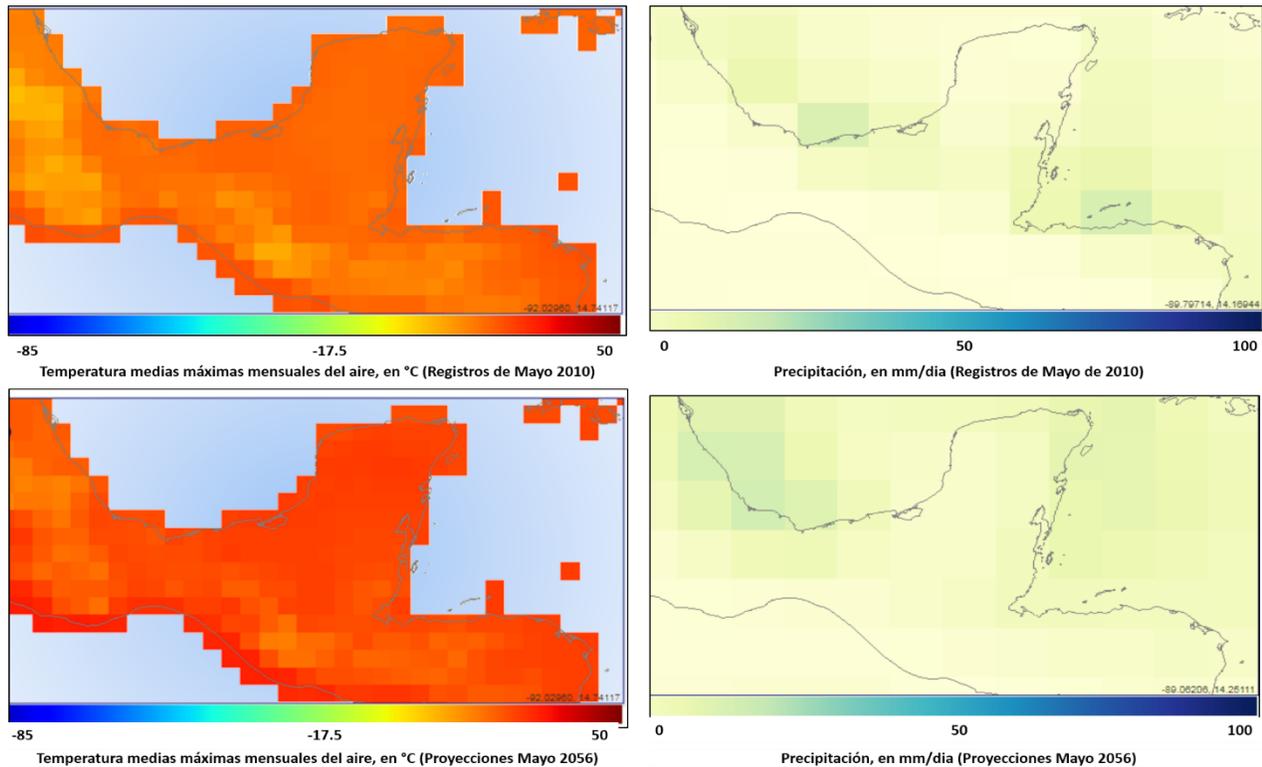


Figura 36. Proyecciones de los Escenarios de Cambio Climático para el Sistema Grijalva de la presa Chicoasén.

7. Referencias.

- ABDERRAHMANE YAGOUTI , GILLES BOULET , LUCIE VINCENT , LUC VESCOVI & ÉVA MEKIS, (2008)**, Observed changes in daily temperature and precipitation indices for southern Québec, 1960–2005, Atmosphere-Ocean
- ADAM. J. C., LETTENMAIER, D. P., (2003)**, Adjustment of global gridded precipitation for systematic bias. Journal of Geophysical Research,
- ALLERUP, P., MADSEN H. VEJEN F., (2000)**, Correction of precipitation based on off-site weather information. Atmospheric Research.
- ANTHONY BUDAA,, DAVID R. DEWALLEB, (2001)**, Potential effects of changes in precipitation and temperature on wet deposition in central Pennsylvania.
- ARGANIS JUÁREZ, M.L., (2015)**, Daily rainfall interpolation models obtained by means of genetic programming.
- BENNING, J., YANG D., (2005)**, Adjustment of Daily Precipitation Data at Barrow and Nome Alaska for 1995-2001, Arctic, Antarctic, and Alpine Research.
- BERGET, M., SCHLEGEL, T., KIRCHHOFER W., (2005)**, Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. International Journal of Climatology.
- BLADÉ, I., CASTRO DÍEZ, (2010)**, Tendencias atmosféricas en la Península Ibérica durante el periodo instrumental en el contexto de la variabilidad natural.
- BRUNETTI, M., MAUGERI, M., MONTI F., NANNI, T., (2005)**, Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. International Journal of Climatology.
- CAHALAN, R. F., WHARTON L. E., LI WU M.,(1996)**, Empirical orthogonal functions of monthly precipitation and temperature over the United States and homogeneous stochastic models, Journal Of Geophysical Research.
- CHEVAL S., BACIU, M., DUMITRESCU A., BREZA T., LEGATES D.R., CHENDES V., (2010)**, Climatologic adjustments to monthly precipitation in Romania, International Journal of climatology.
- CHO, J., KOMATSU, H., POKHREL, Y., (2011)**, The effects of annual precipitation and mean air temperature on annual runoff in global forest regions. Climatic Change.
- CHRISTENSEN, J. H., BOBERG, F., CHRISTENSEN, O. B., LUCAS-PICHER P., (2008)**, On the need for bias correction of regional climate change projections of temperature and precipitation. Geophysical Research Letters.
- COHEN, (2007)**, Further Results on the Sensitivity of Simulated Storm Precipitation Efficiency to Environmental Temperature.
- CRAMER, N. L. (1985)**, A representation for the adaptive generation of simple sequential programs. In Proceedings of the International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications.

DE LIMA, M.I.P., ESPÍRITO S. F., RAMOS. A., DE LIMA, J.L.M.P., (2012), Recent changes in daily precipitation and surface air temperature extreme in mainland Portugal, in the period 1941–2007. Atmospheric Research.

G. Z"ANGL., (2008), Quarterly Journal Of The Royal Meteorological Society Q. J. R. Meteorol. The temperature dependence of small-scale orographic precipitation enhancement.

GOLDBERG, D. E., (1989), Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Boston: Addison-Wesley.

JAMES CROLL, (1875), Climate and time in their geological relations; a theory of secular changes of the earth's climate.

KOZA, J. R., (1989), Hierarchical Genetic Algorithms Operating on Populations of Computer Programs. In Proceedings of the 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence.

M. BOCCOLARI, S. MALMUSI, (2013), Department of Materials and Environmental Engineering, University of Modena and Reggio Emilia, Italy. Changes in temperature and precipitation extremes observed in Modena, Italy.

MANABE, WETHERALD. (1975), The effects of doubling the CO₂ concentration on the climate of a general circulation model.

MICHAEL BEGERT, THOMAS SCHLEGEL and WALTER KIRCHHOFER, (2005), International Journal Of Climatology, Homogeneous Temperature And Precipitation Series Of Switzerland From 1864 To 2000. .

PIANI, C., WEEDON, G.P., BEST, M., GOMES, S. M., VITERBO, P., HAGEMANN, S., HAERTER, J. O., (2010), Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. Journal of Hidrology.

PUERTAS ET AL, (2011), Was there a common hydrological pattern in the Iberian Peninsula region during the Medieval Climate Anomaly?

POVEDA, MILENA, (2012), El Colapso de la Hipótesis de Estacionariedad por Cambio y Variabilidad Climática: Implicaciones para el Diseño Hidrológico en Ingeniería.

S.R. FASSNACHT, N. KOUWEN, E.D. SOULIS. (2001), Surface Temperature adjustments to improve weather radar representation of multi-temporal winter precipitation accumulations.

STRACK, J.E., PIELKE, R., A., STEYAERT, L. T., KNOX, R. G., (2008), Sensitivity of June near-surface temperatures and precipitation in the eastern United States to historical land cover changes since European settlement. Water Resources Reseach.

THORNDYCRAFT, V.R., BENITO, G, (2006), The Holoce-ne fluvial chronology of Spain: Evidence from a newlycompiled radiocarbon database.

TUOMENVIRTA H., (2001), Homogeneity adjustments of temperature and precipitation series—Finnish and Nordic dat. International Journal of Climatology.

VICTOR MAGAÑA RUEDA. (2006), Cambio Climático: Una Visión desde México.

YANG, D., GOODISON, B. E., ISHIDA, S., (1998), Adjustment of daily precipitation data at 10 climate stations in Alaska: Application of World Meteorological Organization intercomparison results. Water Resources Research.

Z. X. XU, T. L. GONG AND J. Y. LI., (2008), Hydrological Processes Hydrol. Process. Decadal trend of climate in the Tibetan Plateau—regional temperature and precipitation.