



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS COLEGIO DE GEOGRAFÍA

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO
REGIONALIZADOS PARA LA RESERVA DE LA
BIOSFERA, SIERRA GORDA GUANAJUATO
MEDIANTE EL MODELO LARS-WG.

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

LOURDES BELLO MENDOZA

ASESORA: DRA. LETICIA GÓMEZ MENDOZA



CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2014.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A la memoria de Margarito Bello seguro estarías feliz y orgulloso

Para mamá, por tu eterna comprensión e inmenso cariño

Y para Maki por ser mi compañera y amiga de siempre

Agradecimientos

Primeramente a la **Universidad Nacional Autónoma de México** por toda la formación académica y cultural. Sin duda es un orgullo poder ser parte de la Universidad.

A mi asesora, la **Dra. Lety Gómez**, por brindarme la oportunidad de integrarme al proyecto, por motivarme, por su paciencia, comprensión, su interés, compromiso y toda la atención, cariño que nos ha brindado a sus tesistas, mi admiración y cariño infinito no solo como académica sino como la maravillosa persona que es. Muchísimas gracias.

A el **Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez** por motivarnos a cada uno de sus alumnos y por todos sus conocimientos transmitidos durante la carrera, por ser tan valiente y un ejemplo como persona. Lo admiro mucho.

También a la **Mtra. Berenice Castillo González** por aceptar revisar este trabajo, por la confianza, cariño, preocupación y entusiasmo durante todo el proceso. Gracias por mostrarme que la Geografía siempre es lo primero.

A la **Mtra. Angélica Margarita Franco Rodríguez** por ser tan atenta, por el interés y las acertadas correcciones realizadas en esta tesis, muchas gracias.

Un agradecimiento muy grande y especial al **Dr. Juan Matías Méndez Pérez** de la **Universidad Veracruzana** por el material proporcionado para este proyecto, por sus muy acertadas correcciones, por sus conocimientos brindados y la paciencia que tuvo para que este proyecto saliera adelante, mil gracias.

Al **Mtro. Luis Galván** del **Instituto de Geografía** por resolver las dudas técnicas durante la realización del proyecto.

Al **Ing. Carlos Ábrego** y al **Dr. Antonio Ávalos** y a su equipo de la *Agenda Ambiental* de la **Universidad de San Luis Potosí**, por todo su apoyo ofrecido durante el recorrido de campo de la Presa El Realito.

A todos mis compañeros del *Seminario de Cambio Climático y Biodiversidad* en verdad es un buen grupo y que gusto poder contarme entre ustedes, en especial al Equipo Sierra Gorda: **Dulce Cruz** y **Marisol Reyes** por su constante apoyo, amistad, por compartir tanto conmigo y además de ser mis instructoras, ya que ustedes son parte de este proyecto.

A mis compañeros del *Colegio de Geografía* de la UNAM entre ellos a **Karlita, Luis, Pavel, Mau, Yaz** por haberme ayudado y también porque con ustedes aprendí que el aprendizaje no lo solo se da en clases y a seguir trabajando por la Geografía en México.

Agradezco mucho a **Violeta Arriola** por ser mi amiga y compañera de la carrera, con la que tuve la oportunidad de convivir y compartir el gusto por la geografía, te quiero y admiro mucho.

A mi querida maestra de danza **Amán-Rá** y a todas mis amigas de la compañía '*Desde el Harem*' que me ayudaron al desarrollo de mi persona y por hacerme parte de una familia tan hermosa.

Al **Ing. José Fausto Martínez Contreras de la Promotoría del noreste de CONAFOR** y a la **Profra. María de Lourdes Velázquez Salinas del municipio de Xichú** por su tiempo y disposición durante el trabajo de campo en Sierra Gorda.

Al director y subdirector de la *Reserva de la Biósfera Sierra Gorda Guanajuato*, **Ing. Víctor Manuel Ildelfonso Apolinar** y **Luis Felipe Vázquez Sandoval** por toda la información proporcionada, disposición, tiempo ofrecido para que este trabajo mejorara.

Y también los habitantes de la **Reserva de la Biosfera Sierra Gorda Guanajuato** que participaron el proyecto, a ustedes mi respeto y admiración por ser conscientes y comprometidos con su espacio. Esperando que este trabajo pueda ayudar a la divulgación, prevención y mejoramiento de la reserva.

Agradezco al **Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME)** de la dirección general de asuntos del personal académico (DGAPA) de la UNAM por el otorgamiento de la beca 'Tesis de Licenciatura' dentro del proyecto con clave PE301212 titulado *Mejoramiento y Actualización de la Enseñanza en Climatología del Colegio de Geografía, FFyL, UNAM*. Responsable del proyecto Dra. Leticia Gómez Mendoza de la Facultad de Filosofía y Letras.

A la **Universidad Autónoma de San Luis Potosí** a través de la **Agenda Ambiental**, por las facilidades para la realización del trabajo de campo.

ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	7
I. Introducción.....	8
I.I <i>Antecedentes</i>	9
I.II <i>Planteamiento del Problema</i>	10
I.III <i>Objetivos</i>	11
I.IV <i>Hipótesis y Justificación</i>	12
1. Marco Conceptual, Geográfico y Metodológico	14
1.1 Marco conceptual.....	14
1.1.1 <i>El clima</i>	14
1.1.2 <i>Variabilidad climática</i>	14
1.1.3 <i>Cambio climático</i>	15
1.1.4 <i>Escenarios de cambio climático</i>	16
1.1.4.1 <i>Escenarios de cambio climático del Panel Intergubernamental</i> <i>de Cambio Climático (IPCC)</i>	17
1.1.5 <i>Área Natural Protegida</i>	19
1.2. Marco Geográfico	20
1.2.1 <i>Características del Área Natural Protegida</i>	23
1.2.2 <i>Programa de Manejo</i>	28

1.3. Marco Metodológico	29
<i>1.3.1. Descripción del Modelo LARS-WG.....</i>	<i>34</i>
2. Metodología y Bases de Datos	36
<i>2.1. Estaciones a trabajar.....</i>	<i>40</i>
<i>2.2. Uso de un Generador Estocástico del Tiempo Meteorológico.....</i>	<i>41</i>
<i>2.3. Descripción y Análisis de los resultados.....</i>	<i>44</i>
3. Presa El Realito	57
<i>3.1. Hidrología Superficial en la RBSGG.....</i>	<i>57</i>
<i>3.2. Hidrología Subterránea.....</i>	<i>59</i>
<i>3.3. Presa El Realito.....</i>	<i>60</i>
<i>3.4. Modelo de Balance Hídrico de la Zona por el modelo WebWIMP .</i>	<i>63</i>
<i>3.5. Diagnóstico del Área Natural Protegida Sierra Gorda</i>	
<i>Guanajuato.....</i>	<i>65</i>
<i>3.5.1. La Presa El Realito.....</i>	<i>66</i>
<i>3.5.2. El Área Natural Protegida.....</i>	<i>69</i>
<i>3.5.3. Los habitantes de la Reserva.....</i>	<i>72</i>
4. Discusión	74
5. Conclusiones	81

Referencias	84
Anexos	93

Índice de Tablas

Tabla 1. Tablas de los tipos de uso de suelos de la RBSGG	25
Tabla 2. Criterio de Doorenbos según Fernández, 1996.....	38
Tabla 3. Situación general de las estaciones con buffer de 10 km.....	40
Tabla 4. Listado de actividades permitidas y no permitidas en el Área Natural Protegida incluida en el Programa de Manejo.....	62
Tabla 5. Datos mensuales obtenidos mediante el modelo WebWIMP	64
Tabla 6. Tabla resultados de las entrevistas realizadas en el municipio de Xichú en Guanajuato.....	73

Índice de Figuras

Figura 1. Familia de Escenarios del IPCC.....	18
Figura 2. Ubicación de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda Guanajuato.....	21
Figura 3. Proporción en porcentaje (%) de uso del suelo en la RBSSG.	26
Figura 4. Mapa de la distribución de tipos de suelos en la RBSGG.....	27
Figura 5. Longitud de la serie de las 22 estaciones que se localiza dentro del ANP.....	36
Figura 6. Mapa de Área de Influencia de la reserva de la Biosfera Sierra Gorda Guanajuato.....	37

Figura 7. Ejemplo de Prueba de recorrido de la estación San Luis de la Paz (11068) de un total de 73 años, el intervalo según la Tabla 1 son de 31-41 y la serie cuenta con 32 cambios por lo que cumple con el criterio y por lo tanto es homogénea.	39
Figura 8. Sistema de inicio de LARS-WG.	41
Figura 9. Ejemplo de archivo de sitio (*.st) para la estación 11001.....	42
Figura 10. Ejemplo de archivo de validación (*.tst).	42
Figura 11. Ejemplo de un archivo (*.dat) para exportar a cualquier paquete estadístico como Statistica o Excel.	43
Figura 12. Representación de una gráfica (Boxplot) con sus respectivos cuartiles y su función de densidad de probabilidad (PDF).....	44
Figura 13. Cambios en la PDF de la temperatura nombrados por el IPCC.....	45
Figura 14. Gráfico de caja de precipitación observada y proyectada (regionalizada con LARS-WG) para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación de San Luis de la Paz.....	46
Figura 15. Gráfico de caja de temperatura mínima y máxima observada y proyectada para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación de San Luis de la Paz.....	47
Figura 16. Gráfica de PDF temperatura mínima y máxima para la estación de San Luis de la Paz para el escenario A1B y A2 del periodo centrado 2075.	47
Figura 17. Gráfico de caja de precipitación observada y proyectada (regionalizada con LARS-WG) para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación de Pozos.	48

Figura 18. Gráfico de caja de temperatura mínima y máxima observada y proyectada para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación de Pozos.	49
Figura 19. Función de densidad de probabilidad para la temperatura mínima y máxima para el escenario A2 del periodo centrado 2075.	49
Figura 20. Gráfico de caja de precipitación observada y proyectada para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación Arroyo Seco.	50
Figura 21. Gráfico de caja de temperatura mínima y máxima observada y proyectada del escenario A2.	50
Figura 22. Función de Densidad de Probabilidad de la estación Arroyo seco para el escenario 2075 de la temperatura mínima.	51
Figura 23. Gráfico de caja de temperatura mínima y máxima observada y proyectada (con LARS-WG) para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación Peñamiller.	52
Figura 24. Gráfico de caja de temperatura mínima observada y proyectada (regionalizada con LARS-WG) para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A1B en la estación de Pozos.	53
Figura 25. Gráfico de caja de temperatura máxima observada y proyectada (regionalizada con LARS-WG) para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación de Tierra Nueva.	54
Figura 26. Gráfico de caja de precipitación observada y proyectada (regionalizada con LARS-WG) para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A1B en la estación de Peñamiller.	54

Figura 27. Gráfico PDF de temperatura mínima observada y proyectada (regionalizada con LARS-WG) para el periodo centrado en 2075 de acuerdo al escenario A1B en la estación de Villa Doctor Mora.....	55
Figura 28. Gráfico PDF observado y proyectado (regionalizado con LARS-WG) para el periodo centrado en 2050 de acuerdo al escenario A1B en la estación de Pozos	56
Figura 29. Gráfico de PDF observado y proyectado (regionalizado con LARS-WG) para el periodo centrado en 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación de Charcas.....	56
Figura 30. Mapa de Corrientes de agua y cuencas hidrográficas (CNA) que corresponden a la RBSGG.....	58
Figura 31. Gráfica obtenida por el programa WebWIMP.....	64
Figura 32. Recorrido desde San Luis Potosí hasta la presa El Realito.	67
Figura 33. Primera etapa de restauración en la presa El Realito	68
Figura 34. Islas de fertilidad en descuido por la falta de cercas y material desprendido en la segunda etapa de la reforestación a un costado de la cortina de la presa.	68
Figura 35. Cortina de la presa El Realito con un 80% de avance.....	70

RESUMEN

Los llamados Modelos de Circulación General (MCG o GCM por sus siglas en inglés) se utilizan para obtener proyecciones climáticas, de temperatura y precipitación, aunque el nivel de escala con el que se maneja es amplio.

Para reducir la escala espacial de las salidas de los GCM, y obtener un mejor análisis, es necesario que los escenarios de cambio climático tengan una escala regional y posean información sobre el tiempo meteorológico extremo. Para ello se requiere pasar de escenarios mensuales a información diaria y una opción para esto es el uso de un Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico (GETM).

A nivel nacional Áreas Naturales Protegidas (ANP) tienen como fin vigilar que el aprovechamiento de los recursos dentro de la zona se realice de manera sustentable, preservando la flora y fauna particular del ecosistema, para poder permitir propiciar la investigación y estudio de los ecosistemas

El Área Natural Protegida de la Reserva de la Biosfera “Sierra Gorda de Guanajuato” (RBSGG) del norte y noreste de Guanajuato se caracteriza por situarse en un estado donde al sur y sureste, el deterioro ambiental es de los más grandes del país, además de que al interior de la reserva se construye la presa “El Realito”.

Los resultados obtenidos para el periodo de 2010-2099 mediante el GEMT-LARS, muestran un aumento en la temperatura media de entre 1 y 2°C mientras la precipitación tiene una variación ya que disminuirán los efectos de los eventos extremos en la zona sin embargo la desviación típica aumentará ligeramente.

La construcción e implementación de escenarios de cambio climático es una de las primeras acciones para realizar evaluaciones de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, especialmente si se toma como estrategia la conservación de ANP para reducir los impactos potenciales en los sectores clave de un país o una región.

I. INTRODUCCIÓN

Desde la formación de la Tierra, han existido diversas variaciones naturales del clima, resultado de procesos de evolución para tener como resultado el equilibrio de una temperatura media a nivel global, esto debido al efecto invernadero.

La humanidad, mediante la realización de sus actividades económicas, emite continuamente hacia la atmósfera gases y partículas sólidas susceptibles de modificar su composición. Hasta el siglo XIX, estas emisiones presentaban unas tasas suficientemente reducidas para ser mitigadas y neutralizadas por el sistema (Llebot, 1998).

La Revolución Industrial supone un hito claro en este proceso y, a partir de ella, el hombre comienza a realizar emisiones hacia la atmósfera que desbordan la capacidad amortiguadora del sistema. Como consecuencia de ello comienzan a detectarse cambios importantes en las concentraciones atmosféricas de ciertas sustancias e incluso la aparición de sustancias nuevas, inexistentes con anterioridad a la Revolución Industrial (Barros, 2004).

El clima de la Tierra constituye la expresión de un amplio sistema físico, sumamente complejo, cuyo funcionamiento está dominado por intercambios energéticos. La estructura de este sistema puede representar las entradas; los componentes internos del sistema son la parte central; y la salida está conformada por el mosaico de climas del globo. Los distintos elementos mantienen fuertes vínculos entre sí, que se articulan a través de una amplia gama temporal y espacial de procesos físicos que van desde los de pequeña dimensión, que ocurren cada día a nuestro alrededor, hasta aquellos que abarcan todo el planeta y duran muchos años (Llebot, 1998).

El efecto invernadero, por la acción antrópica es la acumulación de calor en las capas bajas de la atmosfera como consecuencia de la intervención de ciertos gases que son transparentes o casi transparentes para la radiación de onda corta emitida por el Sol, pero opacos para la radiación infrarroja de onda larga emitida por la Tierra. La radiación solar consigue atravesar esta capa gaseosa y penetrar

en la superficie terrestre, pero la irradiación terrestre no consigue escapar hacia el espacio exterior, quedando retenida en las capas bajas de la atmósfera. Resulta de ello una acumulación de calor en estas capas que se traduce de inmediato en un aumento de la temperatura (Magaña, 2004).

La naturaleza dispone en abundancia de este tipo de gases (el vapor de agua y el dióxido de carbono son los más representativos) y ello es lo que posibilita la existencia en la atmósfera terrestre de unas temperaturas tan favorables para la vida humana como las que ahora tenemos. El problema se produce cuando estos gases aumentan sus concentraciones de manera significativa, fenómeno que parece estar sucediendo en los momentos actuales (IPCC, 2007).

I.I. Antecedentes

La variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles en la atmósfera, y las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar, alteran el equilibrio energético del sistema climático. El informe especial del *Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático* (IPCC, por sus siglas en inglés) sobre escenarios de emisiones (IPCC, OMM, PNUMA, 2000) proyecta un aumento de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) entre 2000 y 2030 suponiendo que los combustibles de origen fósil mantengan su posición dominante en el conjunto mundial de fuentes de energía hasta 2030 como mínimo (IPCC, 2007).

En México se creó el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático en 2012, lo que ha puesto al fenómeno del cambio climático como un tema de relevancia social por parte del gobierno y aunque el tema se lleva estudiando desde hace algunos años y se han realizado diversos estudios probabilísticos regionales de escenarios de cambio climático (Méndez, 2003), (Magaña, 2010), (Zermeño, 2008), es importante realizarlos a un sector o región particular ya que los resultados pueden revelar particularidades.

I.II. Planteamiento del Problema

Tomando en cuenta a la atmósfera como un sistema, ésta se define como el medio donde se despliegan las manifestaciones del tiempo y del clima, siendo por ello el componente central del sistema, además de ser el más inestable debido a su baja densidad y fácil movilidad. Asimismo la atmósfera juega un papel esencial en el equilibrio energético de la Tierra porque controla la cantidad de radiación que llega al suelo y la radiación terrestre liberada al espacio; a la vez, es el principal medio de transferencia de calor del planeta (Cuadrat, 1997).

De proseguir las emisiones de GEI a una tasa igual o superior a la actual, durante el siglo XXI, el calentamiento aumentaría y el sistema climático mundial experimentaría numerosos cambios, muy probablemente mayores que los observados durante el siglo XX (IPCC, 2007).

A nivel regional estos cambios se pueden traducir en efectos como el aumento en la frecuencia de los valores extremos cálidos, olas de calor y precipitaciones intensas; en términos mundiales disminuirán en la mayoría de las regiones terrestres subtropicales, como continuación de las tendencias recientemente observadas (IPCC, 2007). A nivel local se debe involucrar a actores clave, y en el caso de Áreas Naturales Protegidas (ANP), éstas pueden ayudar a las personas a conservar y proteger las ANP y a cambio ofrecer los servicios ecosistémicos de los que depende la población (IUCN, 2010). El estado de Guanajuato es un caso muy particular, se localiza dentro de una región con alto desarrollo industrial como lo es la zona de El Bajío, pero en una de las regiones más deterioradas del país (SEMARNAT-CONANP, 2005).

Los escenarios de cambio climático pueden marcar la diferencia entre tomar decisiones para implementar un nuevo modelo de desarrollo sustentable con un manejo de recursos adecuado, o continuar con las tendencias de desarrollo actuales, que han puesto en riesgo a diversas regiones, sectores y a futuras generaciones (Sánchez *et al.*, 2011).

I.III. OBJETIVO

Obtener los escenarios regionales de cambio climático del Área Natural Protegida de la Reserva de la Biósfera “Sierra Gorda Guanajuato” (RBSGG) a partir de un Generador Estocástico del Tiempo Meteorológico (GETM-LARS).

I.III.I. Objetivos Particulares

Comprobar la frecuencia de eventos extremos en la zona y analizar su tendencia y variabilidad climática.

Aplicar el modelo LARS-WG para obtener el clima sintético para el periodo de 2010-2099.

Realizar el balance hídrico-climático de la región donde se construye la presa El Realito.

Comparar si las tendencias de aumento de eventos extremos globales favorecerán o no a la Reserva y a la operación de la presa.

I.IV. Hipótesis

La situación del Área Natural Protegida de “Sierra Gorda Guanajuato”, merece un análisis debido a que existe una tendencia tanto a nivel global como regional de un aumento de temperatura y una disminución de la precipitación para el estado de Guanajuato.

Mediante un generador estocástico del tiempo se obtendrá un clima en tiempo sintético, que permitirá un mayor análisis debido a su escala más regionalizada, para la planeación y toma de decisiones.

I.V. Justificación

Desde la creación de la Convención Marco de las Naciones sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en 1994 ha existido una mayor difusión sobre el Cambio Climático y de sus consecuencias, además de que se encarga del llegar a un difícil consenso entre naciones sobre una estabilización de los gases de efecto invernadero (SEMARNAT-INE, 2009).

En México, la atención por estos efectos se hizo notar con la creación de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC) en el que se proponen acciones para combatir el Cambio Climático (SEMARNAT-INE, 2009). Actualmente, el tema de Cambio Climático fue integrado por primera vez en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 en el Eje Rector 4 dedicado a la Sustentabilidad Ambiental, del que han salido medidas de adaptación, estrategias y desarrollo de escenarios climáticos regionales, evaluación de los impactos a nivel nacional (Velasco, 2010).

Una de las estrategias de adaptación y mitigación que adoptó México para reducir emisiones de gases de efecto invernadero, fue considerar la conservación de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), y parte de esta estrategia de manejo es hacer frente a los impactos del cambio climático considerado como un riesgo creciente (CONANP, 2010).

Para este caso, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), desarrolló la Estrategia de Cambio Climático para Áreas Naturales Protegidas (ECCAP), como herramienta que orienta las actividades dentro de las ANP, y una de sus recomendaciones dentro de la *Guía para la Elaboración de Programas de Adaptación al Cambio Climático en Áreas naturales Protegidas*, es el reconocimiento de escenarios climáticos.

Así mismo el *Marco de Políticas de Adaptación al Cambio Climático* del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en su Guía del Usuario propone la evaluación de riesgos climáticos futuros de ahí la importancia de generar escenarios climáticos que midan el grado de amenaza en este caso para un ANP.

Las proyecciones en los escenarios regionales indican un aumento en la temperatura y una disminución de la precipitación (SEMARNAT-INE, 2009), por lo que los resultados de este trabajo ayudarán como posible base para conocer el grado de vulnerabilidad ante la tendencia en el aumento de los eventos extremos en la zona además de que los escenarios nos revelarán la condición futura. También esta información puede ser útil para definir acciones que minimicen o aprovechen los efectos del cambio climático.

La creación de escenarios es una de las etapas más importantes dentro de los estudios de riesgo por factores hidrometeorológicos, pues de ellos depende la dirección de algunas de las acciones a seguir en el futuro. Los escenarios de cambio climático se han desarrollado como puentes entre los modelos del clima y los estudios de potenciales impactos. Los escenarios deben brindar información relevante para la toma de decisiones en distintos sectores permitiendo proyecciones de impactos, incluyendo rangos de incertidumbre (Sánchez *et al.*, 2011).

1 MARCO CONCEPTUAL, GEOGRAFICO Y METODOLOGICO

1.1 Marco conceptual

1.1.1 El Clima

Para entender al sistema atmósfera, en específico el clima, como recurso natural indispensable del que se tiene bienestar y salud, se requiere echar mano de distintas definiciones, una de ellas es la estadística en la que se refiere a éste como al promedio del estado del tiempo y, para esto, se requiere por lo menos un periodo aproximado de treinta años (OMM, 2001). Otra definición para clima se caracteriza por ser el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracteriza el estado medio de la atmósfera de un lugar determinado (Ayllón, 2003).

El clima depende de un gran número de factores que interactúan de manera compleja. A diferencia del concepto tradicional de clima, como el promedio de alguna variable, hoy en día se piensa en éste como un estado cambiante de la atmósfera, mediante sus interacciones con el mar y el continente, en diversas escalas de tiempo y espacio. Cuando un parámetro meteorológico como la precipitación o la temperatura sale de su valor medio de muchos años, se habla de una anomalía climática ocasionada por forzamientos externos como puede ser algún cambio en la intensidad de la radiación solar recibida o incluso cambios en las características del planeta (concentración de gases de efecto invernadero, cambios en el suelo, etc.) resultado de la actividad humana (Martínez *et al.*, 2005).

1.1.2 Variabilidad climática

Se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos del clima (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa) (IPCC, 2007).

Buena parte de la variabilidad del clima es predecible y abre la posibilidad de realizar predicciones útiles en diversas actividades socioeconómicas. Las predicciones pueden ser estacionales, por ejemplo, las que se realizan para regiones afectadas por el fenómeno El Niño / Oscilación del Sur (ENOS). En este caso, la lenta respuesta térmica del océano constituye una memoria útil para el clima. Hoy en día se sabe que la humedad en el suelo también constituye un mecanismo de memoria que puede afectar el clima; es por ello que la deforestación o la urbanización resultan en variabilidad o cambio climático, al afectar la humedad que puede ser retenida por el suelo (Magaña, 2004).

Es importante conocer la variabilidad climática debido a que conceptos como variabilidad y cambio climático tienden a igualarse. Además, parte del ciclo normal del clima se experimentan las anomalías, sobretodo en el último siglo, y posiblemente en las próximas décadas podrían incluir alteraciones en las formas como actualmente experimentamos la variabilidad interanual o interdecadal del clima (Magaña, 2004).

1.1.3 Cambio Climático

El clima de la Tierra ha cambiado muchas veces a lo largo de su historia. Esta variación se debió a cambios naturales que se han producido en el equilibrio energético entre la energía solar entrante y la energía reemitida por la Tierra hacia el espacio (PNUMA, 2005).

Se sabe que existen ciertos factores que pueden producir cambios en el clima, aunque no de manera precisa. Tal es el caso del cambio climático del último siglo. Es por ello que no fue sino hasta 1995 que un grupo de científicos reunidos en el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) plantean que: “El balance de las evidencias sugiere que hay una influencia humana discernible en el clima global”. El problema de pronunciarse de manera definitiva respecto al cambio climático radica en que, a diferencia de los ciclos regulares de las glaciaciones o de las estaciones, muchas formas de variabilidad natural de muy baja frecuencia del sistema climático apenas comienzan a

explicarse y no es fácil diferenciarlas del cambio climático de origen antropogénico. Las anomalías del clima experimentadas en el último siglo, o por vivirse en las próximas décadas podrían incluir alteraciones en las formas como actualmente experimentamos la variabilidad interanual o interdecadal del clima (Magaña, en Martínez *et al.*, 2005).

De acuerdo al IPCC (2001), cambio climático se refiere a cualquier cambio del clima en el transcurso del tiempo ya sea por razón de su variabilidad natural o como resultado de actividades humanas. Aunque el problema actual del cambio climático tiene que ver con las actividades que realizan las sociedades humanas para adaptarse a su medio ya que cada vez son más vulnerables ante los eventos extremos relacionados con el cambio de clima como lo son las inundaciones, heladas constantes y sequías extremas (Silva, 2008).

La variabilidad del clima tiene que ver con las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados (SEMARNAT-INE, 2009).

1.1.4 Escenarios de Cambio Climático

Las formas de variabilidad del clima son muchas y, por tanto, pronosticarlo a largo plazo no es fácil. Es por ello que distinguir que produce cambios en el clima de un año a otro, o en escalas mayores de tiempo, constituye un reto científico. Saber qué parte de la variabilidad del clima es predecible abre la posibilidad de realizar predicciones útiles en diversas actividades socioeconómicas (Martínez *et al.*, 2005).

Un escenario se define como una representación plausible y a menudo simplificada del clima futuro, basada en un conjunto internamente coherente de relaciones climatológicas, que se construye para ser utilizada de forma explícita en la investigación de las consecuencias potenciales del cambio climático antropogénico, y que sirve a menudo de insumo para las simulaciones de los

impactos, requiere de información adicional acerca del clima observado en un momento determinado (IPCC, 2007).

1.1.4.1 Escenarios de cambio climático del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

Los escenarios de emisiones son el componente central de cualquier evaluación del cambio climático. Estos escenarios pertenecen al IPCC y se agrupan en cuatro familias diferentes e incluyen su impacto estimado en el clima (Figura.1).

A1: Considera un futuro de rápido crecimiento económico y de población que alcanza un pico a mediados del siglo y declina posteriormente con la introducción de tecnologías eficientes.

A2: Considera un mundo muy heterogéneo con un incremento constante en la población y crecimiento regional más fragmentado y lento que los otros escenarios.

B1: Considera un mundo convergente con la misma población que A1 pero con cambios rápidos en estructuras económicas orientadas hacia una economía de servicios e información con reducciones en intensidad material y la introducción de tecnologías limpias y eficientes.

B2: Considera un mundo en el que se pone énfasis en soluciones económicas, sociales y ambientales de manera local con incrementos constantes en la población (pero menor que A2) con desarrollo económico intermedio.

Los escenarios se basan en proyecciones de las condiciones tecnológicas, económicas, relacionadas con la población, la energía, el uso de suelo, y la agricultura. Dos grupos de escenarios enfatizan riqueza material y arrojan resultados de altas emisiones mientras los otros dos restantes visualizan un mundo sostenible y equilibrado (Velasco 2010).

De estas familias de escenarios, el IPCC eligió seis grupos para su análisis: un grupo de cada familia A2, B1, y B2 y tres grupos de la familia A1 caracterizando

desarrollos alternativos de energía; A1F1 (uso intensivo de combustibles fósiles), A1T (uso predominantemente no fósil), y A1B (uso balanceado entre fuentes de energía) (Sánchez, *et al.*, 2011).

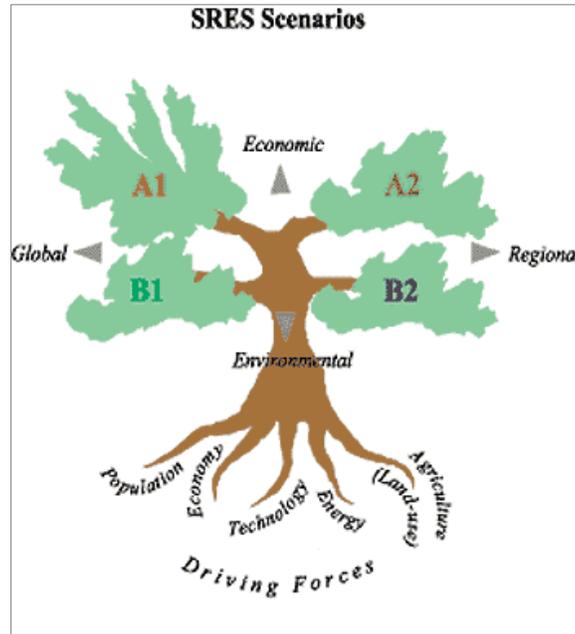


Figura. 1 Familia de Escenarios que se incluyen dentro del reporte especial del IPCC, sobre Informe de Emisiones (IEEE, 2000)

Un escenario es una descripción posible de un futuro estado del mundo, no es un pronóstico sino una imagen alternativa de cómo el futuro pueda desarrollarse. Una proyección puede servir como materia prima para un escenario, pero a menudo requieren de información adicional. Un conjunto de escenarios a menudo se adoptan para reflejar lo mejor posible el rango de incertidumbre en las proyecciones (IPCC, 2010).

Los escenarios ayudan en el análisis del cambio climático, incluyendo el modelado del clima y la estimación de impactos, adaptación y mitigación. Se puede agregar también que los escenarios de cambio climático deben brindar información relevante para los sectores o a la medida de las necesidades del usuario, suficientemente detallada para ser utilizada en los estudios de impacto. La necesidad de contar con información detallada para diseñar políticas de

adaptación ha resultado en que la mayoría de los escenarios de cambio climático han sido regionalizados (Mendoza, 2011).

Los modelos climáticos llamados Modelos de Circulación General (MCG o GCM por sus siglas en inglés) se utilizan para obtener proyecciones climáticas, de temperatura, precipitación y de otras variables climáticas.

Las proyecciones climáticas sirven a menudo como materia para la creación de escenarios climáticos, pero éstos suelen requerir información adicional, como datos sobre el clima observado en la actualidad, emisiones futuras de gases de efecto invernadero (Velasco, 2010), las cuales responden a determinadas fuerzas del entorno como el crecimiento demográfico, el desarrollo sociodemográfico y los cambios tecnológicos.

La construcción e implementación de escenarios de cambio climático es una de las primeras acciones para realizar evaluaciones de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, especialmente en el contexto de los impactos potenciales en los sectores clave de un país o una región (Velasco, 2010).

1.1.5 Área Natural Protegida (ANP)

Una Área Natural Protegida es una porción del territorio y aquéllas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, cuyo fin es conservar la biodiversidad representativa de los distintos ecosistemas para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos, cuyas características no han sido esencialmente modificadas o alteradas por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas o restauradas.

Éstas áreas se crean mediante decreto presidencial y son manejadas bajo el instrumento político-jurídico que regula las actividades que pueden llevarse a cabo en ellas; se establecen de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y su Reglamento, así como en los Programas de Conservación y Manejo y de Ordenamiento Ecológico, estando sujetas a

regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo, según categorías establecidas en la Ley (CONANP, 2009).

Así mismo, las ANP tienen como finalidad vigilar que el aprovechamiento de los recursos dentro de la zona se realice de manera sustentable, preservando la flora y fauna particular del ecosistema; lo que permite propiciar la investigación y estudio de los ecosistemas con el fin de generar conocimiento y transmitir aquellas prácticas o tecnologías que permitan el aprovechamiento sustentable de los mismo y, a su vez, proteger el entorno de las zonas históricas, arqueológicas de valor e importancia cultural y recreativa (PROFEPA, 2012).

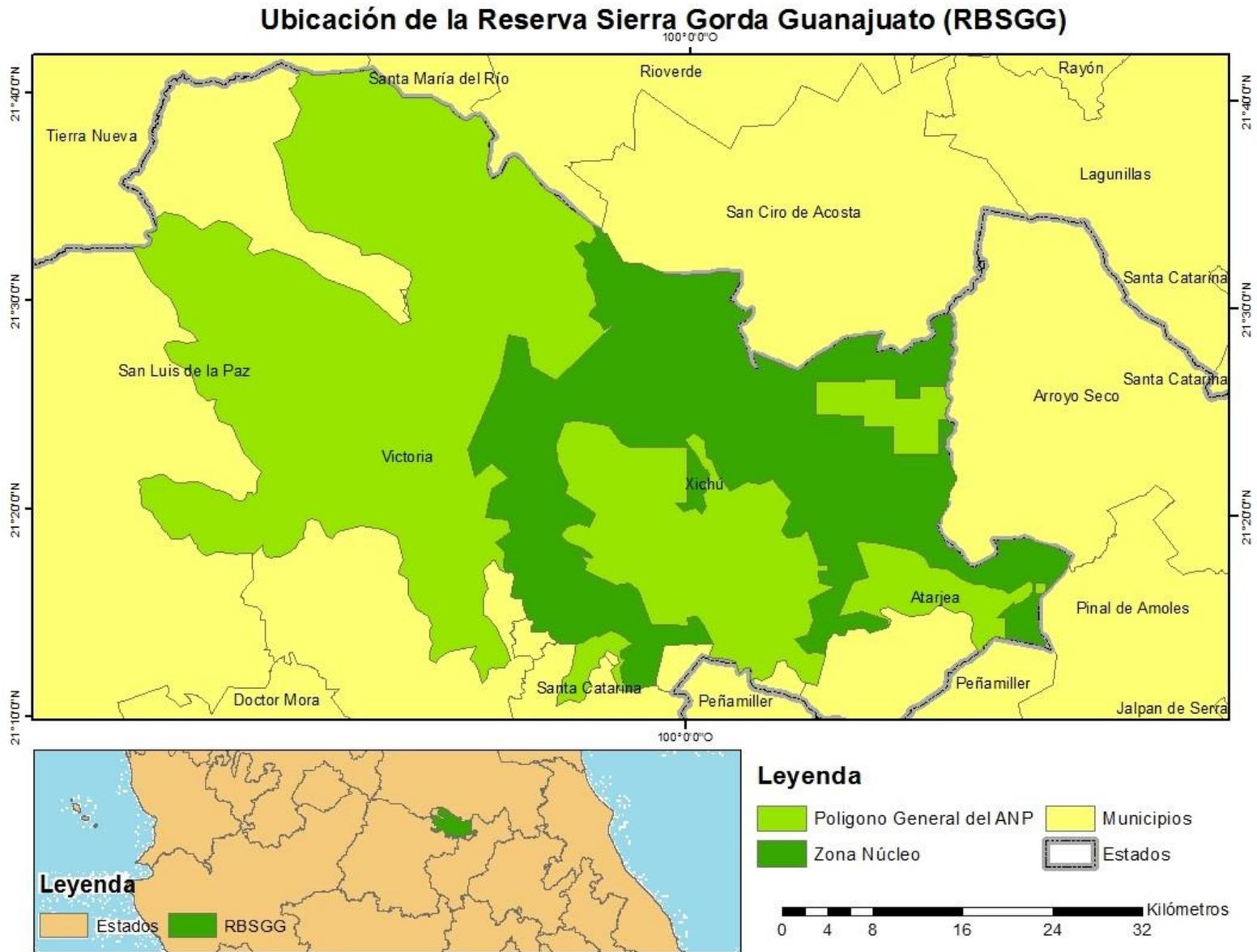
En 2013 en México existen decretadas 174 Áreas Naturales Protegidas de carácter federal que abarcan una superficie de 25, 384, 818 de hectáreas, lo que representa el 12.85 % del territorio nacional.

1.2 MARCO GEOGRÁFICO

La Sierra Gorda se divide en dos regiones, la del estado de Querétaro cuenta con un decreto federal publicado en el Diario Oficial de la Federación el 19 de mayo de 1997, la cual la declara como Reserva de la Biósfera, y la Sierra Gorda del Norte y Noreste de Guanajuato decretada el 2 de Febrero del 2007 con carácter de Reserva de la Biósfera.

Algunas de las críticas que se tenían debido a que una región se encontraba en decreto y otra no, era debido a que los límites ecológicos no respetan límites estatales y eran muy necesario integrar esta área para una protección complementaria en la región.

La región de Sierra Gorda es reconocida como una zona en México que aún conserva importantes mecanismos ecológicos en cuanto a regulación climática e hidrológica, alta biodiversidad de especies y recursos biológicos aún no estudiados con todo su potencial de ser aprovechados en multitud de usos y



Figurs 2. Ubicación de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda Guanajuato

aplicaciones, desde medicinales y alimentarias hasta recreativas y culturales (SEMARNAT-CONANP, 2005).

En particular la Sierra Gorda del Norte y Noreste de Guanajuato se caracteriza por la conservación de amplias áreas de ecosistemas y recursos naturales lo que ha propiciado el decreto del Área Natural Protegida: Reserva de la Biósfera “Sierra Gorda de Guanajuato” (RBSGG). Sus condiciones orográficas, con escarpadas y abruptas serranías, comunicadas únicamente por caminos de terracería y brechas, generan condiciones de inaccesibilidad a muchos de los recursos naturales que aún se conservan en condiciones de baja alteración y en algunos casos aparentemente aun intactos (Decreto de la SGGTO, 2007).

El área decretada abarca la zona Noreste del municipio de San Luis de la Paz hasta sus límites con el Estado de San Luis Potosí, con una superficie de 38-482-98.83 has, que representa el 19.68% de la superficie municipal; ocupa el 77% del municipio de Victoria hasta sus límites con San Luis Potosí, con un área de 79-273-46.012 has; el municipio de Xichú con una superficie de 81-619-41.83 ha, que representan el 98.39 % de su territorio; mientras que del municipio de Atarjea se incluyen 23-843-48.94 has, para un porcentaje del 60.62 % de su área total; finalmente de Santa Catarina se incluye sólo en una pequeña porción Norte, en colindancia con el municipio de Xichú, con una superficie de 2-398-92.058 has, lo que representa el 12.98% del total de la superficie municipal (Figura 2) (SEMARNAT, CONANP, 2005).

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010, del Instituto Nacional Estadística y Geografía, sobresalen en cuanto a número de habitantes: Xichú (1,569 habitantes), El Carricillo (702 habitantes), San Miguel Casitas (669 habitantes), El Guamúchil (917 habitantes) y Atarjea (1,221 habitantes). También, se ubican cerca de la RBSGG, las cabeceras municipales de San Luis de la Paz y Victoria (CONANP, 2012).

1.2.1 Características de la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda Guanajuato.

La RBSGG es dominada por paisajes volcánicos, montañosos sedimentarios hasta paisajes cársticos localizados principalmente en la zona perteneciente al municipio de Xichú. El relieve de la provincia (Provincia Sierra Madre Oriental) a la cual pertenece ha sido modelado por dos grandes eventos: el vulcanismo del Terciario inferior asociado con grandes paquetes de vulcanitas y la sedimentación de carácter continental formando paisajes geomorfológicos muy diversos (CONANP, 2012).

En la zona que pertenece al municipio de San Luis de la Paz, predominan las mesas volcánicas con terreno elevado plano de gran extensión, con laderas de pendientes moderadas a abruptas y formando valles bien marcados, planicies de material piroclástico formadas por la acumulación y compactación de cenizas volcánicas. Además de las montañas sedimentarias originadas por plegamiento características de la Sierra Madre Oriental, se encuentran montañas cársticas, así como, depresiones y colapsos que forman dolinas, úvalas, pozos y manantiales (SEMARNAT, CONANP, 2005).

Factores Climáticos

El área se ubica en la transición de climas semisecos al poniente, cubriendo el 51.46% del polígono, a templados subhúmedos al oriente, que se distribuye en el 13.56% del territorio del polígono, pasando por semicálidos en el 34.96%, siendo los primeros los que dominan en la superficie del área (CETENAL, 1973. Carta Estatal de Climas Esc. 1:250,000).

En ese mismo sentido las isoyetas van de los 500-550 hasta los 700-750 mm. Por la parte de San Luis de la Paz, el área en su mayoría presenta un clima semiseco con lluvias en verano con un rango de precipitación anual de 500 a 600 mm., siendo el menos seco con temperatura media anual entre 12 y 22°C. Este mismo clima se presenta en pequeñas áreas en la parte Sur del polígono en Victoria, al

Suroeste de Xichú y al Norte de Santa Catarina (CETENAL, 1973. Carta Estatal de Climas Esc. 1:250,000).

En relación con las heladas, en los climas semisecos ubicados en el polígono, la frecuencia de heladas está en el rango de 10 días durante los meses de noviembre y diciembre. La frecuencia de heladas en los climas templados ubicados en el polígono es de 10 a 40 días en el periodo de noviembre-febrero, presentándose en enero la máxima incidencia. Para los climas semicálidos, las heladas se reducen a 10 días (SEMARNAT, CONANP, 2005).

Las granizadas que se presentan en el área van de 0 a 1 vez al año en su porción extrema en San Luis de la Paz. Posteriormente se incrementa de 1 a 2 veces al año en sus límites con Victoria hasta la parte Norte del área, así como en la porción oriente de Atarjea. Las granizadas de 2 a 3 veces al año se ubican en la parte restante de Victoria, en Xichú, una parte de Atarjea y la parte norte de Santa Catarina. Granizadas mayores a 3 veces al año se presentan en la porción de Xichú y parte de Atarjea, así como una pequeña fracción de Victoria (SEMARNAT, CONANP, 2005).

Los vientos dependen de los meses en los que se encuentre, aunque los dominantes son: del oeste en invierno; del sureste y suroeste en primavera; y del este-noreste durante verano y otoño. En los climas semisecos la frecuencia de heladas es de 10 a 50 días al año. En el extremo noroeste, rango es de 10 días durante los meses de noviembre y diciembre. Para los climas semicálidos las heladas se reducen a 10 días y en algunas áreas del centro y suroeste el fenómeno es inapreciable. (SEMARNAT, CONANP, 2005).

Existen registros de fenómenos como los huracanes que han llegado acontecer a la zona entre estos se encuentran: Inez en 1966, Dolly 1996, un registro en 1924, Gert en 1993 aunque por su lejanía al Golfo de México solo afectan a la región cercana a San Luis Potosí y Querétaro (Granados *et. al.*, 2012).

Hidrología superficial y subterránea

La RBSGG está ubicada en la cuenca hidrológica del Río Tamuín (subcuenca hidrológica Tampaon - Santa Martha - La Laja) dentro de la región hidrológica 26 “Pánuco”. La cuenca hidrológica Río Tamuín recibe las aguas del Río Santa María Alto y Río Santa María Bajo (CNA-CEAG, 2008).

Desde el punto de vista hidrogeológico la región de la RBSGG se ubica dentro de los límites del acuífero administrativo 1101 “Xichú-Atarjea”, con una extensión superficial de 3,815 km² comprendiendo los municipios de Xichú, Atarjea, Santa Catarina, Tierra Blanca, Victoria, y parte de San Luis de la Paz. (CONANP, 2012).

Uso de Suelo

Dentro de la reserva existen diversos tipos de vegetación: bosque de coníferas, bosque de latifoliadas, bosque mesófilo de montaña, bosque de galería, selva, matorral xerófilo, matorral crasicaule, matorral rosetófilo, matorral submontano, vegetación hidrófita. La superficie de uso de suelo y vegetación en mostrada en la tabla 1.

Tabla 1. Uso de suelo y Vegetación en la RBSGG según CONANP, 2012.		
Categoría	Superficie (ha)	Proporción (%)
Bosque Mesófilo de Montaña	93.10	0.039
Bosque de Latifoliadas Secundario	21851.65	9.243
Bosque de Latifoliadas	9821.52	4.155
Bosque de Galería	49.34	0.021
Bosque de Coníferas Secundario	20781.66	8.791
Bosque de Coníferas	28776.96	12.173
Vegetación Acuática	2.08	0.001
Selva Baja Caducifolia	5435.47	2.299
Pastizal Natural	1748.72	0.740
Pastizal Inducido	23956.57	10.134

Tabla 1. Uso de suelo y Vegetación en la RBSGG según CONANP, 2012.		
Categoría	Superficie (ha)	Proporción (%)
Matorral Xerófilo Secundario	212.45	0.090
Matorral Submontano	97060.25	41.057
Matorral Crasicaule Secundario	10314.15	4.363
Matorral Crasicaule	3240.56	1.371
Cuerpo de Agua	140.84	0.060
Cauce	368.61	0.156
Asentamiento Humano	511.73	0.216
Agricultura de Temporal	11059.41	4.678
Agricultura de Riego	980.86	0.415

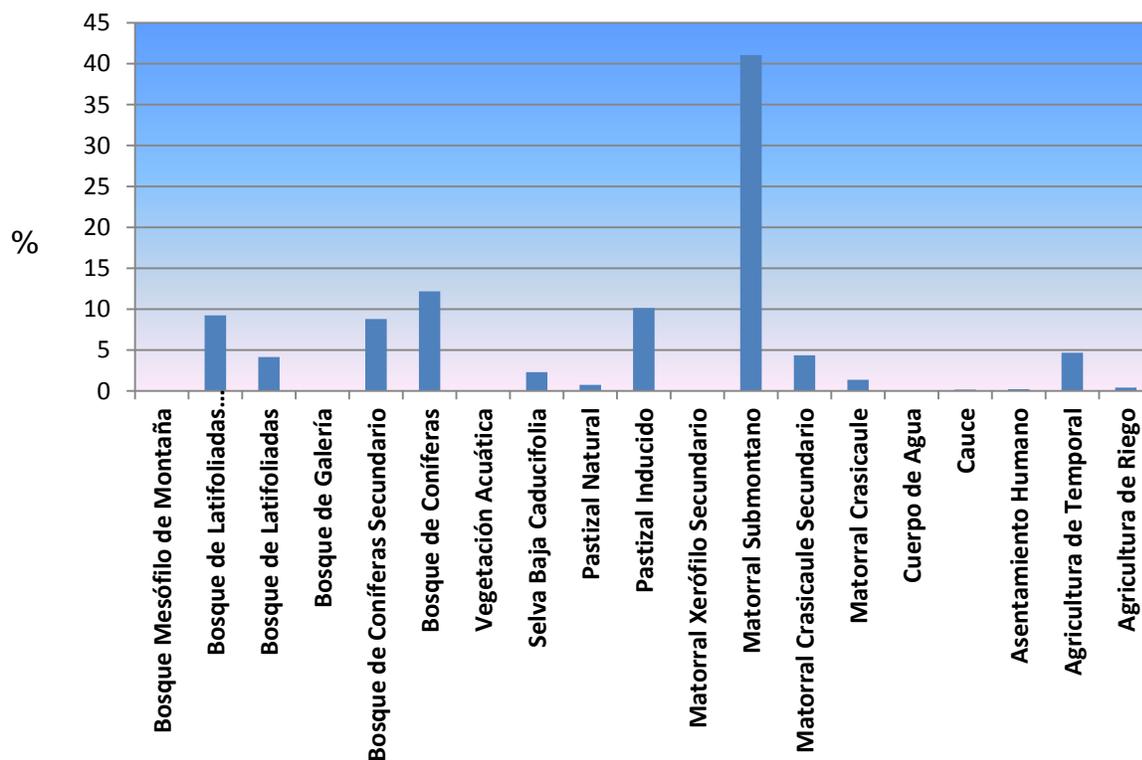


Figura 3. Proporción en porcentaje (%) de uso del suelo en la RBSSG.

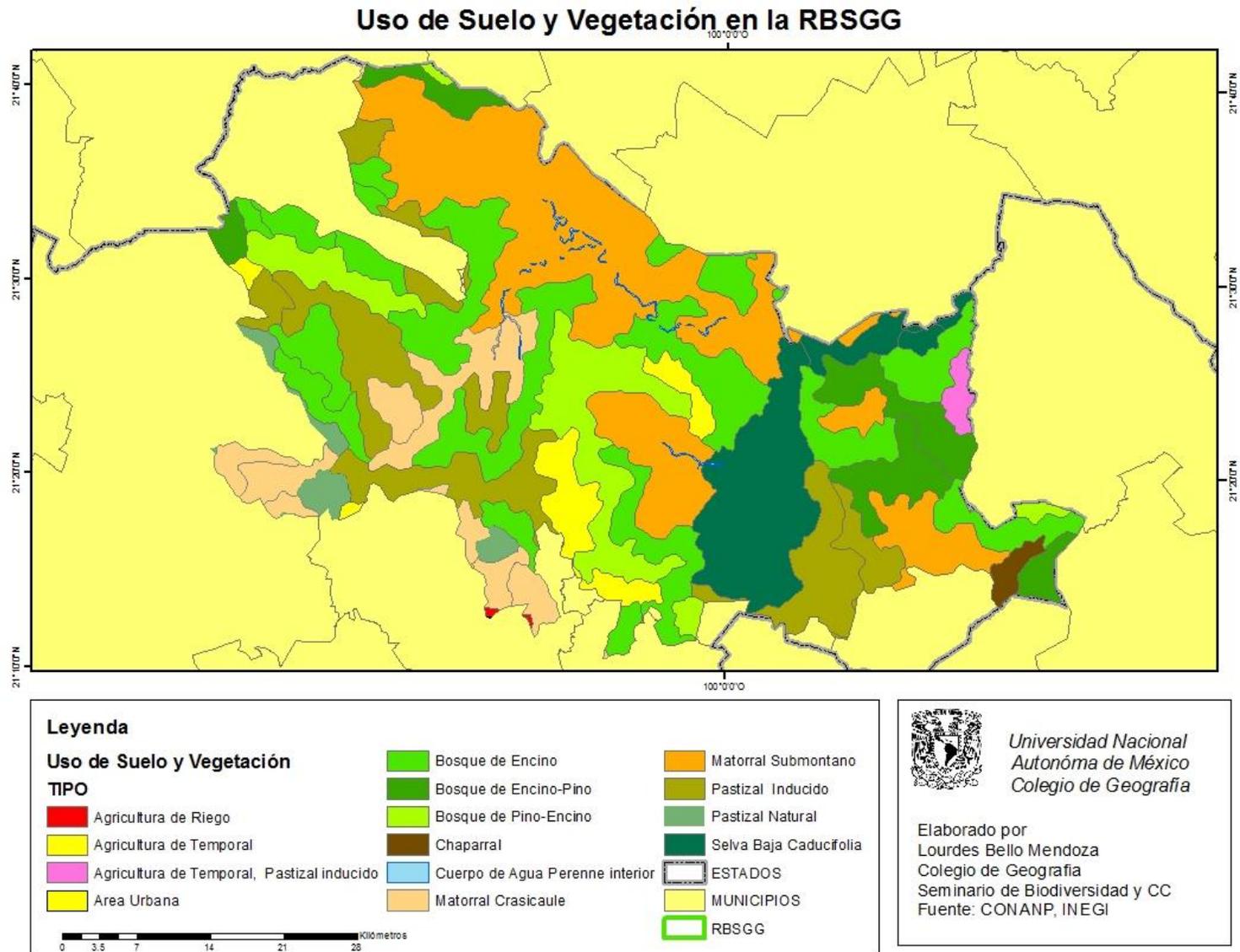


Figura 4. Distribución de los tipos de suelos en la RBSGGTO.

1.2.2 Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda Guanajuato

En este programa existe una componente destinada a la mitigación y adaptación al cambio climático, y entre las metas esperadas se tienen:

- Desarrollar acciones de vigilancia para evitar la deforestación y cambios de uso del suelo de manera permanente.
- Restaurar ecosistemas degradados para incrementar los sumideros de carbono de manera permanente.
- Impulsar el pago por captura de carbono en los ecosistemas del área natural protegida y zona de influencia en el largo plazo.
- Aplicar medidas de prevención y combate de incendios forestales de manera permanente.
- Impulsar medidas que favorezcan una mayor capacidad de adaptación de los ecosistemas ante las perturbaciones naturales y antropogénicas permanentemente.

La RBSGG es de las últimas reservas de la Biósfera recién decretada (2007) y, por lo tanto, se exhortó a la creación de su programa de manejo (2012) por ser una herramienta que dirige la planeación y regulación que establece actividades, acciones y lineamientos básicos para la operación y administración del ANP.

Parte de la problemática antes de que se decretara Reserva de la Biosfera y que se tuvo al no tener el Programa de Manejo, fue que se llevaron a cabo actividades de diversos tipos, como la presión de los recursos naturales al debido al deterioro ambiental que contrasta con la parte sur y suroeste del estado. Entre los problemas se encontraban: el sentamiento de aserraderos en lo que sería la zona núcleo del ANP, la tala sin control, y explotación de recursos mineros sin monitoreo, entre otros.

A nivel general, sólo el estado de Guanajuato cuenta con un Ordenamiento Ecológico Territorial, en el cual se distinguen 2 zonas, 4 provincias, 9 sistemas y 65 paisajes. Las zonas se denominan Zona Árida I y Zona Templada II; esta última comprende tres provincias, entre las cuales, la denominada Sierra Gorda (CONANP, 2012).

Dentro de las zonas de manejo del se tienen lo que son la zona núcleo (protección y uso restringido) y la zona de amortiguamiento, en donde se realizan diversas actividades como aprovechamiento sustentable, y las denominadas zonas de aprovechamiento especial, ya que en la reserva se tienen concesiones mineras y, además, se construye la presa El Realito, de la cual se retomará más adelante (CONANP, 2012).

1.3 MARCO METODOLÓGICO

Desde mediados del siglo XX, los modelos numéricos para simular procesos de circulación atmosférica han mejorado notablemente. La simulación y el pronóstico del clima han sido objetivos primordiales de los científicos. Los modelos de circulación general de la atmósfera GCM (por sus siglas en inglés) se han usado para estudiar la variabilidad y cambio climático. Para que un modelo climático sea considerado útil para usarse como herramienta de análisis debe poder simular, al menos aproximadamente, el ciclo anual promedio del clima (Quintanilla, 2004).

Magaña (2004) afirma que las predicciones de algún modelo, para que sean consideradas, deben incluir algunas características observadas hasta ahora del calentamiento global. Idealmente, se esperaría que un modelo describiera que:

- 1) La temperatura de superficie ha aumentado y continuará aumentando más rápidamente sobre el continente que sobre los océanos.
- 2) La tropósfera baja también se ha estado calentando, aunque a un menor ritmo que la superficie.
- 3) La amplitud del ciclo diurno de la temperatura ha disminuido al aumentar las temperaturas mínimas por el aumento de la nubosidad y la precipitación.

- 4) Los glaciares se han retraído, y la cubierta de hielo y nieve disminuido.
- 5) El calor en el océano ha aumentado.
- 6) Hay más vapor de agua en la atmósfera que resulta en más precipitación, como en el Hemisferio Norte.
- 7) Algunas partes en el Hemisferio Sur no parecen estar calentándose.
- 8) No hay tendencias en la extensión de la cobertura de hielo y nieve en la Antártida.
- 9) Las variaciones observadas en la intensidad y frecuencia de los ciclones extratropicales no muestran una tendencia significativa.

La mayoría de los modelos simulan adecuadamente sólo uno de los puntos antes mencionados, pero se puede pensar que las proyecciones que se obtienen de ellos deben tomarse seriamente, principalmente las variaciones de muy baja frecuencia y las tendencias del clima pronosticadas (Magaña, 2010).

Cambios en el uso de suelo por ejemplo, pueden generar cambios locales en la dinámica del clima, al modificarse el albedo, la rugosidad y la humedad del terreno. Así, la deforestación tenderá a aumentar la cantidad de energía reflejada en la superficie afectando la humedad en el suelo y, con ello, el ciclo hidrológico (Magaña, 2010).

La creación de los escenarios de cambio climático es una de las etapas más importantes dentro de los estudios de riesgo ante cambio climático, pues de ellos depende la dirección de los impactos estimados. Los escenarios regionales constituyen puentes entre los encargados de los GCM y los responsables de construir estrategias de adaptación (Sánchez, *et al.*, 2011)

Los escenarios de cambio climático deben brindar información de interés para los sectores o a la medida de las necesidades del usuario, suficientemente detallada para ser utilizada en los estudios de impacto.

La información debe ser representativa del rango de cambio y de incertidumbre de las proyecciones, incorporando características de la región y diseñada para alimentar esquemas de toma de decisiones (Sánchez *et al.*, 2011).

A su vez, desde finales de la década de los ochenta y principios de los noventa, se han desarrollado diversas técnicas de regionalización para refinar espacialmente la información generada por los GCM, y proporcionar datos útiles para estudios de evaluación de impactos (Aguirre, 2010).

Los escenarios de cambio climático regionalizados para México son fuente de información para analizar el impacto en sistemas humanos y naturales bajo diversas proyecciones en términos de probabilidades. Para esto, se emplean Modelos de Circulación General con resolución espacial de una malla de 300 x 300 km², aproximadamente (IPCC, 2007).

Las técnicas de reducción de escala son generalmente utilizadas para combinar información climática de escala menor conjuntamente con otros datos de resolución más alta a fin de producir pronósticos de variables climáticas a resoluciones más altas. Existen tres categorías principales de técnicas de resolución a escala (Puma *et al.*, 2011).

1. ***Básica***
2. ***Dinámica***
3. ***Estadística***

1) Reducción de escala Básica

Existen varios enfoques de reducción de escala básica sin embargo un método muy comúnmente usado se le conoce como “factor-cambio” o “delta”, en el que se aplican directamente cambios climáticos derivados de los GCM combinados con datos climáticos de línea base (climatología de observación) (Puma *et al.*, 2011).

No obstante tiene algunas limitaciones ya que se da por hecho que los patrones climáticos espaciales permanecen sin cambios en el futuro, además las secuencias de días secos y de lluvia permanece sin cambios si el estudio involucra series temporales de datos climáticos diarios con ello no pueden observarse los cambios transitorios (Puma *et al.*, 2011).

2) Reducción de escala Dinámica

Consisten en enormes programas informáticos que se ejecutan en los superordenadores más potentes, con los que se resuelve numéricamente un conjunto de ecuaciones que expresan las leyes y principios de la Física que gobiernan al sistema climático terrestre (Henderson-Sellers *et al.*, 1990).

En general cumple la misma función que un GCM pero a una resolución mucho más alta por lo que contienen una mayor representación de la topografía y el uso de suelo (Zermeño, 2008), Sin embargo la reducción de escala dinámica requiere de una gran cantidad de datos observados y los experimentos realizados pueden llegar a ser informáticamente onerosos (Puma *et al.*, 2011), (Zermeño, 2008).

La reducción de escala dinámica requiere de gran cantidad de datos de observación y de análisis de sensibilidad para su uso apropiado en una locación dada. Sin embargo es un método complejo del que se debe tomar la capacidad científica, experiencia ya que requiere de adecuada técnica, recursos financieros y de equipos para realizar los experimentos (Puma *et al.*, 2011).

3) Reducción de escala Estadística

Se refieren a los métodos estadísticos que se basan en el establecimiento de relaciones empíricas entre variables de baja y alta resolución. Por lo tanto este método está basado en la influencia del estado climático a gran escala y los aspectos fisiográficos regionales (topografía, uso del suelo) dentro del clima de una región (Zermeño, 2008).

Una gran variedad de métodos estadísticos de reducción a escala ha sido desarrollada en la literatura científica. Estos métodos varían en términos de complejidad y enfoque. Existen tres amplias categorías para la reducción a escala estadística (1) modelos de regresión, (2) clasificación del clima, y (3) generadores climáticos (Puma *et al.*, 2011).

El escalamiento temporal puede ser de tipo estadístico y para ello se usan los Generadores Estocásticos de Tiempo Meteorológico (GETM). Además de reducir

la escala espacial de las salidas de los GCM, para obtener un mayor análisis, es necesario que los escenarios de cambio climático a escala regional posean información sobre actividad de tiempo meteorológico extremo. Para esto, se requiere pasar de escenarios mensuales a información diaria y para ello se usan los GETM, los cuales se basan en el establecimiento de relaciones empíricas entre variables de baja y alta resolución, de distintas variables, como precipitación, radiación, temperatura mínima, máxima de los campos observados diarios (Magaña, 2010).

La información diaria generada no corresponde a un pronóstico, corresponde a una condición que satisface ciertas condiciones estadísticas, derivadas de las relaciones empíricas entre las variables analizadas de alta resolución, por lo que es realista, pero solo es una condición probable aleatoria (Méndez, 2003), (Zermeño, 2008).

Un GETM genera secuencias diarias realistas de variables climáticas como precipitación, temperatura máxima, mínima, humedad, etc., con las mismas características estadísticas que los datos observados para la estación o punto de malla a escalar en la proyección.

La componente estocástica en un generador de tiempo está controlada por la selección de un número al azar. Cambiando este número se obtienen secuencias de tiempo completamente diferentes, lo que significa que es posible generar muchas secuencias de tiempo diario de un escenario en particular. Las secuencias estadísticas de cada escenario serán muy parecidas, pero no idénticas (Semenov, 1999).

Un GETM permite evaluar, probabilísticamente, posibles cambios en eventos extremos de precipitación y temperatura bajo escenarios mensuales, ya que permite generar series de datos diarios de cien años o más, para dar robustez estadística a la proyección. Con una muestra tan grande se asegura estabilidad a las estadísticas y robustez a los resultados en la evaluación de los cambios, de

haber alguno. Los GETM son usados siempre que se requieran modelos de impactos en una pequeña escala (Semenov, 1999).

Un ejemplo de un GETM es el llamado *LARS-WG* (Long Ashton Research Station Weather Generator) (Semenov, *et al*, 1998) genera datos sintéticos diarios para una estación o punto a partir de condiciones observadas de precipitación, temperatura máxima, mínima y radiación, en relación con condiciones mensuales.

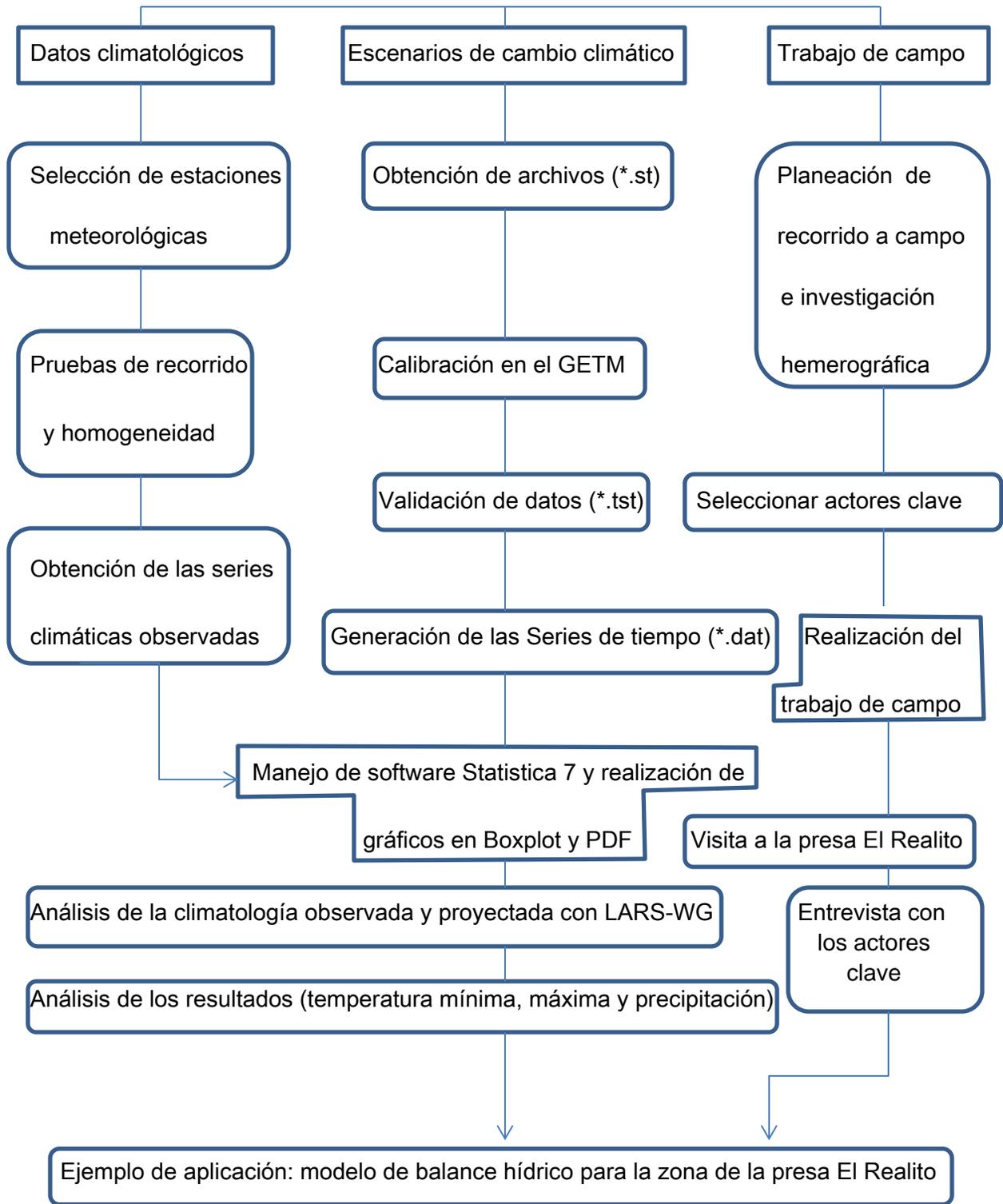
El GETM *LARS-WG* funciona sólo con las series de precipitación diaria. Los escenarios mensuales se manejan como cambios relativos y absolutos respecto a las condiciones medias observadas. De manera similar, se pueden analizar cambios en las condiciones extremas de otros parámetros meteorológicos, con base en ciertas gráficas como las son las de caja.

El análisis de eventos extremos, debería incluir variables climáticas promedios o valores promedios y extremos de las variables climáticas; representa una decisión clave, la cual influye la opción de enfoque científico hacia el desarrollo del escenario climático. La principal razón es debido a que la destreza de predicción depende en gran medida de la variable objetiva (por ejemplo, la temperatura diaria o mensual mínima, máxima y promedio) (Puma, *et al.*, 2011).

A partir de los escenarios mensuales regionalizados se generan series de cien años de datos diarios con un GETM. Las estadísticas de la distribución probabilística de condiciones diarias de temperatura y precipitación se desarrollan para los periodos de 2025, 2050 y 2075, lo cual no significa que sea exactamente para esos años pero sí corresponde a las décadas, centradas alrededor de estos periodos.

A continuación se describen los pasos de la metodología realizada para el trabajo y la cual se inicia en el siguiente capítulo.

Cuadro Metodológico



2. MÉTODOLÓGIA Y BASES DE DATOS

De la red de estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se cuentan con 22 estaciones en el área de la reserva, de las cuales 5 se encuentran dentro del polígono y 17 se seleccionaron con base en un buffer de 10 km; se encuentran distribuidas, tanto para la zona árida como para la zona templada (figura 6).

Los datos de las variables climáticas se obtuvieron de Sistema Clima Computarizado (CLICOM) del SMN con datos a 2011 y de la base de datos del llamado Extractor Rápido de Información Climática (ERIC III v.2.0) del Instituto Mexicano de Tecnología de Agua (IMTA). La base de CLICOM se utilizó para medir la calidad de los datos a partir de la prueba de funcionamiento y la prueba de recorrido para las 22 estaciones.

La validez de los resultados depende no sólo de la técnica utilizada, sino de las series de observación, que a su vez dependen de:

1. La longitud o tamaño de la muestra.
2. La homogeneidad de los datos
3. La coincidencia temporal de las observaciones entre estaciones diferentes a fin de poder establecer comparaciones.

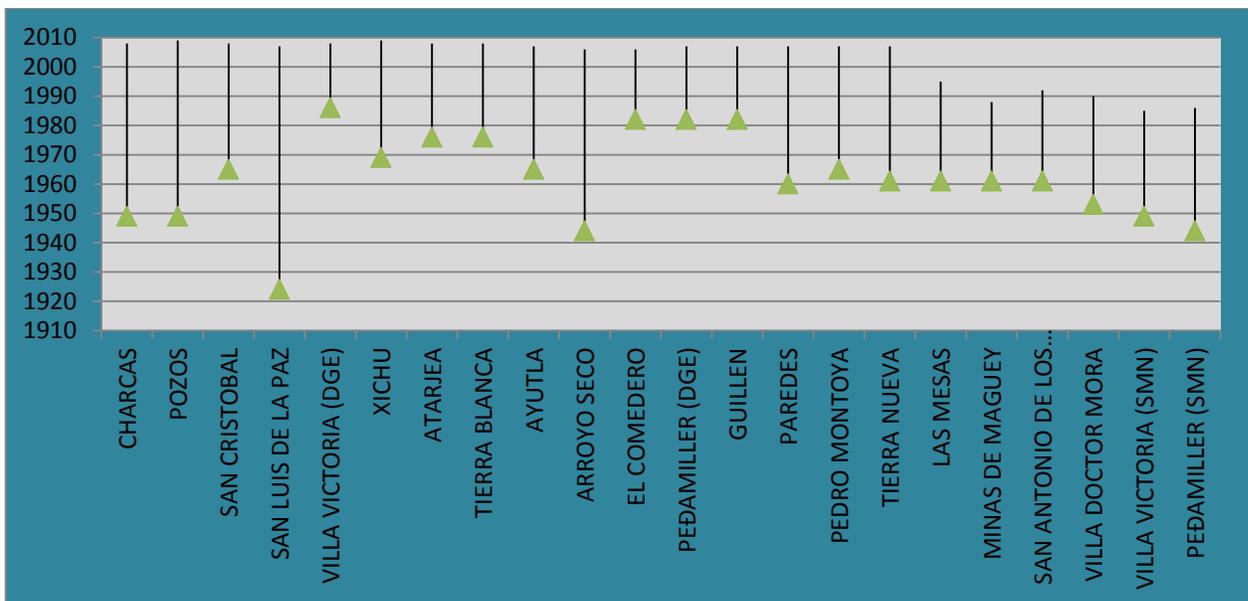


Figura 5. Longitud de la serie de datos de las 22 estaciones de estudio.



Figura 6. Área de Influencia de las estaciones meteorológicas de la RBSGGTO.

En la figura 5 se puede observar que existe una diferenciación entre el inicio y fin de las longitudes de la serie (Prueba de funcionamiento), se observa que la mayor parte de las estaciones han comenzado para las décadas de 1970 y 1980 que son requisito para su manejo según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (Fernández, 1996).

La prueba de funcionamiento y de recorrido son métodos para identificar la calidad de los datos de una serie (Fernández, 1996). La prueba de recorrido o test de las rachas por el Criterio de Doorenbos (Tabla 1) consiste en evaluar una serie y comprende las siguientes etapas:

- Estimación del valor medio de la serie (mediana de la serie ordenada)
- Cálculo de los desvíos de cada elemento respecto al valor medio (Se asigna a cada valor de la serie el signo correspondiente, (+) si está el valor de la serie por encima de la mediana y (-) si está por debajo).
- Cálculo del número de cambios de signo que presenta la serie, con base en el Criterio de Doorenbos, si el número de cambios está dentro del rango admitido, la serie analizada es homogénea, en caso contrario no es homogénea.
- Por último graficar los valores medios (media y la mediana). Para este caso se usó el mes más lluvioso Figura 7.

Tabla 2. Criterio de Doorenbos según Fernández, 1996.			
Nº observ.	Intervalo	Nº observ.	Intervalo
12	5-8	32	13-20
14	5-10	34	14-21
16	6-11	36	15-22
18	7-12	38	16-23
20	8-13	40	16-25
22	9-14	50	22-30
24	9-16	60	26-36
26	10-17	70	31-41
28	11-18	80	35-47
30	12-19	90	40-52
		100	45-57

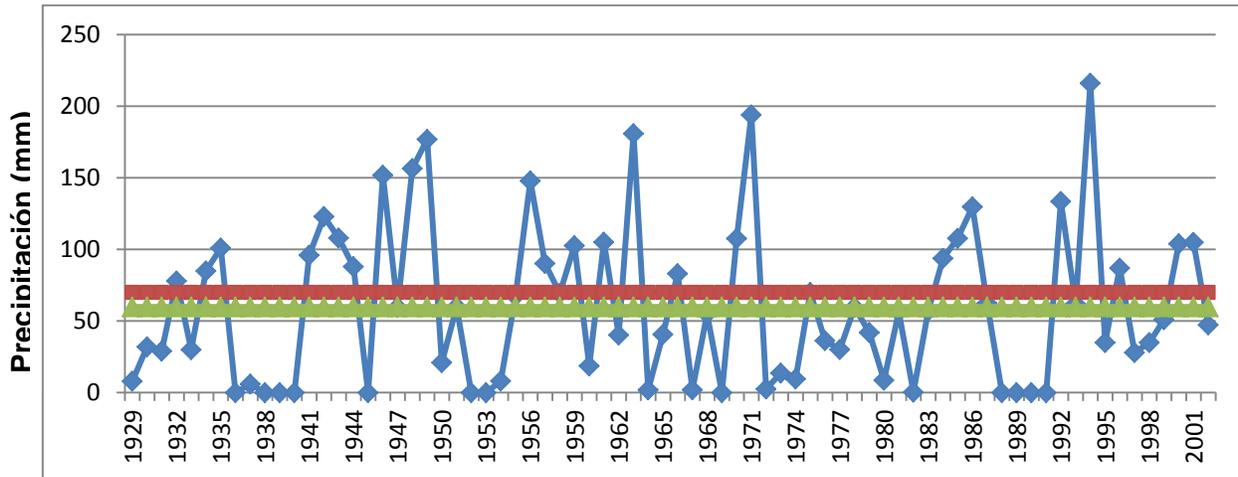


Figura 7. Ejemplo de Prueba de recorrido de la estación San Luis de la Paz (11068) de un total de 73 años, el intervalo según la Tabla 1 son de 31-41 y la serie cuenta con 32 cambios por lo que cumple con el criterio y por lo tanto es homogénea.

La Tabla 2 muestra datos generales de cada una de las estaciones que se encuentran en el área natural de trabajo con un buffer de 20 km y abarca lo que son tres estados, Guanajuato (13), Querétaro (6) y San Luis Potosí (3).

De las 22 estaciones solo 2 no pasaron la prueba de recorrido, Las Mesas (11037) y San Antón de los Martínez (11062) por tener varias lagunas y se encuentran en situación de suspendidas, por lo que se suprimen del trabajo.

La situación de la longitud de las series son buenas en su mayoría; sólo dos estaciones, San Luis de la Paz (11068) y Arroyo Seco (22036) tienen una mayor longitud observable, y para el trabajo del ANP nos dan un buen panorama de la climatología de la zona.

Con ello una vez seleccionadas las estaciones de la zona y que estas hayan cumplido con la prueba de recorrido y funcionamiento se procede a trabajar con el Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico, para este trabajo LARS-WG (Semenov *et al*, 1998) del Rothamsted Research en el Reino Unido.

Tabla 3. Situación general de las estaciones ubicadas en la zona de estudio y de su buffer de 20 km.

CLAVE	NOMBRE	MUNICIPIO	ESTADO	CUENCA	SUBCUENCA	PRUEBA DE RECORRIDO
11015	CHARCAS	Doctor Mora	Guanajuato	Rio Laja	Rio Laja-Peñuelitas	Homogénea
11037	LAS MESAS	San Luis de la Paz	Guanajuato	Rio Tamuin	Rio Santa María Alto	Heterogénea
11046	MINAS DE MAGUEY	Victoria	Guanajuato	Rio Tamuin	Rio Santa María Alto	Homogénea
11053	POZOS	San Luis de la Paz	Guanajuato	Rio Laja	Rio Laja-Penuelitas	Homogénea
11062	SAN ANTON DE LOS MARTINEZ	San Luis de la Paz	Guanajuato	Rio Tamuin	Rio Santa María Alto	Heterogénea
11063	SAN CRISTOBAL	San Luis de la Paz	Guanajuato	Rio Laja	Rio Laja-Penuelitas	Homogénea
11068	SAN LUIS DE LA PAZ	San Luis de la Paz	Guanajuato	Rio Laja	Rio Laja-Penuelitas	Homogénea
11080	VILLA DOCTOR MORA	Doctor Mora	Guanajuato	Rio Laja	Rio Laja-Penuelitas	Homogénea
11081	VILLA VICTORIA (SMN)	Victoria	Guanajuato	Rio Moctezuma	Rio Extoraz	Homogénea
11082	VILLA VICTORIA (DGE)	Victoria	Guanajuato	Rio Moctezuma	Rio Extoraz	Homogénea
11083	XICHU	Xichú	Guanajuato	Rio Moctezuma	Rio Extoraz	Homogénea
11111	ATARJEA	Atarjea	Guanajuato	Rio Tamuin	Rio Santa María Bajo	Homogénea
11119	TIERRA BLANCA	Tierra Blanca	Guanajuato	Rio Moctezuma	Rio Extoraz	Homogénea
22002	AYUTLA	Arroyo Seco	Querétaro	Rio Tamuin	Rio Santa María Bajo	Homogénea
22012	PEÑAMILLER (SMN)	Peñamiller	Querétaro	Rio Moctezuma	Rio Extoraz	Homogénea
22036	ARROYO SECO	Arroyo Seco	Querétaro	Rio Tamuin	Rio Santa María Bajo	Homogénea
22051	EL COMEDERO	Peñamiller	Querétaro	Rio Moctezuma	Rio Extoraz	Homogénea
22057	PEÑAMILLER (DGE)	Peñamiller	Querétaro	Rio Moctezuma	Rio Extoraz	Homogénea
22062	GUILLEN	Peñamiller	Querétaro	Rio Moctezuma	Rio Extoraz	Homogénea
24050	PAREDES	Rio Verde	San Luis Potosí	Rio Tamuin	Rio Verde	Homogénea
24054	PEDRO MONTOYA	San Ciró de Acosta	San Luis Potosí	Rio Tamuin	Rio Verde	Homogénea
24093	TIERRA NUEVA	Tierra Nueva	San Luis Potosí	Rio Tamuin	Rio Santa María Alto	Homogénea

2.1. Escenarios de cambio climático regionalizados

Las salidas de los Modelos de Circulación General (GCM) muestran buena habilidad para simular la evolución de las circulaciones a nivel general, sin embargo es una desventaja para el estudio de impactos locales debido a su resolución espacial es de aproximadamente entre 150-300 km (Amador *et al.*, 2009).

Como se mencionaba anteriormente la reducción a escala estadística que se usará en este trabajo, involucra el desarrollo de relaciones estadísticas entre

variables atmosféricas de gran escala (por ejemplo, resultados de GCM) y variables locales (por ejemplo, observaciones de estaciones meteorológicas). Por tanto, este método está basado en la influencia del estado climático a gran escala y las fases fisiográficas regionales (por ejemplo, topografía, uso de tierras) dentro del clima de una región, que son en gran medida responsables de la dinámica atmosférica de mesoescala (Puma *et al.*, 2011).

2.2. Uso de un Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico

El objetivo principal de este trabajo es la generación de los escenarios de cambio climático regionalizados con el GETM-LARS (Figura 8), las bases de datos observados diarios se tomaron del ERIC III v2, al que se le realizan ciertos procesamientos para crearlos en archivos de sitio (*.st) (*Comunicación Personal: Juan Matías Méndez Pérez, Universidad Veracruzana, 2010*) para poder realizar los siguientes pasos (Semenov, *et al* 2002):

1. **Calibración**
2. **Validación**
3. **Generación de las Series de Tiempo**

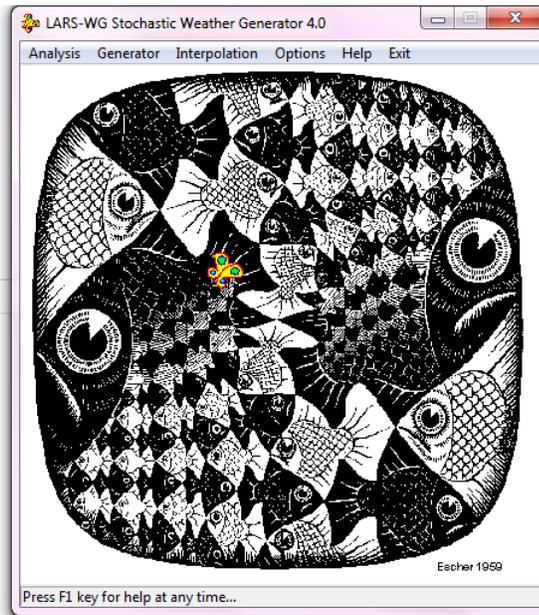


Figura 8. Sistema de inicio de LARS-WG. Disponible en su versión 5:
<http://www.rothamsted.ac.uk/mas-models/larswg.php>

1. En el primer paso, *Calibración* para generar el clima sintético es ir a **SITE ANALYSIS** y seleccionar nuestros datos de entrada (*.st) (Figura 9). Se observan los datos meteorológicos, se analizan para determinar sus características estadísticas. Esta información se almacena en dos archivos

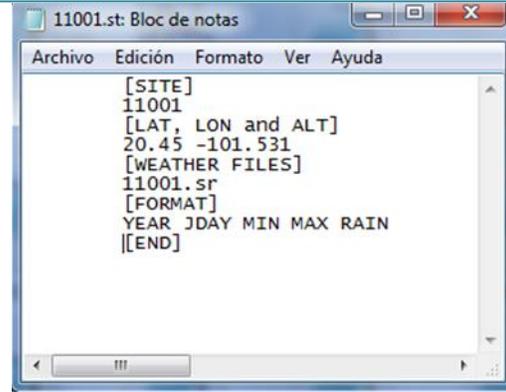


Figura 9. Ejemplo de archivo de sitio (*.st) para la estación 11001.

- a) Un archivo de parámetros (*.wg), que contiene los parámetros requeridos por LARS-WG para generar las series de tiempo y también,
- b) Un archivo de estadísticas (*.sta) que contiene la distribución de frecuencias de temporada para la longitud de la serie en húmedo y en seco y para periodos de calor y frío, que se utiliza en el proceso **QTest**.

El archivo (*.st) contiene información sobre el sitio (nombre y ubicación), la ruta del directorio y el nombre del archivo que contiene los datos del tiempo para el sitio, seguido de un número de [etiquetas] que denota la organización de los datos en el archivo de tiempo y como se observa en el ejemplo (Figura 9).

2. El siguiente paso es la *Validación* que es el proceso de determinar que tan

bien funciona el modelo, es decir, para evaluar la capacidad de LARS-WG para simular el clima en el lugar elegido, con el fin de determinar si es o no adecuado para el uso en su aplicación. Con la **QTest** se generará el número de experimentos con base en la “semilla” aleatoria de la componente estocástica del modelo

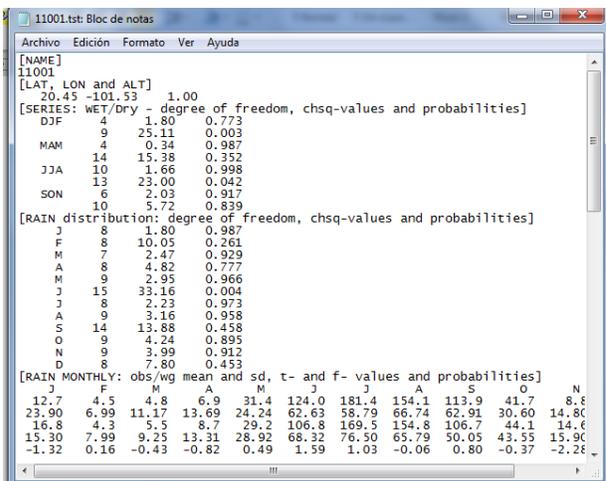


Figura 10. Ejemplo de archivo de validación (*.tst).

(*Rand seed*, se le asigna por defecto) donde las características estadísticas de la observación y los datos meteorológicos sintéticos se analizan para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas, se genera un archivo de validación (*.tst) (Figura 10).

3. La *Generación de las Series de Tiempo* primero es importante conocer las coordenadas de la estación seleccionada. En **GENERATOR** y luego **SITE** se selecciona el punto geográfico más cercano de cada estación se usaron los puntos malla base (*.sce) de Zermeño del 2008, se selecciona el escenarios según las coordenadas de la estación más cercano, una vez concluido el proceso y se genera un archivo (*.dat) Figura 11.

Las salidas que se realicen variará según la disponibilidad de escenarios, para este trabajo de usaron dos: A2 (B) y A1B (C), para los periodos centrados de 25 (2010-2039), 50 (2040-2069) y 75 (2070-2099)

Los datos sintéticos realizados (*.dat) correspondientes a un escenario de cambio climático, el cual contiene los datos de temperatura máxima, mínima y precipitación, los cuales se analizaron con la climatología de la estación para poder conocer las condiciones actuales y futuras en la región.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	TMIN25	TMAX25	PRCP25	TMIN50	TMAX50	PRCP50	TMIN75	TMAX75	PRCP75
6.3	23.7	0	6.9	24.3	0	7.8	25.2	0	7.8	25.2	0	7.8	25.2
7.3	23	0	7.9	23.6	0	8.8	24.4	0	8.8	24.4	0	8.8	24.4
6.9	21.5	0	7.6	22.1	0	8.5	22.8	0	8.5	22.8	0	8.5	22.8
4	20.3	0	4.5	20.8	0	5.2	21.5	0	5.2	21.5	0	5.2	21.5
0.9	20.8	0	1.3	21.3	0	1.9	22.1	0	1.9	22.1	0	1.9	22.1
1.8	22	0	2.2	22.5	0	2.8	23.3	0	2.8	23.3	0	2.8	23.3
-0.5	20.8	0	-0.1	21.3	0	0.4	22.1	0	0.4	22.1	0	0.4	22.1
-2.9	17.7	0	-2.6	18.1	0	-2.2	18.7	0	-2.2	18.7	0	-2.2	18.7
0.8	18	0	1.2	18.4	0	1.8	19	0	1.8	19	0	1.8	19
0.9	21.1	0	1.3	21.6	0	1.9	22.4	0	1.9	22.4	0	1.9	22.4
3	22.3	0	3.5	22.8	0	4.2	23.7	0	4.2	23.7	0	4.2	23.7
5.7	27.8	0	6.2	28.5	0	7.1	29.6	0	7.1	29.6	0	7.1	29.6
5.5	26.5	0	6	27.1	0	6.8	28.2	0	6.8	28.2	0	6.8	28.2
4.3	22.4	0	4.8	22.9	0	5.6	23.7	0	5.6	23.7	0	5.6	23.7
2.9	21	0	3.3	21.5	0	4	22.3	0	4	22.3	0	4	22.3
3.7	19.6	0	4.1	20	0	4.9	20.7	0	4.9	20.7	0	4.9	20.7
7.8	19.3	0	8.4	19.7	0	9.4	20.4	0	9.4	20.4	0	9.4	20.4
5.1	17.4	0	5.6	17.8	0	6.4	18.4	0	6.4	18.4	0	6.4	18.4
5.7	19.1	0	6.2	19.5	0	7.1	20.1	0	7.1	20.1	0	7.1	20.1
-1	15.6	0	-0.7	15.9	0	-0.2	16.4	0	-0.2	16.4	0	-0.2	16.4
-2.5	17.4	0	-2.2	17.7	0	-1.8	18.2	0	-1.8	18.2	0	-1.8	18.2
0.5	19.3	0	0.9	19.7	0	1.5	20.4	0	1.5	20.4	0	1.5	20.4
3.9	20.9	0	4.3	21.4	0	5.1	22.1	0	5.1	22.1	0	5.1	22.1
3.9	25.2	0	4.4	25.8	0	5.1	26.7	0	5.1	26.7	0	5.1	26.7
7.9	24.7	0	8.5	25.2	0	9.4	26.2	0	9.4	26.2	0	9.4	26.2
8.4	25.4	0	9	26	0	10	26.9	0	10	26.9	0	10	26.9
8.9	26.2	0	9.5	26.8	0	10.5	27.8	0	10.5	27.8	0	10.5	27.8
10.5	28.4	0	11.1	29	0	12.2	30.2	0	12.2	30.2	0	12.2	30.2
9.9	28.6	0	10.6	29.2	0	11.6	30.4	0	11.6	30.4	0	11.6	30.4
4	25.2	0	4.5	25.8	0	5.2	26.7	0	5.2	26.7	0	5.2	26.7
0	22	0	0.3	22.4	0	0.8	23.2	0	0.8	23.2	0	0.8	23.2
-0.5	25.2	0	-0.2	25.7	0	0.3	26.7	0	0.3	26.7	0	0.3	26.7

Figura 11. Ejemplo de un archivo (*.dat) para exportar a cualquier paquete estadístico como Statistica o Excel.

Se cuentan con dos escenarios para el análisis: A2 y A1B, para términos prácticos se denominan como de muy altas emisiones y emisiones medias, respectivamente. Tienen una resolución de 0.5 km.

Para los resultados se muestran con dos tipos de técnicas, la de gráficas de caja (Boxplot) y la Función de Distribución de Probabilidad (PDF por sus siglas en

inglés). En la primera, los resultados son arrojados en forma de cuantiles en el que se logra identificar con facilidad la media y los datos extremos o desviación estándar (95%) que en las gráficas de PDF muestra la distribución de los datos en el histograma. Los cambios en la condición media del clima y su variabilidad pueden hacer que los incrementos en temperatura o en precipitación extremas (colas de la PDF) sean mayores que los proyectados para la mediana (Magaña, 2010).

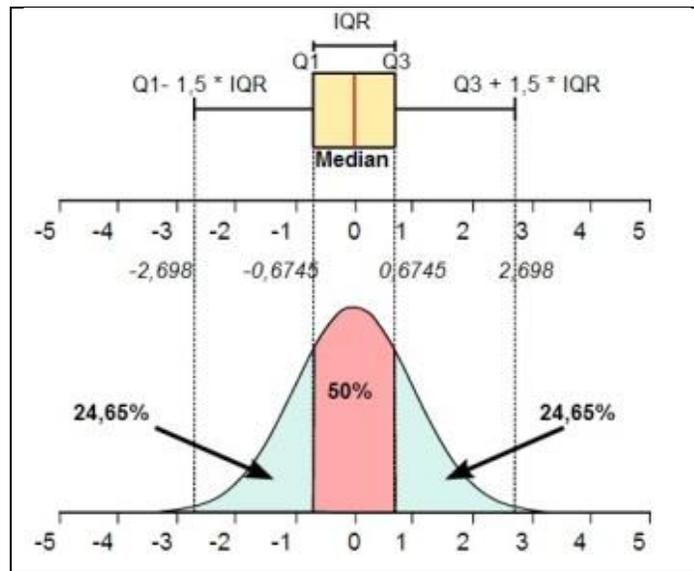


Figura 12. Representación de una gráfica (Boxplot) con sus respectivos cuantiles y su función de densidad de probabilidad (PDF) obtenida en <http://www.clker.com/clipart-44710.html>

Del listado de las estaciones (Tabla 3) se han seleccionado algunos ejemplos por su ubicación geográfica y por ser series de tiempo largas y continuas para el análisis de las gráficas. Las variables a analizar son, temperatura mínima y máxima y precipitación, con dos escenarios A2 y A1B.

2.3. Descripción y Análisis de los Resultados

Análisis en Función de distribución de probabilidad (PDF).

Al comparar los gráficos de PDF de las temperatura (mínima y máxima) observada y proyectada (regionalizada), esta última presenta un corrimiento hacia valores

más altos. Este corrimiento indica un incremento en la magnitud y en el número de evento extremos cálidos (Figura 16).

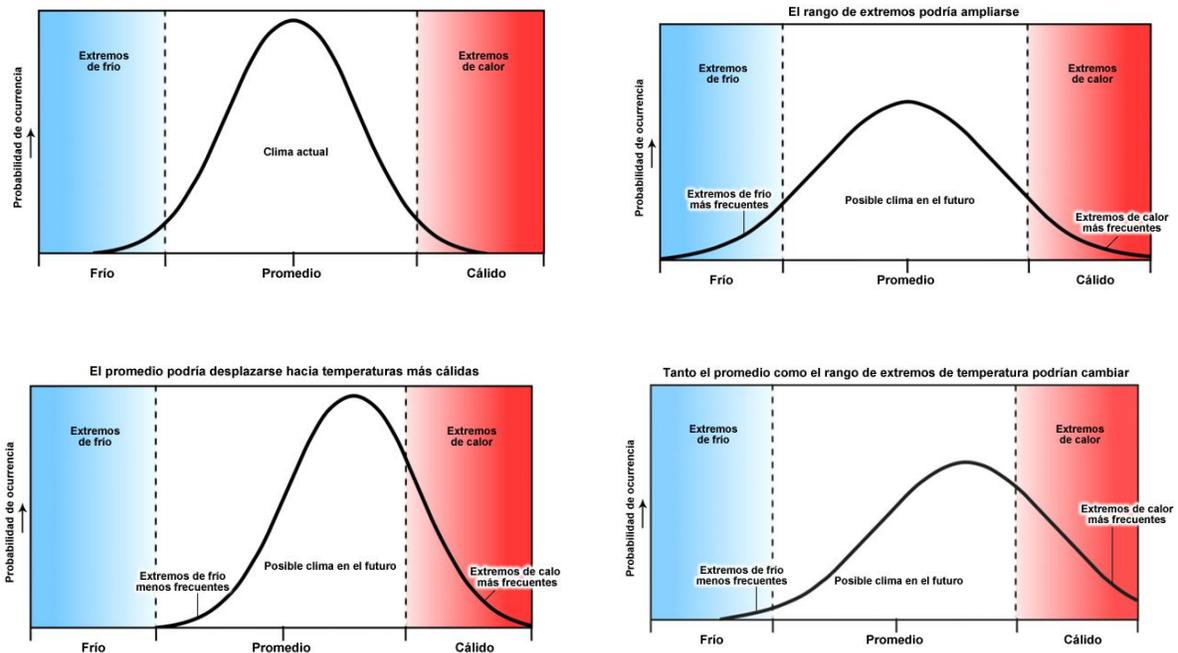


Figura 13. Cambios en la PDF de la temperatura nombrados por el IPCC, obtenidos de The Comet, MetED http://www.meted.ucar.edu/broadcastmet/climate_es/index.htm

3.

La figura 13 ilustra los distintos casos en los que puede cambiar los PDF, en el primer caso existe un recorrido en la media y en los valores extremos cálidos incrementando su intensidad y frecuencia, mientras los extremos fríos disminuyen. En el segundo, la media se mantiene sin cambio, pero hay cambios en la dispersión, es decir mayor varianza lo que resulta en un incremento en ambos lados extremos (colas) de la distribución, con mayor ocurrencia de extremos cálidos y fríos. El tercer caso, se refiere a un incremento tanto en la media como en dispersión (varianza) lo que se refleja en un incremento en la intensidad de la temperatura y en los extremos cálidos, mientras que los eventos fríos se reducen en intensidad y frecuencia.

Estación San Luis de la Paz (11068)

Bajo el escenario A2, la estación de San Luis de la Paz (localizada al suroeste de la reserva) muestra el siguiente comportamiento:

Los datos de la estación tienen un valor de la media de 9 mm, su rango de normalidad se encuentra a los 28 mm y mayor a ésta se encuentra lo que son los datos anómalos y extremos, alcanzando datos de hasta 56 mm y el máximo extremo del escenario es de 98 mm. En las gráficas de las décadas siguientes, la media y el rango de normalidad se observan sin cambio considerable; sin embargo, los datos anómalos y extremos se observan en menor cantidad de eventos con una disminución de hasta 15 mm para la década 2075 (Figura 14)

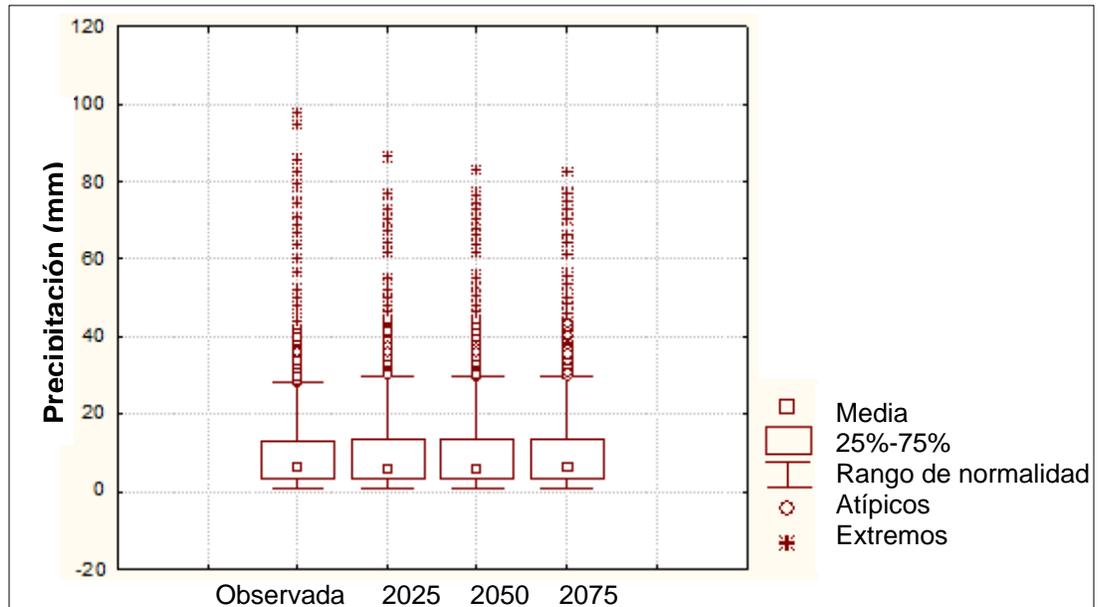


Figura 14. Gráfico de caja de precipitación observada y proyectada (regionalizada con LARS-WG) para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación de San Luis de la Paz.

Para el caso de la temperatura mínima (Figura 15) se observa un valor promedio de aproximadamente 10°C y su rango de normalidad entre -3 y 21°C; en el caso de máximos extremos se observa una disminución en el número de eventos, mientras que en los mínimos extremos existen un aumento para el periodo centrado del 25 y se mantiene para las siguientes décadas. En la temperatura

máxima (Figura 15) se observa el ligero aumento en la media; su rango de normalidad se amplía para los extremos máximos pero los mayores cambios se observan en los datos extremos máximos y, para este caso, se observa como los eventos irán en incremento para los escenarios siguientes. Significa que la temperatura máxima se hará cada vez más extrema y la mínima será variante.

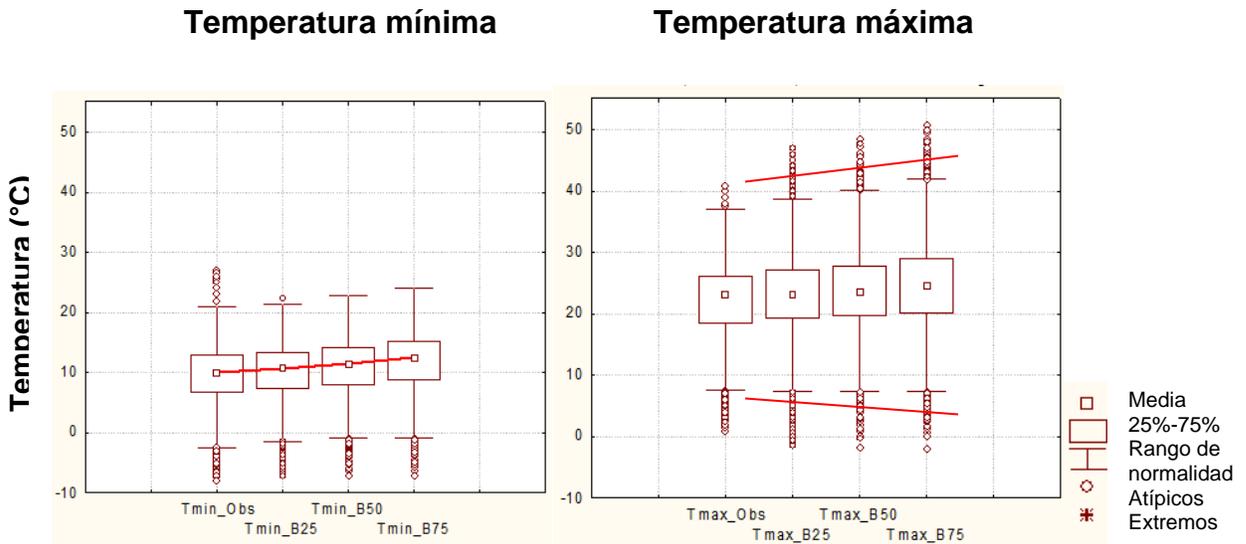


Figura 15. Gráfico de caja de temperatura mínima y máxima observada y proyectada para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación de San Luis de la Paz.

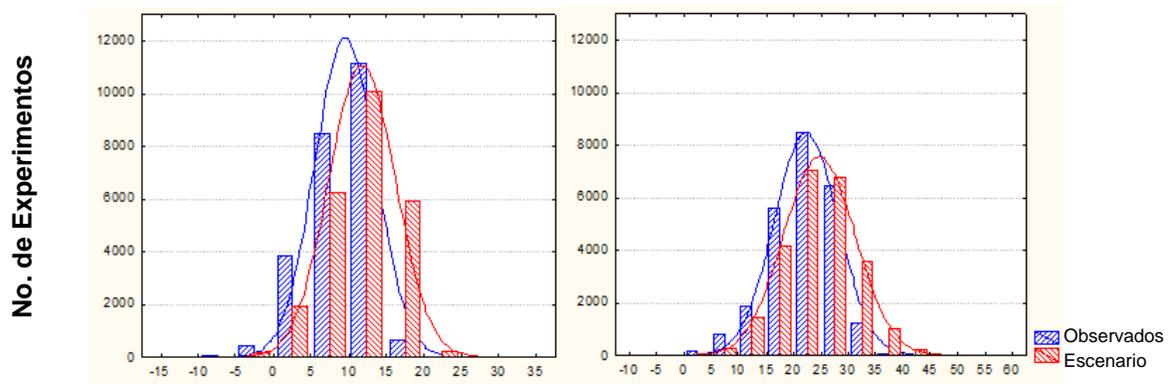


Figura 16. Gráfica de PDF temperatura mínima y máxima para la estación de San Luis de la Paz para el escenario A1B y A2 del periodo centrado 2075.

Estación Pozos (11053)

La estación Pozos **11053** en el escenario A2 (Figura 17) de la variable precipitación, ubicada también al suroeste de la reserva se comporta de la siguiente manera:

En los datos observados tienen una media de 5 mm, un rango e normalidad de aproximadamente 22 mm considerándose atípicos más allá de estos y extremos de hasta 90 mm. Para la primer década proyectada se observa un aumento en la densidad de eventos extremos sin embargo no alcanzarán los 80 mm. Para las siguientes dos décadas aumentarán por los menos 5 mm.

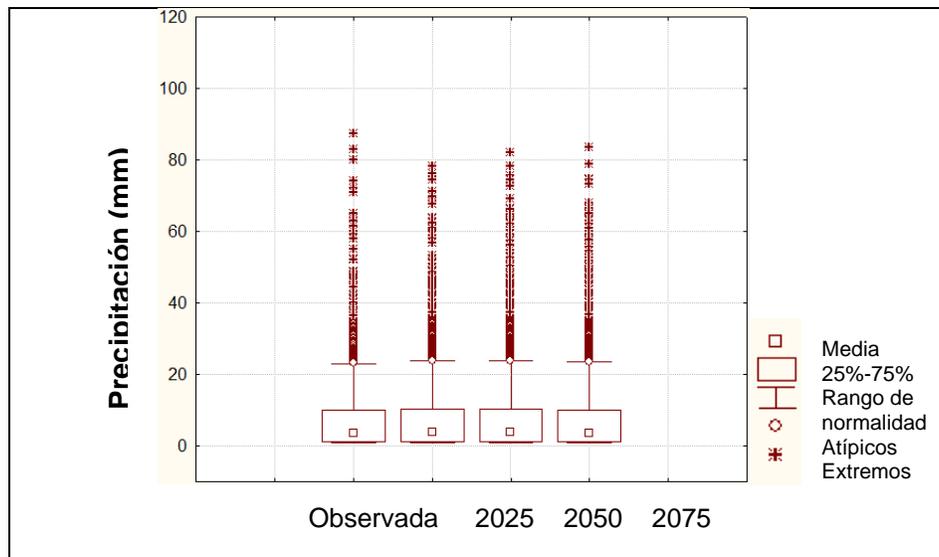


Figura 17. Gráfico de caja de precipitación observada y proyectada (regionalizada con LARS-WG) para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación de Pozos.

Igualmente para el caso de la temperatura mínima y máxima (Figura 18), los datos mínimos de la temperatura tendrán un ligero aumento no obstante los registros de la temperatura mínima se harán más cálidos para las décadas proyectadas. Para la temperatura máxima se mantendrá similar aunque tendrá un ligero aumento en su rango de normalidad.

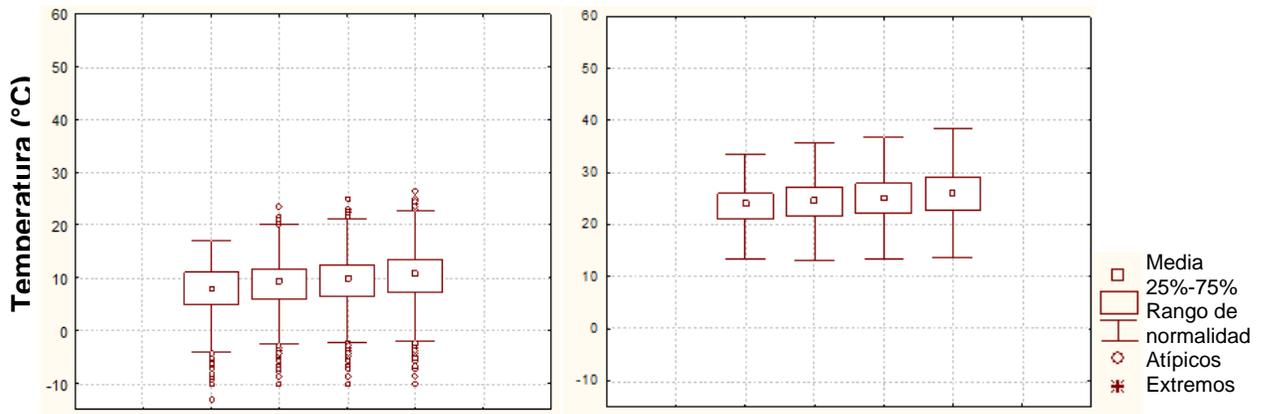


Figura 18. Gráfico de caja de temperatura mínima y máxima observada y proyectada para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación de Pozos.

La función de densidad de probabilidad de la estación Pozos (11053) con el escenario A2 (Figura 19) para el periodo centrado de 2075 de la temperatura mínima y máxima respectivamente, se observa que en ambas existe el corrimiento hacia el aumento, pero el caso de la temperatura mínima la densidad de los registros es hacia temperaturas más cálidas.

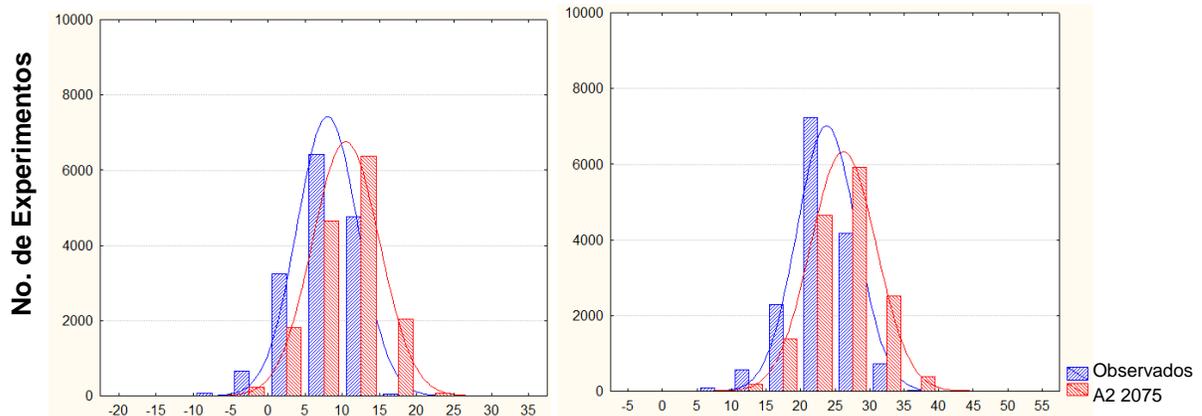


Figura 19. Función de densidad de probabilidad para la temperatura mínima y máxima para el escenario A2 del periodo centrado 2075.

Estación Arroyo Seco (22036)

La estación Arroyo Seco **22036** se ubica al noreste de la reserva, para el escenario A2 de la variable precipitación se comporta de la siguiente manera:

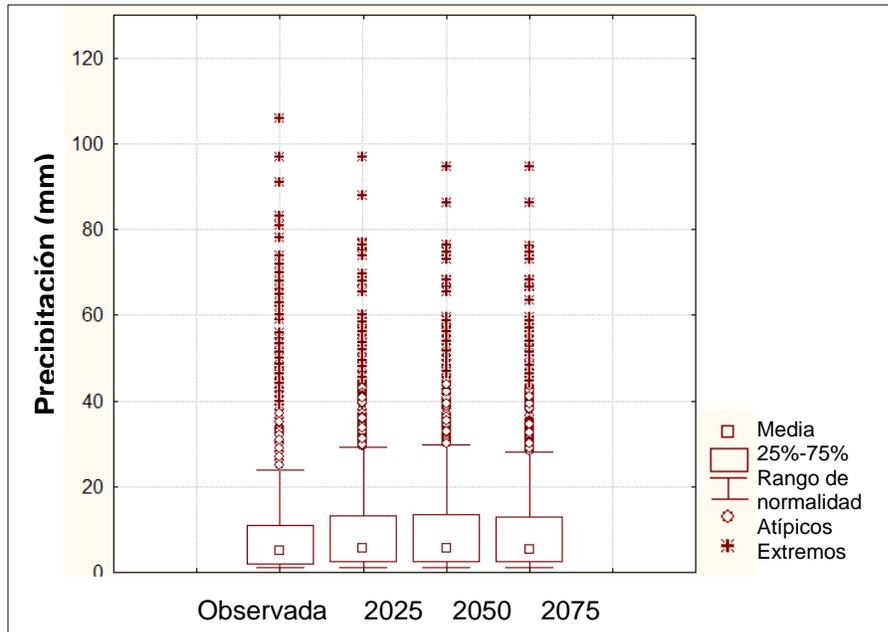


Figura 20. Gráfico de caja de precipitación observada y proyectada para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación Arroyo Seco.

En los datos observados (Figura 20) se observa una media de aproximadamente 5 mm, su rango de normalidad de encuentra en los 22 mm, los datos anómalos tienen registros de hasta los 38 mm y los datos extremos llegan hasta los 110 mm, para los datos proyectados, se observa que en el primer periodo se amplía el rango de normalidad pero los registros de datos extremos solo llegarán hasta los 98 mm; el segundo periodo es similar al anterior y para el último periodo solo se reduce su rango de normalidad.

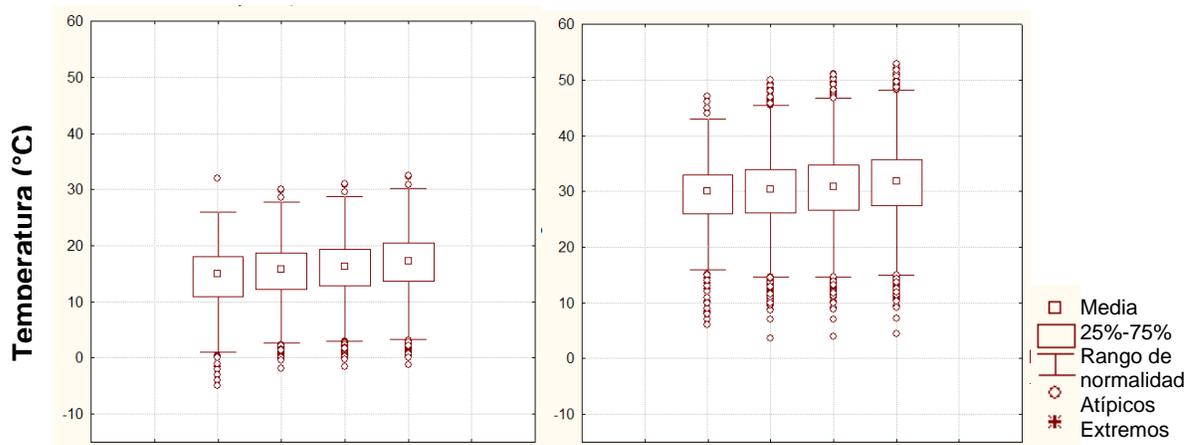


Figura 21. Gráfico de caja de temperatura mínima y máxima observada y proyectada del escenario A2.

Para la temperatura mínima (Figura 21) se observa un aumento en el rango de normalidad además de que los registros de temperaturas más bajas disminuirán. En la temperatura máxima el rango de normalidad se amplía según avanzan las décadas al igual que los eventos de tipo extremo.

La función de densidad de probabilidad para la estación de Arroyo Seco (Figura 22) de la temperatura mínima, se observa el corrimiento hacia temperaturas más cálidas y la densidad en el escenario proyectado aumenta como en casos anteriores.

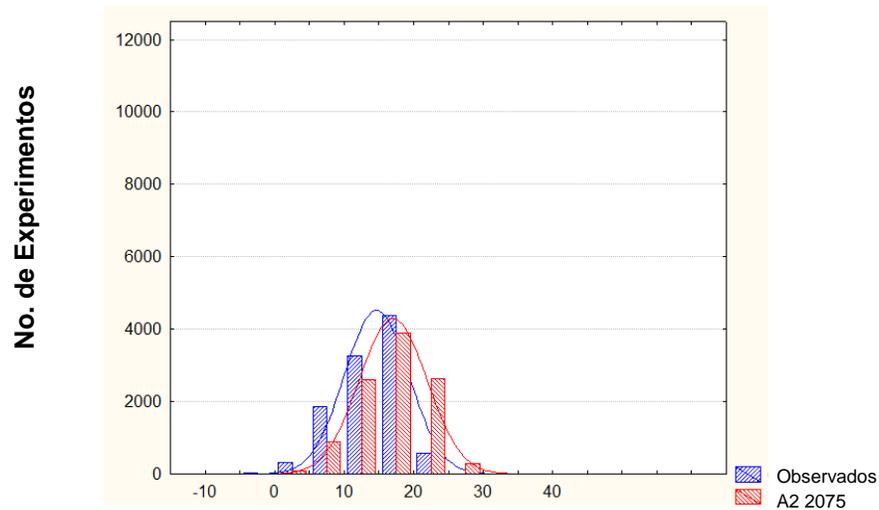
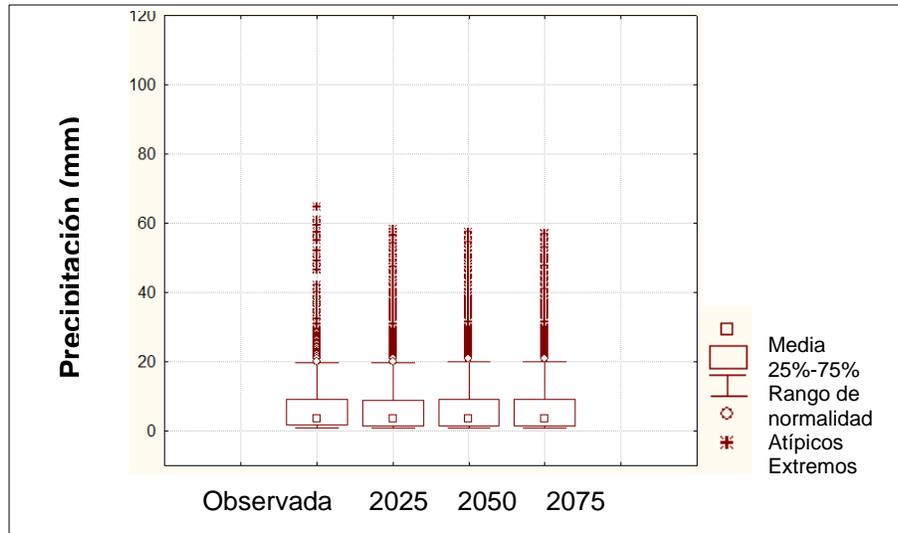


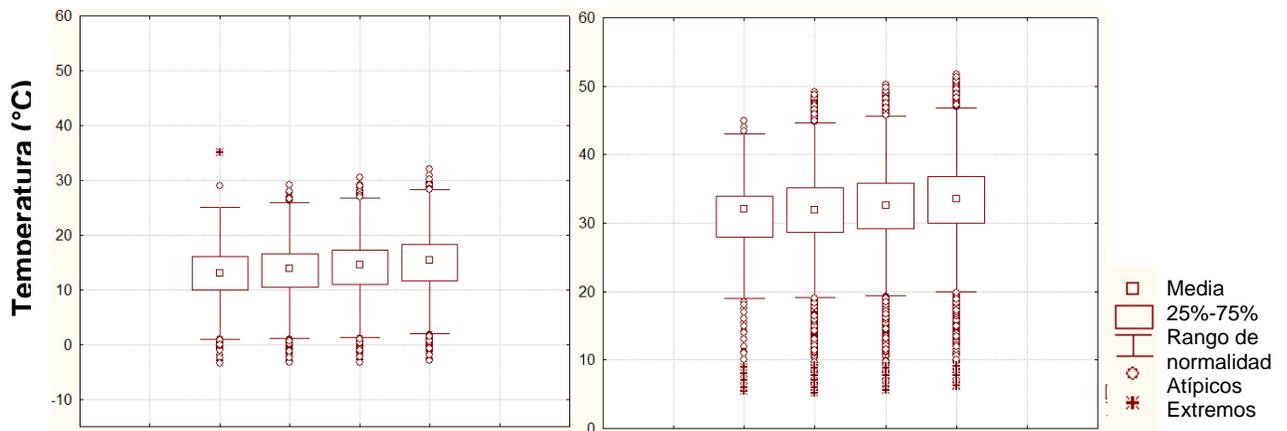
Figura 22. Función de Densidad de Probabilidad de la estación Arroyo seco para el escenario 2075 de la temperatura mínima.

Estación Peñamiller (22012)

La estación Peñamiller se localiza al sur de la reserva para el escenario A2 de la variable precipitación se comporta de la siguiente manera:



La media de los datos observados es de 5 mm, su rango de normalidad alcanza los 2 mm y los datos extremos alcanzan los 68 mm, las décadas proyectadas se mantendrán similares hasta el rango de normalidad, sin embargo los eventos extremos en la zona podrán alcanzar hasta 60 mm y en mayor densidad.



23. Gráfico de caja de temperatura mínima y máxima observada y proyectada (con LARS-WG) para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación Peñamiller.

Para la temperatura mínima de la estación Peñamiller (Figura 23) se observa una climatología amplia ya que existen datos desde -4 hasta de 35°C con una media de 14°C, para los periodos proyectados el rango de normalidad se mantiene pero se registraran algunos eventos extremos de temperaturas más cálidas. En los

datos observados de temperatura máxima el rango de normalidad se encuentra entre los 6 y 43°C, el rango de normalidad no cambia para las décadas proyectadas, sin embargo los eventos extremos tendrán mayor ocurrencia hacia temperaturas más altas.

Otras estaciones seleccionadas por variable.

Temperatura Mínima

En la estación Pozos para el escenario A1B (figura 24) se observa, en su climatología registros de hasta más de -10°C mientras que en los escenarios se reduce el rango de normalidad y posteriormente ya no existen más registros. Mientras que los datos máximos de la temperatura mínima incrementan.

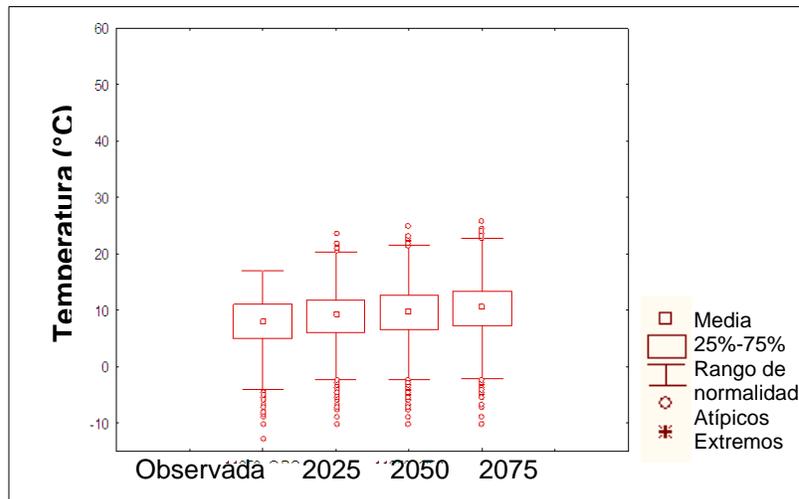


Figura 24. Gráfico de caja de temperatura mínima observada y proyectada (regionalizada con LARS-WG) para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A1B en la estación de Pozos.

Temperatura Máxima

Entre los datos más extremos para la temperatura máxima se tiene el caso de la estación **24093** Tierra Nueva (Figura 25) en el que su climatología abarca de los 3°C a 45°C el rango de normalidad se amplía pero conserva para los datos mínimos, mientras que para los valores máximos su frecuencia y aumento son relevantes ya que alcanza una temperatura de hasta 53°C para la última década.

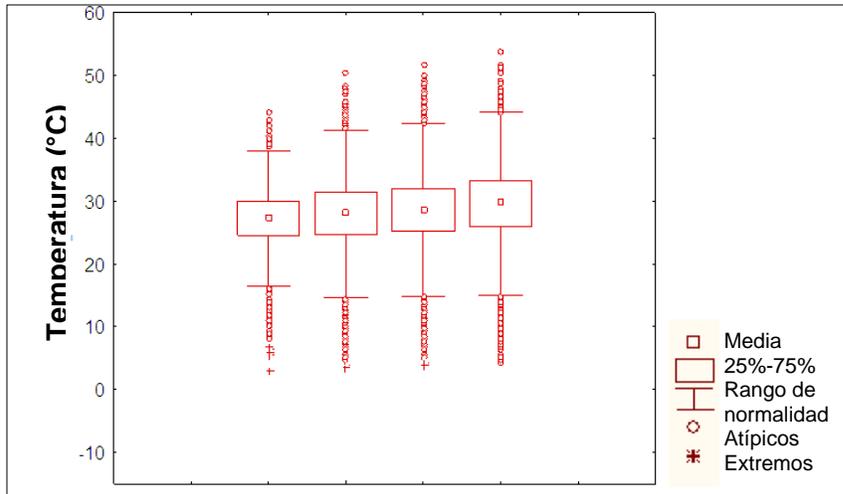


Figura 25. Gráfico de caja de temperatura máxima observada y proyectada (regionalizada con LARS-WG) para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación de Tierra Nueva.

Precipitación

En el primer caso la precipitación, para la estación **22012** Peñamiller (Figura 26), la climatología alcanza hasta los 66 mm y se observa definidamente el descenso en las décadas siguientes de hasta menos 10 mm.

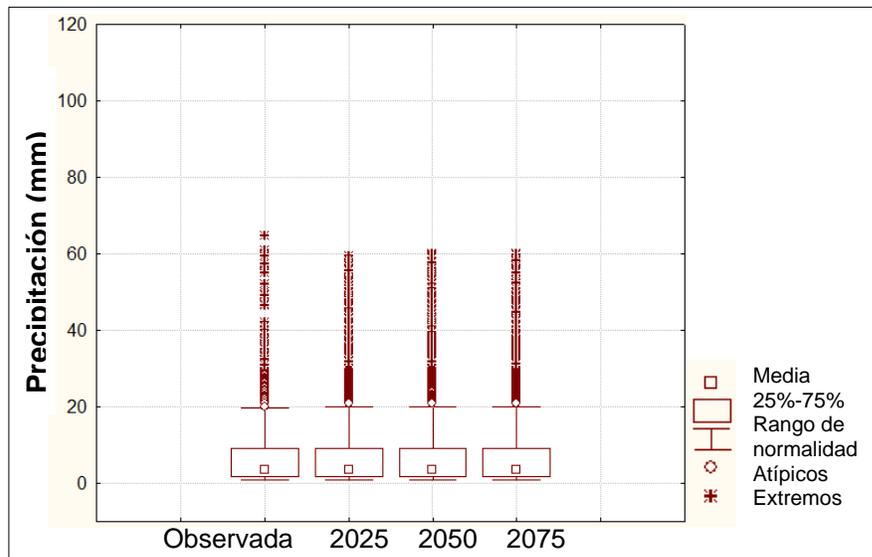


Figura 26. Gráfico de caja de precipitación observada y proyectada (regionalizada con LARS-WG) para los periodos centrados en 2025, 2050 y 2075 de acuerdo al escenario A1B en la estación de Peñamiller.

Temperatura Mínima

Para la estación **11080** Villa Doctor Mora (Figura 27), y de acuerdo al escenario A1B, el corrimiento del escenario alcanzaría valores de hasta 26°C considerados para la estación como extremos; se observa esta transición hacia condiciones más calurosas. Además del corrimiento de la media hacia condiciones más calurosas, la densidad de los registros también se verá en aumento

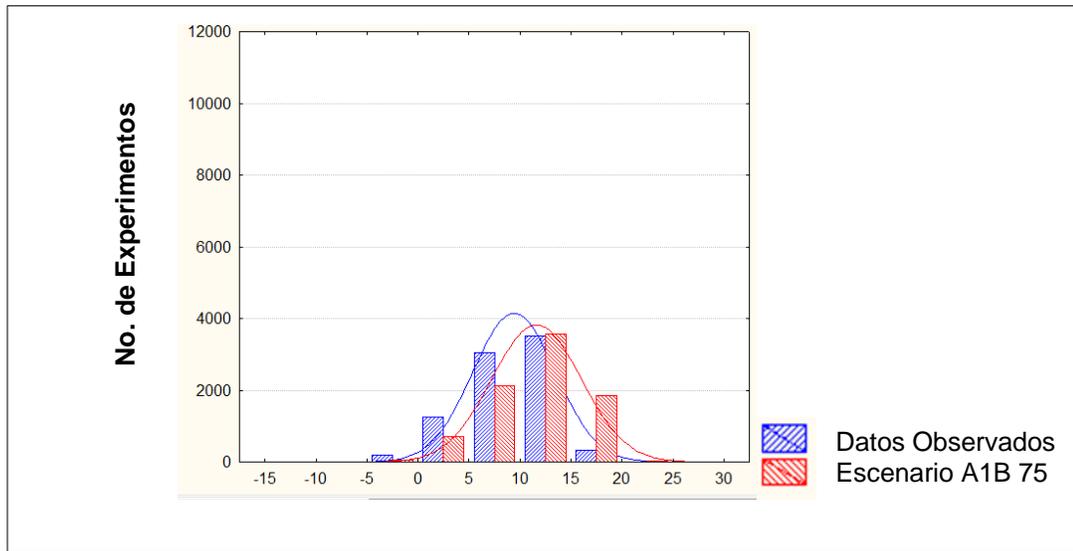


Figura 27. Gráfico PDF de temperatura mínima observada y proyectada (regionalizada con LARS-WG) para el periodo centrado en 2075 de acuerdo al escenario A1B en la estación de Villa Doctor Mora.

Temperatura Máxima

La estación **11053** Pozos (Figura 28), muestra datos mínimos que se igualan en los extremos; sin embargo, para la media y extremos máximos existe un aumento que para el escenario A1B 50 alcanzaría los más de 40°C.

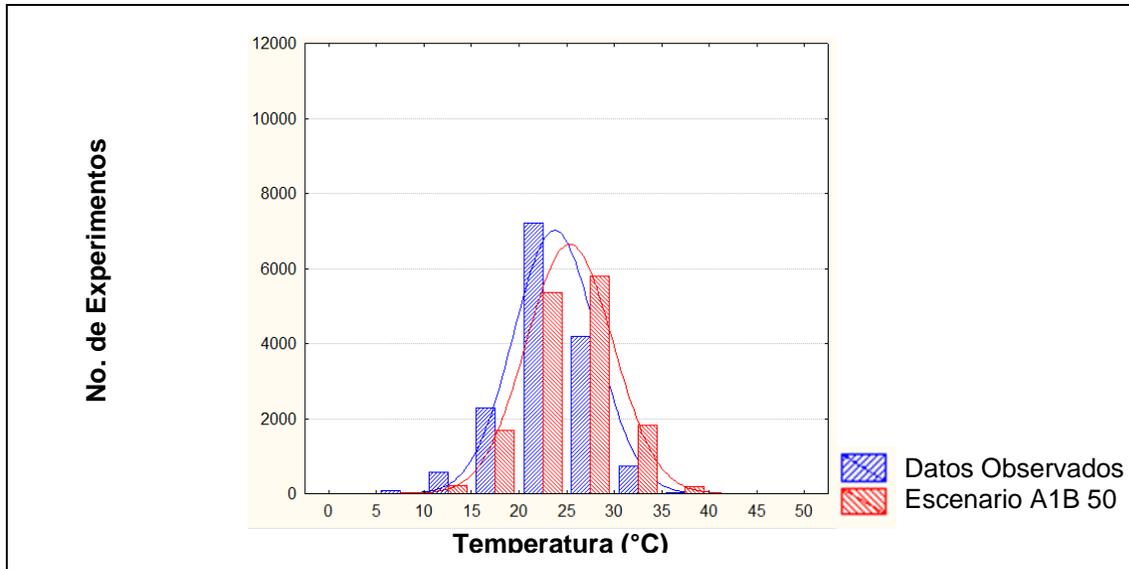


Figura 28. Gráfico PDF observado y proyectado (regionalizado con LARS-WG) para el periodo centrado en 2050 de acuerdo al escenario A1B en la estación de Pozos.

Precipitación

Para la estación **11015** Charcas (Figura 29), se nota un ligero aumento en la precipitación ya que los datos medios tienen un corrimiento y el escenario A2 registra extremos de 70 mm que no se perciben en la climatología.

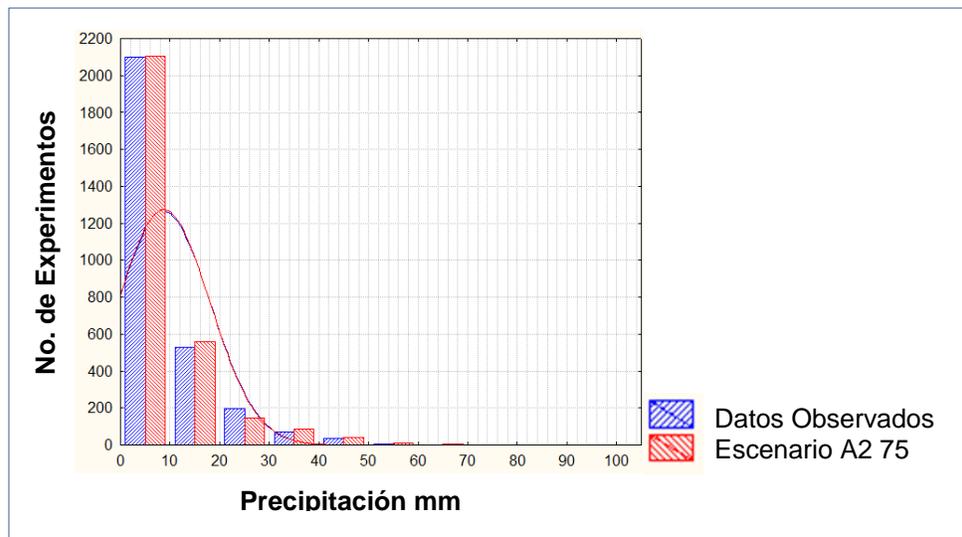


Figura 29. Gráfico de PDF observado y proyectado (regionalizado con LARS-WG) para el periodo centrado en 2075 de acuerdo al escenario A2 en la estación de Charcas.

3 PRESA EL REALITO

Un ejemplo de cómo puede afectar el cambio climático a México en general se observará en el sector agua; siendo México de los países con baja disponibilidad de agua, debido al crecimiento demográfico, su distribución en forma desigual, la baja eficiencia en la utilización, la contaminación y las pérdidas con la amenaza del cambio climático existe una alta probabilidad de que el problema se agrave (Urbina, 2006).

Dentro de un contexto del ciclo hidrológico se sabe que una buena parte de la precipitación pluvial se evapotranspira (71%) y no es aprovechable, otra parte escurre (24%) o se infiltra (5%) hacia el suelo o los acuíferos. Los escenarios de cambio climático para México sugieren que entre el año 2040 y 2070 la temperatura del país podría aumentar entre 2°C y 3°C, mientras que la precipitación podría disminuir entre un 5% y un 10% (aunque existe cierta incertidumbre en los escenarios de precipitación ya que también podría aumentar en un 5%) (*Ibíd.*, p 85).

En resumen, lo que es indiscutible, es que la temperatura aumentará y, con ello, la evapotranspiración, pero disminuirá el escurrimiento y, por lo tanto, respecto a la recarga de acuíferos, en conclusión preliminar, el problema del agua será cada vez más grande (Urbina, 2006).

3.1 Hidrología Superficial en la RBSGG

En la RBSGG se encuentra ubicada dentro de la cuenca hidrológica Río Tamuín (subcuenca hidrológica Tampaón - Santa Martha - La Laja) dentro de la región hidrológica (RH) 26 "Pánuco". La cuenca hidrológica Río Tamuín recibe las aguas del Río Santa María Alto y Río Santa María Bajo (Figura 30), (CONANP, 2012).

Los principales afluentes de la reserva son el Río Santa María en la porción Norte del área, el cual tiene una dirección preferencial noroeste-sureste y, al llegar a Las Dalías, se une con el Río Manzanares, formando un meandro muy fuerte donde el río cambia su comportamiento de dirección, en sentido oeste-este (*Ibíd.*, p 12).

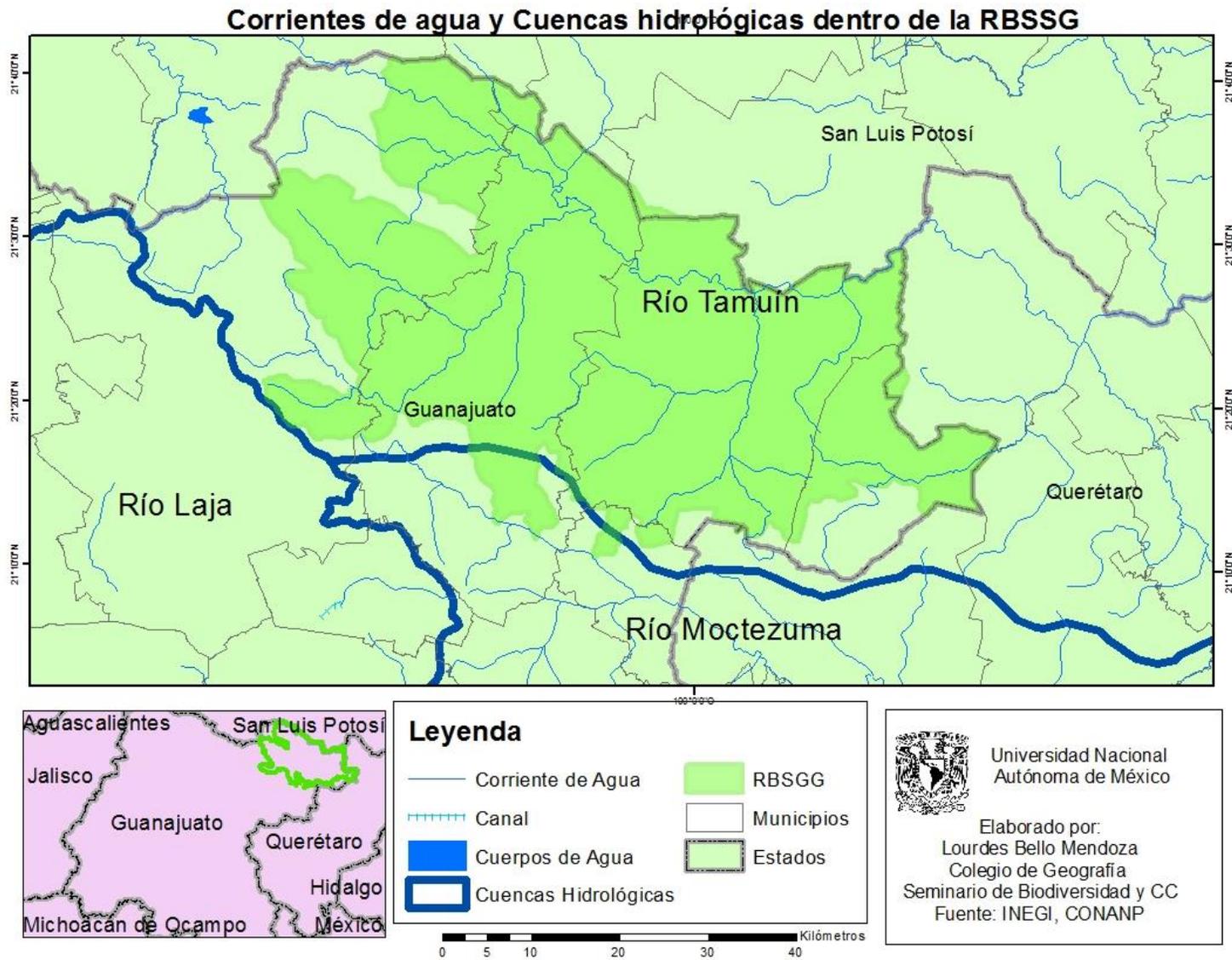


Figura 30. Mapa de Corrientes de agua y Cuencas hidrológicas (CNA) que corresponden a la RBSGGTO

Río Xichú es del tipo perenne y sirve como fuente de abastecimiento al poblado del mismo nombre y localidades aledañas, corriendo principalmente en dirección suroeste-noreste. El Río Victoria nace en las partes altas al noroeste de la cabecera municipal del mismo nombre y corre en dirección noroeste-sureste, sale del estado, internándose en el estado de Querétaro, donde cambia de nombre, denominándose Río Extóraz (*Ibíd.*, p 12).

Además, se encuentran 7 bordos de almacenamiento y 2 presas denominadas “Misión de Arnedo” y “El Nogalito“, con una capacidad de 5 millones de metros cúbicos cada una, así como la construcción de la Presa “El Realito”, la cual tendrá una capacidad alrededor a los 50 millones de metros cúbicos (CONANP, 2012).

La presa El Realito se encuentra en el norte de la RBSGG, es una construcción hidráulica para abastecer, con 2 m³/s de agua con calidad potable alrededor de 700 mil habitantes en la ciudad de San Luis Potosí, su zona conurbada a Celaya y San Miguel de Allende, en el estado de Guanajuato. En la construcción de la presa se utilizó un volumen de 380,000 m³ de concreto para obtener una cortina de 90.5 m de altura y 80 m de longitud. La presa tiene una longitud de 270 m y puede almacenar hasta 59 millones de metros cúbicos de agua (*Ibíd.*, p 107).

3.2 Hidrología subterránea

Hidrogeológicamente la región de la RBSGG se ubica dentro de los límites del acuífero administrativo 1101 “Xichú-Atarjea”, con una extensión superficial de 3,815 km² comprendiendo los municipios de Xichú, Atarjea, Santa Catarina, Tierra Blanca, Victoria, y parte de San Luis de la Paz. La disponibilidad de agua subterránea que se reporta para el acuífero, es de 4´614,343 m³ anuales para nuevas concesiones. Actualmente, no existe ningún decreto de reserva o reglamento en este acuífero (CONANP, 2012).

Para 1999, se tiene el registro de la existencia de 75 pozos profundos, 11 norias, 11 manantiales y 9 galerías filtrantes. Las profundidades al nivel de agua subterránea varían dependiendo de la estructura y el material geológico. En la zona de Santa Catarina la profundidad al nivel estático tiene un máximo al 26.93 m

al extremo noroeste, mientras que al Sur la profundidad del agua varía entre 8.42 y 11.73 m. En el municipio de Victoria los niveles de agua varían entre 8.32 a 195.25 m de profundidad, donde el nivel más bajo se encuentra en la localidad de Los Remedios. En San Luis de la Paz se reportan valores que varían entre 9.46 y 70 m profundidad. Para, Xichú se encuentra a 24.39 m de profundidad (*Ibíd.*, p 14).

3.2.1 Subzonas de Aprovechamiento Especial

El programa de manejo 2012 considera a la zona del Realito como Subzonas de Aprovechamiento Especial, que se define como “Aquellas superficies, generalmente de extensión reducida, con presencia de recursos naturales que son esenciales para el desarrollo social, y que deben ser explotadas sin deteriorar el ecosistema, modificar el paisaje de forma sustancial, ni causar impactos ambientales irreversibles en los elementos naturales que conformen”. Por lo que a continuación se describe las características de la presa El Realito.

3.3 Presa el Realito

Se ubica norte de la RBSGG al noreste del municipio de San Luis de la Paz en el estado de Guanajuato en el límite con San Luis Potosí, donde la obra se encuentra aún en proceso; se localiza cerca de la comunidad de Mineral el Realito. Es una construcción hidráulica que servirá para abastecer con 2 m³/s de agua con calidad potable, alrededor de 700 mil habitantes en los estados de San Luis Potosí y de Guanajuato. En datos generales, la presa presenta una cortina de 90.5 m de altura y 80 m de longitud y puede almacenar más de 50 millones de metros cúbicos de agua (SEMARNAT, 2012).

Entre sus objetivos se encuentra, abastecer equitativamente de agua potable a los estados de San Luis Potosí y Guanajuato además de disminuir la explotación de mantos acuíferos del valle de San Luis Potosí y Celaya así como reducir la aparición de grietas en las zonas urbanas (SEMARNAT, 2012).

La construcción de la obra favorecerá al estado de Guanajuato a los municipios de San Luis de la Paz, San Miguel de Allende y Celaya, y al estado de San Luis Potosí a los municipios de Tierra Nueva, Santa María del Río, Villa de Reyes y San Luis Potosí debido que el acueducto pasará por esas localidades (CNA-CEAG, a 2008).

La obra se caracteriza por el vaso, la cortina de la presa, la línea de los acueductos, la ubicación de las plantas potabilizadoras y bancos de material que ocupará una superficie de 763.70 ha. El vaso de la presa ocupará una superficie de 208 hectáreas que permitirá un almacenamiento de 50 millones de metros cúbicos de agua, de los cuales 30 corresponde a la capacidad útil y 20 millones para la capacidad de azolve del vaso (CNA-CEAG, b 2008).

El vaso de la presa ocupará una superficie aproximadamente de 208 hectáreas que permitirá un almacenamiento de 50 millones de metros cúbicos de agua, hasta la cota 1142.38 metros sobre el nivel del mar y, además, se consideran 10 metros en proyección horizontal a partir del NAME (nivel de agua máximo esperado) como zona federal, de 173.0561 hectáreas (*Ibíd.*, p.9).

Esta subzona cuenta con una superficie total de 221.260888 hectáreas. El acueducto que pasa por RBSGG tiene una longitud de 14 km, además de que atraviesa 3 plantas de bombeo (10.87 ha). La operación y el mantenimiento de la presa se llevan a cabo por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (CONAGUA-CEAG, 2008).

El Programa de Manejo comenta, además, que esta subzona es de gran importancia para el desarrollo y crecimiento socioeconómico del estado y de la RBSGG, derivado de la Presa el Realito, que resalta la importancia de los servicios ecosistémicos que genera la Reserva. Asimismo, representa un potencial de alternativas productivas y de subsistencia para las comunidades asentadas en las inmediaciones del cuerpo de agua como el turismo de bajo impacto ambiental.

También el Programa de Manejo tiene el listado de actividades permitidas y no permitidas en la RBSGG, de acuerdo con el Borrador del Programa de Manejo 2012, que se indican en la Tabla 4.

Tabla 4. Listado de actividades permitidas y no permitidas en el Área Natural Protegida incluida en el Programa de Manejo.	
Actividades permitidas	Actividades no permitidas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Actividades culturales tradicionales¹ 2. Aprovechamiento de recursos naturales con fines de autoconsumo y para la satisfacción de las necesidades económicas básicas² 3. Colecta Científica³ 4. Colecta Científica⁴ 5. Construcción de Infraestructura de apoyo a las actividades de investigación científica, educación ambiental y turismo de bajo impacto ambiental⁵ 6. Educación ambiental 7. Establecimiento de UMAS 8. Filmaciones, fotografías, captura de imágenes o sonidos 9. Investigación científica y monitoreo del ambiente 10. Mantenimiento de caminos 11. Turismo de bajo impacto ambiental⁶ 12. Utilización de embarcaciones menores sin motor de combustión 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Abrir senderos, brechas o caminos 2. Alimentar, tocar o hacer ruidos intensos que alteren el comportamiento natural de los ejemplares de la vida silvestre, salvo para actividades de investigación y colecta científica 3. Alterar o destruir por cualquier medio o acción los sitios de alimentación, anidación, refugio o reproducción de las especies silvestres 4. Aprovechamiento forestal, salvo para colecta científica y uso doméstico 5. Dañar, cortar y marcar árboles, salvo en el caso de uso doméstico 6. Encender fogatas 7. Extraer flora y fauna viva o muerta, así como otros elementos biogenéticos, salvo para autoconsumo o colecta científica. 8. Ganadería incluyendo el pastoreo 9. Hacer uso de explosivos 10. Interrumpir, rellenar, desecar o desviar flujos hidráulicos o cuerpos de agua 11. Introducir especies exóticas invasoras⁷ 12. Motociclismo extremo (enduro y cuatrimotos) 13. Realizar, actividades de dragado o de cualquier otra naturaleza, que generen la suspensión de sedimentos, o provoquen áreas con aguas fangosas o limosas dentro del área protegida o zonas aledañas 14. Realizar, sin autorización, actividades cinegéticas o de explotación y aprovechamiento de especies de flora y fauna silvestres; salvo para el aprovechamiento de recursos naturales con fines de autoconsumo 15. Remover o extraer material mineral 16. Tirar o abandonar desperdicios 17. Trasladar especímenes de poblaciones nativas de una comunidad biológica a otra 18. Usar altavoces, radios o cualquier aparato de sonido, que altere el comportamiento de las poblaciones o ejemplares de las especies silvestres o que impida el disfrute

	<p>del área protegida por los visitantes</p> <p>19. Utilizar lámparas o cualquier fuente de luz para aprovechamiento u observación de ejemplares de la vida silvestre, salvo para actividades de investigación y colecta científica</p> <p>20. Venta de alimentos y artesanías</p> <p>21. Verter o descargar contaminantes, desechos o cualquier tipo de material nocivo al suelo o a cuerpos de agua</p>
<p>¹ Viajes que se realizan por motivos religiosos.</p> <p>² Consistente en la recolección de recursos naturales como la obtención de materiales para la construcción de viviendas tradicionales y elaboración o reparación de corrales, aprovechamiento de leña para la preparación de alimentos, colecta de plantas medicinales; uso cultural y alimenticio, así como la obtención de hojas de palma para la elaboración de artesanías como petates y cestos; barro para la fabricación de artesanías y agave para la producción de bebidas.</p> <p>³ Conforme a lo previsto por el artículo 2º, fracción VI del Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre.</p> <p>⁴ Conforme a lo previsto por el artículo 2º, fracción VII del Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.</p> <p>⁵ Utilizando ecotécnicas y materiales tradicionales de construcción propios de la región y acordes con el entorno natural.</p> <p>⁶ Consistente en ciclismo de montaña por rutas previamente establecidas por la Dirección del Área, despegue y aterrizaje de vehículos recreativos aéreos (ultraligeros), paseos a caballo y caminatas por senderos para observación de flora y fauna.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caminata en senderos interpretativos • Campismo • Ciclismo • Observación de flora y fauna silvestre • Kayaquismo • Remo <p>⁷ Conforme a lo establecido en las fracciones XIII y XVII del artículo 3º de la Ley General de Vida Silvestre</p>	

3.4. Modelo de Balance Hídrico de la Zona por el modelo WebWIMP

WebWIMP (*Web-based, Water Budget, Interactive, Modeling Program, 2009*) de la Universidad de Delaware, está diseñado para evaluar el balance de agua climáticamente promediada, mensual para prácticamente cualquier ubicación terrestre de interés, es decir, en cualquier continente y nodo de medio grado de latitud por medio de longitud. La temperatura promedio mensual y los datos de precipitación se han interpolado a la mitad grados a la mitad rejilla grado 2 y el balance hídrico; punto de retícula está calculado por una modificación de Thornthwaite (Matsuura, *et al*, 2009).

Tabla 5. Datos mensuales obtenidos mediante el modelo <i>WebWIMP</i>													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temp (C°)	15.1	16.8	19.1	21.0	22.4	22.1	21.2	21.1	20.5	18.7	16.9	15.6	19.2
Prec (mm)	13.4	7.8	12.9	25.5	55.7	92.5	72.9	71.4	79.0	34.4	12.2	6.8	484.5

Los datos a nivel mensual (Tabla 5) que nos arroja *WebWIMP* para la zona, nos muestra un valor máximo de 22.4 °C como temperatura mensual máxima y mínima con 15.1 °C. Mientras para precipitación la máxima con 92.5 mm y mínima de 6.8 mm correspondiendo con la temporada de lluvias y estiaje respectivamente.

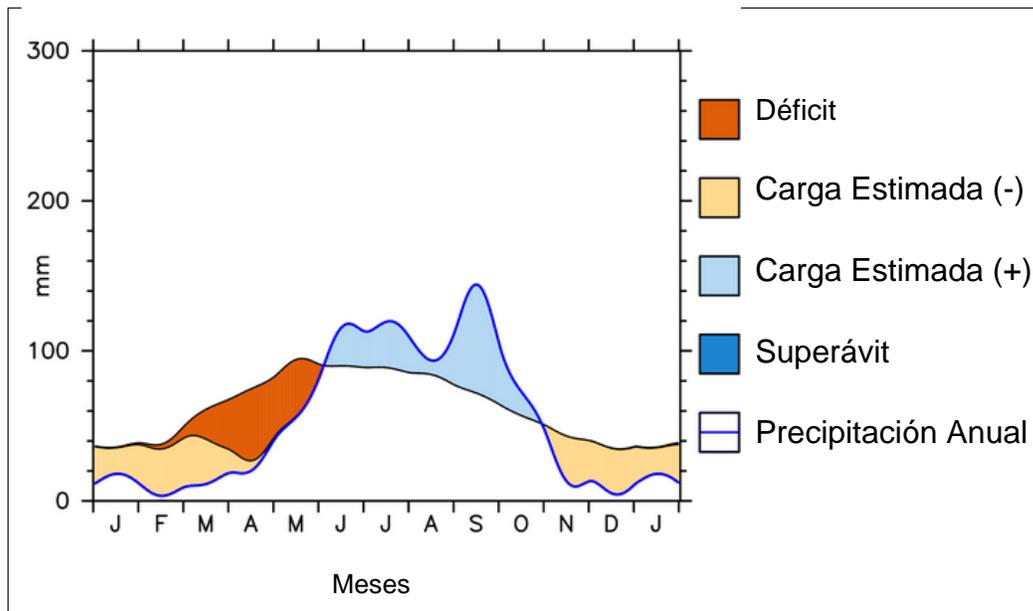


Figura 31. Gráfica obtenida por el programa *WebWIMP* en la que nos muestra el ciclo anual: DEF: Déficit de humedad del suelo, DST: Carga estimada en la humedad del suelo, (-) Es el agua tomada del suelo para satisfacer las necesidades de evapotranspiración, (+) Es el agua que regresa al suelo por precipitación, SURP: Superávit estimado.

La Figura 31 en términos generales significa que para los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, existe una carga estimada negativa en la humedad del suelo, mientras que para los meses de marzo, abril y mayo se encuentra el déficit (en comparación con la región sureste del país) en la humedad del suelo, y los meses favorecedores para la zona se encuentra en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre de entre 80 y 140 mm sin tener un superávit.

Dado que el agua es uno de los principales factores limitantes en el crecimiento de la vegetación, la cantidad de agua disponible para las plantas determinará la biodiversidad de la vegetación en un área dada. Mediante el uso de modelos de presupuesto de agua, una proyección del déficit de agua y el superávit de un área, puede formularse. Por lo tanto, los ensayos de balance hídrico son indicativos de tipos de biomas y el crecimiento de la vegetación y la salud (Matsuura, *et al*, 2009)

La temperatura de la superficie de la tierra afecta la evapotranspiración potencial. De acuerdo con el IPCC, debido al aumento de gases de efecto invernadero, el aumento de temperatura de la superficie terrestre se producirá durante el siglo 21. Modelos de presupuesto de agua son útiles para determinar los cambios en el agua que necesite debido al aumento de temperatura de la superficie anual.

3.5. Diagnóstico del Área Natural Protegida Sierra Gorda Guanajuato.

Con el trabajo de campo se pudo obtener un diagnóstico general del área y, así dividir algunos de los puntos de interés para el trabajo.

- 1) La presa El Realito
- 2) El Área Natural Protegida
- 3) Los habitantes de la Reserva

La metodología del trabajo realizado en campo, se basa en entrevistas, documentos obtenidos y fotografías, con los objetivos de: a) conocer la situación

general del Área Natural Protegida y la presa El Realito, b) identificar a los actores clave que intervienen en el manejo de la reserva y entrevistarlos, c) conocer la respuesta de la población ante el reciente establecimiento del ANP y d) conocer los programas que se aplican en cuanto al cambio climático se refiere.

Los actores clave que se entrevistaron fueron, al director del RBSGG, el ingeniero Víctor Manuel Ildelfonso Apolinar, al ingeniero forestal José Fausto Martínez Contreras, de la Promotoría de Desarrollo Forestal de San Luis de la Paz, al ingeniero Carlos Abrego de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, que verifica el proyecto de la presa El Realito, a la directora de desarrollo económico del municipio de Xichú, Ma. Lourdes Velázquez Salinas y a los habitantes del mismo municipio.

El recorrido de campo empieza en San Luis Potosí pasando por las localidades de Álamos de Martínez y El Puertecito hasta la cabecera municipal de Río Verde; de este sitio se recorren otros 35 km de terracería hasta llegar a El Realito, donde se encuentra también la Planta de Bombeo N° 1 (Figura 32)

Posteriormente, se fue directo a San Luis de la Paz en donde se encuentra la dirección de la RBSGG para diálogos con los directivos y continuar con el recorrido hacia Xichú para más entrevistas, además de que es el municipio con la mayor parte de la zona núcleo del ANP.

3.5.1. La presa El Realito

La evaluación del daño ambiental en la presa El Realito es vigilada por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) y en especial por la Agenda Ambiental, que le dan un seguimiento al impacto que se realiza en la zona.

De las tareas que deben vigilar son, las diferentes etapas de restauración como reforestación, pérdida del suelo, desecho de materiales orgánicos, entre otros. La primera etapa de restauración era un banco de material, el cual ya fue restaurado por las brigadas de reforestación del proyecto.



Figura 32. Recorrido desde San Luis Potosí hasta la presa El Realito
(<http://monitorrealito.uaslp.mx>)

Las zonas restauradas, cuentan con la reforestación de al menos 60 especies de plantas, sembradas en islas de fertilidad¹, que son parte de los requerimientos que les hace la UASLP para poder continuar con el proyecto (Com, pers. Ing. Carlos Abrego, UASLP).

Al estar evaluando el mantenimiento de las especies, se apreció que en las islas de fertilidad que se están entregando, no se tienen los cuidados necesarios, ya que el material se ha caído, se han presentado cárcavas y el personal de impacto ambiental en la presa no han deshierbado (Figura 33 y 34) por lo que es probable que se pierda el avance de las especies reforestadas.

¹ Isla de Fertilidad denominados también parches de vegetación de mayor densidad de ambientes áridos y semiáridos con alta concentración de nutrientes en el suelo y comprenden uno o varios individuos de una o varias especies de árboles y arbustos (Perroni, 2007).



Figura 33. Primera etapa de restauración en la presa El Realito

En la segunda etapa se está trabajando y aparentemente se ha informado que se ha terminado de reforestar; sin embargo, aún no han entregado la propuesta de reforestación para la siguiente etapa a la UASLP, la cual se encarga de hacer el estudio ambiental (Com, pers. Ing. Carlos Abrego, UASLP).

En esta área, se pudo percatar de que la mayoría de las islas de fertilidad se encuentran sin vegetación; el principal problema es la falta de cercas y alambrado, por lo que el ganado pasa con libertad por el lugar y destruye parte de las especies reforestadas (Figura 34).



Figura 34. Islas de fertilidad en descuido por la falta de cercas y material desprendido en la segunda etapa de la reforestación a un costado de la cortina de la presa.

Se pudo acudir a la cortina (Figura 35) y se recorrió el área que será inundada (vaso de la presa). Debido a ello, en la zona se está haciendo uso de la vegetación; por ejemplo los órganos que cortados y llevados a procesar para poder realizar la composta necesaria y aplicarla a las islas de fertilidad.

Los habitantes de las localidades cercanas a la presa y que vendieron sus tierras a CONAGUA, han tenido problemas de falta de pago o están mal retribuidos, según algunos de los precios por los que se ofrecieron sus tierras fue entre los 10 mil y 20 mil pesos equivalentes a 1 peso con 40 centavos por metro cuadrado (Gutiérrez, J. 2013).

Es importante reconocer que esta situación ha generado problemáticas en la región, debido a que aparentemente el establecimiento de la presa no consta de un estudio climático-hidrológico local, por lo que se considera que tal vez la presa no llegue a su capacidad máxima o Nivel de Aguas Máximo Ordinario² (NAMO).

3.5.2. El Área Natural Protegida

La segunda actividad que se llevó a cabo fue la visita a las oficinas de la Reserva, en donde se hicieron dos entrevistas, la primera de ellas con el Promotor de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) de San Luis de la Paz y la segunda con el Director de la Reserva.

El Ing. Forestal José Fausto Martínez Contreras, Gerencia Estatal Guanajuato de la CONAFOR, explicó que en San Luis de la Paz se encuentra la Promotoría del

² Nivel de Aguas Máximo Ordinario (NAMO) La operación de la presa se lleva a cabo entre el NAMINO (Nivel de Aguas Mínimas de Operación) y el NAMO, que es el máximo nivel con que se puede operar la presa para satisfacer las demandas; cuando el vertedor de excedencias no es controlado por compuertas, el NAMO coincide con su cresta o punto más alto del vertedor. En el caso de que la descarga por el vertedor está controlada, el NAMO puede estar por arriba de la cresta e incluso puede cambiar a lo largo del año. Así, en épocas de estiaje es posible fijar un NAMO mayor en épocas de avenidas, pues la probabilidad de que se presente una avenida en la primera época es menor que la segunda. El volumen que se almacena entre el NAMO y el NAMINO se le llama volumen o capacidad útil y es con el que se satisface la demanda de agua. En cauces naturales indica la cota a partir de la cual empieza el desbordamiento y sirve para tomar acciones respecto a protección civil y otras medidas pertinentes (CONAGUA, 2013).

Noreste del Estado de Guanajuato, que se encarga del manejo forestal de ocho municipios, de los cuales cinco están en la Reserva.



Figura 35. Cortina de la presa El Realito con un 80% de avance, inaugurada a finales del 2012; se prevé que en este año se concluya y posteriormente tendrá dos meses de pruebas para su correcto funcionamiento (Comisión Estatal del Agua, 2013).

De toda la superficie del RBSGG, únicamente el 0.2% se utiliza en Aprovechamiento Forestal maderable, además de que todas estas actividades son vigiladas también por la SEMARNAT y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) con especial atención por encontrarse dentro del RBSGG (Com, pers. Ing. Forestal José Fausto Martínez Contreras, Promotoría del Noreste del Estado de Guanajuato, CONAFOR).

Aunque la región recibe apoyos por las denominadas sequías atípicas impredecibles y no recurrentes por parte de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), también a la población se otorga apoyos económicos, técnicos y en especie para conservar, mejorar y aprovechar sustentablemente los recursos forestales.

En la segunda entrevista, con el Ing. Víctor Manuel Ildelfonso Apolinar, director de la RBSGG, comenta los principales programas, acciones y actividades que se llevan a cabo en la reserva, entre ellos y a nivel general se encuentran:

Programa de conservación de especies nativas como el maíz, programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCOCODES), Programa de Vigilancia Comunitaria (PROVICOM).

Estos programas dan ayuda a las personas que viven dentro de la Reserva, ya que en algunos lugares en donde hay población y el área es zona núcleo, les limita actividades para su ingreso económico. Sin embargo, a través de dichos programas pueden cuidar los recursos y llevar a cabo un desarrollo sustentable, así como recibir un pago por dicho cuidado (*Com, pers.* Ing. Víctor Manuel Ildelfonso Apolinar, director de la RBSGG).

También el director de RBSSG mencionó que una de las principales causas del establecimiento de la Reserva, fue el preservar la *Bursera morelensis*, especie de mayor importancia en la reserva y en la zona en toda la región centro.

Dentro de los planes que prevé para la zona, se encuentran el cuidado de suelo realizando una labranza mínima y uso de abonos orgánicos, aprovechamiento de bancos de material de minas a cielo abierto, y el apoyo a los productores locales como los proyectos ecoturísticos (*Com, pers.* Ing. Víctor Manuel Ildelfonso Apolinar director de la RBSGG).

Cabe mencionar que el Ing. Víctor Manuel Ildelfonso Apolinar tiene poco tiempo como Director de la reserva; sin embargo, también plantea el cambio de la zona núcleo, y la aportación de una nueva propuesta de la misma, debido a que tiene comunidades importantes dentro de ella. Esta nueva propuesta, incluye la zona de El Platanal, por ser parte del Corredor Biológico de Protección al Jaguar.

3.5.3. Los habitantes de la Reserva

En el municipio de Xichú se pudo entrevistar a la directora de Desarrollo Económico (2009-2012) y realizar diversas entrevistas a personas de la comunidad para obtener una visión mucho más local del área y, así, conocer la respuesta de la población ante el reciente establecimiento del ANP.

La entrevista con la Maestra Ma. de Lourdes Velázquez Salinas, brindó la oportunidad de conocer más de cerca proyectos que llevan a cargo las autoridades del municipio de Xichú en la Reserva; especialmente se da prioridad a la población para que puedan mantenerse sin afectar los recursos naturales, particularmente la realización talleres de comunicación social, encargados de instruir a la gente en materia de ecología y aprovechamiento sustentable de los recursos.

Existen 14 ejidos en el municipio, y en 12 se trabaja con servicios ambientales, cuidan los árboles, haciendo labores de limpieza, obras de conservación y reforestación, ya que todos los proyectos se encaminan a la conservación de los recursos naturales.

Al principio había mala información con respecto al establecimiento de la reserva, ya que muchas personas no tenían el conocimiento de su decreto y temían por sus terrenos ya que la vocación del municipio es agrícola a traspatio; sin embargo, se sigue trabajando en la divulgación y concientización directamente con los habitantes (*Com, pers. Mtra. Ma. Lourdes Velázquez Salinas, directora de Desarrollo Económico del municipio de Xichú*).

En cuanto a percepción de los habitantes de la reserva, sobre la variabilidad climática, la maestra comenta que en años anteriores la gente sabía en qué fechas empezaban las lluvias para la cosecha; sin embargo, actualmente ya no puede determinar si en un año el temporal de lluvia conservará el mismo patrón. Por ejemplo, en 2007 hubo lluvias muy fuertes en enero, y en temporada de lluvias no llovió, por lo que se quedaron sin comida.

La técnica usada para la recolección de información hacia la población fueron las entrevistas abiertas, que se caracterizan por ser un método cualitativo de la interpretación que consiste en la observación directa, por ello fue la técnica más adecuada ya que revela información de la población de forma directa y con los conocimientos de los habitantes.

De un aproximado de 20 entrevistas realizadas a la población, para conocer cómo se percibe la variabilidad climática se pudieron obtener los resultados que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 6. Entrevistas realizadas en el municipios de Xichú	
Personas Adultas Más de 60 años	Notan un aumento en la temperatura, se dan cuenta de los programas que hay en otros lados. Antes del decreto había muchas más tala. Conscientes del daño al ambiente
Edad Media Entre 30 y 59 años	Observan la variabilidad del clima normal. Le dan mucha importancia a la educación y concientización.
Edad Joven 18 y 29 años	Comentan que el clima es más seco y que los árboles en reforestación no prosperan. Comentan que llueve más que antes.
Adolescentes Menos de 18	Les interesa conservar sus recursos. Les dan cursos de creación de composta (ECOCLUB)

Se pueden observar distintas respuestas pero lo relevante de cada una de ellas es que, en general, existe una aceptación por el establecimiento de la RBSSG, de su cuidado y buen manejo, además de que la educación es una de las prioridades de los habitantes. El recién decreto del ANP limitó actividades como la tala y, frenó el deterioro que se realizaba en la reserva pero la mayoría de las personas no lo ven como una desventaja, ya que existen varios apoyos por parte de los distintos órganos de gobierno.

4. DISCUSIÓN

La importancia de estudios sobre la conservación del ANP tiene que ver con su recién decreto en 2007 y no contar con suficientes estudios para su apropiado manejo, además de que a nivel federal, la conservación y el establecimiento de ANP es una de las estrategias frente al cambio climático.

Con ello, las áreas naturales ayudan a enfrentar los impactos del cambio climático ya que capturan y almacenan el carbono. En cuanto a la población de las áreas naturales, mantienen los servicios ecosistémicos de los que depende la población (UICN, 2010).

Y en el caso del aumento de la temperatura se debe poner atención en los eventos extremos que revelan los boxplot más que en el aumento en la media. Los eventos extremos de lluvia, deben complementarse con la generación de datos de humedad, como lo muestra *WebWIMP*, ya que las lluvias intensas se deben a mayor concentración de humedad en el ambiente (Zermeño, 2008).

El uso de distintos gráficos revela, por ejemplo, que en los boxplot se observan mejor los eventos extremos y en las gráficas de tipo histogramas (PDF), las transiciones; de ahí la importancia de manejar distinto tipo de gráficos que brinden un panorama mucho más extenso.

En los últimos años se han desarrollado herramientas muy útiles para evaluar el impacto climático en distintos sectores. En primer lugar, deben citarse los GCM, pero estos modelos ofrecen estimaciones de temperaturas, precipitaciones y otras variables meteorológicas futuras para un área demasiado grande, debido a los notables cambios topográficos que se observan en el ANP debe reducirse la escala de los escenarios climáticos ofrecidos por los GCM (Suástegui, 2005).

La geografía física de una región está caracterizada en términos de heterogeneidad espacial, en donde se requiere escenarios de más alta resolución conforme se incrementa la heterogeneidad (Puma, *et al.*, 2011), además de que si

los objetivos son estimar impactos en regiones o sectores es recomendable la reducción de escala (Magaña, 2010).

Existen varios generadores climáticos, entre los que destacan el llamado WGEN (Richardson, 1984) y LARS-WG (Semenov *et al.*, 1998) de los dos más importantes generadores de tiempo actualmente disponibles y los más comúnmente empleados por su disponibilidad y manejo (Suástegui, 2005).

Debido a que el desarrollo de escenarios climáticos es de naturaleza altamente técnica y compleja bajo cualquier conjunto de circunstancias, la opción de creación de escenarios como con el GETM-LARS se puede usar en donde los recursos técnicos y financieros no son necesariamente abundantes. Conocer los objetivos y usos facilitará el proceso de desarrollo de escenarios y ayudará al desarrollo con miras hacia el futuro para poder adaptarse al cambio climático y buscar el desarrollo sostenible (Puma, *et al.*, 2011).

Algunas otras de las ventajas en el uso de GETM-LARS es que generan valores de series climáticas diarias de las variables meteorológicas, equivalentes a las series históricas del lugar, pero alteradas de acuerdo a los escenarios del cambio climático generado por los GCMs (Suástegui, 2005).

El uso de un GETM, además, da la oportunidad de obtener series de tiempo representativas en regiones de escasa información interpolando datos observados para la estación o, en su caso, el punto de malla a escalar (Méndez, 2003).

Las predicciones de los GCM son para un área demasiado grande, por lo que no son útiles para la toma de decisiones donde se observan cambios notables del relieve a pocos kilómetros de distancia (Utset, *et al.*, 2003).

Se debe tomar en cuenta que los escenarios de cambio climático no pueden proveer información del mismo tipo que los pronósticos, ya que estarán determinados en gran medida de las decisiones que tome la humanidad en materia de emisiones del GEI, sin embargo los escenarios ofrecen una medida de confianza o posible incertidumbre en las proyecciones (Méndez, 2003).

El uso de modelos como LARS-WG para cuantificar la amenaza, es una forma de representación aproximada de la realidad que puede estimar cómo va a cambiar el clima de continuar las tendencias de consumo. Y sin duda, la reducción de escala estadística es una opción práctica por los ensambles multimodelo que contiene (Magaña, 2010).

Más que un cambio climático es importante tomar en cuenta la variabilidad del sistema climático, que el ciclo humano no es capaz de visualizar; sin embargo la percepción de la población sobre el cambio climático es debido a la influencia de los medios (políticos y masivos de información) como se pudo identificar en las entrevistas.

En cuanto a más obras tipo presas de almacenamiento de agua pueden no ser la mejor solución si se considera que debido al cambio climático existiría un serio problema de evaporación. Otra opción sería mucho mejor trabajar en la recarga de acuíferos como una opción de bajo costo, con alta capacidad y en donde se evapora menos el agua también en la recuperación de la calidad del agua en las fuentes superficiales (Urbina, 2006) (Delgado *et al.*, 2013).

En 2013, el documento, *Los Siete Pecados en la Construcción de Presas*, del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés), enlista lo que llama los 7 pecados: 1) La construcción en el río equivocado, 2) No respetar las necesidades de río abajo, 3) Negligencia con la biodiversidad, 4) No tomar en cuenta la economía local, 5) No contar con licencias adecuadas de operación (ni sociales ni de impacto ambiental), 6) Mal manejo de riesgos e impactos, y 7) Improvisar a la hora de construir.

Tomando en cuenta muchos de los puntos anteriores, el manejo de las presas debe ser responsabilidad de distintos actores clave, a la hora de la realización de estudios justificativos ambientales que beneficien a la reserva y a su población, sin intereses políticos ni corporativos.

Lo comentado en el capítulo 3 sobre el tamaño del cauce del río, es un serio problema de agua en la región que si bien se ha podido sobrellevar, con la

construcción de la presa no se resolvería el problema en la zona ya que el agua que se recolecte es destinada fuera del ANP, a la zona conurbada de la ciudad de San Luis Potosí y a las ciudades de San Miguel de Allende y Celaya que también enfrentan el problema de falta de agua (CONAGUA, 2012).

Aunque el trabajo de campo se realizó en temporada de lluvias, se pudo constatar que el caudal del río no lleva la suficiente cantidad de agua para abastecer el volumen necesario que requiere la presa para su nivel de funcionamiento. Y aunque las lluvias de 2013 le favorecieron ya que se encuentra a 50 por ciento de su capacidad, le ha costado tiempo y no será hasta 2014 que realicen las primeras pruebas de funcionamiento (Torres, 20113).

El modelo de balance hídrico realizado en *WebWIMP* no muestra un superávit en humedad que necesita la presa para su posterior manejo; incluso las personas dedicadas a la construcción comentan que es difícil que la presa tenga un llenado inmediato, además de que los escenarios de precipitación arrojan una variabilidad e incertidumbre alta, pero esto no es una aseveración ya que tal vez se tenga esperar mucho más tiempo para su operación (NAMINO).

Además la población de la comunidad El Realito no se verá beneficiada con la construcción de la presa. A los habitantes que vendieron sus tierras se les ofreció 1 peso con 40 centavos el metro cuadrado y no recibirán el agua de la presa para su consumo, lo que ha ocasionado inconformidades entre las personas afectadas (Gutiérrez, 2013).

La situación del agua en la región a nivel nacional es de las más complejas ya que en la región sur el incremento frecuencia e intensidad de la precipitaciones provoca inundaciones y en la región centro y norte una reducción en la precipitación y como resultado la disponibilidad de agua se verá reducida (Delgado *et al.*, 2013).

La sobreexplotación de la cuenca del río Laja y en general del centro de México (Granados, *et al.*, 2012), es que ha habido una disminución de las aportaciones del río de La Laja a partir de 1970 de, poco más de 7 hm³/año, que en parte podría

considerarse como efecto del aumento de la explotación de los acuíferos que se encuentran dentro de la cuenca (Cotler, 2004).

El agua como recurso es vulnerable ante los cambios del clima y los cambios proyectados modifican el régimen de precipitación. En México existen casos donde la precipitación media anual será menos y la situación es preocupante ya que puede ser un riesgo según la región que se hable. Sin embargo para el caso en donde la precipitación es escasa y combinada con el aumento de temperatura hará que se evapore más fácilmente (Delgado *et al.*, 2013).

A nivel nacional, sigue siendo un problema las estaciones climáticas manejadas por el SMN ya que para la reserva sólo se encuentran 5 estaciones dentro del polígono y hay falta de datos, sin embargo, pudo realizarse el trabajo hasta con 30 años de completos que es lo que recomienda la OMM, pero gracias al GETM-LARS los resultados obtenidos buen escala de análisis.

Existen también los escenarios regionales del INE que trabajan con datos medios, que son otra forma de escalamiento regional que pueden ser usado en ANP, sobre todo si se quieren manejar tiempos específicos, aunque sin un análisis de datos en los que se usen los valores extremos (Magaña, 2010).

En el mismo año de haberse decretado la RBSSG, también el gobierno del estado de Guanajuato creó la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático del Estado de Guanajuato (COCLIMA) que tiene como responsabilidad la prevención, mitigación y adaptación al cambio climático con el fin de desarrollar un desarrollo regional sustentable.

El establecimiento de la RBSSG en el centro de México viene a regular tanto climáticamente la región, como beneficiarse del recurso hídrico que se genera en la zona y, al mismo, tiempo frenar la amenaza en la que se encontraba al ser una región de alto impacto ambiental en el país (SEMARNAT-CONANP, 2005).

Con ello algunas especies que eran protegidas en Sierra Gorda de Querétaro (SG), no tenían la misma protección en el límite político próximo por lo que era

necesario el decreto de RBSGG debido a que complementa la protección con SG y forman el denominado Corredor Biológico Sierra Gorda (SEMARNAT-CONANP, 2005).

Las entrevistas realizadas revelan que la población, independientemente de la edad, tiene conciencia de la importancia de conservar su medio ambiente, debido a que, como área protegida, les es indispensable el cuidado y el manejo sustentable de los recursos. Los programas educativos que se dan a la comunidad son importantes ya que en las entrevistas realizadas los habitantes daban importancia a los talleres de educación ambiental.

Por otro lado los habitantes de la misma RBSGG pero de la localidad de El Realito, manifiestan una desventaja la construcción de la presa ya que han expresado en distintos medios de comunicación su descontento con la obra realizando protestas debido a que muchos no han sido indemnizados como se les prometió (Gutiérrez, 2013).

Para la elaboración de programas de adaptación en las ANP, una de las recomendaciones es conceptualizar los impactos asociados al cambio climático; necesariamente se deben identificar escenarios y usar información existente, es por ello la importancia de conocer el modelo, la escala y técnica apropiada en la toma de decisiones teniendo siempre en cuenta que todos los modelos son aproximaciones (CONANP-FMCN-TNC, 2011).

La creación de escenarios de cambio climático es el primer paso para el desarrollo de los estudios de vulnerabilidad, pues de ellos depende la dirección de los resultados de la evaluación. De esta manera, la selección de los escenarios debe ser una decisión balanceada y cuidadosamente planeada.

La importancia de que la RBSGG cuente con escenarios climáticos es promover la investigación y divulgación en la zona ya que cuenta con pocos estudios y su importancia en la región debe ser más valorada.

La Estrategia Estatal de Cambio Climático en Guanajuato (EECCG) necesita de los escenarios de cambio climático deben ser seleccionados para brindar información que sea fácil de obtener o derivar; suficientemente detallada para ser utilizada en los estudios de impacto; representativa del rango de incertidumbre de la proyección y el físicamente consistente en el sentido espacial.

Además el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) retoma el uso de escenarios para la formulación de estrategias y acciones para la atención del cambio climático a mediano y largo plazo, considerando aspectos socioeconómicos.

La realización de escenarios más que un requisito para las estrategias de adaptación, son opciones que se tienen que considerar para la mejor gestión del riesgo ante la amenaza que prevé el cambio climático y, como, tal requiere considerar la incertidumbre, si se toman en cuenta de manera seria y objetiva seguro se tiene una buena visión de lo que es el impacto y, así, buenas medidas de adaptación que permitan una mejor opción de desarrollo (Zermeño, 2008).

Los resultados de escenarios de cambio climático pueden ayudar a dar continuidad a trabajos de adaptación y vulnerabilidad. En este caso los resultados obtenidos se complementan con trabajos realizados para la RBSGG en temas de adaptación al cambio climático (Cruz, 2013) y vulnerabilidad en bosques (Reyes, 2014).

V. CONCLUSIONES

En la región centro del país existe un fuerte contraste entre la conservación y el desarrollo industrial. Por un lado, el establecimiento de un ANP, que se encontraba en creciente vulnerabilidad y empezando a deteriorarse, en la zona con un desarrollo industrial que le ha valido la pérdida de sus recursos naturales.

Pero en la zona aún se conservan condiciones de baja alteración y zonas aparentemente intactas para declararla desde hace siete años como Reserva de la Biósfera Sierra Gorda Guanajuato desde Febrero del 2007 por su diversidad ecosistémica, morfológica y también cultural.

Por lo anterior es importante reconocer la heterogeneidad del lugar y la necesidad de escenarios con una alta resolución espacial además de una buena técnica de reducción de escala sin determinar los resultados debido al grado de incertidumbre, para poder considerarlos como una primera visión del futuro climático.

Las técnicas de reducción de escala estadística tienen distintas ventajas como: costos baratos en relación con la reducción de escalas dinámicas, además de que se pueden obtener series de tiempo representativas en regiones donde existe escasa información a partir de la interpolación de datos.

El uso de un Generador Estocástico del Tiempo Meteorológico como LARS facilita la manipulación de datos como las medias mensuales, los eventos extremos y hasta posibles eventos diarios. El uso de gráficos como los boxplot y las PDF facilita el análisis de densidad de los datos, permitiendo prever las condiciones extremas.

Lo anterior debido principalmente a que los impactos esperados del cambio climático estarán básicamente afectados por una mayor actividad e intensidad de eventos extremos; de ahí la importancia de usar métodos que faciliten su análisis temporal y espacial. .

A nivel general los resultados obtenidos mediante el GETM-LARS muestran que en la temperatura los eventos extremos de calor tendrán mayor frecuencia y aumentarán con una atmosfera más cálida, estos resultados también aparecen en otros trabajos de análisis probabilísticos en México, en los que a nivel general comentan que el aumento en las temperaturas será mayor en el hemisferio norte, en latitudes medias y altas, así como sobre las regiones continentales.

La realización de escenarios de cambio climático para la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda Guanajuato (RBSGG), impulsa y promueve a la conservación del área para la gestión de riesgo ante el cambio climático además de que, realizar trabajos para un ANP de reciente decreto y con apenas un programa de manejo, ocasiona educar y divulgar sobre la protección y conducción del área.

La población consciente del decreto de la RBSGG está de acuerdo en que conservar es parte de un deber al ser habitante del área y aceptan el establecimiento de la misma aunque las oportunidades de empleo son reguladas, reciben apoyos por parte del gobierno y están enterados del uso selectivo y moderado de los recursos a su alcance.

La aplicación que tuvo el trabajo, se encaminó hacia la problemática de la presa El Realito y el déficit de agua en la zona ya que los escenarios de precipitación son los de mayor incertidumbre pero de manera general tendrá una disminución de eventos extremos aunque un imperceptible aumento en su rango de normalidad. Para la zona se prevé tardará un tiempo en que la presa trabaje con el nivel de agua que requiere para su operación ya que no fue viable su ubicación. Existen también opiniones encontradas sobre la construcción de la presa, las personas beneficiadas a quien se les destinará el recurso agua y los habitantes de la RBSGG que se vieron afectadas por el mal pago de sus tierras.

Como estudio geográfico ambiental, este trabajo es importante debido a que la amenaza del cambio climático debe ser analizada y cuantificada espacialmente para que los actores claves correspondientes de la región tomen las decisiones

más adecuadas en cuanto a conservación, mitigación y adaptación, ya que el cambio climático es una de tantas amenazas que puede llegar afectar a la región.

En conclusión del trabajo se realizaron los objetivos particulares establecidos y se cumplieron a lo largo del trabajo, debido a que el objetivo principal era realizar los escenarios de cambio climático y con ello se pudo identificar el grado de amenaza, su frecuencia para tres distintos periodos e igualmente, se realizó el modelo de balance hídrico que muestra el déficit de humedad en la zona lo que podría traer problemas en la operatividad de la presa El Realito.

En cuanto a la hipótesis se comprueba parcialmente ya que si existe un aumento en la temperatura de la reserva ocasionado por los efectos de sequias cada vez más intensas además de la pérdida de la biodiversidad que existe y la desertificación identificadas para el área sin embargo, la precipitación si tendrá un descenso principalmente en eventos extremos que serán más intensos lo que puede ser perjudicial para la población.

El fenómeno del cambio climático en Áreas Naturales Protegidas se caracteriza por ser de tipo geográfico ya que además de conocer su grado de afectación (distribución y magnitud) en un lugar particular, los impactos que prevé están también ocasionados por las acciones económicas, políticas, sociales y ambientales.

REFERENCIAS

- Aguirre, G. (2010). *Efectos del cambio climático en dos áreas productoras de café (Coffea arabica L.) del estado de Chiapas, México*. Tesis Licenciatura en Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Amador, J., Alfaro, E. (2009). *Métodos de reducción de escala: aplicaciones al tiempo, clima, variabilidad climática y cambio climático*. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica. Vol. 11 39-52.
- Barros, V. (2004) *El Cambio Climático Global*. Buenos Aires. Libros del Zorzal.
- Burroughs, J. (2007) *Climate Change, a Multidisciplinary Approach*. Cambridge University Press. Reino Unido.
- Camargo-Bravo, A., García-Cueto, R. (2011) *Evaluación de dos Modelos de Reducción de Escala en la Generación de Escenarios de Cambio Climático en el Valle de Mexicali en México*. Información Tecnológica. Vol.23, n.3, pp. 11-20.
- Comisión Nacional del Agua–Comisión Estatal de Agua Guanajuato (CONAGUA-CEAG). (2008). *Estudio Técnico Justificativo para Cambio de Uso de Suelo del Proyecto Ejecutivo para la Construcción de la Presa El Realito y Estudio de Factibilidad de la Ingeniería Básica del Acueducto El Realito a Localidades de los Estados de Guanajuato y San Luis Potosí*. CNA-CEAG. México.
- Comisión Nacional del Agua. (2013). *Terminología*. [En Línea] Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/spr/glosario.html>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2010). *Estrategia de Cambio Climático para Áreas Protegidas (ECCAP)*. 2da Edición. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C.-The Nature Conservancy. (CONANP-FMCN-TNC). (2011). *Guía para la elaboración de programas de adaptación al cambio climático en áreas naturales protegidas*. México.
- CONANP (2012). *Borrador del Programa de Manejo para la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda Guanajuato*. Comisión de Áreas Naturales Protegidas. México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). *Estudio Regional Forestal*. Gobierno del Estado de Guanajuato. México.
- Conde, C. (2003). *Cambio y Variabilidad Climática: dos estudios de caso en México*. Tesis de Doctorado en Ciencias de la Tierra. CCA. UNAM.
- Conde, A., Gay, C. (coordinadores). Estrada, F., Fernández, A., López, F., Lozano, M., Magaña, V., Martínez, B., Sánchez, O., Ramírez, J., Zavala, J., Zermeño, P. (colaboradores). (2008). *Guía para la Generación de Escenarios de Cambio Climático a escala Regional*. Centro de Ciencias de la Atmosfera (CCA) Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Cotler, E. (2009) *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). México.
- Cruz, D. (2013) *Adaptación a cambio climático en el Área Protegida Sierra Gorda Guanajuato*, Tesis de Licenciatura en Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cuadrat, M., Pita, F. (1997). *Climatología. Ediciones Cátedra*. Madrid.
- Delgado, G., Gay, C., Imaz, M., Martínez, M. (coordinadores). (2010). *México frente al Cambio Climático retos y oportunidades*. UNAM. México.

- Fernández, F. (1996) *Manual de climatología aplicada. Clima, Medioambiente y planificación. Espacios y Sociedades. Serie Mayor No. 2.* Pp 285. España.
- Gay C. Conde, A. Estrada, F., Fernández, A., López, F., Lozano, M., Magaña, V., Martínez, B., Sánchez, O., Ramírez, J., Zavala, J. y Zermeño, (2003). *Una Visión hacia el Siglo XXI. El Cambio Climático en México.* UNAM. México. [En Línea] Disponible en: <http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/libro.html>
- Gobierno del Estado de Guanajuato. *Las Áreas Naturales Protegidas de Guanajuato como estrategia de mitigación.* [En Línea] Disponible en: <http://coclima.guanajuato.gob.mx/informacion.php?valor=18>
- Gómez, L. (2007) *Variabilidad Climática y Cambio de uso de suelo en la Sierra Norte de Oaxaca: implicaciones en los escenarios de Cambio Climático.* Tesis Doctorado en la Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gómez, L., Galicia, L. (2004). *Variabilidad Climática y los Ecosistemas Terrestres.* En Ciencia y Desarrollo. Vol. 30 No. 179 Noviembre-Diciembre.
- Granados, R., Reyna, T. (2012). *Centro-Occidente de México. Variación climática e impactos en la producción agrícola.* México, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Greenpeace. (2007). *México ante el Cambio Climático, evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación.* [En Línea] Disponible en: <http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2010/6/vulnerabilidad-mexico.pdf>
- Gutiérrez, C. (2013). “Reclaman a CEA falta de pago por tierras para El Realito” en *Pulso de Diario de San Luis.* [En línea] disponible en:

<http://pulsoslp.com.mx/2013/12/01/reclaman-a-cea-pago-por-tierras-del-realito/> [Consultado el 1 de Diciembre 2013]

Henderson-Sellers, A. McGuffie, K. (1990). *Introducción a los Modelos Climáticos*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona.

Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IEEE). (2000) *Informe Especial, sobre escenario de emisiones*. IPCC-ONU-PNUMA. Suiza.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (1980) *Síntesis Geográfica de Guanajuato*. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.

Instituto Nacional de Ecología. (2010) *Proyecciones de Cambio Climático Regionalizadas para México* [En Línea] Disponible en: <http://zimbra.ine.gob.mx/escenarios/>

IPCC. (2000) *Informe Especial de Escenarios de Emisiones Resumen para Responsables de Políticas*. Panel Intergubernamental de Cambio Climático - Organización Meteorológica Mundial - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Suiza.

Llebot, E. (1998). *El Cambio Climático*. Rúbes. Barcelona.

Magaña, V. (2010). *Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones*. INE. México. [En Línea] Disponible en: <http://zimbra.inecc.gob.mx/escenarios/>

Magaña, V., Gómez, L., Neri, C., Landa, R., León, C., Ávila, B. (2011). *Medidas de adaptación al cambio climático en humedales del golfo de México*. SEMARNAT-INE. México.

Magaña, V. dentro de Martínez. (2005). *Efectos del Cambio Climático en México*. INE. México.

- Magaña, V. dentro de Urbina. (2006). *Más Allá del Cambio Climático, Las Dimensiones Psicosociales del Cambio Ambiental Global*. Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Martínez, J., Fernández, A., Osnaya, P. (compiladores). *Cambio climático: una visión desde México*. SEMARNAT-INE. México.
- Matsuura, W., Willmott, C., Legate, D. (2009). *WebWIMP versión 1.02*. Universidad de Delaware. [En Línea] Disponible en: <http://climate.geog.udel.edu/~wimp/>
- Méndez, J. (2010). *Generación y Aplicación de Escenarios Probabilísticos regionales de cambio climático en la tomo de decisiones*. Taller de capacitación para la elaboración de programas estatales de acción ante el cambio climático para el estado de Nayarit. México.
- Méndez, J. (2003). *Un estudio de eventos hidrometeorológicos extremos en la República Mexicana*. Tesis Maestría en Ciencias de la Tierra. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mendoza, C. (2011). *Acciones de Adaptación y Vulnerabilidad en el Sector Forestal ante el Cambio Climático en el Estado de México*. Tesis Licenciatura en Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). (2007). *Informe de Síntesis*. ONU-PNUMA. Suiza.
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). (2000). *Informe Especial, sobre escenario de emisiones*. ONU-PNUMA. Suiza.
- Perroni, Y. (2007) *Islas de Fertilidad en un Ecosistema Semiárido: nutrientes en el suelo y su relación con la diversidad vegetal*. Tesis de doctorado en Instituto de Ecología, A.C. Xalapa.

- Pittock, A. (2005) *Climate Change, Turning up the Heat*. Csiro Publishing. Australia.
- Presidencia de la Republica (2007). *Diario Oficial, decreto Reserva de la Biosfera Sierra Gorda Guanajuato*. SEMARNAT. México.
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). (2012). *Áreas Naturales Protegidas*. SEMARNAT. México. [En Línea] Disponible en: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/1660/1/mx/areas_naturales_prottegidas.html
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2011). *Formulando Escenarios de Cambio Climático para Contribuir con Estrategias de Desarrollo Adaptadas al Clima*. PNUD. USA.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2005). *Proyecto Ciudadanía Ambiental Global*. PNUMA. México.
- Puma, MJ., y Gold, S. (2011). *Formulando Escenarios de Cambio Climático para Contribuir con Estrategias de Desarrollo Adaptadas al Clima. Una Guía para Practicantes*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Nueva York.
- Reyes, M. (2013). *Vulnerabilidad de los Bosques en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda Guanajuato, bajo Escenarios de Cambio Climático*. Tesis Licenciatura en Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Saavedra, E. (2009). *Evaluación de la Precipitación y periodo de Retorno de los Eventos Meteorológicos Extremos en la Región Grijalva-Usumacinta*. Tesis Licenciatura en Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Salazar, A. y Masera, O. (2010). *México ante el Cambio Climático. Resolviendo Necesidades Locales con Impactos Globales*. Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad, A.C. México.
- Sánchez, I. Díaz, G., Cavazos, M., Granados, R., Gómez, E. (2011). *Elementos para entender el cambio climático y sus Impactos*. Porrúa. México.
- SEMARNAT. (2012). *Libro blanco CONAGUA, Diseño, desarrollo de ingeniería y construcción de la presa de almacenamiento El Realito*. Comisión Nacional del Agua. México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT-INE). (2009). *Cuarta comunicación Nacional ante las Naciones Unidas*. México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SEMARNAT-CONANP) (2005) *Estudio previo justificativo para el establecimiento del área natural protegida Sierra Gorda Guanajuato*. México.
- SEMARNAT-CONANP. (2010). *Estrategia de Cambio Climático para Áreas Naturales Protegidas*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Semenov, M., Brooks, R., Barrow, E., Richardson, C. (1998). *Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generator for diverse climates*. Climate Research. Vol. 10: 95-107.
- Semenov, M., Barrow, E. (2002). *LARS-WG: A stochastic weather Generator for Use in Climate Impact Studies*. Reino Unido-Canada.
- Semenov, M., Brooks, R. (1999). *Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain*. Climate Research. Vol. 11:137-148.

- Silva, E. (2008) *Efectos del Cambio y Variabilidad Climática en el cultivo de Soya en el municipio de González, Tamaulipas*. Tesis Licenciatura en Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Suástegui, U. (2005). *AGRIDEMA: Un esfuerzo europeo para la introducción de herramientas de simulación en la toma de decisiones agrícolas. Oportunidades para mejorar la eficiencia en el uso del agua*. Estudios de la zona no saturada del suelo. Vol. III. España.
- Torres, L. (2013). "Presa El Realito llegó al 50% de su capacidad. Lluvias del pasado mes hicieron casi todo su aporte" en *Pulso de Diario de San Luis*. [En línea] disponible en: <http://pulsoslp.com.mx/2013/10/13/presa-el-realito-llego-al-50-de-su-capacidad/> [Consultado el 14 de Octubre 2013]
- Unión Internacional para la Conservación de la naturaleza (UICN). 2010. *La Serie de Soluciones Naturales*. UICN/CMAP. Australia.
- Urbina, J., Martínez, J. (Compiladores). (2006). *Más Allá del Cambio Climático, Las Dimensiones Psicosociales del Cambio Ambiental Global*. Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Utset, A., Martínez-Cob, A. (2003). *Estimación del posible efecto del Cambio Climático en el balance hídrico del maíz cultivado en la llanura Mediterránea*. Estudios de la zona no saturada del suelo Vol. VI. España.
- Vásquez, J. (2010). *Guía para el Cálculo y Uso de Índices de Cambio Climático en México*. INE-SEMARNAT. México
- Velasco, E. (2010). *Impactos y Consecuencias en las Actividades Pecuarias a causa del Cambio Climático en el Estado de México*. Tesis Licenciatura

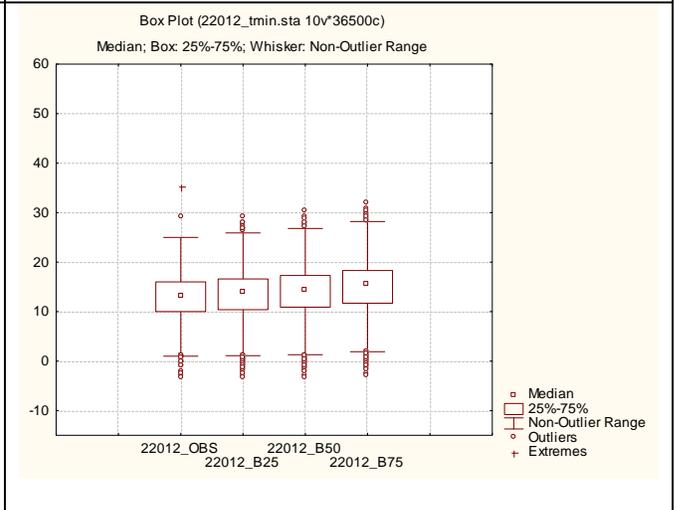
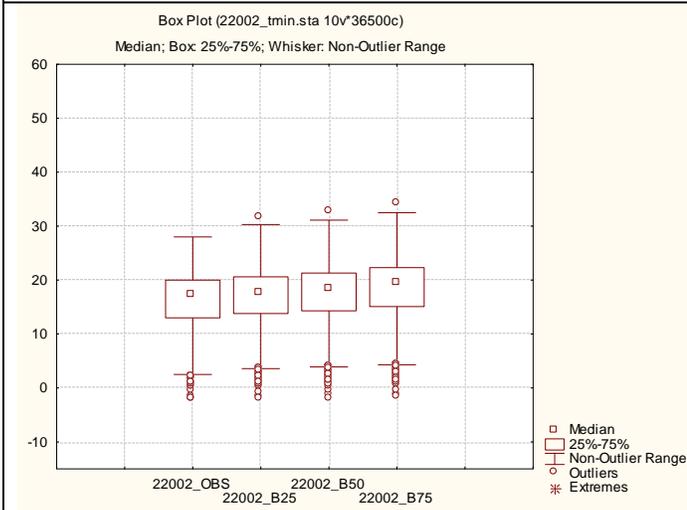
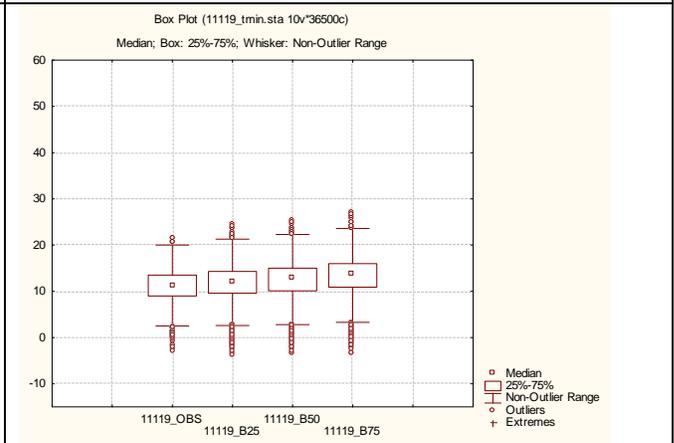
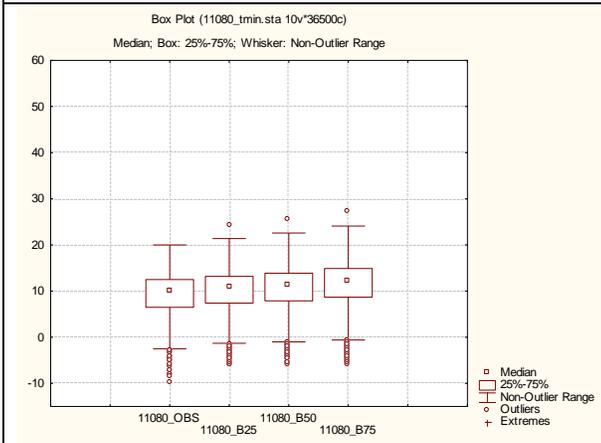
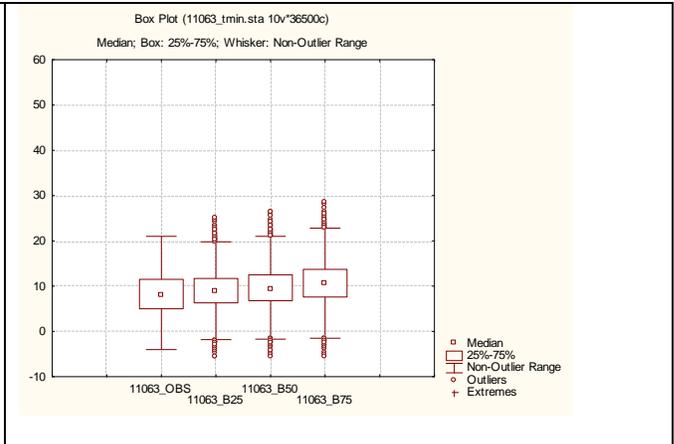
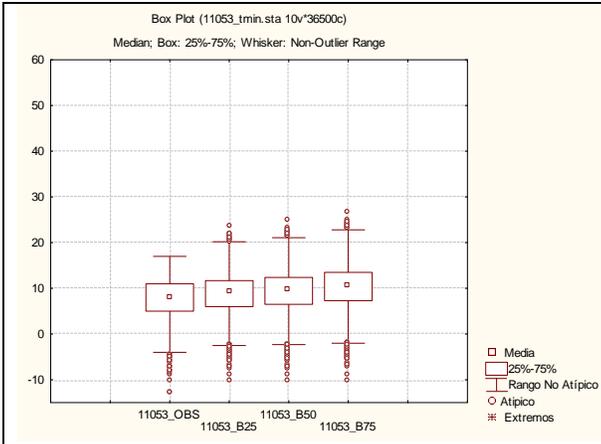
en Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México.

Villers, L., Trejo, I. (2007). *El Cambio Climático y la Vegetación en México*. En: México una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Instituto Nacional de Ecología. México.

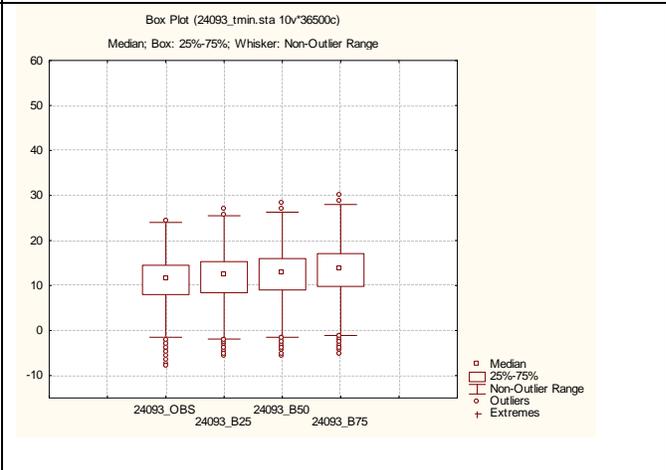
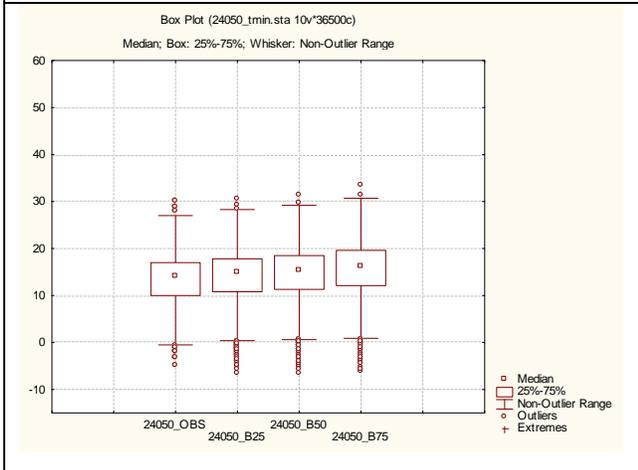
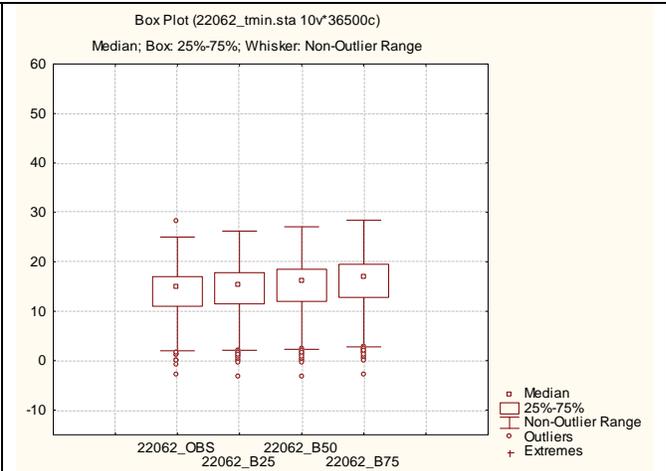
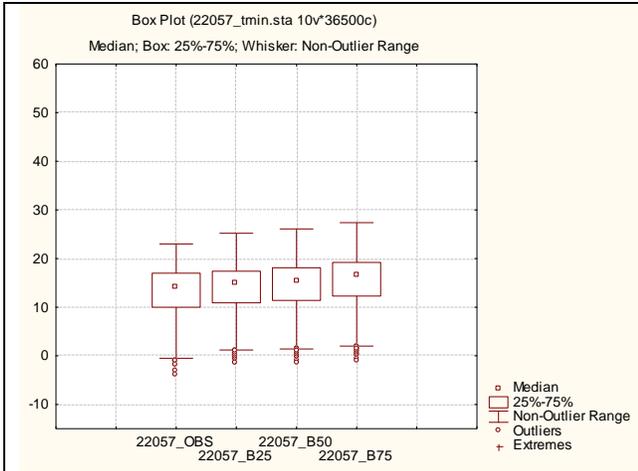
Wilby, R., Charles. SP., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P., Mears, LO. (2004). *Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Scale Reduction Methods*. [En línea] Disponible en: http://www.ipcc-data.org/guidelines/dgm_no2_v1_09_2004.pdf

Zermeño, D. (2008). *Análisis Probabilístico de Escenarios Escalados de Precipitación y Temperatura Bajo Cambio Climático en México*. Tesis Maestría en Ciencias Atmosféricas. Universidad Nacional Autónoma de México.

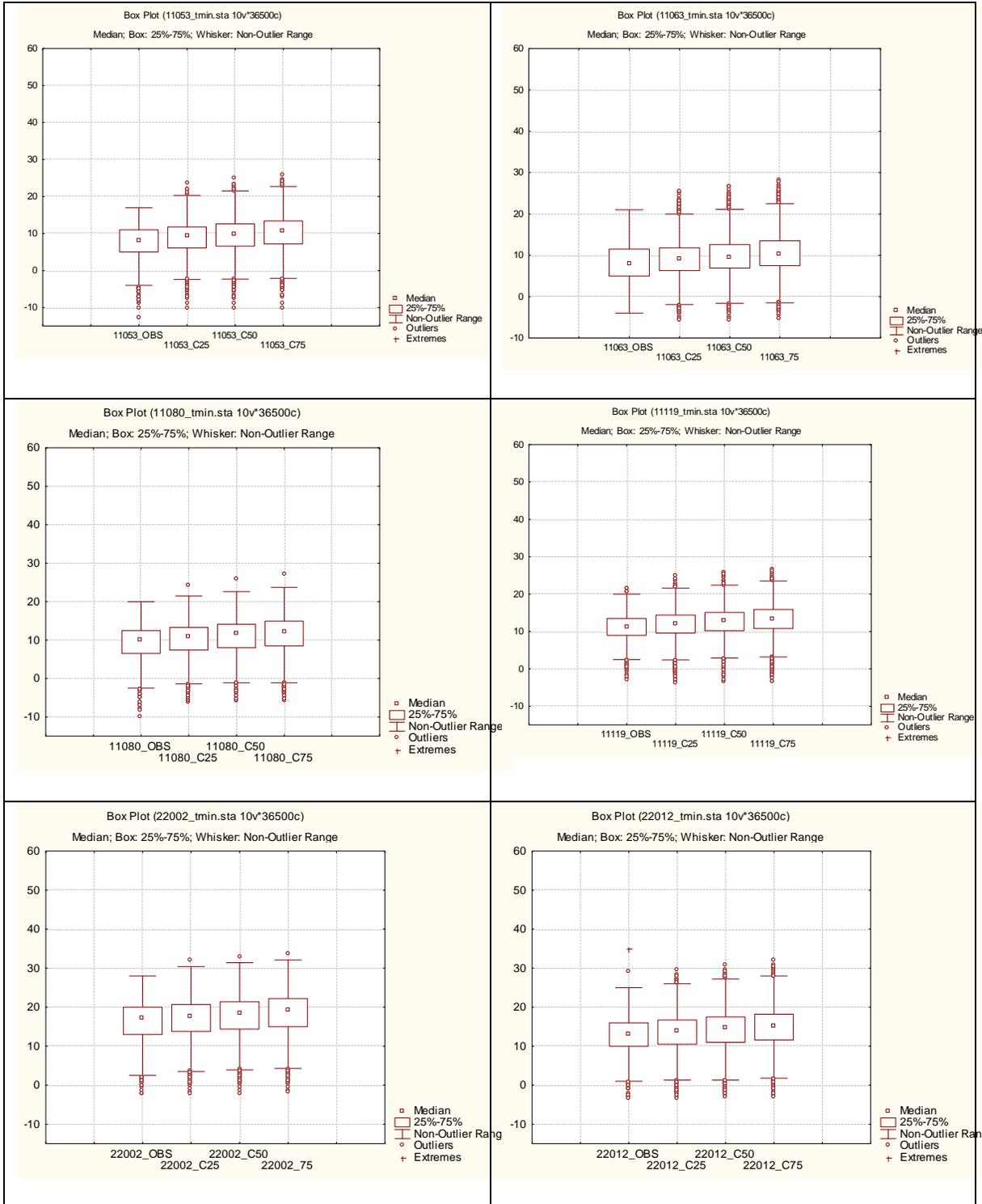
Temperatura Mínima Escenarios A2 (B)



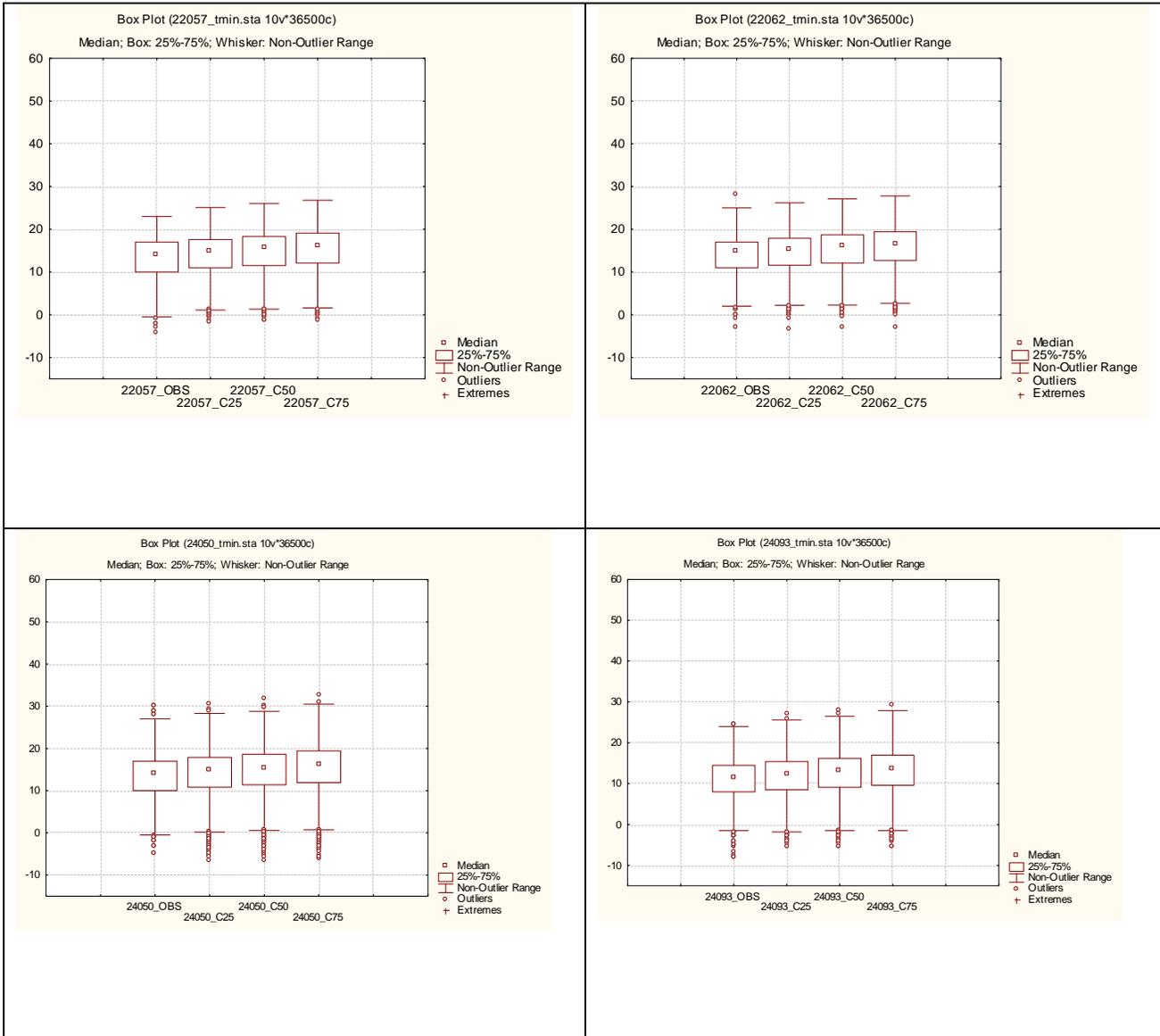
Temperatura Mínima Escenarios A2 (B)



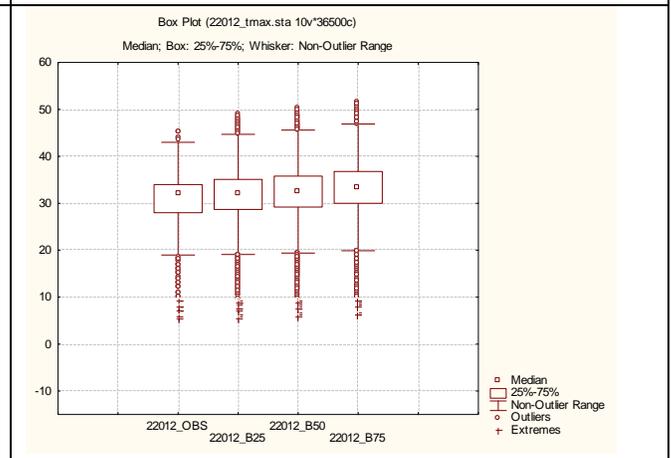
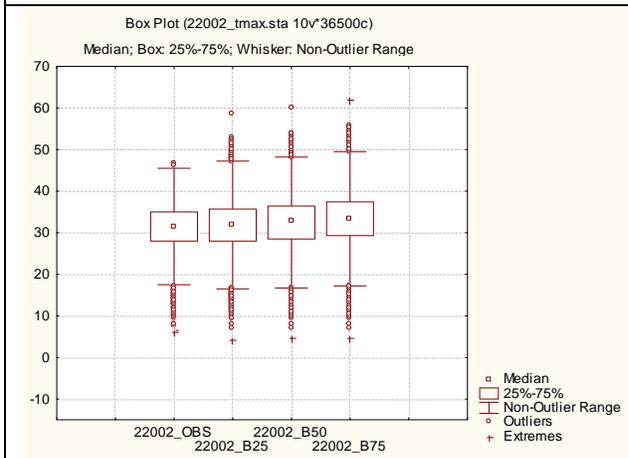
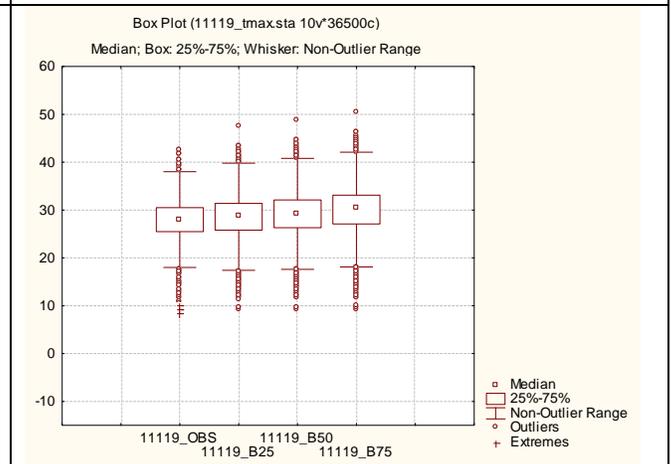
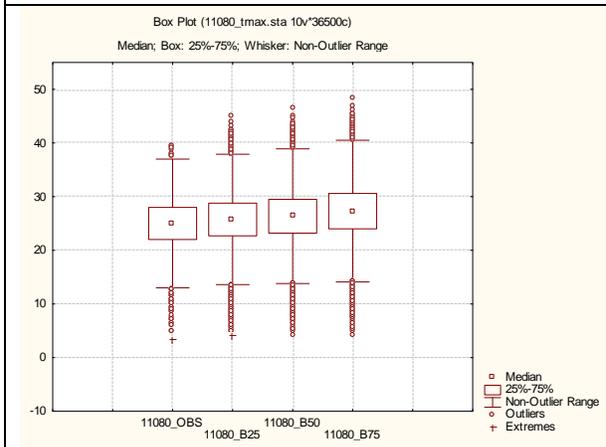
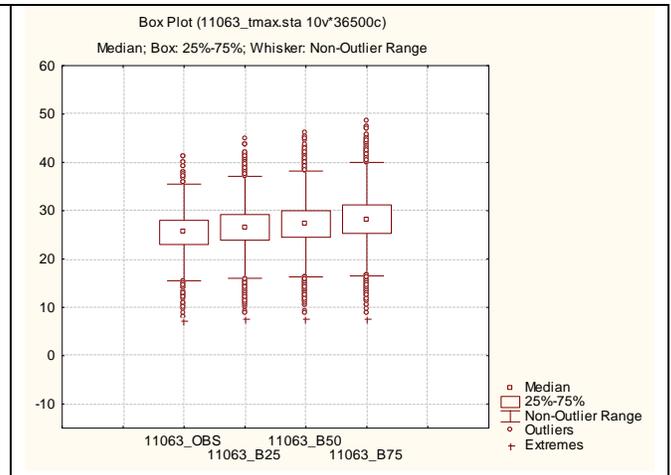
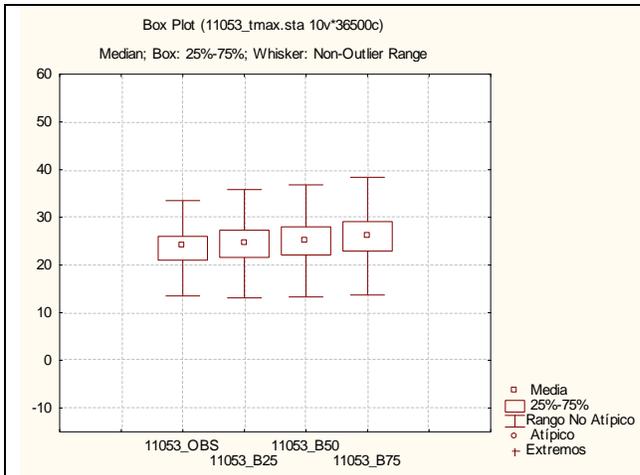
Temperatura Mínima Escenario A1B (C)



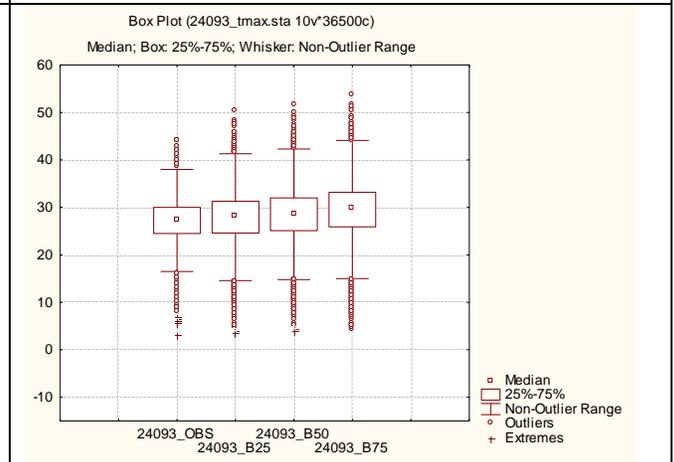
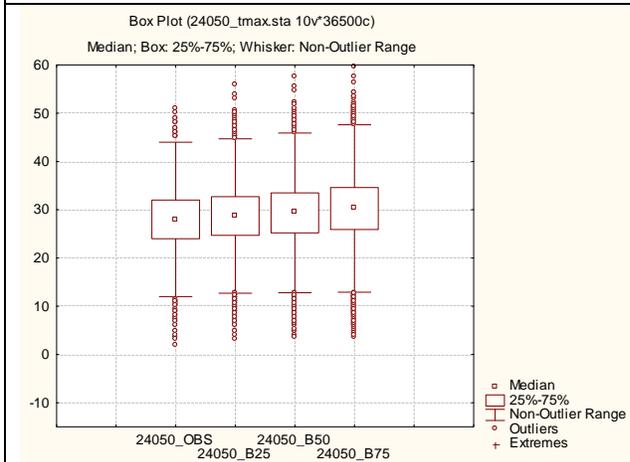
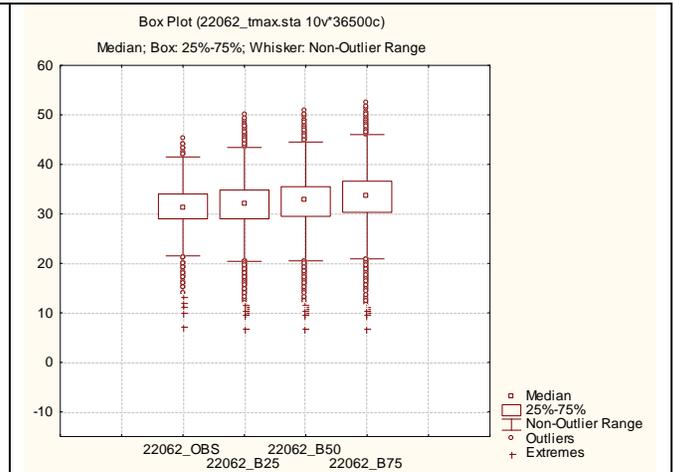
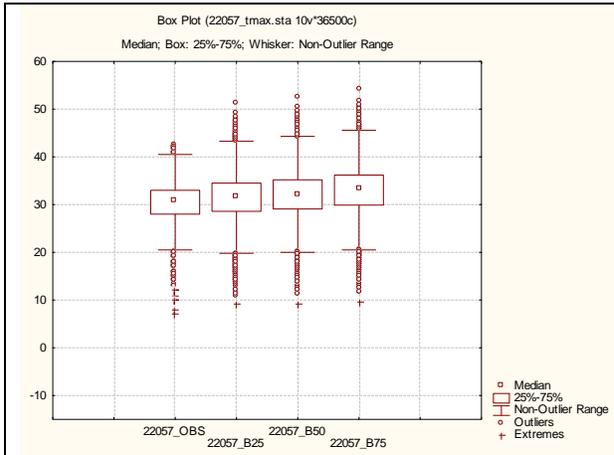
Temperatura Mínima Escenario A1B (C)



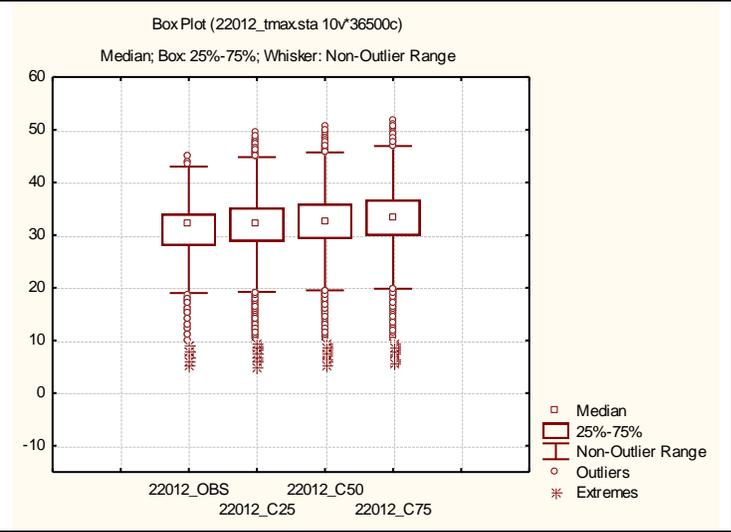
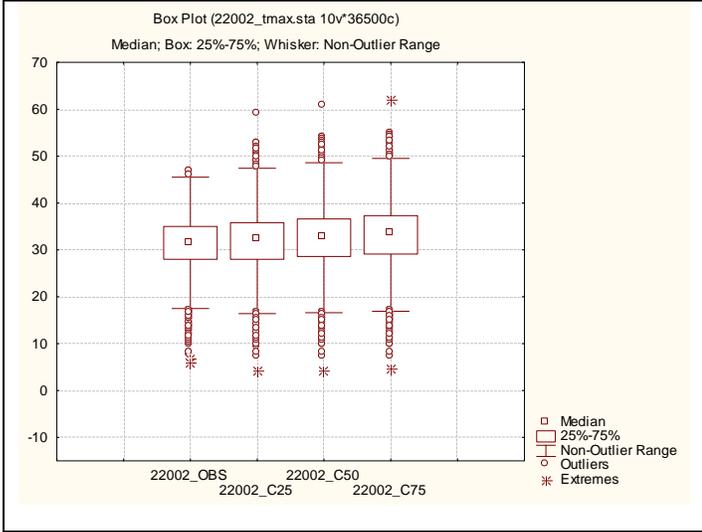
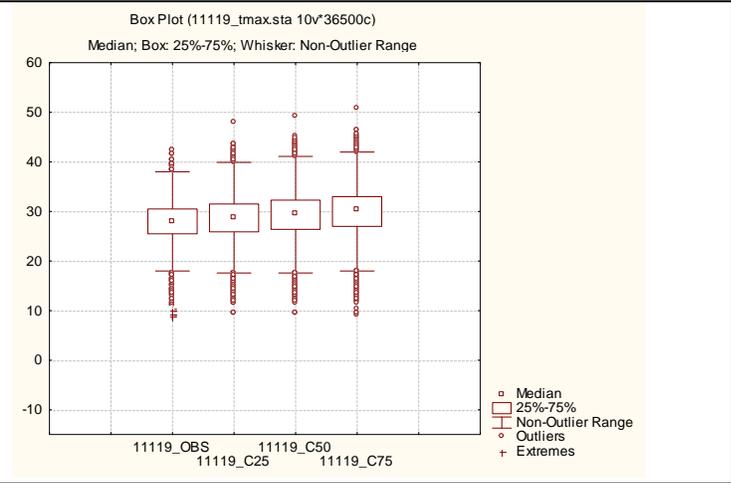
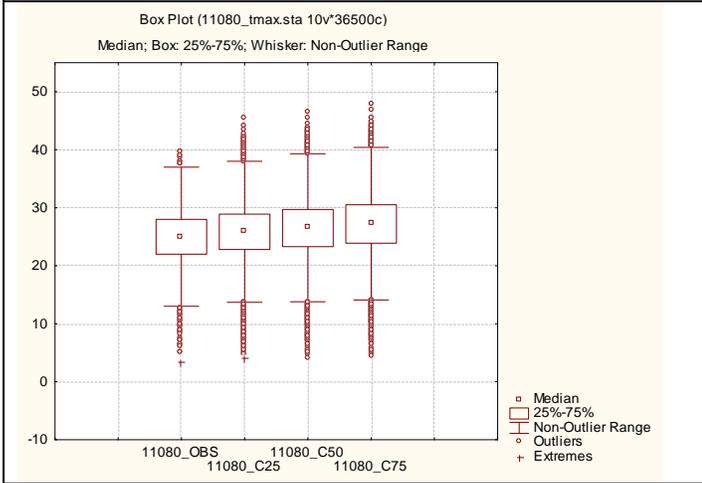
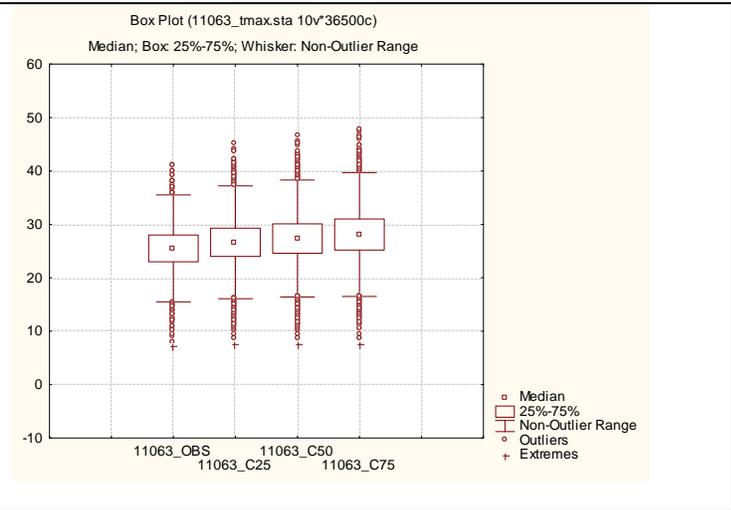
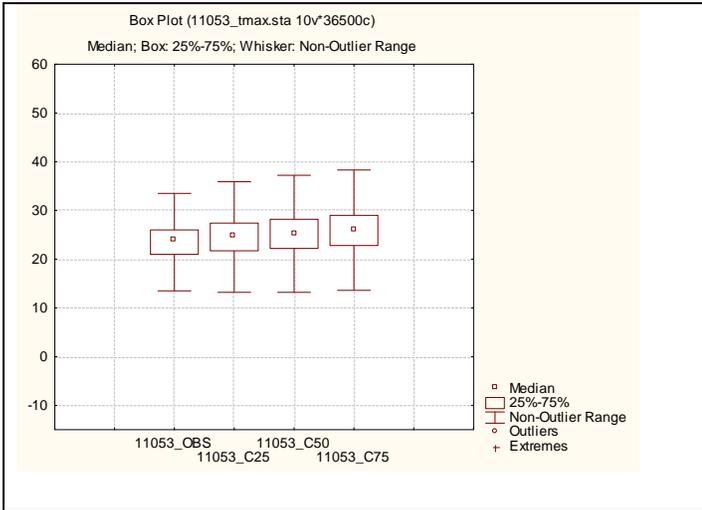
Temperatura Máxima Escenario A2 (B)



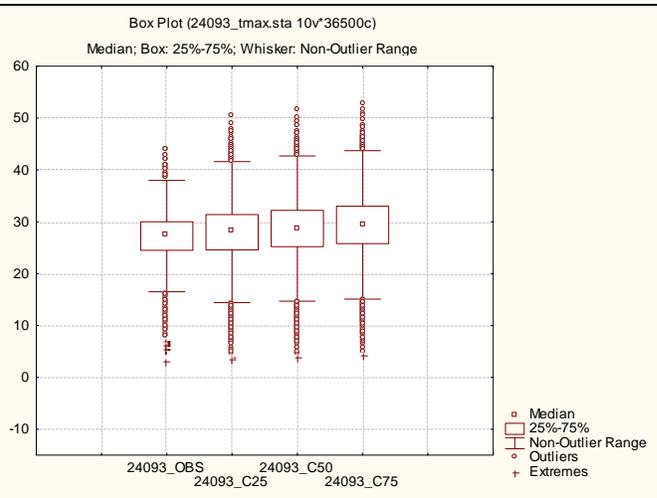
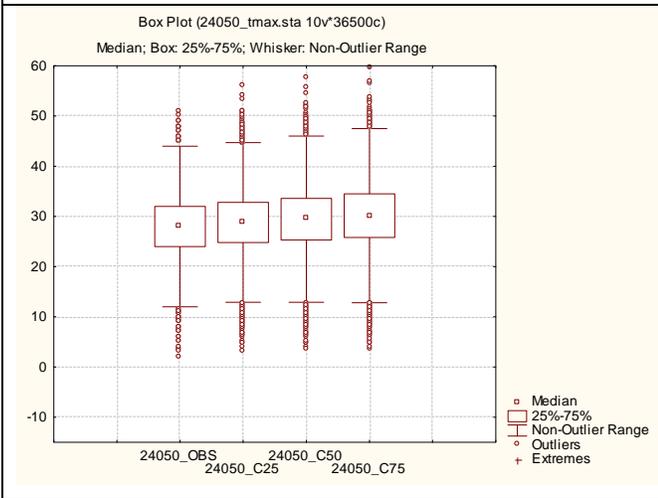
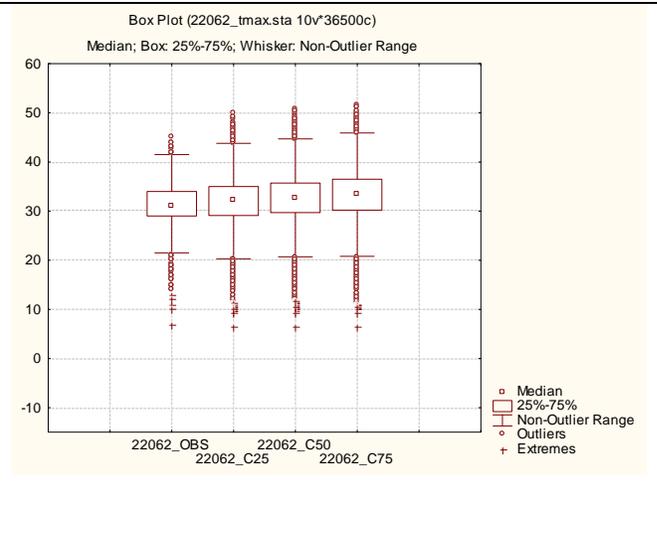
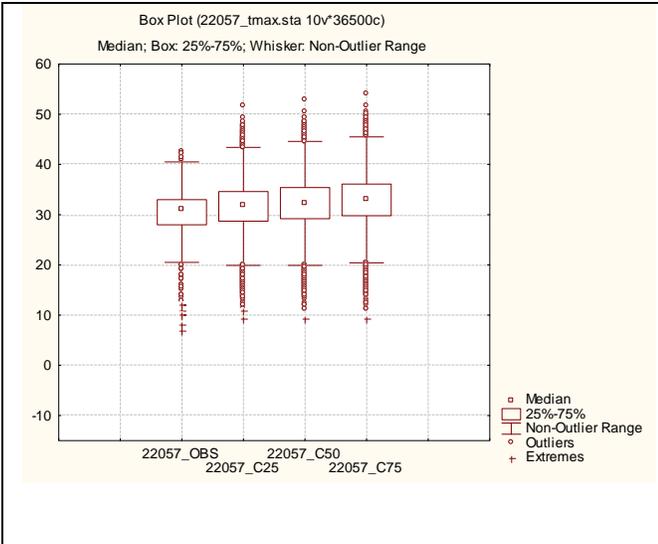
Temperatura Máxima Escenario A2 (B)



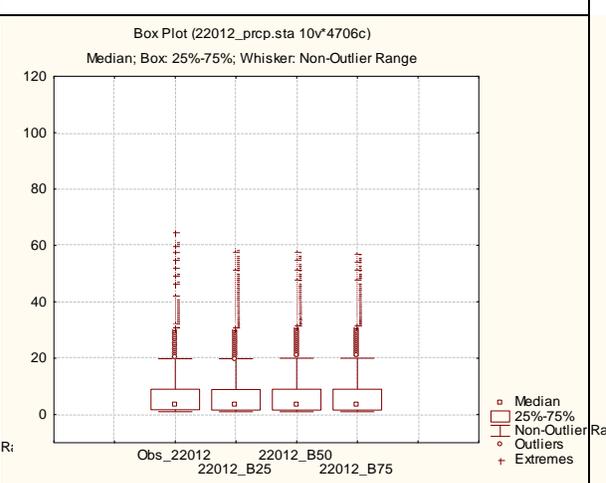
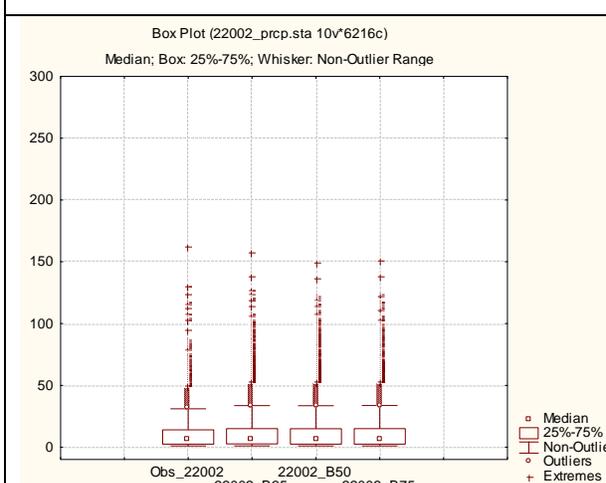
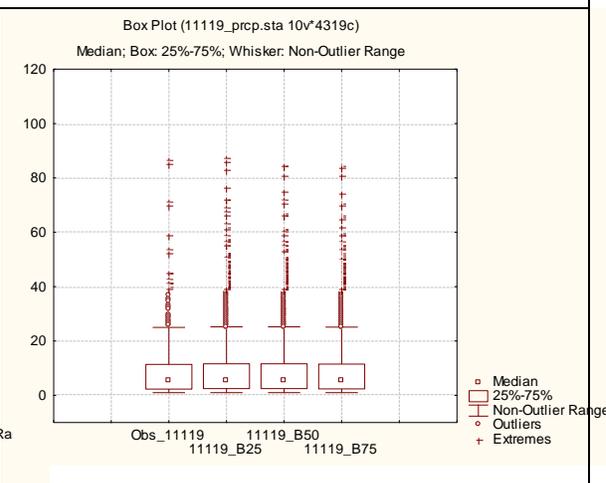
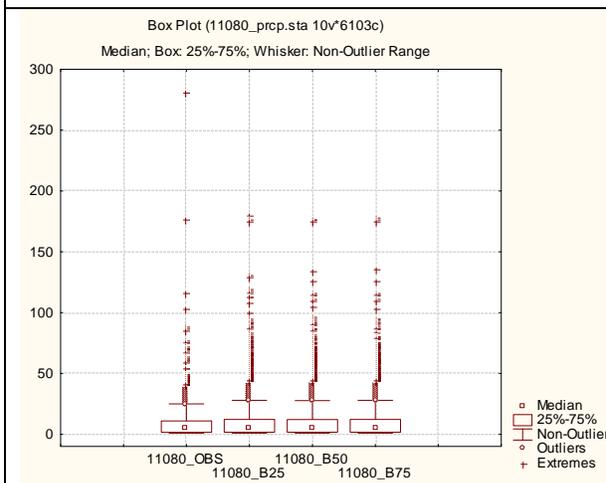
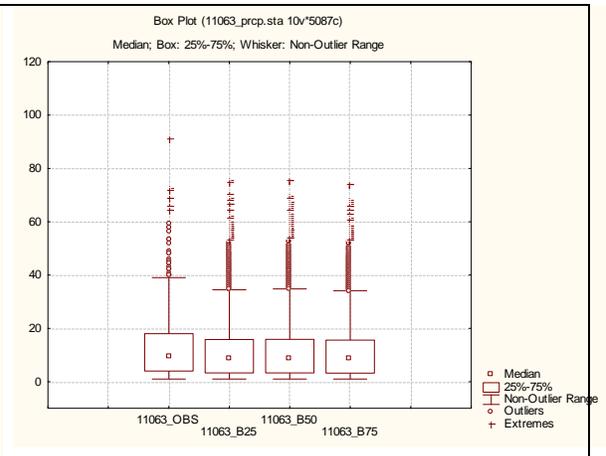
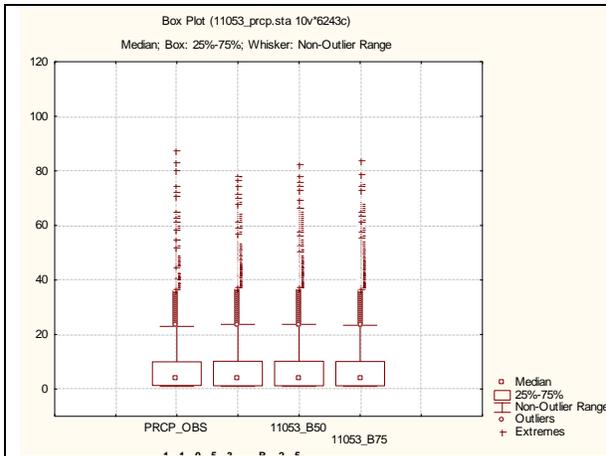
Temperatura Máxima Escenario A1B (C)



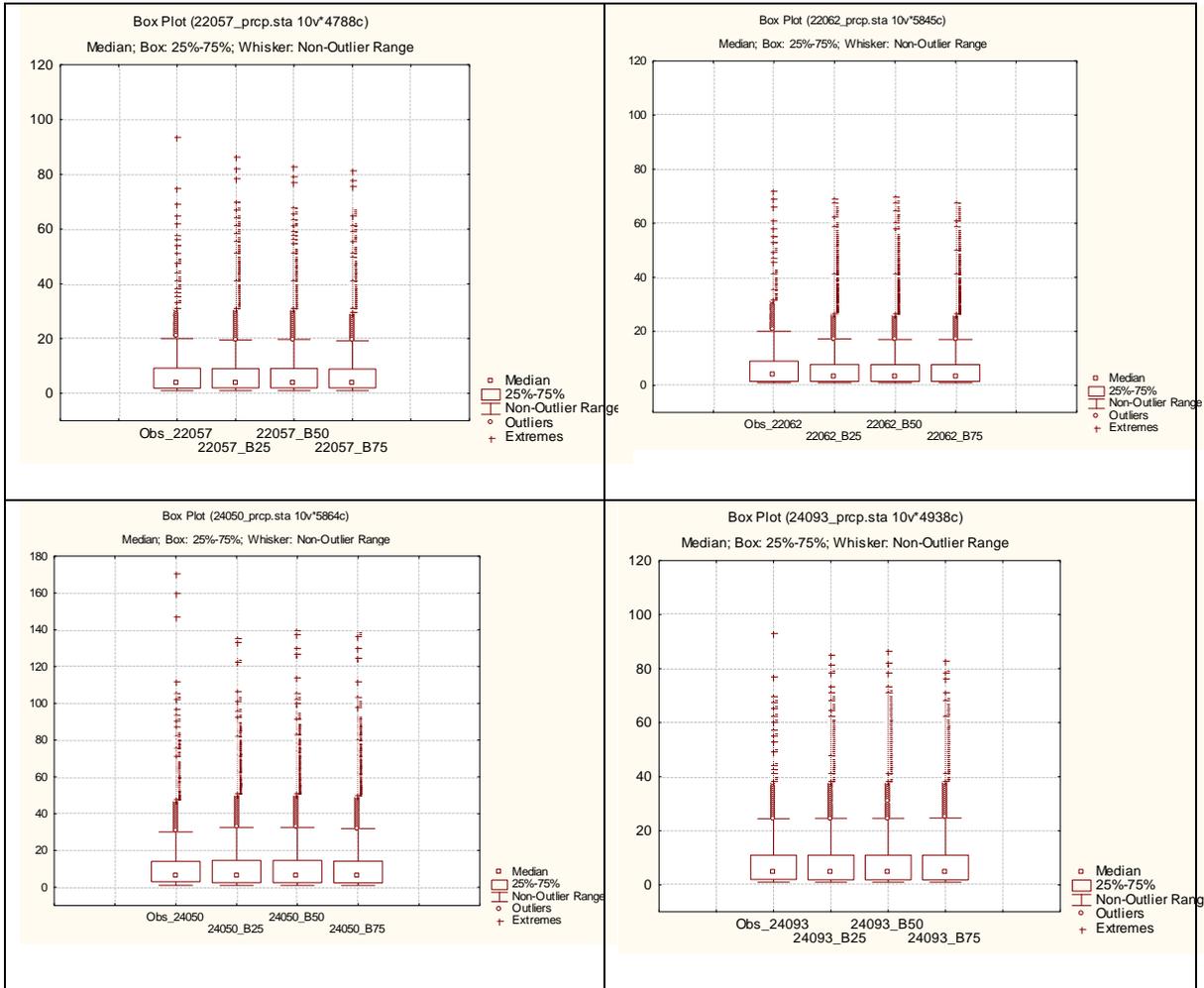
Temperatura Máxima Escenario A1B (C)



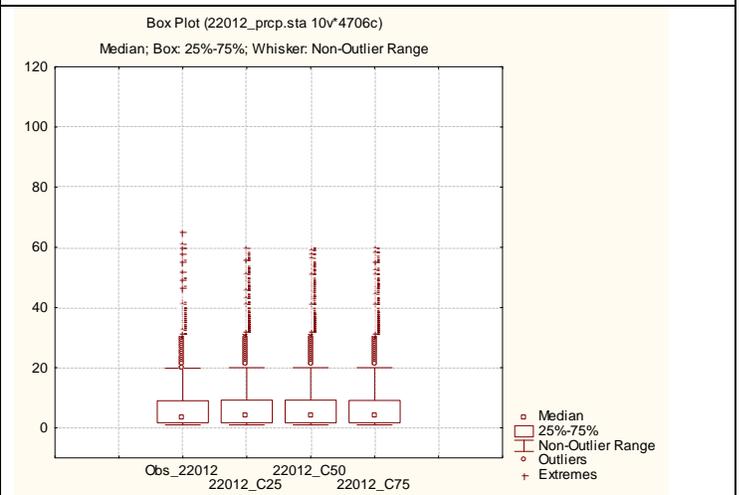
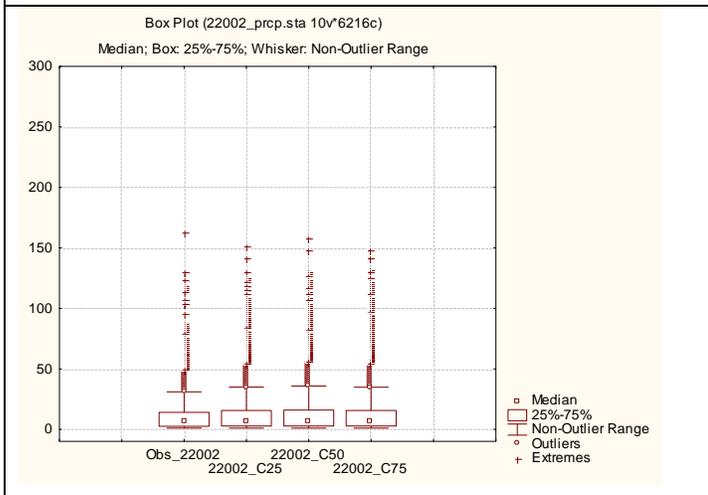
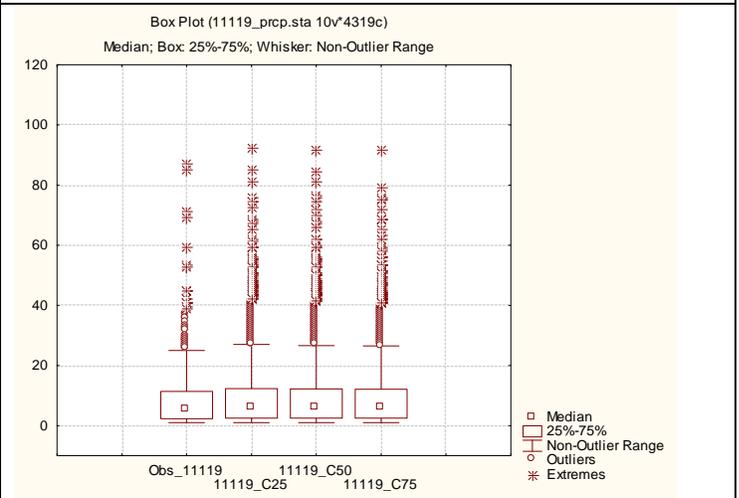
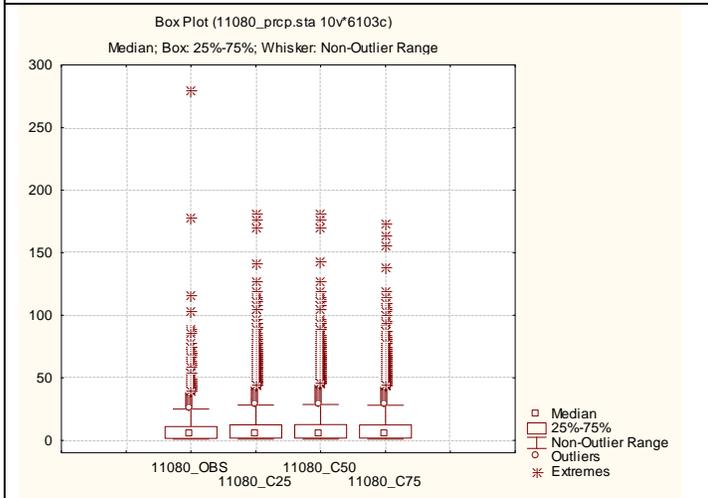
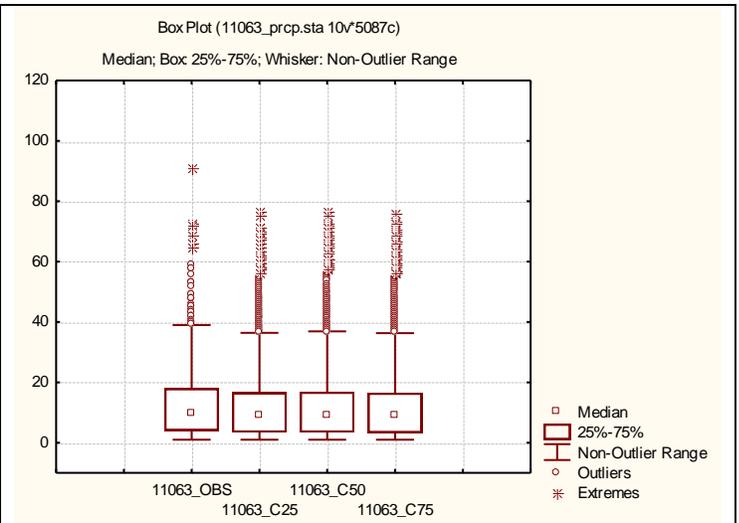
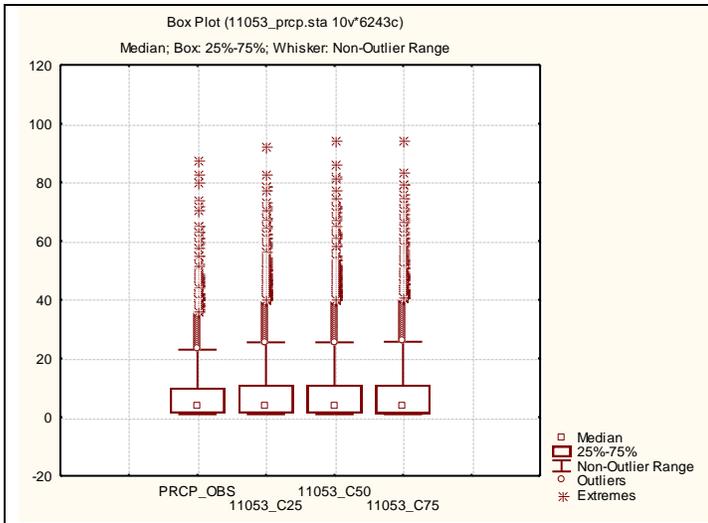
Precipitación Escenario A2 (B)



Precipitación Escenario A2 (B)



Precipitación Escenario A1B (C)



Precipitación Escenario A1B (C)

