



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE MÉXICO**



FACULTAD DE GEOGRAFÍA

MAESTRÍA EN ANÁLISIS ESPACIAL Y GEOINFORMÁTICA

9ª PROMOCIÓN

COMPORTAMIENTO ESPACIO-TEMPORAL DE LA SEQUÍA, EN EL ESTADO DE
GUANAJUATO

ING. YESIKA CRESPO LÓPEZ

ASESORES:

DR. LUIS MIGUEL ESPINOSA RODRÍGUEZ

MCA. DOLORES MAGAÑA LONA

MC. GUILLERMO CRESPO PICHARDO

MAESTRÍA
EN ANÁLISIS
ESPACIAL Y
GEO-
INFOR-
MÁTICA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
INTRODUCCIÓN	6
Antecedentes	7
Planteamiento del problema.....	8
Justificación	9
Objetivos	9
I. MARCO TEÓRICO	11
1.1 Entorno geográfico de investigación	11
1.1.1 Fisiografía	11
1.1.2 Hidrología	12
1.1.4 Uso de suelo y vegetación.....	14
1.1.5 Clima.....	15
1.1.6 Caracterización socioeconómica.....	17
1.2 Espacialidad del clima de Guanajuato.....	19
1.3 Definición de sequías	22
1.3.1 Tipos de sequía.....	22
1.4 Características de la sequía.....	24
1.4.1 Causas	24
1.4.2 Efectos.....	26
1.5 Métodos de análisis de la sequía	27
1.5.1 Método del Índice de Severidad de Sequía de Palmer.....	28
1.6 Cambio climático.....	37
1.6.1 Escenarios de cambio climático	38
II. METODOLOGÍA	40
2.1 Definición de área y tiempo de estudio	40
2.2 Estaciones climatológicas.....	42
2.3 Materiales	42
2.4 Métodos	43

2.4.1	Extracción de información climática y preparación de la base de datos	45
2.4.2	Datos de escenario de cambio climático	47
2.4.3	Configuración de parámetros en software SP 4.0	50
2.4.4	Aplicación del programa SP 4.0	52
2.4.5	Generación de cartografía mediante interpolación	56
III.	RESULTADOS	57
3.1	Selección de estaciones	57
3.2	Evaluación del modelo para estimación de datos faltantes	61
3.3	Base de datos con escenario de cambio climático	63
3.4	Resultados del cálculo de Índice de Severidad de Sequía de Palmer	63
3.5	Discusión general	66
	CONCLUSIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA	78

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

La sequía es un proceso meteorológico que ocurre cuando la precipitación es menor que el promedio en un periodo de tiempo dado y que además, este déficit de agua afecta al ecosistema y con ello daña las actividades humanas (CENAPRED, 2015). Este tema ha sido preocupación de numerosas investigaciones por el impacto que tiene en cuanto a disponibilidad de agua consumible y con esto muchas otras consecuencias como pérdida de cosechas, conflictos sociales y desertificación.

En los últimos años, se ha observado mayor variabilidad en las mediciones de algunas variables climáticas, lo cual se conoce como cambio climático, con lo que muchos fenómenos meteorológicos podrían verse modificados, tal es el caso del fenómeno que nos compete en el presente estudio, la sequía. El cambio climático se define como "...todo cambio que ocurre en el clima a través del tiempo resultado de la variabilidad natural o de las actividades humanas." Para efectos de la presente investigación se aplicaran los escenarios de cambio climático ya construidos por los expertos en el tema.

La sequía se ha observado con gran intensidad en el Estado de Guanajuato en años anteriores, por la ubicación geográfica del mismo, el 43% de la superficie está representado por clima seco y semiseco, en la parte norte del Estado. Debido a estas condiciones naturales hay escasez de agua en varias partes de este, además de que algunas actividades como la agricultura se ven influenciadas de manera negativa. Aunado a esto, cuando se presenta la sequía las afectaciones son todavía mayores, de aquí la importancia de evaluar el comportamiento futuro de la sequía en Guanajuato.

Los índices más utilizados a nivel mundial para la evaluación y cuantificación de la sequía son: el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI, por las siglas en inglés) desarrollado por Mckee y colaboradores en 1993; y el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (ISSP) desarrollado en Estados Unidos por Palmer en 1965. En el presente estudio se ha optado por trabajar con el ISSP dado que considera más variables climáticas además de los valores históricos para el cálculo de la sequía a diferencia del SPI que únicamente considera la

precipitación estadísticamente sin incluir parámetros del suelo ni valores de humedad de meses anteriores.

En la actualidad existen herramientas innovadoras para facilitar las tareas que hacemos comúnmente y sobre todo las tareas de los investigadores. Los sistemas de información geográfica representan un gran avance tecnológico para ésta última; en el presente estudio son una fuerte herramienta para la realización del mismo ya que a través de estos se puede simular y representar procesos naturales de gran escala, lo que ayuda a una mejor comprensión de estos.

Antecedentes

Existen organismos tanto nacionales como internacionales encargados del estudio de la sequía; en los primeros se puede mencionar al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) con el programa Monitor de Sequía en México (MSM) que a su vez forma parte del Monitor de Sequía de América del Norte (NADM, por las siglas en inglés); y en los segundos se puede mencionar este último, además del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), y *el National Drought Mitigation Center (NDMC)*.

El monitor de sequía en México inició en 2002 dentro del NADM y adquirió su carácter de nacional en 2014 y desde entonces emite mapas de sequía quincenalmente.

El NADM es el resultado de la cooperación técnica entre expertos de sequía de México, Estados Unidos y Canadá, con el objetivo de describir las condiciones de sequía en América del norte y está basado en el éxito del Monitor de sequía de los Estados Unidos.

También existen investigaciones realizadas en cuanto a sequía y cambio climático, por mencionar algunos tenemos que Rivera, 2005 presentó “Comportamiento espacio temporal de la sequía en el Estado de Durango, México” y Álvarez, 2002 desarrolló “Evaluación de tres métodos para caracterizar la sequía en cuatro localidades del estado de Jalisco”.

En el cuadro 1 se muestran algunos antecedentes más de publicaciones con respecto al tema de cuantificación de la sequía:

Cuadro 1. Comparativo de publicaciones relacionadas con evaluaciones de evapotranspiración, sequía y aridez.
ANTECEDENTES DE PUBLICACIONES DE SEQUÍA

Concepto	Autor	Metodología
Evaluación de propensión climática hacia la aridez	Tumerteking and Conturk (1956)	Aplicación del índice de aridez de De Martonne $P/(T+10)$
	Fitzpatrick (1965)	Humedad disponible en el suelo de 0-10 cm y pérdidas por evapotranspiración
Métodos por evapotranspiración potencial	Palmer (1965)	Coeficiente de evapotranspiración, escorrentía y el agua disponible en el suelo
	Baier and Robertson (1966)	Estimación actual de la evapotranspiración
	Mack and Ferguson (1968)	Déficit acumulado de evapotranspiración actual

Fuente: elaboración propia a partir de Hounam, 1975

Planteamiento del problema

La sequía se ha observado y estudiado desde hace algunos años, cabe mencionar que esto no sucede directamente sino a través de las consecuencias, así como el impacto que tiene en los ecosistemas y en la agricultura.

Ante la problemática intrínseca por la sequía, en el presente estudio se suma la preocupación de su comportamiento ante un posible cambio climático. Por lo que, se plantea la hipótesis, de que el fenómeno de sequía se intensificará en los próximos años.

Por lo tanto, en la presente investigación se calculará el Índice de Severidad de Sequía de Palmer, para dos escenarios, el histórico (1980-2010) y el creado a partir del escenario de cambio climático RCP 4.5 (2015-1039) propuesto para las condiciones de México; y

posteriormente reconocer si existen cambios significativos en el fenómeno “sequía” y con esto apoyar al proceso de toma de decisiones futuras.

Justificación

La disponibilidad de agua consumible en México y en el resto del mundo es limitada, ya sea para la agricultura como para el consumo humano. Aunado a esto tenemos diferentes problemáticas como la sequía, la disminución de los mantos freáticos y la irregularidad en el balance hídrico que denota una fuerte tendencia hacia la desertificación, la cual se refiere a una degradación persistente de los ecosistemas. Debido a esto es necesario estudiar dichos fenómenos y su comportamiento en el espacio-tiempo, para tener elementos que apoyen a la adaptación frente a la sequía y la mitigación de efectos.

Por otro lado el Índice de sequía nos permite monitorear las condiciones climáticas que identifican una sequía y tomar las decisiones necesarias para el manejo de los recursos naturales, así como planear estrategias que nos ayuden a disminuir los efectos de este fenómeno.

El objeto final de la presente investigación es que sirva de apoyo en la toma de decisiones para mitigar los efectos de la sequía en el Estado de Guanajuato, ya que si se conocen las posibles condiciones futuras de algún fenómeno será más fácil planear las medidas de adaptación para reducir los efectos negativos que éste pueda generar.

Objetivos

General

- ❖ Evaluar el comportamiento espacio-temporal de la sequía en el Estado de Guanajuato en un periodo de tiempo de 1980-2045, mediante la cuantificación del índice de Severidad de Sequía de Palmer a fin de crear los escenarios futuros y otorgar los elementos necesarios a los actores correspondientes para la toma de decisiones

Particulares

- ❖ Determinar el comportamiento espacial del Índice de sequía en el Estado de Guanajuato para el periodo 1980-2010, por medio de la evaluación del ISSP con base en datos climáticos históricos, con el propósito de determinar el comportamiento histórico del fenómeno.
- ❖ Determinar el comportamiento espacial del Índice de sequía en el Estado de Guanajuato bajo el escenario de cambio climático RCP 4.5 (2015-1039), con el propósito de determinar las tendencias futuras del comportamiento de la sequía
- ❖ Contrastar el índice de sequía histórico contra el proyectado ante un escenario de cambio climático para determinar si existen cambios significativos en dicho fenómeno

I. MARCO TEÓRICO

1.1 Entorno geográfico de investigación

Con el propósito de comprender la sequía en Guanajuato, así como su distribución geográfica y las condiciones climáticas que aquí prevalecen se describe a continuación el medio físico de la entidad.

1.1.1 Fisiografía

Guanajuato se encuentra dentro de tres grandes provincias fisiográficas. En la parte norte, la Mesa del Centro; en el noreste, la Sierra Madre Oriental y en el centro sur, el Eje Neovolcánico. La Mesa del Centro tiene amplias llanuras interrumpidas por serranías volcánicas aisladas. Destacan los Llanos de Ojuelos con sus respectivos lomeríos y pequeñas sierras. Está constituida por terrenos planos rellenos de aluvión, donde la agricultura es próspera. En la porción noreste destaca la Sierra Gorda, con una abruptada topografía de origen volcánico.

La provincia de la Sierra Madre Oriental, localizada en el noroeste del estado, ocupa el 5% de la superficie de la entidad con elevados cerros, montañas, valles y barrancas profundos. La Sierra Madre Oriental es de origen sedimentario del tipo calizo, pero con una cobertura volcánica.

La provincia del Eje Volcánico ocupa el 45% de la superficie del estado; está constituida por extensas sierras volcánicas en forma de conos, escudos y calderas además de extensas llanuras formadas por depósitos. Es notable el Bajío guanajuatense conformado por llanuras de aluviones profundos, también resaltan altas sierras escarpadas, llanos y lomeríos, escudos volcánicos y lagos. En esta provincia hay principalmente minerales no metálicos, tales como caolín, arena sílica, pumicita, perlita y diatomita, entre otros.

Está formado por cinco sierras: sierra gorda llanos altos sierra central la región del bajío y los valles bajos.

1.1.2 Hidrología

En referencia a las aguas superficiales existen dos cuencas hidrológicas que irrigan el Estado, la región hidrológica que predomina en el Estado de Guanajuato, es la del Río “Lerma-Chapala-Santiago” que fluye de oriente a poniente, hacia la vertiente del océano Pacífico y se extiende en un 83% de su área, contribuyendo con más de 90% del volumen total sumado del escurrimiento superficial y la recarga de acuíferos subterráneos. También se encuentra la cuenca Pánuco-Tamesí, con menor influencia en el Estado. Dentro de estas dos cuencas existen varias presas para uso de riego, agua potable y control de avenidas entre las que sobresalen las presas de Solís, Allende, Purísima, Yuriria y La Gavia.

1.1.3 Tipo de suelo

En el Estado de Guanajuato existen 13 unidades de suelo principales, algunos con variaciones dentro de estas. Para su descripción se tomaran en cuenta únicamente las unidades principales (cuadro 1.1) y se representan en la figura 1.1.

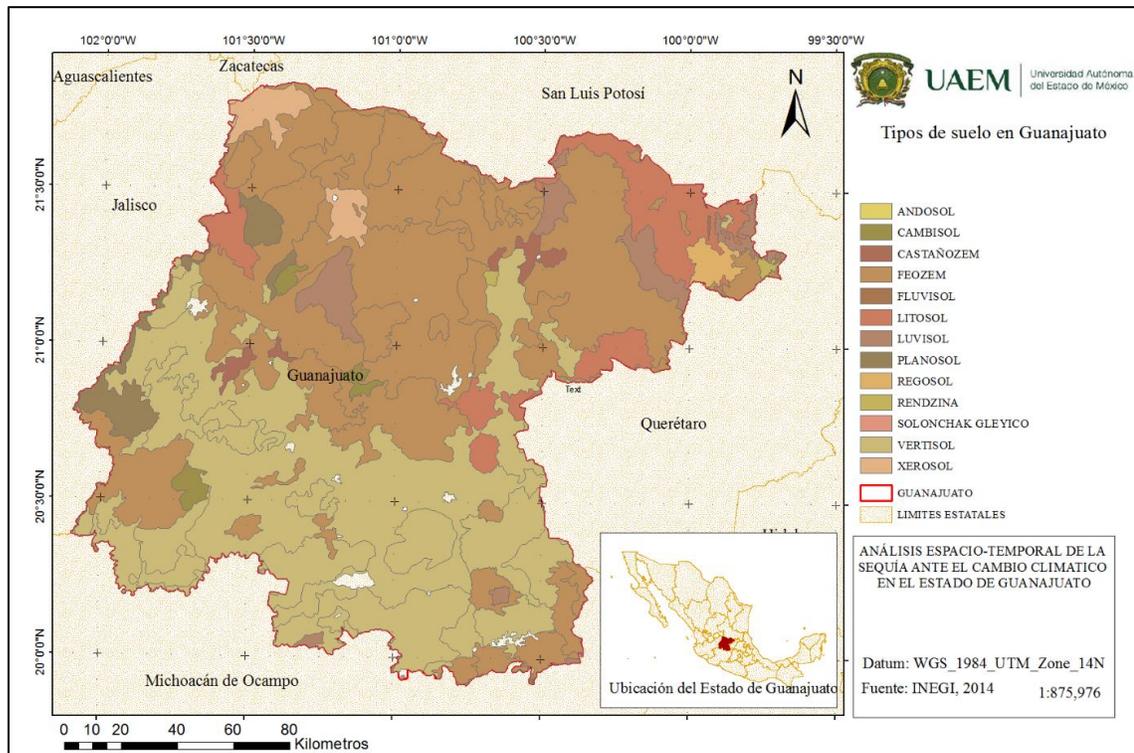


Figura 1.1. Suelos del Estado de Guanajuato. Fuente: Elaboración propia a partir del Conjunto de datos edafológicos, INEGI

Cuadro 1.1. Descripción de los tipos de suelo

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN
Andosol	Típicamente, suelos negros de paisajes volcánicos. Su material parental son vidrios y eyecciones volcánicas principalmente ceniza. Se caracterizan por tener acumulación de arcilla en el subsuelo, por sus colores rojos, amarillos o amarillos claros con manchas rojas, muy ácidos y pobres en nutrientes
Cambisol	Suelos con por lo menos un principio de diferenciación de horizontes en el subsuelo evidentes por cambios en la estructura, color, contenido de arcilla o contenido de carbonato. Los Cambisoles generalmente constituyen buenas tierras agrícolas.
Castañozem	Suelos pardo oscuro ricos en materia orgánica
Feozem	Son suelos porosos, fértiles y son excelentes tierras agrícolas.
Fluvisol	Son suelos desarrollados en depósitos aluviales, son derivados predominantemente de depósitos recientes, fluviales, lacustres y marinos. Perfiles con evidencia de estratificación; débil diferenciación de horizontes pero puede haber presente un horizonte superficial diferente.
Litosol	Suelo no apto para la actividad agrícola, por ser prácticamente roca.
Luvisol	La mayoría de los Luvisoles son suelos fértiles y apropiados para un rango amplio de usos agrícolas. Son frecuentemente rojos o amarillentos, aunque también presentan tonos pardos
Planosol	Los Planosoles son suelos con un horizonte superficial de color claro que muestra signos de estancamiento de agua periódico. Soportan una vegetación de pastos escasos, generalmente con arbustos dispersos y árboles que tienen sistema de raíces somero y pueden soportar anegamiento temporario
Regosol	Suelos débilmente desarrollados en material no consolidado, en general son claros o pobres en materia orgánica Para uso forestal y pecuario tienen rendimientos variables.
Rendzina	Generalmente las rendzinas son suelos arcillosos y poco profundos, se presentan generalmente en climas semiáridos,

	tropicales o templados. Se caracterizan por tener una capa superficial abundante en materia orgánica y muy fértil.
Solonchak gleyico	Suelos salinos. Se presentan en zonas donde se acumula el salitre, tales como lagunas costeras y lechos de lagos, o en las partes más bajas de los valles y llanos de las regiones secas del país. La vegetación típica para este tipo de suelos es el pastizal u otras plantas que toleran el exceso de sal
Vertisol	Suelos pesados arcillosos, que se mezclan. Su color más común es el negro o gris oscuro en la zona centro a oriente de México y de color café rojizo hacia el norte del país. Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo
Xerosol	Son suelos secos. Se localizan en las zonas áridas y semiáridas del centro y norte de México. Su rendimiento agrícola está en función a la disponibilidad de agua para riego

Fuente: Elaboración propia a partir de Guía edafológica y FAO

1.1.4 Uso de suelo y vegetación

La cobertura de la tierra y su uso representan los elementos integrantes de los recursos básicos. Los cambios en la cobertura y uso del suelo afectan los sistemas globales (por ejemplo atmósfera, clima y nivel del mar), dichos cambios ocurren en un modo localizado que en su conjunto llegan a sumar un total significativo y se reflejan en buena medida en la cobertura vegetal.

En la figura 1.2 se muestra la distribución de la vegetación natural e inducida, la localización de las áreas dedicadas a la ganadería; se representan los diferentes tipos de vegetación y las áreas de uso agrícola, pecuario y forestal. La agricultura se desarrolla en 48% de la superficie estatal y constituye la región de El Bajío, de gran importancia económica para México por los niveles de producción que se alcanzan.

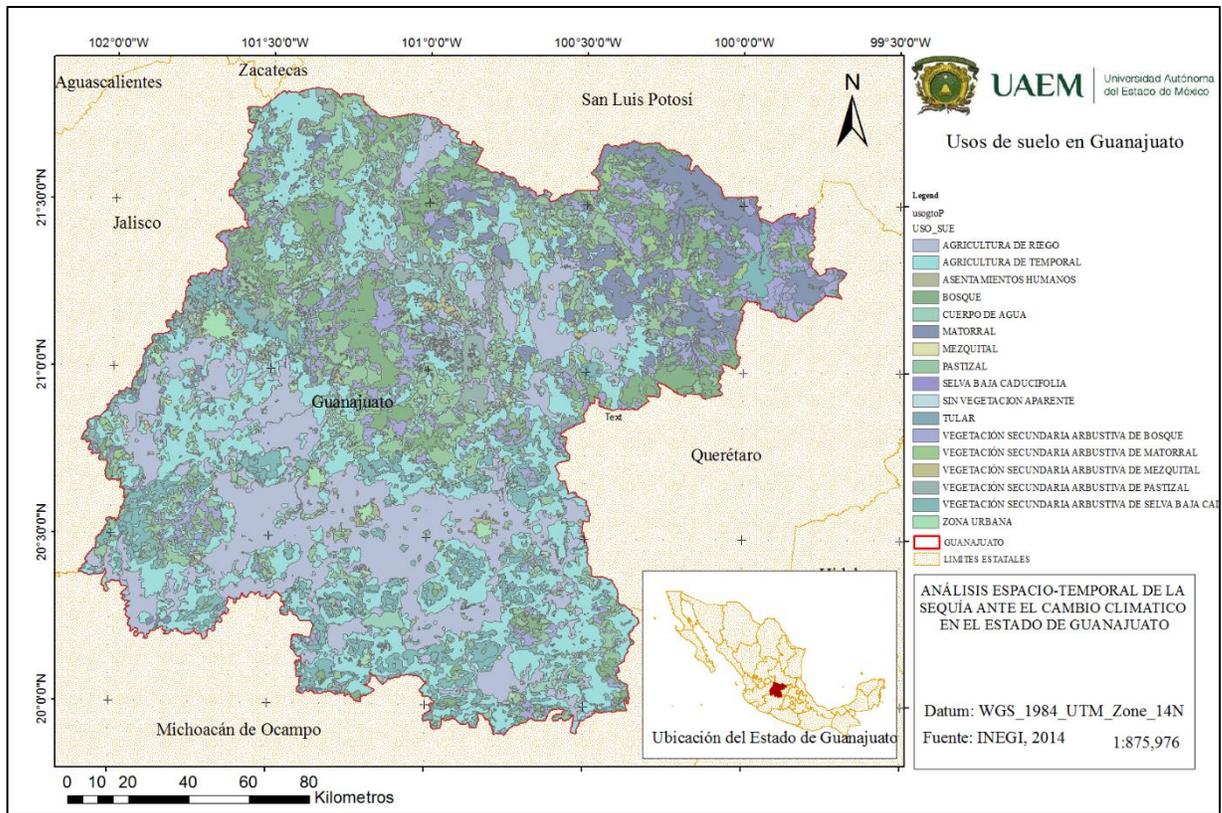


Figura 1.2. Usos de suelo del Estado de Guanajuato. Fuente: Elaboración propia a partir de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación, INEGI

1.1.5 Clima

Debido a su excelente posición geográfica, la entidad goza de una gran variedad de climas que se pueden clasificar en tres tipos: semiseco, templado y semicálido. Estos se encuentran representados en el Figura 1.3.

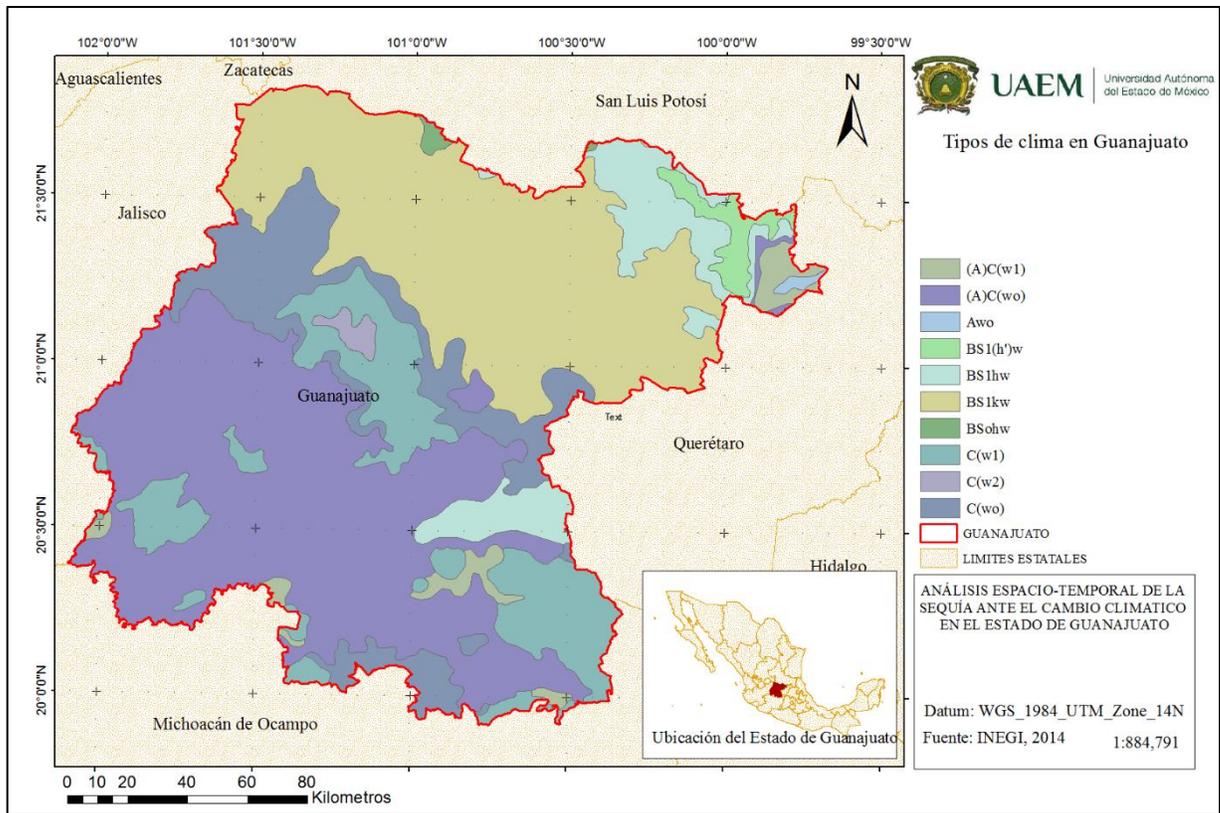


Figura 1.3. Climas del estado de Guanajuato. Fuente: Elaboración propia a partir de Conjunto de Datos Climáticos, INEGI

Atendiendo a las circunstancias meteorológicas y locales del estado, la zona cálida está marcada hasta los sitios que alcanzan una altura de 1500 msnm, desde los 800 que es la más baja que se encuentra; la templada hasta los 2200 metros; y la fría, en los puntos que rebasan esa altura.

Las condiciones climáticas del estado están determinadas por la latitud, lejanía del mar, los efectos de las masas de aires polares, así como de los fenómenos de condensación orográficas, que se desarrollan en las laderas de las montañas y de los contrastes de altitud entre valles, bajíos y serranías. Geográficamente se distinguen tres zonas climáticas bien definidas en el estado. El clima semiseco corresponde en general a la zona del altiplano; el templado, a las partes medias y altas de las serranías y el semicálido, predomina en toda la zona de El Bajío.

La temperatura varía de los 11 a los 24 grados centígrados, la altura sobre el nivel del mar es de dos mil metros y la precipitación media en los meses de junio a septiembre varía de los 600 a 700 milímetros.

1.1.6 Caracterización socioeconómica

En el estado destaca la aportación del sector manufacturero en el PIB (Producto Interno Bruto) estatal, con el 26%, conformado principalmente por la producción de productos metálicos, de maquinaria y equipo. Seguido con el 20% de la conformación del PIB estatal, por los servicios comunales, sociales y personales. En tercer lugar figuran comercios, restaurantes y hoteles con el 16.5% de la captación del PIB. Estos servicios turísticos atendieron a los 2 millones 380 mil turistas que visitaron el estado en 2006. En la cuadro 1.2 se puede observar el porcentaje que ocupan los principales sectores económicos en la entidad, siendo las actividades terciarias las más destacadas, en donde se encuentra el sector de manufactura.

Cuadro 1.2. Principales sectores económicos

Sector de actividad económica	Porcentaje de aportación al PIB estatal (año 2014)
Actividades primarias	3.47
Actividades secundarias	41.86
Actividades terciarias	54.67
Total	100

Fuente: INEGI 2015

A pesar de la pequeña participación de la actividad agrícola en la economía del estado, el campo guanajuatense produce la mayor cantidad de trigo, fresa, brócoli, cebolla y es el segundo gran productor de tomate del país.

Cuadro 1.3. Principales productos agrícolas en Guanajuato

Principales productos agrícolas, 2009	Producción (Toneladas)	% en el total nacional	Lugar nacional
Fresa	20 527	58.1	1° de 6
Cebada grano	217 726	42.0	1° de 15
Brócoli	200 487	60.2	1° de 17
Lechuga	73 349	23.1	1° de 23
Sorgo grano	1 198 238	19.6	2° de 29
Trigo grano	655 089	15.9	2° de 23
Rye grass en verde	26 598	12.7	2° de 8
Espárrago	12 687	19.8	2° de 5

Fuente: INEGI, 2015

Siguiendo la tendencia del resto del país, el 96% de las unidades económicas de negocios corresponden a la micro industria. Las Pymes (medianas y pequeñas empresas) conforman el 50% del PIB estatal y el 80% del empleo. En total, el 39% de la población guanajuatense es económicamente activa.

A pesar de que sólo el 47% de la población económicamente activa percibe hasta dos salarios mínimos, lo cual está por debajo de la media nacional del 51%, el estado de Guanajuato se coloca en la categoría de entidades con grado de marginación alto, lo que significa que indicadores como analfabetismo, condiciones de vivienda, servicios básicos, servicios médicos, y salario privan a la mayoría de la población de condiciones dignas de vida. En el Figura 1.4 se muestra la distribución de la población económica de la población.

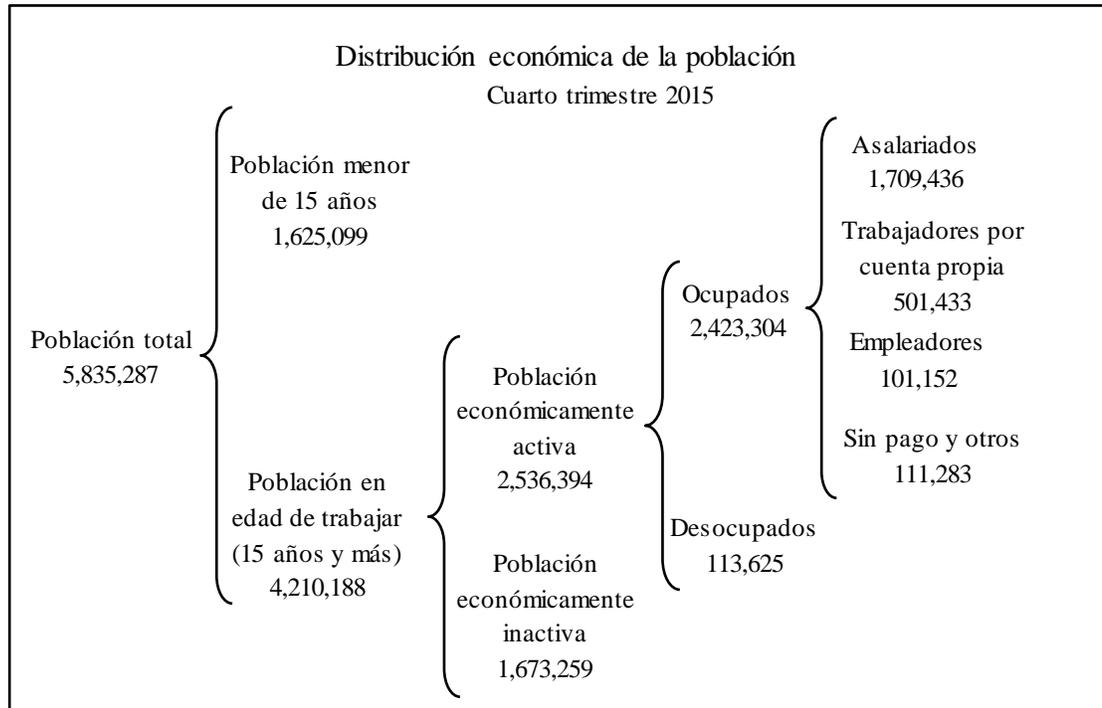


Figura 1.4. Distribución económica de la población en Guanajuato. Fuente: Secretaría de trabajo y previsión social, 2016

1.2 Espacialidad del clima de Guanajuato

De acuerdo con (García, 1986) el estado de la atmósfera se expresa por una combinación de sus propiedades físicas, las cuales son conocidas como los “elementos del tiempo y del clima” dependiendo si se habla del tiempo atmosférico o del clima de cierto lugar; y son la temperatura, la precipitación y humedad, la dirección y fuerza del viento, la presión atmosférica, la nubosidad y la radiación solar. Hablando de estos como “elementos del clima” existen factores que los hacen variar de un lugar a otro, conocidos como “factores climáticos” y son:

- a) Latitud (Distancia angular al ecuador)
- b) Altitud (Altura sobre el nivel del mar)
- c) Relieve (Configuración superficial de la tierra)
- d) Distribución de tierras y aguas
- e) Corrientes marinas

Estos factores actúan con diferente intensidad y en combinaciones distintas sobre los elementos y los hacen variar originando los distintos tipos de clima. Con estas bases es posible entender la

distribución espacial del clima para un lugar o para una región, en el caso de la presente investigación de Guanajuato.

Guanajuato se localiza entre las coordenadas geográficas al norte 21°52', al sur 19°55' de latitud norte; al este 99°41' oeste 102°09' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, por lo que, latitudinalmente, se considera dentro de la zona intertropical. Fisiográficamente, comparte superficie con tres grandes provincias; al norte con la Mesa del Centro; al noreste con la Sierra Madre Oriental y en la porción centro sur con el Eje Neovolcánico; Las formas de relieve identificables dividen al Estado en dos zonas: la porción centro-norte y nororiental con sierras en forma de meseta y sierras con altitud media de 2 140 metros sobre el nivel del mar (msnm) y la parte centro-sur, occidental y suroriental conformada por volcanes con altura media de 2510 msnm. En general Guanajuato cuenta con altitudes desde los 610 y hasta los 3319 msnm.

Según (Ayllon, 1996) de acuerdo a la latitud varían: la temperatura, ya que disminuye del ecuador a los polos debido a que la radiación solar recibida disminuye; la presión, los centros de baja presión se localizan en el ecuador y cerca de los polos (60°), las altas presiones dominan en latitudes medias; la nubosidad y precipitación, en bajas y altas latitudes existe mayor nubosidad y precipitación. De acuerdo con esto Guanajuato está situado en una latitud media por lo que recibe una radiación media, con valores de 4.7 a 5.8 kwh/m²/día, con lo que se favorece la formación de centros de alta presión que caracteriza la entidad con nubosidad y precipitación bajas, aunque de acuerdo con la interacción de otros factores climáticos como la ausencia de sistemas montañosos la parte sur del Estado es moderadamente húmedo.

“Los cambios esenciales de clima no son debidos solamente a la latitud sino también a las grandes variaciones en altitud que crean condiciones muy especiales en los cambios y distribución de los elementos climáticos,” (García, 1986) La altitud está directamente relacionada con el relieve; en Guanajuato la porción centro-sur corresponde a una zona de bajío, con algunas elevaciones volcánicas y la porción norte corresponde a una zona montañosa, lo cual resulta en climas templados en la región centro-sur y semisecos en la zona septentrional ya que el sistema montañoso actúa como barrera geográfica para la humedad proveniente del Golfo de México, además, (Ayllon, 1996) menciona que con la altitud disminuyen la temperatura y la presión atmosférica, así como la humedad y por tanto la nubosidad y las precipitaciones.

También, asociado a la altura existe el gradiente térmico vertical el cual se refiere a que a mayor altitud disminuye la temperatura, exactamente 0.6° por cada 100 metros de altitud.

La “distribución de tierras y aguas” o también llamado continentalidad según (Ayllon, 1996) influye en la temperatura y la hace variar debido a que el calor específico de continentes y océanos es diferente; en verano los continentes tienen mayor temperatura que los mares, y en invierno menor, lo cual influye en los sistemas de presión y dirección del viento. Esto obedece a principios físicos del agua, y se refiere a que se calienta o se enfría más lentamente que los continentes. Dado que Guanajuato se encuentra a una distancia media de 388 km. del Golfo de México y a 470 km. del Océano Pacífico, presenta características atmosféricas propias de climas continentales de acuerdo a la clasificación climática de Köppen y en consecuencia no se advierte influencia directa de corrientes marinas.

De acuerdo con (Miller, 1975) la presión puede ser considerado también como un factor climático ya que es el responsable de la intensidad y dirección de los vientos. El viento se debe a diferencias horizontales de presión atmosférica y representa el movimiento del aire como respuesta a las desigualdades de presión, estas masas de aire se mueven de mayor a menor presión; así se originan varios sistemas de vientos y corrientes de aire que constituyen lo que se llama circulación general de la atmósfera. Los hechos más destacados respecto a la circulación de la atmósfera en cada hemisferio son las tres zonas o fajas de vientos correspondientes a los alisios, los vientos del oeste y los vientos polares, estos vientos se presentan en la capa de aire más baja o que está en contacto con la tierra. Guanajuato se encuentra en una zona de influencia de los vientos alisios, que transporta humedad del Golfo de México al interior y origina el régimen pluviométrico presente en la entidad.

En la figura 1 se pueden apreciar los tipos de climas de Guanajuato, en el que de manera general se identifican los siguientes grupos:

- (A), clima semicálido del grupo de los cálidos
- BS1, clima semiárido
- C, Clima templado

Estas descripciones corresponden a la clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García. De acuerdo con esta metodología los factores determinantes de los climas son

la temperatura y la precipitación, a partir de estos dos y de su distribución a lo largo del año es como se hace la dicha clasificación climática.

1.3 Definición de sequías

“La definición de sequía ha sido un tema controversial ya que, debido a la desigualdad de criterios aplicados por los diferentes autores, no existe una definición única que sea aceptada universalmente. Debido a que se trata de un fenómeno natural cuyas características tienen una gran variación de un espacio geográfico a otro, las definiciones de sequía tienen un carácter local y regional, por lo que es utópico pensar que se puede llegar a un consenso generalizado sobre la definición del concepto (Wilhite, 2000)”

“En términos generales, la sequía es considerada como un fenómeno climático recurrente caracterizado por una reducción en la precipitación pluvial, que provoca que el agua disponible sea insuficiente para satisfacer las distintas necesidades humanas y de los ecosistemas, durante un tiempo y en una zona determinada.”

Para los propósitos del presente estudio se adopta el uso de la definición de sequía meteorológica en los términos expuestos por Wilhite y Glantz, (1985), la cual es:

“La sequía es un proceso natural errático, que se origina como resultado de una deficiencia de precipitación durante un período de tiempo extenso, generalmente de una estación o más, provocando en consecuencia un desbalance hídrico, afectando con ello las actividades humanas y ambientales; se trata de una situación deficiente de precipitación en relación a un comportamiento promedio considerado como normal”

1.3.1 Tipos de sequía

Wilhite y Glantz, (1985), en su trabajo *“Understanding and Defining Drought”* definen cuatro tipos de sequía, atendiendo a su origen y sus efectos, y son:

Meteorológica: está referida al grado de desviación de la precipitación en comparación a un comportamiento “normal”, de una serie de tiempo preestablecida. Sin embargo la magnitud de la desviación y del tiempo no son fijos, más bien dependen de la forma como regionalmente evalúan el fenómeno, por ejemplo: para los Estados Unidos en 1942 se consideró sequía si la precipitación es menor que 2.5 milímetros en 48 horas; para Gran Bretaña en 1936 se propuso el criterio de sequía 15 días consecutivos con una precipitación total acumulada menor que 0.25 mm.; Libia en 1964, cuando una precipitación anual sea menor que 180 mm.; y para la India cuando la precipitación estacional sea menor del doble de la desviación media.

Sin embargo, hay coincidencia al señalar a la sequía meteorológica como la primera indicadora del fenómeno de sequía.

Agrícola: está muy relacionada con la sequía meteorológica y su impacto en los cultivos, considera el proceso en términos de balance de humedad, es decir evalúa la evapotranspiración real, potencial, el déficit de agua en el suelo que a su vez depende de características físicas del mismo, los niveles de reserva de agua, y considera la especificidad del cultivo en cuanto a sus requerimientos de humedad, en función de la etapa de crecimiento y la biología de la planta, y plantea que este tipo de sequía puede presentarse posterior a la presencia de una sequía de tipo meteorológica.

Hidrológica: Está referida a los efectos de periodos de precipitación relativamente cortos, es decir a los escurrimientos a nivel de superficie y subsuelo, su impacto se ve reflejado en la recarga de acuíferos, lagos, presas y su impacto es de largo plazo, es decir, en tanto la sequía agrícola presenta un efecto inmediato en los cultivos, la sequía hidrológica puede afectar la producción agrícola de varios años, la producción hidroeléctrica o la extracción de agua del subsuelo.

Socioeconómica: Se plantea en términos de suministro de agua y demanda por grupos humanos, por lo tanto está muy relacionada con los efectos de corto y largo plazo de los otros tipos de sequía. La sequía ocurre cuando la demanda de agua de un grupo social, en un lugar

determinado excede el suministro, es decir: es una combinación entre disminución de la precipitación y el crecimiento de las necesidades de la población o de las actividades productivas, de la eficiencia en el uso del agua y de la tecnología disponible.

En la figura 1.5, se muestra la secuencia del impacto evolutivo de la sequía, destacando que es la agricultura la primera en resentir los efectos de esta.

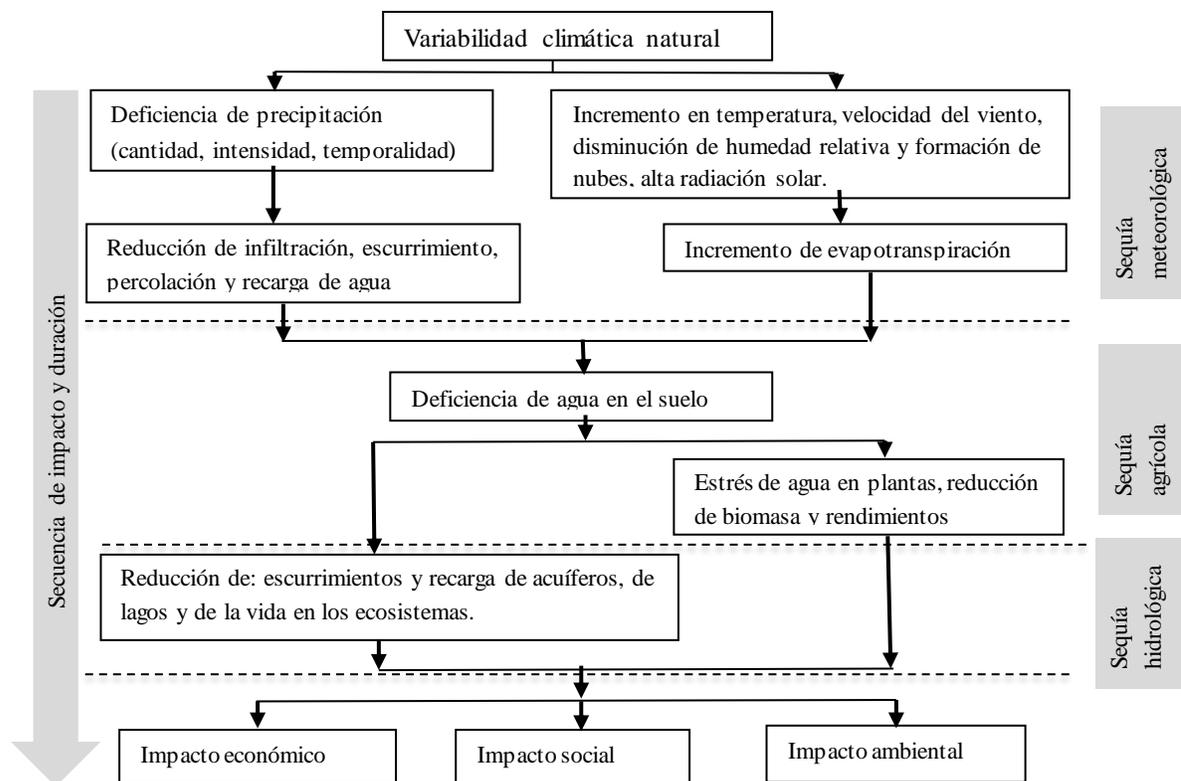


Figura 1.5. Marco conceptual, tipos de sequías

1.4 Características de la sequía

1.4.1 Causas

Entre las causas más relevantes, para que se produzca la sequía se mencionan las siguientes: Las manchas solares que alteran la cantidad de energía que llega a la superficie de la Tierra; las alteraciones en la circulación de los vientos generados por modificación en el albedo superficial o por cambios en la temperatura superficial de los océanos.

Se ha dado particular énfasis al denominado fenómeno de “El niño”, caracterizado por debilitamiento a gran escala de los vientos Alisios y por el calentamiento de las capas superficiales del Océano Pacífico Ecuatorial en sus porciones Este (frente a las costas de América) y central. Los eventos "El Niño" ocurren irregularmente a intervalos de 2 a 7 años, aunque en promedio puede presentarse uno cada 3 o 4 años. Duran entre 12 y 18 meses y son acompañados por cambios en el Índice de Oscilación del Sur (ENOS); este índice refleja una variación interanual de la presión atmosférica al nivel del mar en el Océano Pacífico entre su lado oriental y occidental (CICESE, 1999).

Durante el verano de “El Niño”, las lluvias en la mayor parte de México disminuyen, por lo que la sequía comienza a aparecer. En este periodo, la zona intertropical de convergencia, donde existe gran cantidad de nubes profundas y lluvia, tiende a permanecer más cercana del ecuador, por lo que la fuente de humedad para las lluvias en la costa oeste de México, durante los meses de junio, julio y agosto, permanece alejada y con ello las lluvias de verano son bajas. Por el contrario, en años con presencia de “La Niña”, las lluvias parecen estar por encima de lo normal en la mayor parte de México, pero especialmente en la costa del Pacífico

Jáuregui (1979), explica la presencia de sequías en el mundo y en México particularmente, a partir de la influencia del movimiento de los anticiclones tanto del pacífico como del atlántico. Se sabe ahora la correspondencia entre las lluvias deficitarias de finales del siglo XIX y principios del XX con posiciones australes extremas de los anticiclones; a medida que éstos se desplazan hacia el Norte, las precipitaciones tienden a aumentar y viceversa. El anticiclón de los Azores alcanzó su posición más al norte en los años 1935-45 y a partir de ahí inicio su movimiento hacia el sur-sureste, tal movimiento fue relacionado con la sequía al Sur del Sahara; para México los movimientos de los anticiclones Bermuda-Azores y Azores son determinantes para el comportamiento de la precipitación, ya que se ubica en medio de tales; el movimiento de las azores hacia el Sur ha significado menores posibilidades de tormentas, debido a la escasa formación de ciclones en el atlántico, en tanto que el movimiento hacia el Norte propicia el corrimiento de la Zona Intertropical de Convergencia, dando como resultado mayor actividad ciclónica en Centroamérica y las costas del Pacífico.

Contreras (2003), menciona que otra causa posible de sequía en México es la penetración de vientos templados del oeste, pues dicha circulación ayuda a inhibir el desarrollo de tormentas tropicales.

1.4.2 Efectos

Si bien la sequía tiene un desarrollo no tan rápido y dramático que otros desastres naturales como los huracanes, sus efectos suelen ser de mayor amplitud y más devastadores. Sus efectos directos e indirectos están fuertemente relacionados con la producción de alimentos, la reserva de agua en el suelo, la manutención de ganado, la vida silvestre y en general con la posibilidad de cualquier forma de vida en un lugar determinado.

El *National Drought Mitigation Center*, de los Estados Unidos (1996), considera que los efectos de la sequía pueden ser analizados desde diferentes perspectivas, a saber:

- En lo económico, la sequía se relaciona con pérdidas en la producción de alimentos, pérdidas en la producción ganadera, en la producción de maderables y no maderables, repercute en el incremento de costos de energía, pérdidas en actividades industriales y la consecuente alza de precios en el mercado, incremento de los costos de suministro de agua, entre otros.
- En lo ambiental, se presentan daños, frecuentemente irreversible en la flora y fauna silvestre, se incrementa la vulnerabilidad de los ecosistemas, se intensifican los procesos de erosión hídrica y eólica, se reduce la calidad del agua, se promueve la contaminación del aire, se afecta el ciclo hidrológico en general, entre otros.
- En lo social, hay escasez de alimentos, malnutrición, disminución del nivel de vida, conflictos sociales por el uso del agua o de mejores tierras, incremento de la pobreza, migración, hacinamiento en las ciudades, abandono de tierras agrícolas.

1.5 Métodos de análisis de la sequía

Las diversas concepciones acerca de la sequía, sus causas y efectos y los diferentes niveles de disponibilidad de información para cada región o país ha dado en resultado, diversas herramientas para evaluar el citado fenómeno natural. Las variables que comúnmente están involucradas en los métodos de estimación van desde precipitación, considerando diferentes períodos de tiempo, temperatura, evaporación, evapotranspiración, humedad del suelo, capacidad de almacenamiento del suelo, corrientes superficiales, niveles de agua almacenada, entre otros.

Se han desarrollado métodos simplificados que emplean una sola variable hasta aquellos que emplean diversos parámetros, dando una mayor confiabilidad en los resultados pero requieren de complicados cálculos y con frecuencia no se dispone de datos suficientes para tal fin.

Castillo (1988), presenta una detallada descripción de los diversos índices y criterios que se han empleado para evaluar la sequía, en diferentes lugares y tiempos: coeficiente pluviométrico, índice de Visotskii, índice de Martone, índice de Salianinov, relaciones de Thornthwaite, índice de aridez de Koopen, índice de Emberger, índice de Ivanov, índice de Popov, índice de rendimiento de maíz, índice de Lang, índice de Budyko, índice de Foley, índice de esfuerzo de humedad diaria, índice de Sly, índice de Subrahmanyam, índice de HIMAT, índice de severidad, índice de control de incendios, índice de los deciles de precipitación, porcentaje de precipitación normal, índice de suministro de agua superficial, índice estandarizado de precipitación e Índice de Severidad de Sequía de Palmer.

En el Fondo Nacional de Desastres Naturales (FONDEN), en México, los criterios para definir la presencia de una sequía son: en la actividad pecuaria, cuando la precipitación media mensual de mayo a noviembre en una cuenca hidrológica durante dos meses consecutivos, es menor en un 50% a su media mensual; en la agricultura, cuando los efectos de las bajas precipitaciones afectan a cultivos de ciclo corto, dependiendo de la etapa fenológica en que se encuentren los

cultivos, por lo que la disminución en la cantidad de lluvia, con respecto a su media histórica, puede ocurrir en un mes o menos.

A continuación se hará una descripción ampliada de los métodos: Índice de Severidad de Sequía de Palmer (ISSP), motivo de la presente investigación.

1.5.1 Método del Índice de Severidad de Sequía de Palmer

El ISSP, propuesto por Palmer (1965), ha sido utilizado en diferentes partes del mundo, sin embargo la investigación de sus cualidades, para evaluar la presencia e intensidad de sequías, se sigue haciendo.

El ISSP parte de un balance de humedad mensual, emplea para ello los registros de precipitación y temperatura además considera la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo de la siguiente manera:

- a) Establece dos capas de suelo sin definir su profundidad y sólo las propiedades hídricas; es decir, Palmer asume que la capa superficial del suelo es capaz de almacenar hasta una pulgada de agua (25 mm) y lo considera como valor constante para todos los casos, en tanto que la segunda capa sub-superficial puede almacenar toda la capacidad potencial del suelo, menos 25 mm.
- b) La humedad no puede ser removida de la capa sub-superficial, hasta que la humedad de la capa superficial haya sido removida (o recargada) por completo; es decir no hay remoción de humedad de la segunda capa si no se ha agotado la humedad en la primera y no hay recarga de humedad en la capa dos si no se ha recargado completamente la capa uno.

El proceso de obtención del índice inicia con la estimación de la evapotranspiración potencial (ETP), para ello se emplea el método de Thornthwaite, La fórmula es:

$$ETP = Fc * 1.6 (10 * T/I)^a \dots \dots \dots ec. (1)$$

Dónde: ETP es la evapotranspiración potencial en un mes de 30 días en cm.

T es la temperatura media del aire, en °C

I es un índice de calor = suma de los valores de *i* de los 12 meses del año

$$I = \sum_{mes=1}^{12} i_{mes} ; i = (T/5)^{1.514} ;$$

a es una constante del lugar = $0.000000675 I^3 - 0.0000771 I^2 + 0.01792 I + 0.49239$

Fc es un factor de corrección por latitud y se obtiene: $Fc = N * (dmes)/357$; donde: dmes = número de días del mes; N el fotoperiodo promedio del mes.

A partir de los valores de ETP, el ISSP establece dos condiciones iniciales del balance de humedad:

- cuando la precipitación (p) es menor que la ETP
- cuando la precipitación (p) es mayor que la ETP

Para la primera situación, se considera que la humedad existente no es suficiente para satisfacer la demanda de la ETP, generando un déficit de humedad, por tanto no hay posibilidades de escurrimiento ni de recarga de humedad. Para la segunda situación se pueden generar a su vez dos condiciones: que el superávit de humedad solo cubra las necesidades de ETP y recarga de humedad de una o dos capas del suelo por lo que no habría escurrimiento o que el superávit de humedad sea suficiente para cubrir las necesidades de ETP, de recarga de humedad hasta llevar a capacidad de campo a todo el suelo y exista un remanente para escurrimiento.

El algoritmo de cálculo del ISSP se muestra en el cuadro 5.1., y las variables involucradas en la obtención de los índices son:

AWC: Capacidad total de almacenamiento de agua en el suelo

AWCs: Capacidad máxima de almacenamiento de humedad en la capa superficial, se asume que es igual a 25 mm.

AWCu: Capacidad máxima de almacenamiento de humedad en la capa sub-superficial, se asume que es AWC-25

P: Precipitación total mensual

ETP: Evapotranspiración potencial, estimada por el método Thornthwaite

ET: Evapotranspiración real o efectiva

Ss: Humedad contenida en la capa superficial (capa uno), al final del mes

DSs: Cambio de humedad registrado al final del mes, en la capa uno

Su: Humedad contenida en la capa sub-superficial (capa dos), al final del mes

DSu: Cambio de humedad registrada al final del mes en la capa dos

S: Contenido total de humedad en el suelo, para un mes dado.

Ls: Cantidad de humedad perdida por la capa uno, para un mes

Lu: Cantidad de humedad perdida por la capa dos, para un mes

L: Cantidad total de humedad perdida por el suelo, para un mes dado.

Ru: Cantidad de humedad recargada en la capa uno, para un mes

Rs: Cantidad de humedad recargada en la capa dos, para un mes

R: Cantidad total de humedad recargada en el suelo, para un mes dado

RO: Cantidad de agua escurrida superficialmente, para un mes dado

ETP Evapotranspiración potencial

PR Recarga potencial

PL Pérdida potencial

PRO Escurrimiento potencial

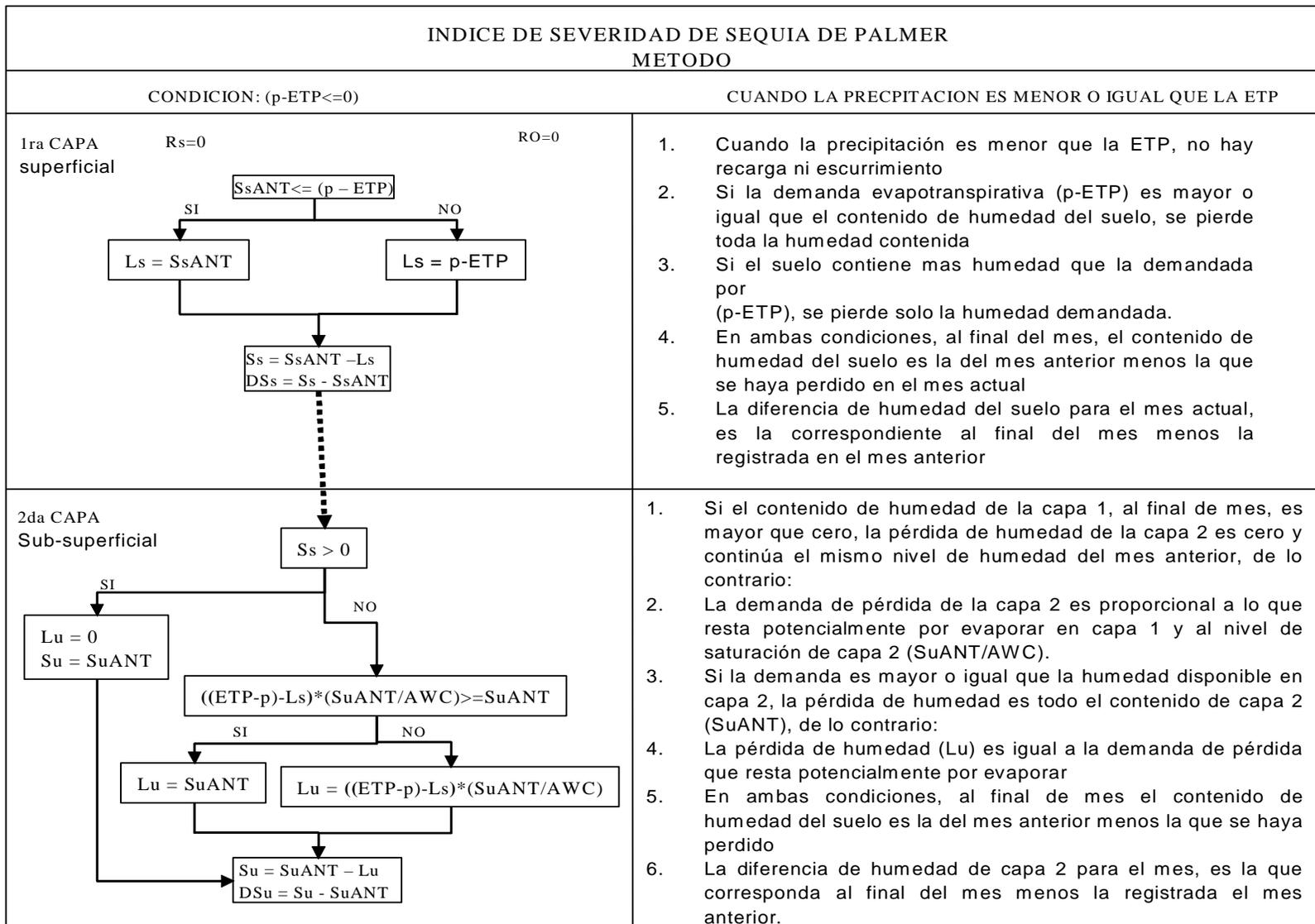


Figura 1.6. Índice de Severidad de Sequía de Palmer (ISSP, 1965)

Figura 1.6. Continuación

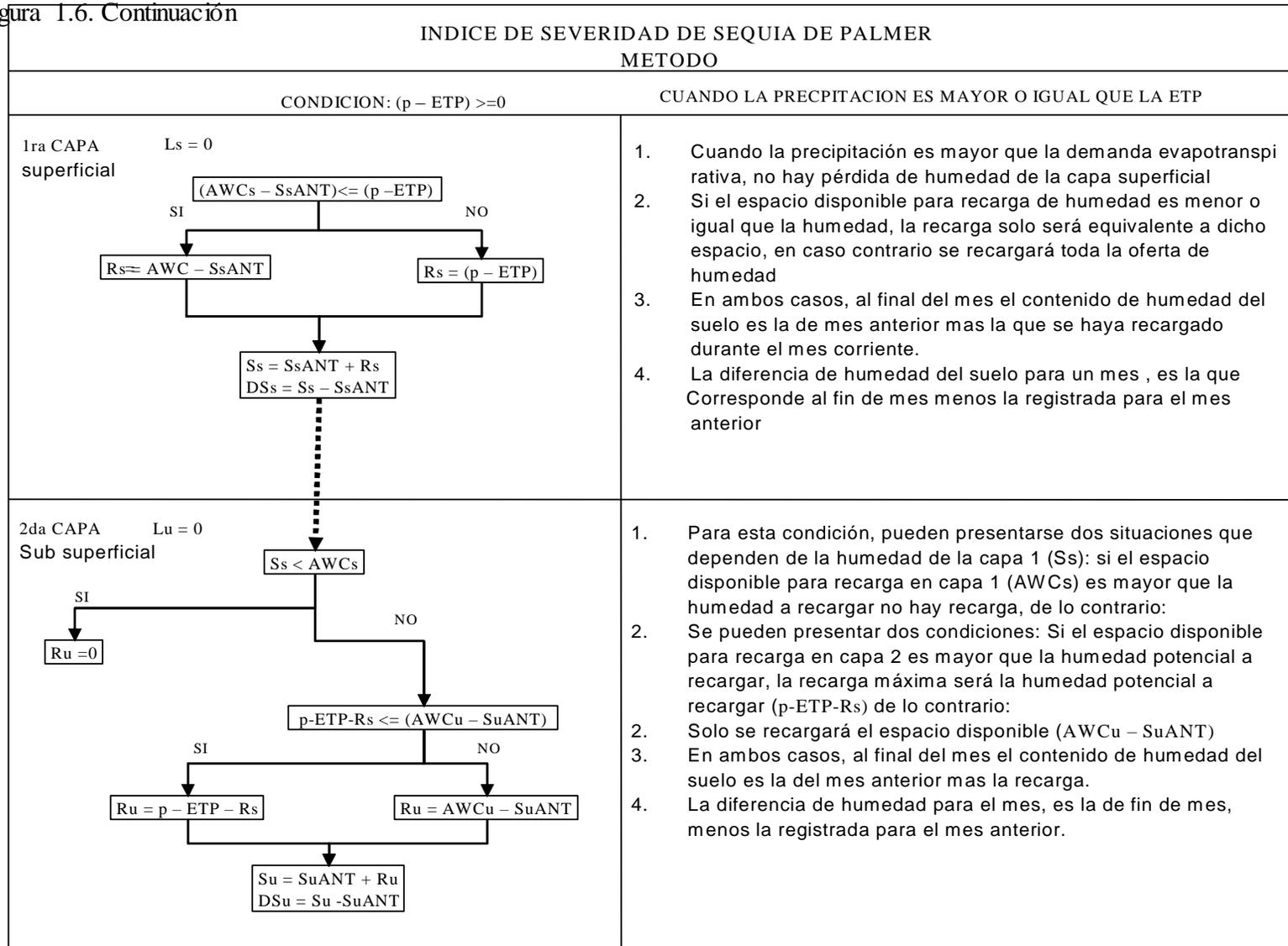


Figura 1.6. Continuación

Figura 1.6. Continuación

INDICE DE SEVERIDAD DE SEQUIA DE PALMER METODO	
ESTIMACION DE PERDIDAS, RECARGAS Y CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EN EL SUELO AL FIN DE MES	
$L = L_s + L_u;$ $R = R_s + R_u;$ $S = S_s + S_u;$	<p>la cantidad de agua total perdida del suelo en el mes</p> <p>La recarga total de humedad del suelo en el mes</p> <p>el contenido total de humedad en el suelo para el mes</p>
<p>CASO 1: $RO = 0$</p> <p>CASO 2: $RO = 0$</p> <p>CASO 3: $RO = p - ETP + R$</p>	<p>Cuando el contenido de humedad del suelo (S) es inferior a la capacidad de almacenamiento Del suelo (AWC), a capacidad de campo $S < AWC$.</p> <p>Si el suelo se lleva a capacidad de campo y se mantiene en ése nivel (AWC), por pérdida de humedad $S = AWC$ y $L > 0$</p> <p>Si el suelo se lleva a CC o se mantiene en tal nivel (WAC), por recarga de humedad $S = AWC$ Y $R > 0$</p>
$ET = p - R - RO + L$	<p>La ET para cualquier situación que haya permitido llevar o mantener el suelo a CC $S = AWC$</p>

Para climas secos es normal que el valor de la evapotranspiración potencial exceda al valor de la evapotranspiración efectiva o actual y por lo que a partir de los cuatro valores potenciales (ETP, PR, PL y PRO) antes definidos, se obtienen los coeficientes alfa, beta, gama, delta, dependientes del clima del área en cuestión, cada coeficiente representa una razón de proporción entre valores actuales respecto a valores potenciales:

a) Coeficiente de evapotranspiración, alfa; $\alpha_i = ET_i / ETP_i \dots\dots\dots$ Ec. (2)

Dónde:

ET_i = Evapotranspiración media mensual actual, del mes i

ETP_i = Evapotranspiración media mensual potencial, de mes i

b) Coeficiente de recarga, beta; $\beta_i = R_i / PR_i \dots\dots\dots$ Ec. (3)

(3)

Dónde:

R_i = Promedio de recarga actual, del mes i

PR_i = Promedio de recarga potencial, del mes i

Este último valor se define como la cantidad de humedad para llevar al suelo a la capacidad de campo.

c) Coeficiente de escurrimiento, gama; $\gamma_i = RO_i / PRO_i \dots\dots\dots$ Ec.(4)

Dónde:

RO_i = Promedio de escurrimiento actual, del mes i

PRO_i = Promedio de escurrimiento potencial, del mes i

Para este caso ISSP define a PRO como la capacidad de agua aprovechable (AWC), menos la recarga potencial media del mes i

d) Coeficiente de pérdidas, delta; $\delta_i = L_i / PL_i \dots\dots\dots$ Ec.(5)

Dónde:

L_i = Promedio de pérdida de humedad actual, del mes i

PL_i = Promedio de pérdida de humedad potencial, del mes i

PL se define como la cantidad de evapotranspiración que puede ocurrir considerando que la precipitación no escasea durante el mes.

Para todos los casos: $i = 1$ (enero), 2 (febrero),... 12 (diciembre).

Con los valores alfa, beta, gama y delta se calcula la precipitación ajustada (p^{\wedge}):

$$p^{\wedge} = \alpha ETP + \beta PR + \gamma PRO + \delta PL \quad \text{Ec. (6)}$$

p^{\wedge} se entiende como una aproximación climática de las condiciones existentes, surge de la consideración de que p^{\wedge} ocurre durante un mes en el cual no hay variaciones “anormales” de evapotranspiración, escurrimiento y humedad almacenada en el suelo, acorde a las condiciones climáticas del área en cuestión.

Con los valores de precipitación ajustada (p^{\wedge}) y precipitación observada (p) se calcula el parámetro d :

$$d = p - p^{\wedge} \quad \text{Ec. (7)}$$

Esta diferencia de precipitación es la que tendría que ocurrir en un mes en particular para satisfacer la ETP, escurrimiento y humedad almacenada consideradas como “normales” para el área en cuestión. Si se consideran las condiciones de humedad específicas del lugar; el valor de d proporciona una medida del grado al cual el mes fue anormalmente seco o anormalmente húmedo

Con el valor de d , se obtuvo el promedio de los valores absolutos de tal valor, para el mes i de todos los años n de registro:

$$D_{ij} = \left(\frac{1}{n}\right) * \sum_{i=1}^n |\overline{p - \hat{p} l}| \dots \dots \dots \text{Ec. (8)}$$

Una vez que obtenido el valor de D_{ij} se realizaron los cálculos siguientes para obtener el parámetro k' :

$$k' = 1.5 \log_{10} [(((ETP + R + RO) / P + L) + 2.8) * 25.4 / D_{ij}] + 0.50 \dots \dots \text{Ec. (9)}$$

Con los resultados de k' y D_{ij} se calcula el factor K :

$$K = [(448.8 / D_{ij} * k') / k'] \dots \dots \dots \text{Ec. (10)}$$

El factor K es una expresión empírica deducida a partir del valor ponderado que se da a las medidas de las fuentes de humedad y a las características del clima en cuestión.

Obtenido el valor de K, se calculó el índice de humedad anormal “Z”

$$Z = K * d.....Ec.(11)$$

Este índice de anomalía de humedad expresa una desviación relativa del tiempo, de un mes en particular y localidad, respecto a las condiciones de humedad promedio para dicho mes, con este índice es posible hacer comparaciones de espacio y tiempo, entre localidades y entre meses.

El siguiente paso consistió en calcular los valores del índice final de sequía (Xi), para tal caso se consideró que para un período de meses consecutivamente secos, el grado de severidad de la sequía va en aumento de manera gradual, y en función del valor de la “anomalía de humedad” (Z).

Es muy importante reconocer si la secuencia de los valores de Z, para una serie de meses, hasta llegar a un valor dado, fue de manera ascendente o descendente, pues de ello dependerá el valor final de Xi. Los valores de Z se integran a partir de la ecuación empírica:

$$Xi = Xi-1 + (1/3) (Zi) - 0.103 (Xi-1).....Ec.(12)$$

Evidentemente para un mes inicial, en un período seco o húmedo no hay mes anterior es decir: $Xi = (1/3)(Zi)$

Xi es el valor del Índice de Severidad de Sequía de Palmer, los valores se distribuyen dentro de la escala de valores expuesta en el cuadro siguiente

Cuadro 1.4. Índice de Severidad de Sequía de Palmer

Valor del Índice	Clasificación
4.0 o mayor	Extremadamente húmedo
3.00 a 3.99	Muy húmedo
2.00 a 2.99	Moderadamente húmedo
1.00 a 1.99	Ligeramente húmedo
0.5 a 0.99	Humedad incipiente
0.49 a -0.49	Normal o cercano a lo normal
-0.5 a -0.99	Sequía incipiente
-1.00 a 1.99	Sequía ligera
-2.00 a 2.99	Sequía moderada
-3.00 a 3.99	Sequía severa
-4.00 o menor	Sequía extrema

1.6 Cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMCC), en su Artículo 1, define “cambio climático” como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, pos las siglas en inglés) define al cambio climático como una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste por un periodo prolongado.

Según Saura 2003 “la lucha contra el cambio climático se ha materializado, desde la perspectiva jurídica, en dos tratados internacionales: la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, de 1992 y el protocolo de Kioto, de 1997”. En el primero, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Pnuma) en colaboración con la Organización Meteorológica Mundial (OMM) crean en 1988 el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático y en el segundo se establecen los compromisos para ciertos países relativos a la limitación de emisiones de gases que provocan el efecto invernadero

Duarte (2009) menciona que “la tendencia climática actual es el resultado de una variabilidad climática natural alterada por la emisión de gases de efecto invernadero, cuyo resultado evidente es el aumento de la temperatura del aire y de los océanos”.

“Atendiendo a la concepción estadística del clima, el problema de la identificación de los cambios climáticos se traduce en la identificación de rupturas, discontinuidades e inconsistencias en las series expresivas de las magnitudes atmosféricas. Se trataría pues, de desentrañar el comportamiento habitual de cada serie y de identificar los momentos en los que se altera el comportamiento habitual.” (Cuadrat y Pita, 2011)

1.6.1 Escenarios de cambio climático

Un escenario climático es una representación pausable y a menudo simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de 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. Glosario IPCC

Los escenarios climáticos según Duarte (2009) son simulaciones del clima presente, en contraste con los escenarios de emisiones que son hipótesis sobre la evolución de las emisiones y se utilizan cuando se quiere proyectar el clima hacia el futuro partiendo de las condiciones presentes; ya que no se conoce lo que va a ocurrir con el contenido en la atmósfera de gases de efecto invernadero es necesario hacer simulaciones de las emisiones, éstas dependen de factores como la evolución de la población mundial, de los sistemas

socioeconómicos, el uso de tecnologías respetuosas con el medio ambiente, la aparición de nuevas tecnologías, la aplicación de los acuerdos internacionales sobre limitación de emisiones, y la evolución de la situación geopolítica global.

II. METODOLOGÍA

2.1 Definición de área y tiempo de estudio

Guanajuato se ubica (Figura 2.1) en la porción central de la República Mexicana y se localiza entre las coordenadas geográficas extremas: al Norte $21^{\circ}52'$, al Sur $19^{\circ}55'$ de latitud norte; al Este $99^{\circ}41'$, al oeste $102^{\circ}09'$ de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

El Estado de Guanajuato cuenta con una superficie de 30,460 km cuadrados y colinda con los estados de San Luis Potosí al norte, Querétaro al este, Michoacán al Sur y Jalisco al Oeste. De acuerdo a los aspectos geográficos y culturales, el estado de Guanajuato puede dividirse en cinco grandes regiones: La Sierra Gorda, la Sierra Central, el Bajío, los Altos y los Valles Abajeños.

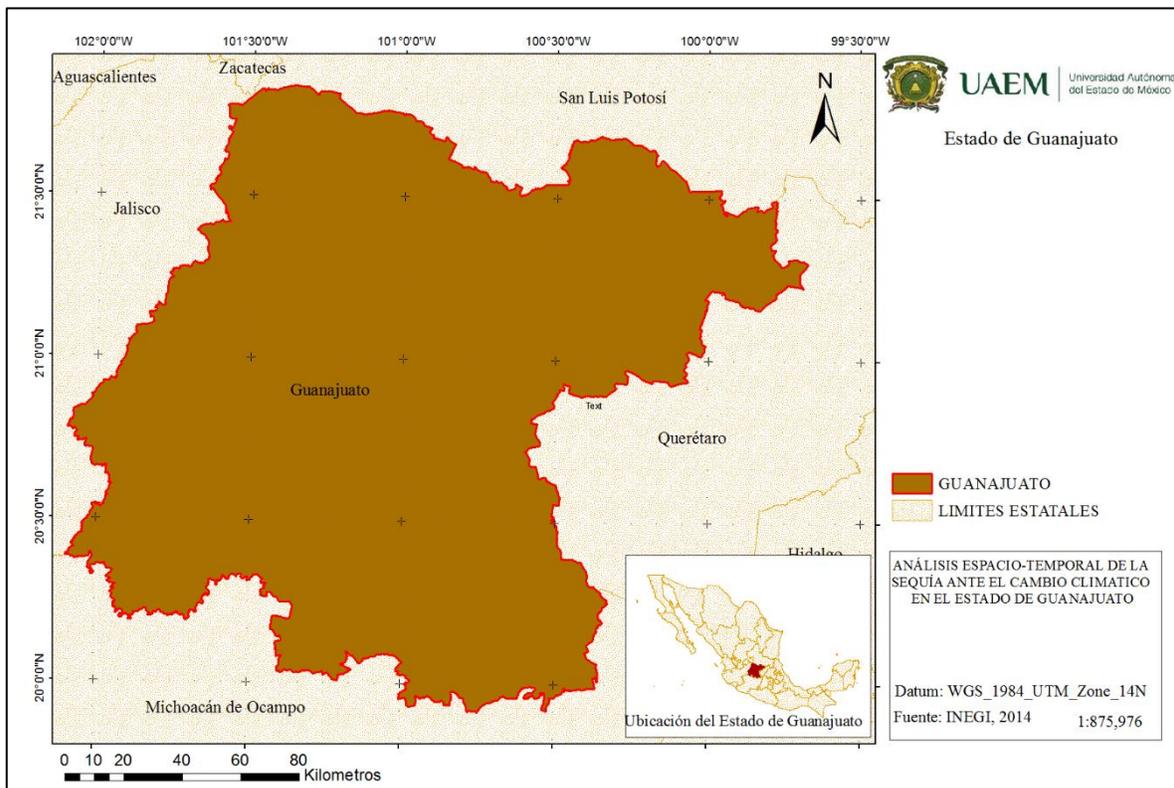


Figura 2.1. Ubicación del área de estudio, Estado de Guanajuato

La presente investigación tiene como propósito analizar el comportamiento de la sequía en el tiempo, por un periodo de 60 años. Teniendo un histórico de 30 años, comprendido de 1980-2010; y analizando su comportamiento a futuro bajo un escenario de cambio climático de futuro cercano 2015-1039.

Los criterios tomados en cuenta para la selección del área y el periodo de estudio son:

- ✓ **Historicidad de eventos de sequía en el Estado**
Según la revisión de literatura y el análisis de los datos climáticos en la entidad se han presentado varios eventos de sequía. De acuerdo a algunos organismos internacionales encargados del estudio de este fenómeno, como la FAO o el *North American Drought Monitor*, Guanajuato se encuentra ubicado en el extremo sur de la distribución espacial de las sequías. Por lo tanto por su ubicación geográfica la entidad es vulnerable a este tipo de fenómenos.

- ✓ **Cuestionamiento ¿Qué pasará con el fenómeno de sequía ante el cambio climático?**
El periodo para el análisis de la sequía en el presente estudio se deriva del anterior cuestionamiento. Se sabe que Guanajuato es una entidad vulnerable a este fenómeno y se tiene conocimiento de varios eventos a lo largo de la historia, ahora bien, en las últimas décadas los estudiosos del clima y su comportamiento han observado cambios significativos en él, por lo que se cree que está sucediendo un cambio climático, en el que las temperaturas se han elevado y el patrón de lluvias se ha visto modificado. Ante estas teorías es que en la presente investigación no solamente se analizará el comportamiento de las sequías históricas, sino se pretende hacer un análisis a futuro de cuál sería su distribución espacial si las principales variables climáticas son modificadas por el cambio climático.

2.2 Estaciones climatológicas

El área de estudio de esta investigación, como ya se había mencionado anteriormente, es el Estado de Guanajuato. El universo de trabajo son los datos climáticos correspondientes a las estaciones climatológicas de Guanajuato (Cuadro 1), las cuales se obtuvieron de la CONAGUA-SMN.

Los componentes de las estaciones climatológicas, objeto de estudio de esta investigación son las variables temperatura y precipitación; así como la clave de la estación, la ubicación (latitud y longitud) y el nombre de la estación.

En este caso la muestra es igual al universo de estudio, ya que para hacer este tipo de análisis espacial se requiere contar con todas las estaciones climáticas disponibles en el lugar. Es importante mencionar también que se tomarán en cuenta estaciones climáticas de los estados colindantes a Guanajuato, debido a que los fenómenos naturales no obedecen a barreras o límites político-administrativos.

2.3 Materiales

El equipo con que se llevara a cabo el proyecto consta de una computadora personal con las siguientes características

- Disco duro de 1 Tb
- Memoria RAM de 8 Gb
- Procesador Intel® Core™

La obtención y preparación de los datos, así como su procesamiento se realizaron con apoyo del siguiente material:

- software Arc Map 10.0
- software SP 4.0
- ConTEXT v0.98.6
- y otros, como acceso a internet, acceso a bibliografía y consumibles PC.

2.4 Métodos

En la presente investigación se usó el Índice de Severidad de Sequía de Palmer porque además de la metodología estadística involucrada, incluye variables de temperatura, precipitación y evapotranspiración mediante un análisis de balance hídrico histórico en el suelo; lo cual le da una buena representación en el espacio y en el tiempo.

La distribución geográfica del índice de sequía no puede ser relacionado directamente con los elementos del clima (orografía, topografía...) debido a que el efecto de estos ya han surgido sus efectos en las variables meteorológicas que se utilizaron para el cálculo del índice.

El Desarrollo del presente estudio se dividió en tres etapas principalmente, en la (figura 2.2) se puede observar la descripción de cada una de ellas.

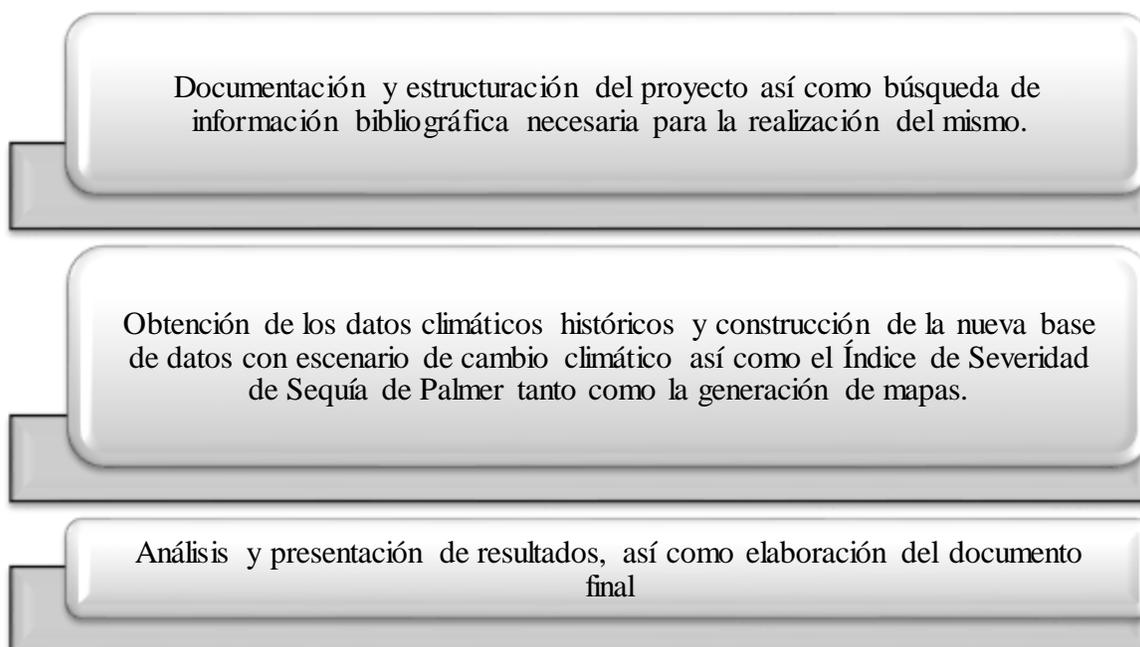


Figura 2.2. Etapas metodológicas de la investigación

Las etapas metodológicas que integran el estudio son:

1. Cálculo del ISSP haciendo uso del Software SP 4.0 mediante el procesamiento de los datos climáticos, temperatura y precipitación de las estaciones meteorológicas correspondientes al Estado de Guanajuato.
2. Aplicación de escenario de cambio climático a la base de datos original y Cálculo del ISSP mediante el uso del Software SP 4.0 con los nuevos datos (escenario de cambio climático).
3. Comparación de ISSP histórico y con escenario de cambio climático

Estas etapas se muestran más explícitamente en el siguiente esquema metodológico:

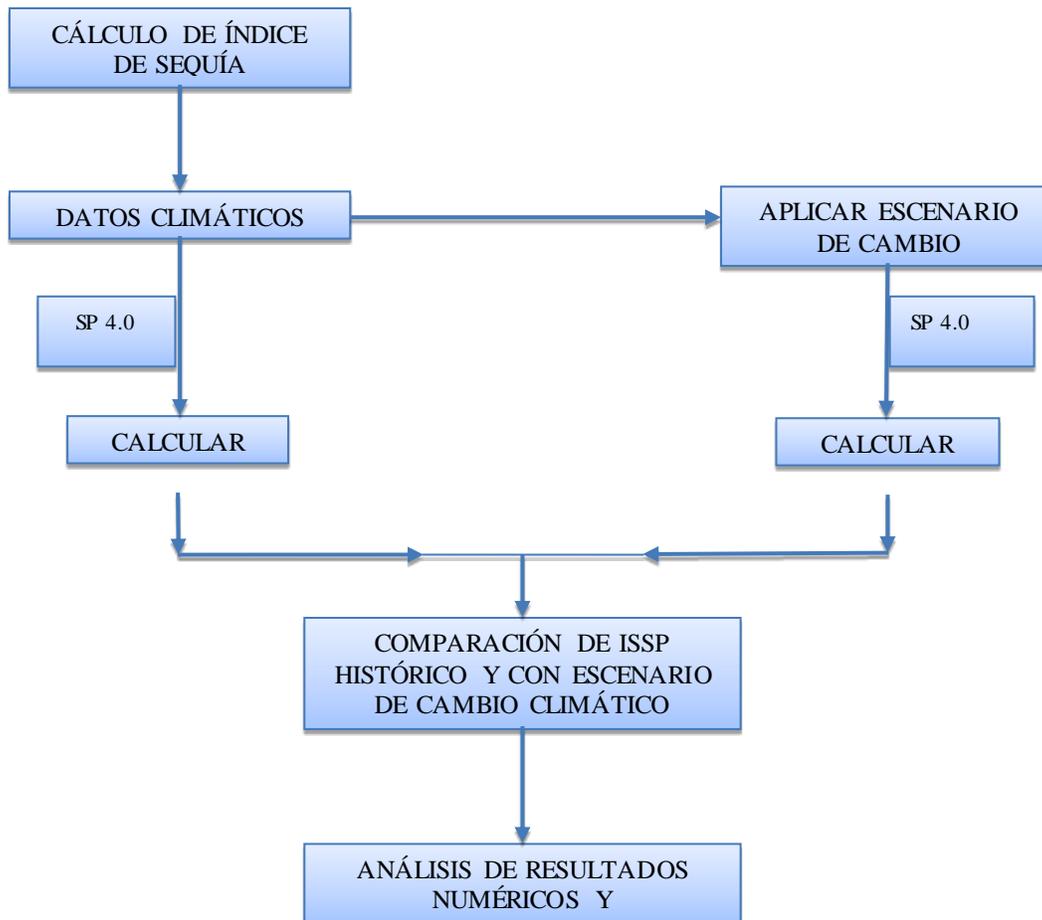


Figura 2.3. Esquema metodológico

2.4.1 Extracción de información climática y preparación de la base de datos

La información climática de las estaciones pertenecientes al estado de Guanajuato se extrajo de la página del Servicio Meteorológico Nacional, el periodo de estos datos comprende de 1949 a 2010, con las siguientes variables:

Nombre de la estación

Coordenadas latitud y longitud (formato decimal)

Precipitación total mensual (mm)

Temperatura media máxima mensual (mm)

Temperatura media mínima mensual (mm)

Temperatura media promedio mensual (mm)



NOMBRE	MUNICIPIO	CLAVE	NORMALES 1951-2010	NORMALES 1971-2000	NORMALES 1981-2010	MEDIAS Y EXTREMAS DIARIAS	MEDIAS Y EXTREMAS MENSUALES
ABASOLO	ABASOLO	00011001	NORM 51-10	NORM 71-00	NORM 81-10	MED-EXT DIA	MED-EXT MES
ACAMBARO	ACAMBARO	00011002	NORM 51-10	NORM 71-00	NORM 81-10	MED-EXT DIA	MED-EXT MES
ADJUNTAS	MANUEL DOBLADO	00011036	NORM 51-10	NORM 71-00	NORM 81-10	MED-EXT DIA	MED-EXT MES
AGUA TIBIA	PENJAMO	00011003	NORM 51-10	NORM 71-00	NORM 81-10	MED-EXT DIA	MED-EXT MES
ALDAMA	IRAPUATO	00011004	NORM 51-10	NORM 71-00	NORM 81-10	MED-EXT DIA	MED-EXT MES
AMECHE	APASEO EL GRANDE	00011105	NORM 51-10	NORM 71-00	NORM 81-10	MED-EXT DIA	MED-EXT MES
APASEO	APASEO EL GRANDE	00011005	NORM 51-10	NORM 71-00	NORM 81-10	MED-EXT DIA	MED-EXT MES
APASEO EL ALTO	APASEO EL ALTO	00011006	NORM 51-10	NORM 71-00	NORM 81-10	MED-EXT DIA	MED-EXT MES
ARPEROS	GUANAJUATO	00011135	NORM 51-10	NORM 71-00	NORM 81-10	MED-EXT DIA	MED-EXT MES
ATARJEA	ATARJEA	00011111	NORM 51-10	NORM 71-00	NORM 81-10	MED-EXT DIA	MED-EXT MES
BUENAVISTA	SAN FELIPE	00011123	NORM 51-10	NORM 71-00	NORM 81-10	MED-EXT DIA	MED-EXT MES
C.A.E. LEON	LEON	00011101	NORM 51-10	-	-	MED-EXT DIA	MED-EXT MES
C.E.M.S.J. IRAPUATO	IRAPUATO	00011170	-	-	-	-	-
CALDERONES	GUANAJUATO	00011007	NORM 51-10	NORM 71-00	NORM 81-10	MED-EXT DIA	MED-EXT MES
CAMINO BLANCO	JERECUARO	00011139	NORM 51-10	NORM 71-00	NORM 81-10	MED-EXT DIA	MED-EXT MES

Figura 2.4. Página de descarga de información climatológica del SMN.

Esta información climática se encontraba organizada en un archivo por cada estación, por lo que se procedió a reunir la toda en un solo archivo llamado “bdtodos.txt” que es el insumo para el programa SP 4.0. Como parte de la preparación de esta base de datos se tomaron en

cuenta los siguientes criterios para la inclusión o exclusión de estaciones: estaciones con datos de precipitación total mensual y temperatura promedio mensual que correspondieran al periodo 1980-2010, con una proporción de datos faltantes por año no mayor a 20%.

Con el propósito de facilitar la representación espacial, se incluyó información de estaciones climatológicas ubicadas en la periferia de los estados colindantes con Guanajuato: San Luis Potosí, Jalisco, Michoacán y Querétaro. El procedimiento consistió en sobreponer una vista de las fronteras de los estados mencionados, un modelo de elevación digital y la localización de las estaciones e identificar las estaciones colindantes de los estados vecinos que correspondieran a un mismo nivel altitudinal o patrón orográfico, esto se puede ejemplificar en la figura (2.5). Por último, se agregó esta información al archivo “bdtodos.txt”, el cual se ubicó en un directorio del programa SP 4.0; esta tabla sirvió de base para el procesamiento y la obtención del Índice de Severidad de Sequía de Palmer.

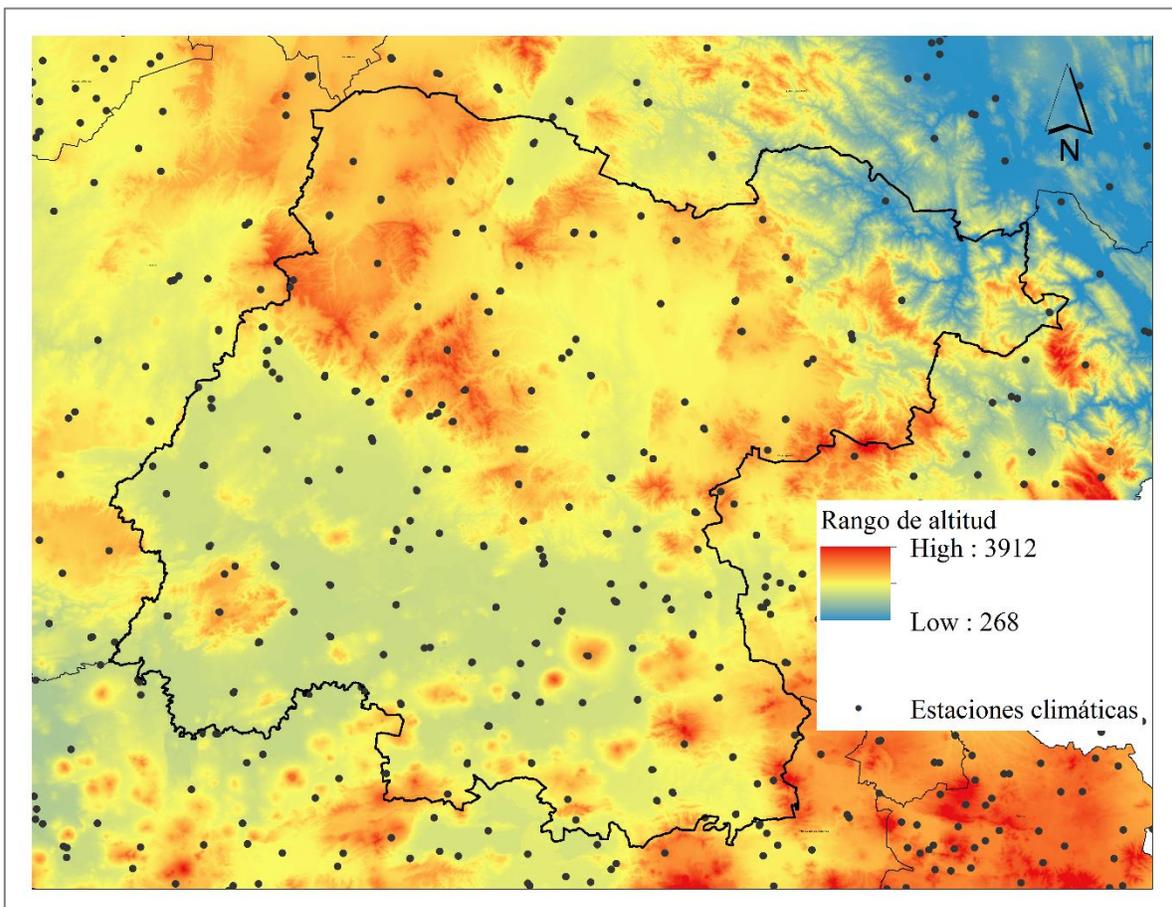


Figura 2.5. Sobreposición del modelo de elevación digital y las estaciones climatológicas

2.4.2 Datos de escenario de cambio climático

Se utilizaron escenarios de cambio climático RCP 4.5 (futuro cercano) del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), descargado de la página <http://escenarios.inecc.gob.mx/>.

El procedimiento para la inclusión de estos datos consistió en sobreponer las estaciones con el archivo de tipo shape del escenario y modificar la tabla en las variables precipitación y temperatura, atendiendo a los valores del escenario de cambio climático que indica en cuantos grados Celsius o milímetros, se modificarían dichas variables.

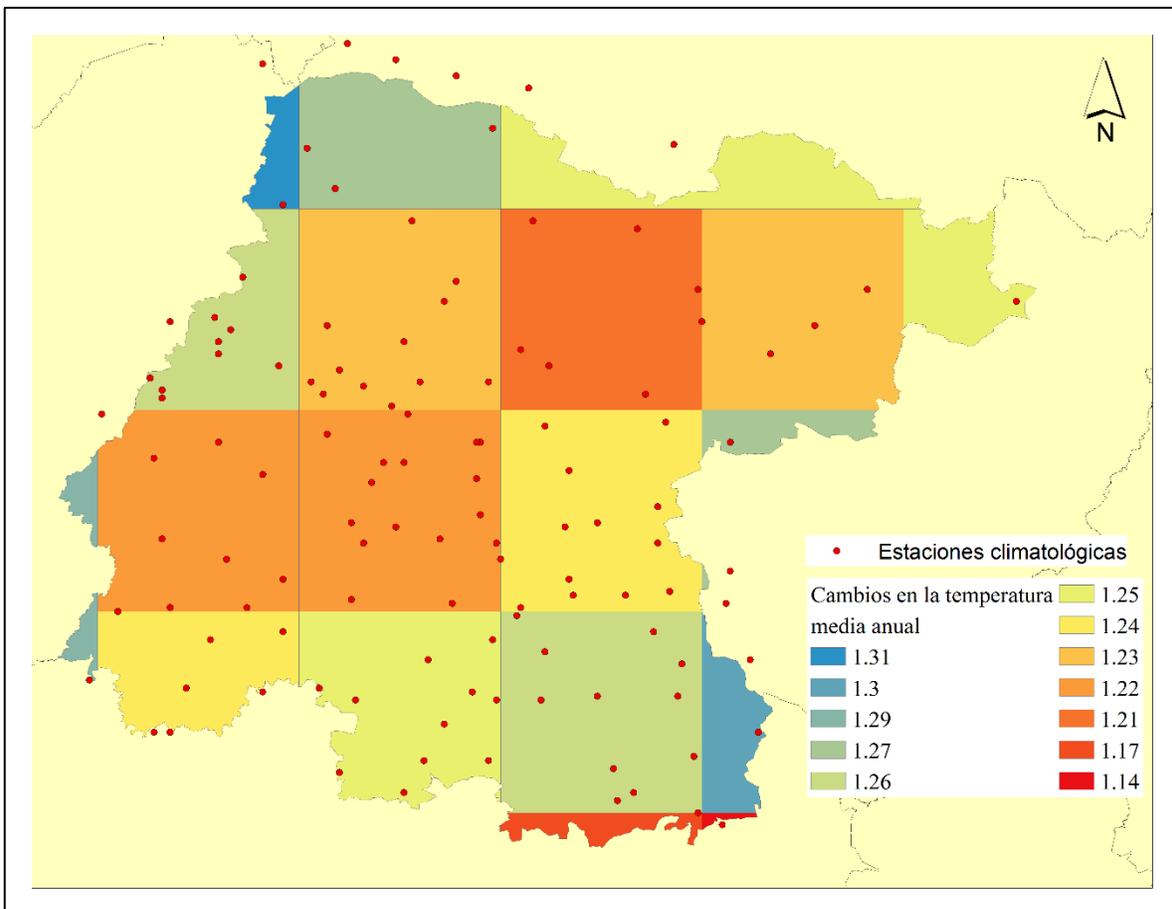


Figura 2.6. Escenario RCP 4.5 (futuro cercano). Cambios en la temperatura

Cuadro 2.1 Escenario RCP 4.5 (futuro cercano). Cambios en la temperatura

ID	ANUAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1038	1.31	0.92	1.10	1.41	1.60	1.60	1.27	1.39	1.39	1.33	1.39	1.29	1.08
1039	1.27	0.89	1.04	1.40	1.52	1.57	1.25	1.29	1.40	1.31	1.26	1.18	1.07
1040	1.25	0.91	1.01	1.38	1.42	1.55	1.23	1.36	1.40	1.33	1.27	1.14	1.03
1041	1.25	0.90	0.93	1.47	1.57	1.52	1.29	1.34	1.36	1.29	1.21	1.06	1.05
1042	1.25	0.87	0.97	1.38	1.46	1.66	1.27	1.50	1.32	1.17	1.16	1.17	1.04
1071	1.26	0.88	1.07	1.41	1.65	1.58	1.29	1.26	1.29	1.22	1.24	1.16	1.08
1072	1.23	0.76	1.11	1.44	1.36	1.49	1.15	1.26	1.32	1.25	1.36	1.16	1.03
1073	1.21	0.87	1.02	1.38	1.38	1.51	1.24	1.26	1.27	1.21	1.22	1.13	1.03
1074	1.23	0.91	1.00	1.39	1.50	1.51	1.30	1.32	1.33	1.23	1.20	1.10	1.02
1075	1.25	0.89	0.97	1.42	1.54	1.66	1.30	1.52	1.34	1.13	1.09	1.13	1.06
1100	1.29	0.86	1.14	1.34	1.41	1.57	1.24	1.40	1.37	1.30	1.33	1.30	1.26
1101	1.22	0.88	1.04	1.43	1.64	1.56	1.29	1.22	1.23	1.17	1.19	1.01	1.03
1102	1.22	0.82	0.97	1.55	1.68	1.55	1.30	1.23	1.21	1.16	1.16	0.87	1.08
1103	1.24	0.89	1.05	1.44	1.63	1.56	1.40	1.25	1.23	1.16	1.17	1.09	1.05
1104	1.27	0.87	1.06	1.38	1.35	1.47	1.22	1.44	1.48	1.40	1.33	1.16	1.06
1129	1.29	0.96	1.16	1.36	1.37	1.54	1.25	1.36	1.33	1.25	1.29	1.30	1.27
1130	1.24	0.90	1.07	1.44	1.63	1.54	1.28	1.24	1.22	1.15	1.19	1.17	1.07
1131	1.25	0.80	1.10	1.45	1.65	1.56	1.35	1.29	1.24	1.16	1.14	1.14	1.07
1132	1.26	0.89	1.12	1.44	1.38	1.48	1.21	1.36	1.40	1.29	1.25	1.18	1.11
1133	1.30	0.91	1.15	1.47	1.51	1.45	1.24	1.29	1.36	1.26	1.41	1.32	1.19
1159	1.22	1.05	1.19	1.50	1.47	1.31	1.05	1.15	1.16	1.10	1.14	1.28	1.30
1160	1.17	0.96	1.10	1.31	1.39	1.35	1.08	1.07	1.08	1.03	1.24	1.35	1.14
1161	1.14	0.97	1.14	1.35	1.39	1.30	1.07	0.98	0.99	0.97	0.96	1.45	1.15

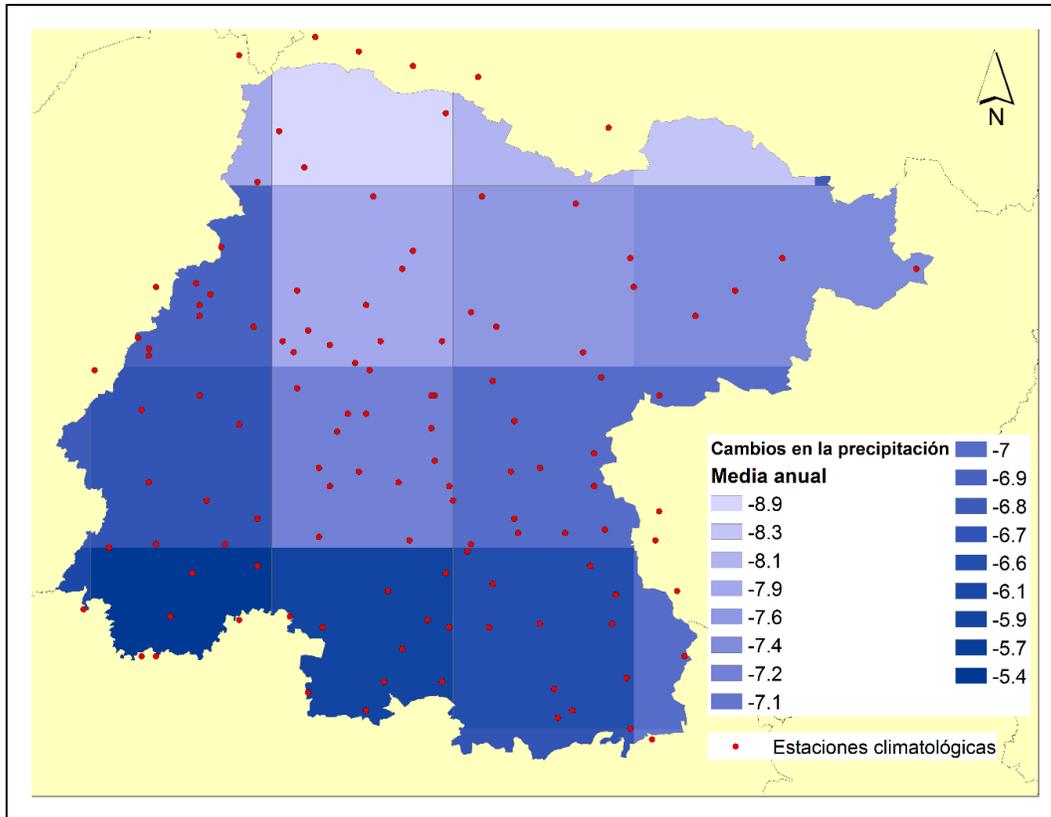


Figura 2.8 Escenario rcp 4.5 (futuro cercano). Cambios en la precipitación

Cuadro 2.2 Escenario rcp 4.5 (futuro cercano). Cambios en la precipitación

ID	ANUAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1038	-7.90	-21.70	-22.60	-24.30	-11.10	-14.60	1.70	-6.90	-0.60	-6.00	-4.20	-12.40	-21.60
1039	-8.90	-22.10	-22.30	-23.40	-11.00	-13.80	0.40	-5.90	-2.80	-6.20	-6.10	-12.10	-20.40
1040	-8.10	-16.60	-15.20	-20.20	-8.70	-13.00	0.00	-6.80	-3.00	-5.90	-4.90	-8.30	-17.20
1041	-8.30	-14.00	-13.10	-19.50	-10.20	-12.20	-0.60	-13.40	-2.90	-2.80	-5.00	-8.20	-14.90
1042	-6.80	-11.80	-13.80	-19.10	-11.30	-11.60	-2.50	-8.90	-1.90	3.10	-4.40	-7.70	-14.50
1071	-6.90	-24.50	-24.40	-24.50	-10.60	-15.80	-1.30	-5.60	0.40	-1.10	-2.80	-12.10	-22.30
1072	-7.90	-26.50	-26.80	-24.10	-9.50	-14.70	-1.30	-8.10	-0.20	-1.80	-4.30	-11.40	-22.50
1073	-7.60	-16.60	-17.40	-21.80	-8.80	-13.10	-0.80	-6.40	-2.10	-3.10	-3.90	-8.30	-19.60
1074	-7.40	-14.10	-15.00	-21.10	-9.20	-11.30	-2.00	-8.50	-2.00	-1.20	-3.60	-8.00	-16.60
1075	-7.40	-11.80	-15.10	-19.50	-9.10	-10.10	-2.10	-10.70	-3.70	-0.40	-3.30	-7.20	-14.80
1100	-6.80	-27.40	-24.70	-26.10	-12.90	-22.80	-2.70	-5.80	-1.60	0.00	-3.00	-10.60	-22.30
1101	-6.70	-26.00	-24.80	-24.90	-11.50	-17.80	-1.80	-5.40	-0.70	-0.70	-3.40	-11.70	-22.00
1102	-7.20	-26.90	-26.00	-25.50	-11.20	-14.80	-1.60	-6.50	-0.80	-0.80	-5.60	-11.70	-23.00
1103	-7.00	-18.40	-19.10	-23.70	-9.30	-12.40	-1.70	-7.10	-0.90	-0.50	-4.10	-8.50	-19.70
1104	-7.00	-15.10	-17.30	-22.20	-9.80	-10.90	-1.80	-8.30	-1.50	1.20	-3.00	-7.90	-18.60
1129	-6.10	-30.50	-26.00	-25.20	-13.70	-22.80	-2.90	-5.30	0.40	1.30	-6.10	-8.70	-20.90
1130	-5.40	-28.50	-26.30	-27.90	-12.80	-10.40	-1.70	-4.80	1.40	0.30	-5.50	-8.90	-23.40
1131	-5.90	-29.20	-27.00	-28.40	-12.60	-10.20	-1.80	-5.00	1.40	-0.40	-6.90	-8.70	-23.10

1132	-6.60	-23.30	-23.90	-25.30	-11.40	-13.90	-1.60	-7.20	0.00	0.40	-4.40	-6.60	-20.10
1133	-7.00	-18.30	-20.40	-22.30	-11.20	-14.60	-1.40	-9.00	-0.80	-0.20	-2.50	-6.30	-17.90
1159	-5.70	-31.10	-29.90	-32.90	-17.10	-20.90	-2.20	-4.70	3.40	1.00	-6.80	-6.90	-26.00
1160	-6.70	-28.00	-27.80	-28.70	-13.40	-18.50	-1.90	-9.40	-1.10	1.50	-4.10	0.40	-19.90
1161	-7.10	-23.50	-24.00	-25.80	-12.20	-16.40	-1.50	-10.30	-1.40	1.10	-2.30	-4.70	-18.50

2.4.3 Configuración de parámetros en software SP 4.0

La metodología de Palmer incluye un parámetro edáfico para determinar la existencia de sequías, la disponibilidad de agua en el suelo para las plantas. Esta disponibilidad de agua o humedad aprovechable está determinada por dos variables: la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

La capacidad de campo es el contenido de humedad que existe en el suelo después de una lluvia o riego y una vez que se ha drenado toda el agua posible por gravitación. Mientras que el punto o coeficiente de marchitamiento permanente se refiere al límite inferior donde el contenido de humedad en los suelos puede ser aprovechado por las plantas. “La diferencia de contenido de humedad del suelo, entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente, se denomina humedad aprovechable” (Israelsen y Hansen, 1975). Los valores de humedad aprovechable han sido medidos y clasificados de acuerdo a la textura del suelo, en la siguiente tabla se muestra un resumen de las propiedades edáficas antes mencionadas según las texturas.

Cuadro 2.3 Resumen de las propiedades físicas del suelo según textura

Textura del suelo	Filtración y permeabilidad cm/hr	Total espacio poroso %	Peso específico aparente	Capacidad de campo %	Marchitez permanente %	Humedad total utilizable		
						Peso seco %	Volumen %	cm/m
	5	38	1.65	9	4	5	8	8
Arenoso	(2.5-25.5)	(32-42)	(1.55-1.80)	(6-12)	(2-6)	(4-6)	(6-10)	(7-10)
Franco-arenoso	2.5	43	1.50	14	6	8	12	12
	(1.3-7.6)	(40-47)	(1.40-1.60)	(10-18)	(4-8)	(6-10)	(9-15)	(9-15)
	1.3	47	1.40	22	10	12	17	17
Franco	(0.8-2.0)	(43-49)	(1.35-1.50)	(18-26)	(8-12)	(10-14)	(14-20)	(14-19)
Franco-arcilloso	0.8	49	1.35	27	13	14	19	19
	(0.25-1.5)	(47-51)	(1.30-1.40)	(23-31)	(11-15)	(12-16)	(16-22)	(17-22)
Arcillo-arenoso	0.25	51	1.30	31	15	16	21	23
	(0.03-0.5)	(49-53)	(1.25-1.35)	(27-35)	(13-17)	(14-18)	(18-23)	(18-23)
	0.5	53	1.25	35	17	18	23	23
Arcilloso	(0.01-0.1)	(51-55)	(1.20-1.30)	(31-39)	(15-9)	(16-20)	(20-25)	(20-25)

Fuente: (Israelsen y Hansen, 1975)

Para determinar el valor de humedad aprovechable en el área de estudio se hizo una clasificación según la textura del suelo, tal como se muestra en la figura 2.10

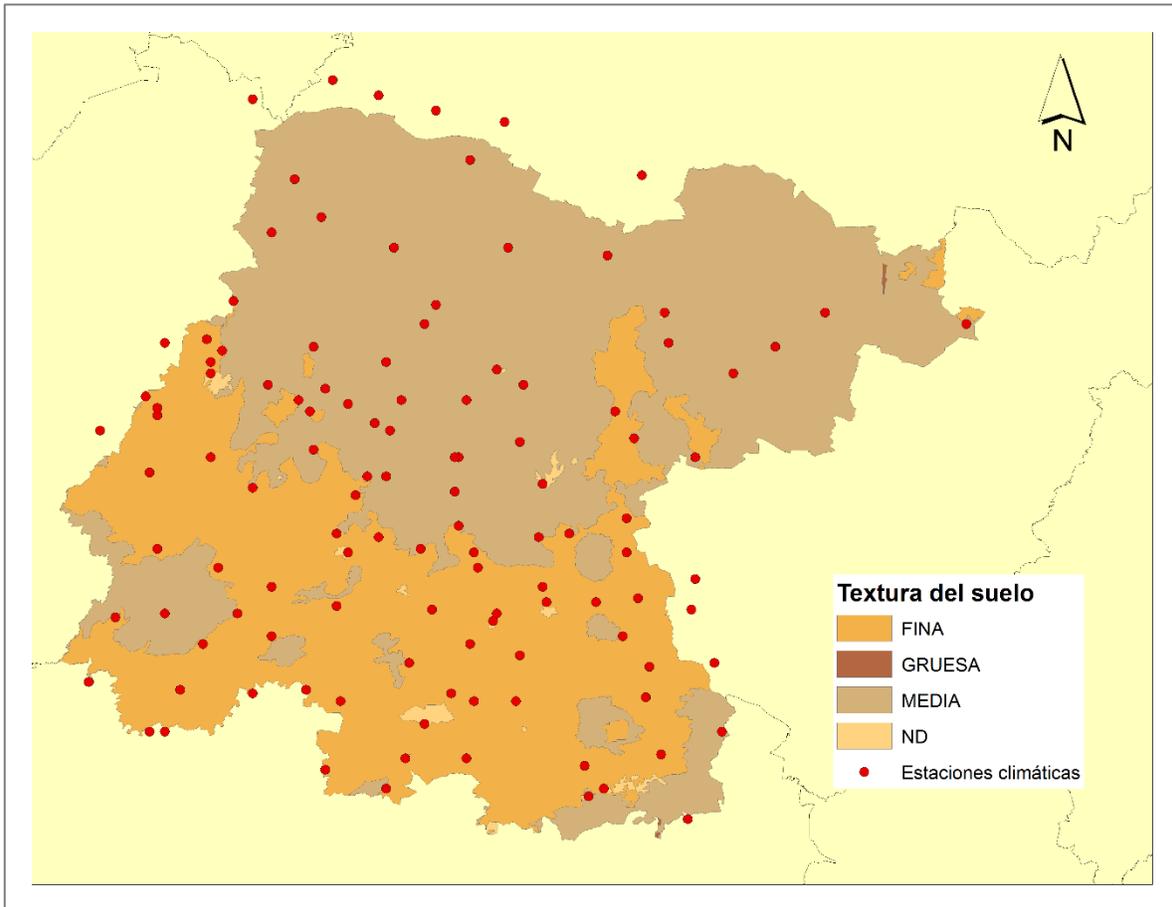


Figura 2.10 Textura del suelo en Guanajuato

Las texturas predominantes en Guanajuato según la cartografía de INEGI son la media y la fina. Lo que corresponde a suelos francos y arcillosos respectivamente.

Con base al cuadro anterior se obtienen valores de 170 mm/m para suelos francos y 230 mm/m para suelos arcillosos. Estos valores se ingresan en el software SP 4.0 como condiciones iniciales para el cálculo de la sequía.

Ya que existen dos tipos de textura del suelo predominantes en Guanajuato los datos de las estaciones climatológicas se organizaron en dos tablas para ingresar cada una a SP 4.0 con su respectivo valor de humedad aprovechable, denominada en dicho programa como capacidad de almacenamiento del suelo.

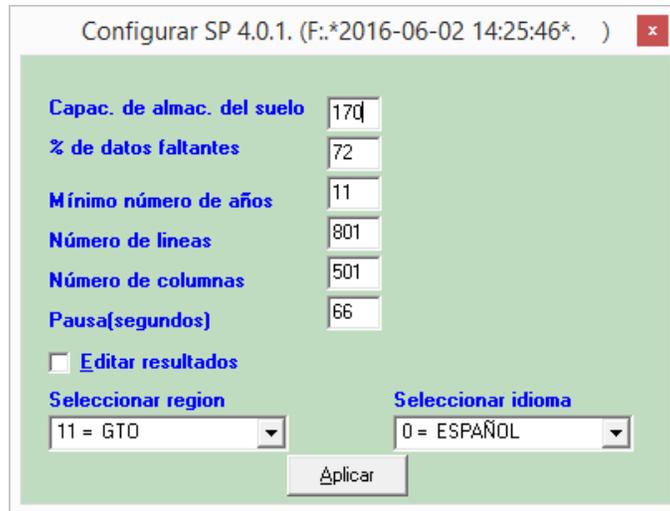


Figura 2.11 Configuración de parámetros en SP 4.0

2.4.4 Aplicación del programa SP 4.0

Se utilizó el programa SP 4.0 para calcular el Índice de Severidad de Sequía de Palmer, este software fue desarrollado por el M. C. Guillermo Crespo Pichardo.

Proceso del software SP 4.0.

SEPARA.

A partir de la base de datos bdtodos.txt, este subprograma separó cada una de las estaciones y generó un archivo de salida “número de estación”a.txt, es decir se tendrá un número igual de archivos como estaciones sean.

VECINAS.

Calcula las distancias de estaciones vecinas a estaciones con datos faltantes, usa como criterio la distancia máxima de 200 kilómetros, utiliza para el cálculo de las distancias el teorema de Pitágoras, a partir de la latitud y longitud de la estación de referencia y la estación vecina. Se aplicaron las equivalencias: 1° de latitud representó 112 Km y 1° de longitud representó 101 Km (promedio para latitudes en la región de estudio). El programa generó un archivo de salida “número de estación”b.txt, que contiene una tabla de todas las estaciones vecinas y su respectiva distancia, ordenada de mayor a menor.

ORDENA_PPT.

Ordena las estaciones de acuerdo al por ciento de datos mensuales de precipitación.

ORDENA_TEM.

Ordena las estaciones de acuerdo al por ciento de datos mensuales de temperatura.

PARÁMETROS.

A partir de los datos de precipitación media mensual y temperatura media mensual, de todos los años, se obtuvo un promedio mensual; es decir a partir de los valores del mes para enero y así sucesivamente para cada mes, para todos los años; genera un archivo de salida “número de estación”.c.txt , que contiene una tabla con 12 valores de precipitación y 12 de temperatura.

ESTIMAPPT3.

Estimó datos faltantes de precipitación, a partir de estaciones vecinas, por medio del modelo A/B, es decir la relación entre la estación con dato faltante (A) y la estación más cercana (B), con datos completos; se relacionaron los datos promedio mensuales de temperatura media y precipitación, a partir de la ecuación:

$$VA = (MA / MB) * VB$$

Donde:

VA es el Valor del dato faltante A (temperatura o precipitación media mensual).

MA es el valor medio de la variable (temperatura o precipitación) de la estación A, para el mes faltante.

MB es el valor medio de la variable (temperatura o precipitación) de la estación B, para el mes faltante de la estación A.

VB es el dato mensual observado en la estación B.

Se generó un archivo de salida “número de estación”d.txt, que contiene una tabla con los valores de precipitación estimados, en este paso aún aparecen estaciones a las que no fue posible hacer la estimación.

ESTIMAPPTS2.

Estimó datos faltantes de precipitación en una segunda vuelta, es decir a partir del archivo “número de estación”d.txt, descrito en el párrafo anterior, vuelve a aplicar la relación A/B antes descrito, genera un archivo de salida “número de estación”e.txt, que contiene una tabla con los valores de precipitación estimados.

REPORTE FINAL2.

Eliminó de la lista las estaciones que aún tienen datos faltantes de precipitación.

ESTIMA TEM3.

Estimó datos faltantes de temperatura, a partir de estaciones vecinas, considerando el método de la relación A/B, antes descrito; el programa selecciona la estación vecina más cercana con dato existente y aplica la ecuación de estimación; genera un archivo de salida “número de estación”f.txt, que contiene una tabla con los valores de temperatura estimados para cada año y mes con dato faltante, en este paso aparecen las estaciones a las que no fue posible hacer la estimación.

ESTIMTEMS2.

Estimó datos faltantes de temperatura en una segunda vuelta, es decir a partir del archivo “número de estación”f.txt, descrito en el párrafo anterior, vuelve a aplicar el modelo de relación A/B, genera un archivo de salida “número de estación”g.txt, que contiene una tabla con los valores de temperatura estimados para cada año y mes con dato faltante.

REPORTE FINAL 4.

Eliminó de la lista, las estaciones que aún tienen datos faltantes de temperatura.

REPORTE FINAL5.

Eliminó de la lista, las estaciones que aún tienen datos faltantes de temperatura y/o precipitación.

ETP7:

Estimó Evapotranspiración Potencial, aplicando el método de Thornthwaite; generó un archivo de salida “número de estación”h.txt, que contiene una tabla con los valores de ETP estimados, para cada mes de cada año, del período considerado.

PALMER7:

Realizó las estimaciones de los Índices X1, X2, X3 y decide el valor final de X, con base en los criterios establecidos por el Método ISSP, genera un archivo de salida “número de estación”n.txt

COEFIC2:

Realizó los cálculos para obtener los coeficientes del Índice de severidad de sequía de Palmer (1965): ALFA, BETA, GAMA, DELTA, Kd, y K; generó archivos de salida “número de estación”o.txt

TABLA3:

Se trata de un archivo con extensión .cvs, que contiene los Índices de severidad de sequía de Palmer, arreglados para cada estación, para todos los años, para todos los meses.

HT1.

Generó una página en formato HTL, donde se pueden ver todos los resultados intermedios del proceso de cálculo, se incluyen los resultados detallados del último proceso del programa para calcular el ISSP (SP4).

2.4.5 Generación de cartografía mediante interpolación

La interpolación se define como un procedimiento que calcula el valor de una variable en una posición del espacio geográfico (punto no muestra, valor estimado) , a partir de valores conocidos de esa variable en otras posiciones del espacio (puntos muestrales con valores reales). (Bosque, 1992) citado por (Cañada, 2006)

Los métodos de interpolación pueden diferenciarse entre técnicas deterministas y geo estadísticas en función del mecanismo matemático de la interpolación. En las primeras se formulan suposiciones generales del carácter general de la superficie a interpolar; mientras que en las segundas se estudia el carácter de la auto correlación espacial de la variable a interpolar.

En la presente investigación se utilizó una técnica de interpolación determinística que a su vez, se pueden clasificar en dos grupos: las técnicas globales, que tienen en cuenta todos los puntos muestrales en cualquier valor estimado; y las locales, que solo emplean los puntos muestrales que están en la vecindad de cada punto no muestras. En estas últimas se encuentra la técnica empleada, la media ponderada por el inverso de la distancia o inverse distance weighted (IDW)

III. RESULTADOS

3.1 Selección de estaciones

Además de los criterios de inclusión y exclusión para la selección de estaciones mencionados en el capítulo de metodología, se consideró la aplicación de rutinas de estimación de datos faltantes, con esto se seleccionaron 100 estaciones climatológicas con datos mensuales de precipitación y temperatura media, los cuales se encuentran en el cuadro 3.1 y se puede observar su ubicación en la figura 3.1

Cuadro 3.1 Estaciones climatológicas seleccionadas

Clave	Nombre De La Estación	Latitud	Longitud
11001	Abasolo, Abasolo	20.45	-101.54
11002	Acambaro, Acambaro	20.03	-100.71
11003	Agua Tibia, Penjamo	20.51	-101.63
11004	Aldama, Irapuato	20.82	-101.32
11005	Apaseo, Apaseo El Grande	20.54	-100.69
11006	Apaseo El Alto, Apaseo El Alto	20.45	-100.62
11007	Calderones, Guanajuato	20.99	-101.23
11009	Celaya (SMN), Celaya	20.54	-100.82
11010	Cerano, Yuriria	20.10	-101.40
11011	Cinco Señores, San Miguel De Allende	20.96	-100.89
11012	Coroneo, Coroneo	20.20	-100.36
11013	Cortazar, Cortazar	20.49	-100.96
11014	Cueramaro, Cueramaro	20.63	-101.68
11015	Charcas, Doctor Mora	21.14	-100.33
11017	Dolores Hidalgo (SMN), Dolores Hidalgo	21.15	-100.95
11020	El Palote, León	21.17	-101.70
11021	El Sabino, Salvatierra	20.28	-101.01
11022	El Terrero, Apaseo El Alto	20.37	-100.55
11023	Guanajal, San Francisco Del Rincon	21.03	-101.84
11025	Hacienda De Arriba, León	21.23	-101.71
11028	Irapuato, Irapuato	20.67	-101.34
11030	Jaral De Berrios, San Felipe	21.70	-101.02
11031	Jerecuaro, Jerecuaro	20.14	-100.52
11032	Santa Cruz Juventino Rosas (DGE), Santa Cruz De Juventino Rosas	20.22	-101.14
11033	La Begoña, San Miguel De Allende	20.85	-100.83
11034	La Golondrina, Penjamo	20.43	-101.72
11035	La Sandia, León	20.92	-101.70
11036	Adjuntas, Manuel Doblado	20.68	-101.84
11040	Los Castillos, León	21.20	-101.67
11041	Los Razos, Salamanca	20.68	-101.15

11042	Los Rodríguez, San Miguel De Allende	21.04	-100.64
11044	Mandujano, Santa Cruz De Juventino Rosas	20.74	-101.05
11045	Media Luna, León	21.33	-101.64
11047	Moroleon, Moroleon	20.13	-101.19
11048	Neutla, Comonfort	20.71	-100.84
11049	Nuevo Valle Moreno, León	21.21	-101.43
11050	Ocampo, Ocampo	21.65	-101.48
11051	Peñuelitas, Dolores Hidalgo	21.11	-100.88
11052	Pericos, Salamanca	20.52	-101.12
11053	Pozos, San Luis De La Paz	21.22	-100.50
11054	Pueblo Nuevo, Pueblo Nuevo	20.53	-101.37
11055	Purísima De Bustos, Purísima Del Rincon	21.08	-101.87
11056	Planta Ramos Millan, Cortazar	20.51	-100.95
11060	Salvatierra, Salvatierra	20.92	-101.05
11061	San Anton, Dolores Hidalgo	21.47	-101.22
11063	San Cristobal, Dolores Hidalgo	21.51	-101.54
11065	San Felipe (DGE), San Felipe	21.47	-100.92
11066	San José Iturbide (SMN), San José Iturbide	21.30	-100.51
11068	San Luis De La Paz, San Luis De La Paz	20.63	-101.00
11070	Santa Julia, Cortazar	21.07	-101.20
11071	Santa Maria (DGE), Yuriria	20.94	-101.43
11072	Santa Rita, Jaral Del Progreso	20.30	-101.07
11076	Presa Solís, Acambaro	20.05	-100.67
11079	Valle De Santiago, Valle De Santiago	20.38	-101.18
11082	Villa Victoria (DGE), Victoria	21.21	-100.22
11083	Xichu, Xichu	21.30	-100.09
11085	Dos Arroyos, San Miguel De Allende San Miguel De Allende (SMN), San Miguel De	20.83	-101.06
11093	Allende	20.43	-101.02
11094	Guanajuato (DGE), Guanajuato	21.01	-101.27
11095	León (DGE), León	21.14	-101.70
11096	Salamanca, Salamanca	21.07	-101.03
11099	Mariano Abasolo, Penjamo	20.50	-101.95
11100	Roque, Celaya	20.58	-100.83
11105	Ameche, Apaseo El Grande	20.55	-100.58
11107	La Quemada, San Felipe	21.32	-101.11
11111	Atarjea, Atarjea	21.27	-99.72
11113	Comonfort, Comonfort	20.72	-100.76
11116	Hacienda San Lucas, Jerecuaro	20.29	-100.56
11121	El Pinillo, Guanajuato	20.92	-101.06
11122	Presa Jalpa, Comonfort	20.76	-100.61
11124	El Chapin, Guanajuato	20.87	-101.24
11130	La Luz, Guanajuato	21.06	-101.34
11131	Las Trojes, Ocampo	21.55	-101.41
11134	El Conejo, Irapuato	20.72	-101.37
11135	Arperos, Guanajuato	21.10	-101.40

11136	La Joyita, Salamanca	20.67	-101.01
11137	Presa La Purísima, Guanajuato	20.87	-101.29
11138	Presa La Gavia, Romita	20.84	-101.59
11140	El Carbón, Dolores Hidalgo	21.27	-101.14
11141	Cienega De Negros, Guanajuato	21.17	-101.24
11142	El Cubo, Salvatierra	20.28	-100.90
11143	El Gallo, Penjamo	20.51	-101.82
11144	El Charape, San José Iturbide	20.92	-100.43
11145	La Gavia, Cortazar	20.40	-100.89
11146	Las Jicamas, Valle De Santiago	20.28	-101.36
11148	El Obraje, Apaseo El Grande	20.67	-100.61
11149	Paracuaro, Acambaro	20.11	-100.72
11150	San José El Alto, Abasolo	20.71	-101.26
11151	Tacubaya, Penjamo	20.31	-101.78
11153	La Laborcita, León	21.11	-101.55
11155	Corral De Piedras, San Miguel De Allende	20.97	-100.59
11156	El Dormido, Santiago Maravatio	20.13	-101.03
11157	Peñuelas, San Francisco Del Rincón	20.88	-101.86
11158	Piñicuaró, Moroleon	20.05	-101.24
11159	Presa El Barrial, San Francisco Del Rincón	21.05	-101.84
11160	San Isidro, Ocampo	20.58	-101.54
11161	El Vergel, San Luis De La Paz	21.45	-100.66
11162	Comanjilla, Silao	21.07	-101.47
11165	Chichimequillas, Silao	21.04	-101.44
11166	El Gigante, Maravatio	19.97	-100.45
14114	Presa La Duquesa, Lagos De Moreno	21.22	-101.82
14123	San Diego De Alejandría, Degollado	20.99	-101.99
14179	Ojuelos De Jalisco (DGE), Ojuelos de Jalisco	21.86	-101.59
16017	Casa Blanca, José Sixto Verduzco	20.31	-101.45
16024	Corrales, Penjamillo	20.20	-101.86
16065	La Piedad De Cabadas (DGE), La Piedad	20.33	-102.02
16086	Pastor Ortiz, José Sixto Verduzco	20.30	-101.59
16117	Santa Fe Del Rio, Penjamillo	20.20	-101.82
22006	El Pueblito, Corregidora	20.52	-100.44
22027	E.T.A. 128 Carrillo, Querétaro	20.60	-100.43
22050	Ceja De Bravo, Huimilpan	20.38	-100.38
24078	Santiago, Villa De Arriaga	21.87	-101.26
24093	Tierra Nueva, Tierra Nueva	21.66	-100.57
24100	Villa De Arriaga (DGE), Villa De Arriaga	21.91	-101.38
24101	Villa De Reyes, Villa De Reyes	21.80	-100.93
24163	Bledos, Villa De Reyes	21.83	-101.11

Con estas estaciones se construyó la base de datos para el cálculo del Índice de Sequía, para ambos periodos de tiempo. Los últimos 16 registros no corresponden a estaciones de

Guanajuato, sino a los estados colindantes y que se incluyeron en la base de datos para mejores resultados espaciales.



Figura 3.1 Ubicación de las estaciones climatológicas seleccionadas

3.2 Evaluación del modelo para estimación de datos faltantes

Con el fin de conocer la precisión de los datos estimados se evaluó el modelo de relación A/B del software SP 4.0 utilizado para la estimación de datos climáticos faltantes, para lo cual se seleccionan estaciones al azar con un total de 1160 registros (en el cuadro 3.2 se muestra un ejemplo), asumiendo la falta de datos para estos casos, se estimaron de acuerdo a dicho modelo y se compararon con los datos observados a través un modelo de regresión lineal simple ($y = a + b(x)$) y su coeficiente de determinación (r^2). Con base a los resultados mostrados en la figura 3.2 y 3.3 se considera adecuado el procedimiento para la estimación de datos faltantes; con una r^2 para precipitación de 0.74 y para temperatura de 0.83.

Cuadro 3.2 Ejemplo de la información utilizada para la validación del modelo

Estación	Latitud	Longitud	año	mes	Temperatura °C			Precipitación mm		
					Observada	Diferencia		Observada	Estimada	Diferencia
11001	20.45	-101.54	1980	7	21.96	22.09	0.13	128.70	219.22	90.52
11001	20.45	-101.54	1983	10	20.56	22.22	1.66	66.20	16.19	50.01
11001	20.45	-101.54	1984	3	20.98	23.00	2.02	0.00	0.00	0.00
11001	20.45	-101.54	1984	7	20.94	22.55	1.61	243.50	252.11	8.61
11001	20.45	-101.54	1984	8	21.31	22.85	1.54	80.00	96.18	16.18
11001	20.45	-101.54	1985	9	21.13	22.81	1.68	54.10	78.19	24.09
11001	20.45	-101.54	1986	10	20.35	21.04	0.69	42.20	81.72	39.52
11001	20.45	-101.54	1988	2	18.44	18.41	0.03	0.00	0.26	0.26
11001	20.45	-101.54	1989	12	16.50	16.77	0.27	18.00	6.43	11.57
11001	20.45	-101.54	1991	7	22.02	25.03	3.01	295.80	367.84	72.04
11001	20.45	-101.54	1993	11	19.97	18.66	1.31	7.50	40.36	32.86
11001	20.45	-101.54	1994	1	17.18	16.59	0.59	11.00	51.41	40.41
11001	20.45	-101.54	1994	4	22.81	24.30	1.49	9.00	0.00	9.00
11001	20.45	-101.54	1994	5	25.55	25.21	0.34	4.00	0.00	4.00
11001	20.45	-101.54	1994	7	23.33	25.13	1.80	91.50	37.58	53.92
11001	20.45	-101.54	1996	4	21.60	22.70	1.10	3.50	0.00	3.50
11001	20.45	-101.54	1997	7	23.31	23.24	0.07	125.40	160.51	35.11
11001	20.45	-101.54	2002	6	23.13	22.27	0.86	118.50	140.50	22.00
11001	20.45	-101.54	2004	9	21.13	19.65	1.48	215.10	229.08	13.98
11001	20.45	-101.54	2004	11	18.78	17.75	1.03	0.00	5.38	5.38
11001	20.45	-101.54	2005	1	16.55	15.05	1.50	11.50	0.00	11.50
11001	20.45	-101.54	2007	9	21.18	24.89	3.71	92.00	134.41	42.41
11003	20.51	-101.63	1981	9	21.17	20.56	0.61	79.30	77.69	1.61
11003	20.51	-101.63	1982	3	21.16	20.39	0.77	0.00	0.05	0.05
11003	20.51	-101.63	1982	8	21.94	21.66	0.28	57.70	83.94	26.24
11003	20.51	-101.63	1983	6	24.69	24.08	0.61	21.00	71.86	50.86

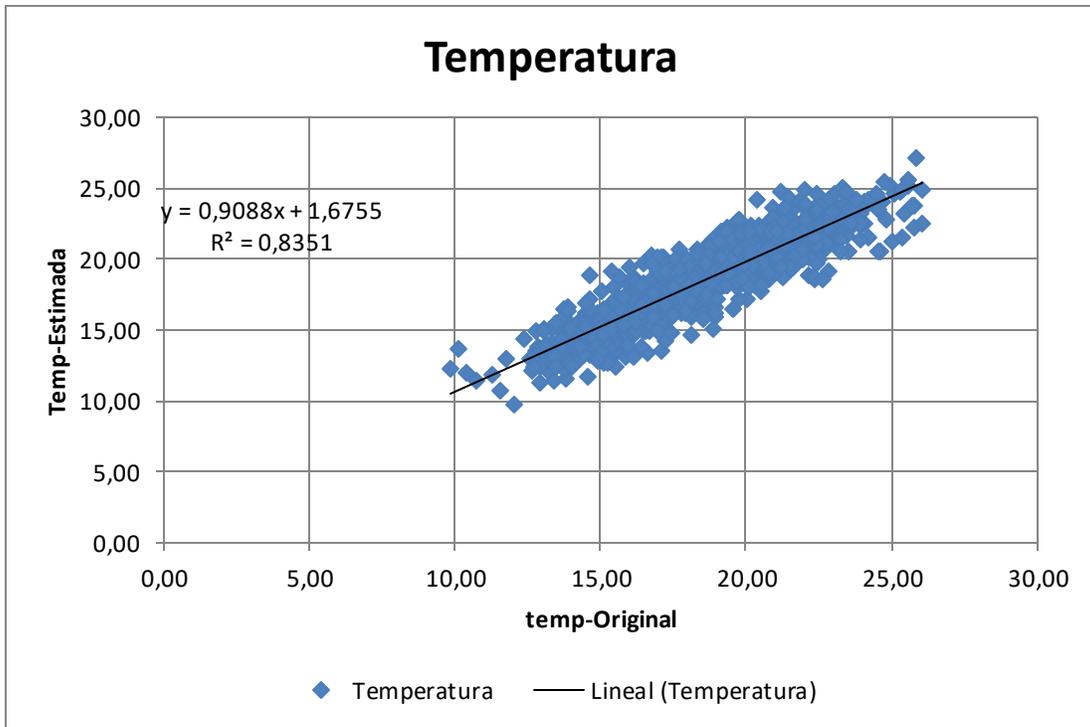


Figura 3.2 Validación del método para generación de datos faltantes de temperatura

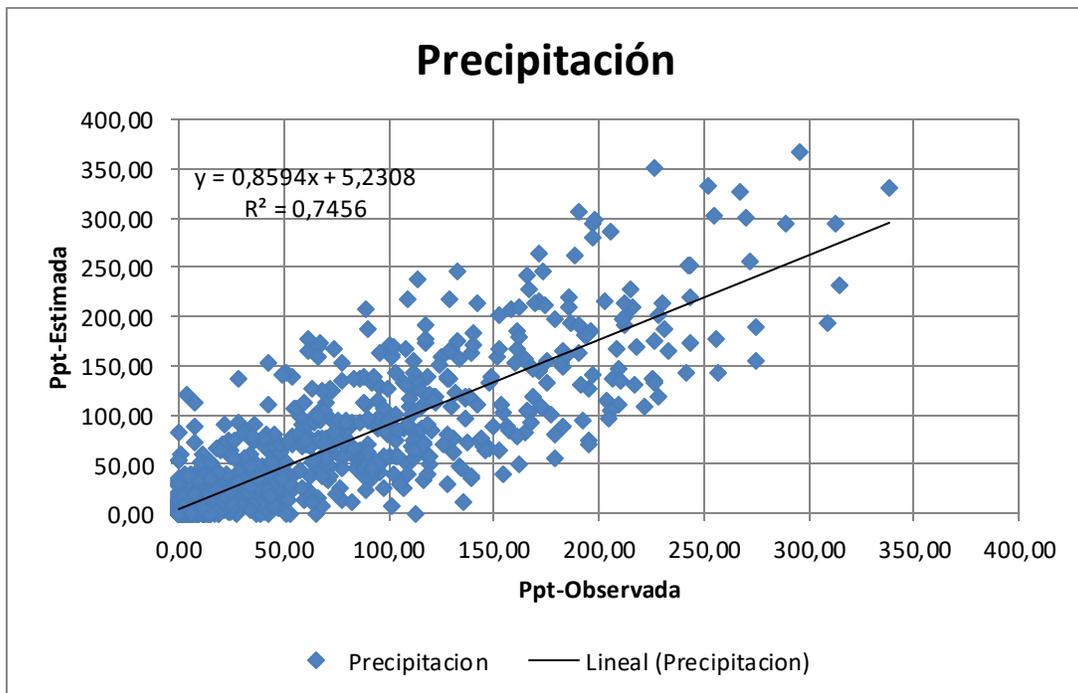


Figura 3.3 Validación del método para generación de datos faltantes de precipitación

3.3 Base de datos con escenario de cambio climático

Como resultado de la aplicación de escenario de cambio climático se obtuvo una nueva base de datos con las variables temperatura y precipitación modificadas. Para la construcción de estas nuevas variables se tomó en cuenta el valor observado en el periodo histórico y obedeciendo al escenario de cambio climático se hizo una suma o resta según correspondiera; en el cuadro 3.3 se muestra un ejemplo para una estación de dicho cambio.

Cuadro 3.3 Ejemplo de aplicación de escenario de cambio climático para la estación 11001

Latitud	Longitud	año	mes	Temperatura °C	Cambio	Precipitación mm	Cambio	Año	Mes	Temperatura °C	Precipitación mm
20.45	-101.54	1980	1	14.28	0.90	101.80	-2.85	2015	1	15.18	98.95
20.45	-101.54	1980	2	16.15	1.07	4.10	-2.63	2015	2	17.22	1.47
20.45	-101.54	1980	3	20.30	1.44	0.00	-2.79	2015	3	21.74	0.00
20.45	-101.54	1980	4	21.55	1.63	5.10	-1.28	2015	4	23.18	3.82
20.45	-101.54	1980	5	24.64	1.54	6.10	-1.04	2015	5	26.18	5.06
20.45	-101.54	1980	6	23.32	1.28	22.50	-1.70	2015	6	24.60	20.80
20.45	-101.54	1980	7	21.96	1.24	128.70	-4.80	2015	7	23.20	123.90
20.45	-101.54	1980	8	21.21	1.22	242.80	1.40	2015	8	22.43	244.20
20.45	-101.54	1980	9	20.52	1.15	68.00	0.30	2015	9	21.67	68.30
20.45	-101.54	1980	10	19.43	1.19	37.40	-5.50	2015	10	20.62	31.90
20.45	-101.54	1980	11	16.72	1.17	7.00	-8.90	2015	11	17.89	0.00
20.45	-101.54	1980	12	15.17	1.07	5.10	-2.34	2015	12	16.24	2.76

3.4 Resultados del cálculo de Índice de Severidad de Sequía de Palmer

Para la obtención del ISSP se aplicó el software SP 4.0 con información de temperatura y precipitación mensual de las estaciones mencionadas en el apartado 3.2 de esta investigación. Como resultado de esto se obtuvieron tablas para cada una de las estaciones, las cuales contienen los valores del ISSP por mes para los 30 años analizados. En la figura 3.4 se muestra el resultado para la estación 11001 en el periodo histórico; en la figura 3.5 se muestra el resultado para esta misma estación para el periodo de escenario futuro.

Cuadro 3.4 Resultado de ISSP de la estación 11001 para datos históricos

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	1.57	1.53	1.04	0.77	-0.97	-2.00	-2.61	-1.28	-1.62	-1.37	-1.20	-1.04
1981	1.34	1.89	2.09	2.25	2.51	2.03	1.61	1.08	0.58	0.65	-1.07	-0.61
1982	-0.95	-1.10	-1.24	-0.80	1.21	-0.96	-0.99	-1.93	-2.47	-2.01	-1.64	1.79
1983	1.86	1.76	1.48	1.13	0.88	-1.49	0.80	0.82	1.13	1.86	2.71	2.93
1984	2.85	2.94	3.02	2.99	2.65	2.72	3.30	2.64	2.32	1.56	1.24	1.10
1985	0.64	-1.29	-1.36	-1.41	-1.01	0.65	0.55	1.97	1.17	2.70	2.73	2.91
1986	2.51	2.34	2.26	2.38	2.41	4.13	4.00	2.90	2.90	2.95	3.02	2.77
1987	2.22	1.83	1.60	1.60	1.14	-1.03	-1.27	-1.63	-1.37	-2.03	-2.19	-2.39
1988	-2.34	-2.52	-2.08	-2.24	-2.80	-3.59	-3.49	-2.81	-3.56	-4.20	-4.36	-4.45
1989	-4.65	-4.53	-4.48	-4.44	-4.57	-4.76	-5.31	-5.28	-5.21	-5.08	-5.33	-4.87
1990	-4.94	-4.81	-4.94	-5.04	-4.62	-4.19	-3.28	-2.19	-2.70	-1.81	-1.64	-1.53
1991	-1.69	-1.74	-1.73	-1.86	-2.33	-2.19	-0.70	-0.69	1.36	1.00	0.93	1.14
1992	3.05	3.31	3.67	3.83	4.10	2.60	2.51	2.09	1.18	1.22	1.53	1.30
1993	0.86	0.58	-1.04	-0.98	-1.34	-1.21	-0.73	-1.10	0.44	-0.22	0.20	-0.32
1994	-0.42	-0.69	-0.77	-0.64	-1.16	-0.86	-2.09	-3.68	-3.77	-3.66	-4.29	-4.82
1995	-4.97	-5.00	-5.12	-5.24	-4.28	-4.47	-5.05	-4.44	-4.35	-4.68	-4.45	-4.01
1996	-4.17	-4.26	-4.24	-4.09	-4.17	-3.63	-4.65	-4.27	-3.42	-2.87	-2.81	-2.80
1997	-2.91	-2.98	-2.35	-1.49	-1.49	1.67	0.87	-1.22	-2.37	-2.35	-2.72	-2.97
1998	-3.22	-3.34	-3.49	-3.66	-4.24	-4.65	-4.72	-3.64	-2.09	-1.65	-1.10	-0.96
1999	-1.11	-1.20	-1.15	-1.21	-1.64	-1.12	-1.10	-1.30	-2.21	-2.66	-2.87	-2.66
2000	-2.90	-3.14	-3.30	-3.48	-2.11	-1.43	-0.76	-1.91	-2.39	-2.52	-2.77	-2.84
2001	-2.94	-3.02	-2.75	-2.54	-1.13	2.05	2.00	2.87	3.37	3.21	2.99	2.73
2002	2.90	3.14	3.14	2.98	2.69	2.58	3.27	3.07	3.69	3.31	4.71	4.58
2003	4.44	4.13	4.00	3.87	4.05	3.74	4.21	4.17	6.52	6.73	6.74	6.25
2004	6.37	5.83	6.23	6.00	5.80	6.92	6.31	6.45	7.20	6.76	6.17	5.68
2005	5.11	4.46	4.32	4.13	3.18	1.88	1.09	2.43	1.20	1.03	0.74	-1.28
2006	-1.03	-1.24	-1.27	-1.36	1.35	0.99	-0.97	0.82	-0.54	1.64	1.95	2.06
2007	1.78	1.62	1.54	1.45	1.21	2.71	3.14	2.47	2.07	1.58	1.50	1.25
2008	0.79	0.65	-0.88	-0.79	-1.33	1.02	2.96	3.65	3.59	2.70	2.38	2.05
2009	1.60	1.17	0.91	0.79	0.93	0.62	-2.24	-3.85	-2.61	-2.74	-2.85	-2.73
2010	-1.88	4.12	4.62	5.04	4.34	3.24	4.11	4.03	3.98	3.06	2.70	2.35

Cuadro 3.5 Resultado de ISSP de la estación 11001 para datos de escenario futuro

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	1.63	1.64	1.26	1.04	-0.75	-1.77	-2.34	-0.99	-1.34	-1.17	-1.14	-1.05
2016	1.15	1.68	1.74	1.83	2.10	1.65	1.30	0.81	-1.01	-0.87	-1.15	-0.77
2017	-1.10	-1.29	-1.50	-1.10	1.14	-0.96	-0.96	-1.89	-2.44	-2.08	-1.87	1.50
2018	1.61	1.44	1.05	0.66	-0.62	-1.71	-0.67	0.87	1.17	1.94	2.71	2.85
2019	2.71	2.74	2.79	2.74	2.39	2.48	3.08	2.36	2.05	1.24	0.91	0.69
2020	-1.34	-1.52	-1.61	-1.67	-1.24	-0.69	-0.66	1.91	1.17	2.77	2.91	3.06
2021	2.66	2.46	2.40	2.52	2.53	4.24	3.98	2.82	2.80	2.81	2.65	2.36
2022	1.82	1.41	1.18	1.15	0.71	-1.22	-1.44	-1.80	-1.56	-2.16	-2.34	-2.55
2023	-2.51	-2.66	-2.30	-2.48	-2.99	-3.78	-3.64	-2.94	-3.69	-4.28	-4.37	-4.40
2024	-4.54	-4.42	-4.33	-4.27	-4.39	-4.59	-5.14	-5.02	-4.94	-4.85	-5.07	-4.64
2025	-4.73	-4.62	-4.73	-4.81	-4.39	-4.00	-3.06	-2.00	-2.55	-1.76	-1.58	-1.49
2026	-1.64	-1.73	-1.73	-1.85	-2.33	-2.18	-0.62	-0.64	1.40	1.11	1.22	1.43
2027	3.34	3.61	3.95	4.09	4.32	2.80	2.72	2.30	1.38	1.31	1.42	1.10
2028	0.62	-1.31	-1.39	-1.35	-1.68	-1.51	-0.95	-1.30	-0.74	-0.92	-0.95	-1.07
2029	-1.15	-1.35	-1.41	-1.26	-1.73	-1.38	-2.59	-4.03	-4.07	-4.05	-4.50	-4.88
2030	-4.95	-4.93	-4.97	-5.02	-4.04	-4.23	-4.78	-4.11	-4.04	-4.40	-4.35	-3.94
2031	-4.06	-4.12	-4.08	-3.93	-4.01	-3.48	-4.51	-4.04	-3.21	-2.67	-2.56	-2.52
2032	-2.61	-2.67	-2.10	-1.26	-1.28	1.65	0.74	-1.41	-2.61	-2.69	-3.15	-3.34
2033	-3.51	-3.57	-3.68	-3.80	-4.34	-4.75	-4.78	-3.66	-2.13	-1.57	-1.01	-0.80
2034	-0.92	-0.97	-0.85	-0.87	-1.32	-0.83	-0.86	-1.14	-2.09	-2.68	-2.89	-2.74
2035	-2.95	-3.16	-3.33	-3.48	-2.09	-1.40	-0.76	-1.96	-2.46	-2.68	-2.91	-3.00
2036	-3.10	-3.19	-2.95	-2.73	-1.29	2.07	1.97	2.79	3.34	3.27	3.24	3.07
2037	3.21	3.46	3.55	3.44	3.13	2.98	3.68	3.42	4.01	3.73	5.00	4.94
2038	4.74	4.47	4.37	4.27	4.40	4.06	4.53	4.43	6.74	7.02	7.05	6.59
2039	6.65	6.11	6.47	6.24	6.00	7.09	6.35	6.39	7.18	6.88	6.48	6.00
2040	5.40	4.77	4.60	4.44	3.45	2.10	1.31	2.65	1.40	1.14	0.88	0.60
2041	0.63	-1.22	-1.29	-1.40	1.35	1.00	-0.96	0.82	-0.54	1.50	1.67	1.64
2042	1.28	1.03	0.88	0.71	-0.47	1.61	2.05	1.46	1.15	0.69	0.59	-0.80
2043	-1.04	-1.04	-1.09	-1.03	-1.55	1.02	2.94	3.70	3.69	3.02	2.86	2.62
2044	2.14	1.77	1.58	1.45	1.55	1.18	-1.79	-3.37	-2.16	-2.32	-2.37	-2.29
2045	-1.47	4.09	4.75	5.25	4.53	3.38	4.28	4.15	4.09	3.39	3.21	2.92

3.5 Discusión general

La sequía es un fenómeno que puede considerarse un componente climático o parte de la variabilidad climática natural. A pesar de esto, en México, no se tiene un plan de respuestas estructurado a este tipo de condiciones ya que por su naturaleza no es fácilmente perceptible hasta después de cierto tiempo a través de los estragos que ha ocasionado, a diferencia de otros fenómenos hidrometeorológicos. Así mismo, es un fenómeno que no puede ser medido directamente, es una estimación hecha a partir de variables meteorológicas directamente relacionadas; por lo que existe una gran cantidad de metodologías para dicha estimación. El ISSP es una metodología que involucra más de una variable y hace un análisis de balance de humedad en el suelo mes a mes, lo que le da la perspectiva de dimensión espacial y temporal.

Las estimaciones de sequía se hacen con datos observados, con lo que se puede analizar su comportamiento histórico. En esta investigación se propuso hacer uso de un escenario de cambio climático para hacer una estimación a futuro y con ello dar una idea de lo que puede ocurrir con este fenómeno bajo el supuesto de cambio climático. Sin embargo, este trabajo no pretende cuestionar las corrientes de cambio climático, sino ser usuario de la información generada bajo este contexto para el análisis del fenómeno de sequía.

Los resultados de la investigación tienen una escala de tiempo mensual debido a la naturaleza de la metodología por lo que fue necesario hacer uso de algunas herramientas para una mejor representación y análisis.

Como herramientas para el análisis se presentan tablas de frecuencia, gráficos de series de tiempo y con el apoyo de mapas, el análisis espacial.

En el cuadro 3.6 se ha hecho un resumen de manera general del porcentaje de meses por cada una de las categorías del ISSP, tanto para el periodo histórico como para el generado a partir de escenario de cambio climático. En las figuras 3.4 y 3.5 se puede apreciar esta información de una forma más visual.

Cuadro 3.6 Porcentaje de meses por categoría de ISSP, para periodo histórico y de cambio climático

	Histórico			Escenario de cambio climático		
	Frecuencia	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado	Frecuencia	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Extremadamente húmedo	3675	9.15	9.15	3853	9.6	9.6
Muy húmedo	2787	6.94	16.09	2801	6.98	16.6
Moderadamente húmedo	4442	11.06	27.16	4254	10.59	27.2
Ligeramente húmedo	5830	14.52	41.68	5489	13.67	40.8
Humedad incipiente	2354	5.86	47.54	2267	5.65	46.5
Normal o cercano a lo normal	568	1.41	48.95	558	1.39	47.9
Sequía incipiente	2471	6.15	55.11	2516	6.27	54.1
Sequía ligera	6729	16.76	71.87	6872	17.11	71.3
Sequía moderada	5446	13.56	85.43	5701	14.2	85.5
Sequía severa	3355	8.36	93.79	3495	8.7	94.2
Sequía extrema	2495	6.21	100	2346	5.84	100
Total	40152	100		40152	100	

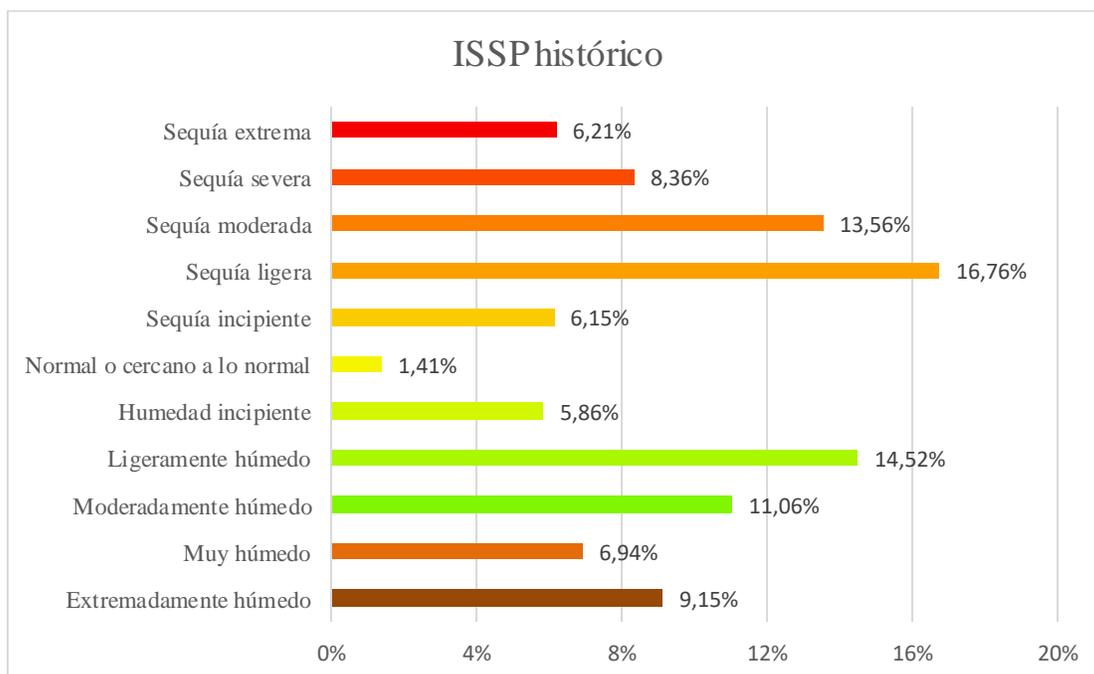


Figura 3.4 Porcentaje de meses por categoría de ISSP, periodo histórico

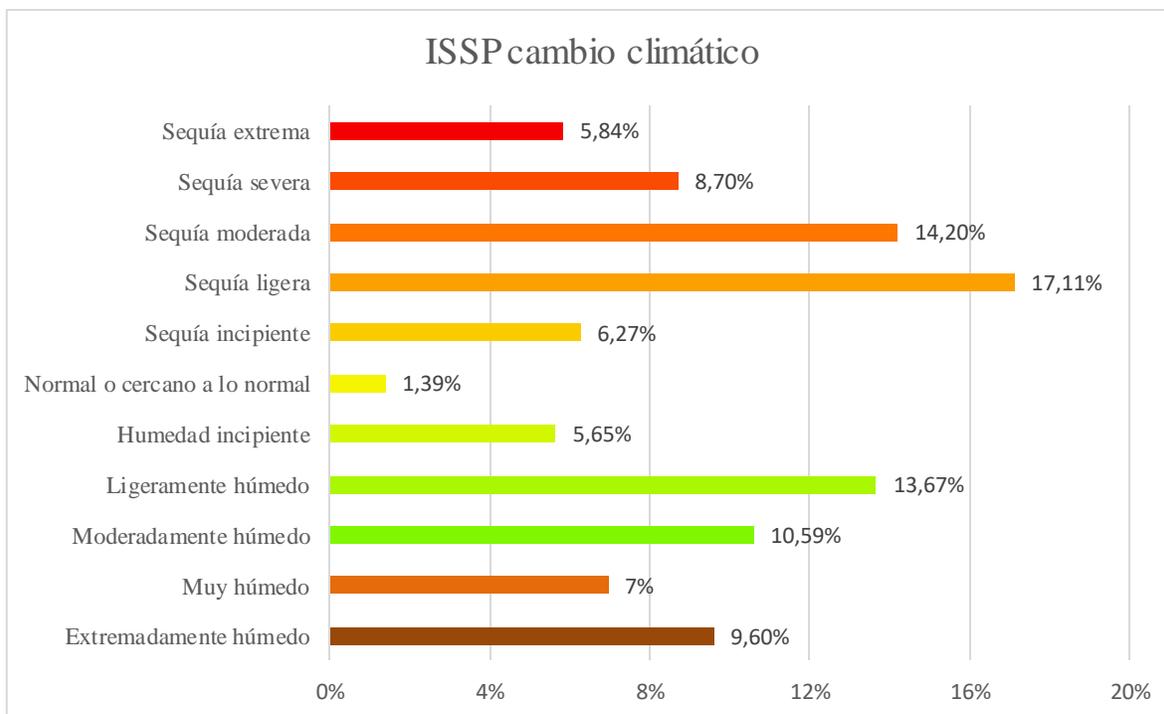


Figura 3.5 Porcentaje de meses por categoría de ISSP, periodo cambio climático

Para el total de meses analizados se restó el valor de ISSP de cambio climático al del periodo histórico para identificar los cambios entre los dos periodos. Posteriormente se contabilizó los meses con cambios positivos a sequía, resultando que el 45.4% de los meses analizados aumentó en cuanto a condiciones de sequía, es decir, disminuyó el valor del índice de sequía.

A continuación se muestra este resultado por categoría del ISSP, en la Figura 3.8 se muestra que las categorías de sequía severa, sequía moderada, sequía ligera y sequía incipiente, aumenta su frecuencia, al pasar del análisis histórico a cambio climático, y solamente la categoría de sequía extrema disminuye. Por otro lado, las categorías de humedad incipiente, ligeramente húmedo, y moderadamente húmedo, disminuye su frecuencia, al pasar del análisis histórico a cambio climático, y solamente las categorías muy húmedo y extremadamente húmedo presentan aumento en su frecuencia. De acuerdo a este análisis se espera un aumento en las condiciones de sequía ante el escenario de cambio climático.

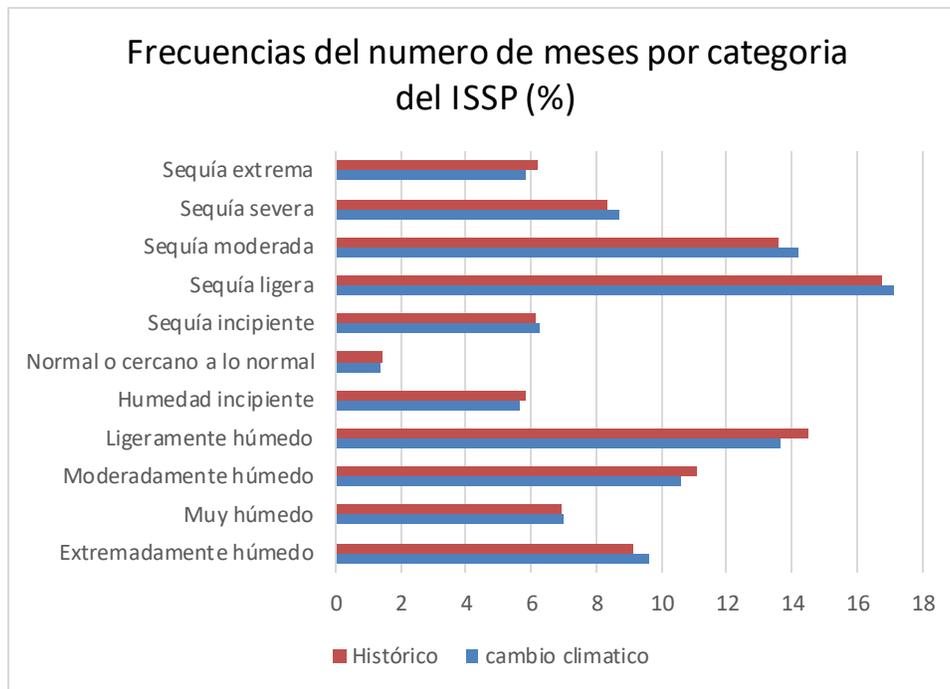


Figura 3.6 Comparación de frecuencias del número de meses por categoría del ISSP (%)

Para entender el comportamiento del ISSP en el tiempo se hizo un análisis por año, en el Cuadro 3.7 se presentan el número de meses afectados por alguna de las categorías de sequía, de acuerdo con la escala propuesta por la metodología del ISSP (ver cuadro 1.4), es decir, se sumaron los meses que presentaron valores del ISSP menores a -0.5. Se consideran todas las estaciones y se presentan agrupados por año. En la Figura 3.7 se presentan el número de meses afectados por sequía con datos históricos y ante el escenario de cambio climático. Al hacer una resta del número de meses afectados por sequía ante el escenario de cambio climático menos el número de meses afectados por sequía con datos históricos (cc-histórico), un valor negativo indica que se tendrán menos meses afectados por sequía ante el escenario de cambio climático. Y un valor positivo indica que se presentaran más meses afectados por sequía. En la figura 3.8 se muestran estas diferencias, y se puede apreciar que en general son valores positivos, lo que indica que se estima un aumento en el número de meses afectados por sequía ante el escenario de cambio climático, lo cual coincide con el análisis resultante en el apartado anterior. Solamente los años 1980, 1989, 1991, 1999, 2000, 2006, 2009 y 2010, y sus respectivos años para el escenario de cambio climático presentan valores negativos.

Cuadro 3.7. Número de meses afectados por sequía

Histórico			Escenario de cambio climático		
año	Meses afectados por sequía	% respecto al total	año	Meses afectados por sequía	% respecto al total
1980	752	3.7	2015	716	3.4
1981	484	2.4	2016	539	2.6
1982	949	4.6	2017	1005	4.8
1983	795	3.9	2018	865	4.1
1984	473	2.3	2019	505	2.4
1985	513	2.5	2020	529	2.5
1986	430	2.1	2021	463	2.2
1987	636	3.1	2022	700	3.3
1988	1092	5.3	2023	1108	5.3
1989	1200	5.9	2024	1180	5.6
1990	805	3.9	2025	813	3.9
1991	445	2.2	2026	432	2.1
1992	52	0.3	2027	52	0.2
1993	360	1.8	2028	420	2.0
1994	794	3.9	2029	808	3.9
1995	975	4.8	2030	983	4.7
1996	1009	4.9	2031	1010	4.8
1997	828	4.0	2032	851	4.1
1998	1077	5.3	2033	1085	5.2
1999	819	4.0	2034	783	3.7
2000	1190	5.8	2035	1177	5.6
2001	1032	5.0	2036	1058	5.1
2002	543	2.7	2037	585	2.8
2003	239	1.2	2038	259	1.2
2004	50	0.2	2039	52	0.2
2005	531	2.6	2040	536	2.6
2006	870	4.2	2041	858	4.1
2007	175	0.9	2042	205	1.0
2008	351	1.7	2043	370	1.8
2009	784	3.8	2044	728	3.5
2010	227	1.1	2045	226	1.1

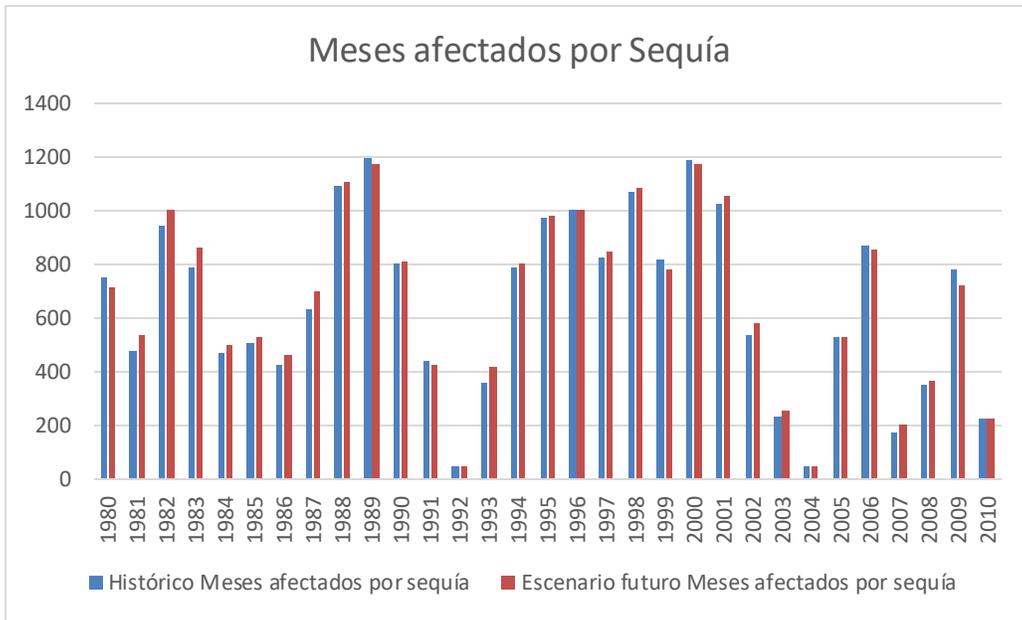


Figura 3.7 Numero de meses afectados por sequía por año

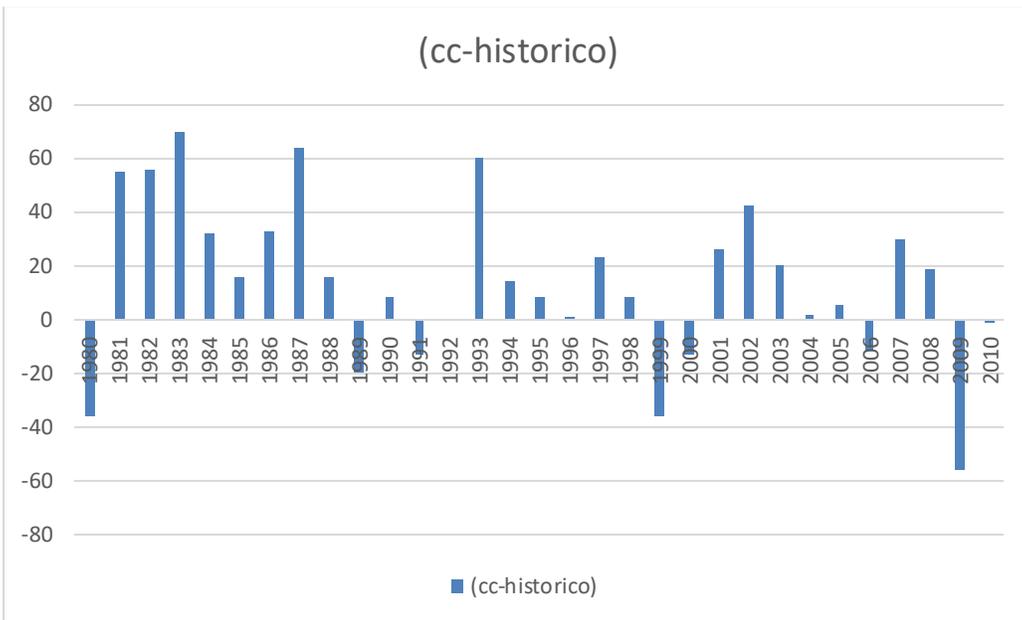


Figura 3.8 Diferencia de meses afectados por sequía

Con el propósito de evaluar el comportamiento temporal continuo del ISSP se seleccionaron las estaciones con promedio más bajo y más alto de ISSP, resultando la estación 11015 y la 11044 respectivamente. A partir de esta información se generaron graficas en donde se puede apreciar el comportamiento del ISSP en el tiempo.

En la estación 11015 (figura 3.9) se observan 12 periodos secos, considerándose de sequía cuando las barras rebasan la línea de -0.5 hacia valores negativos. El periodo más grande de sequía que puede identificarse es del año 1997 a 2002. En la figura 3.10 se ve este mismo comportamiento para la estación 11015 para el escenario de cambio climático.

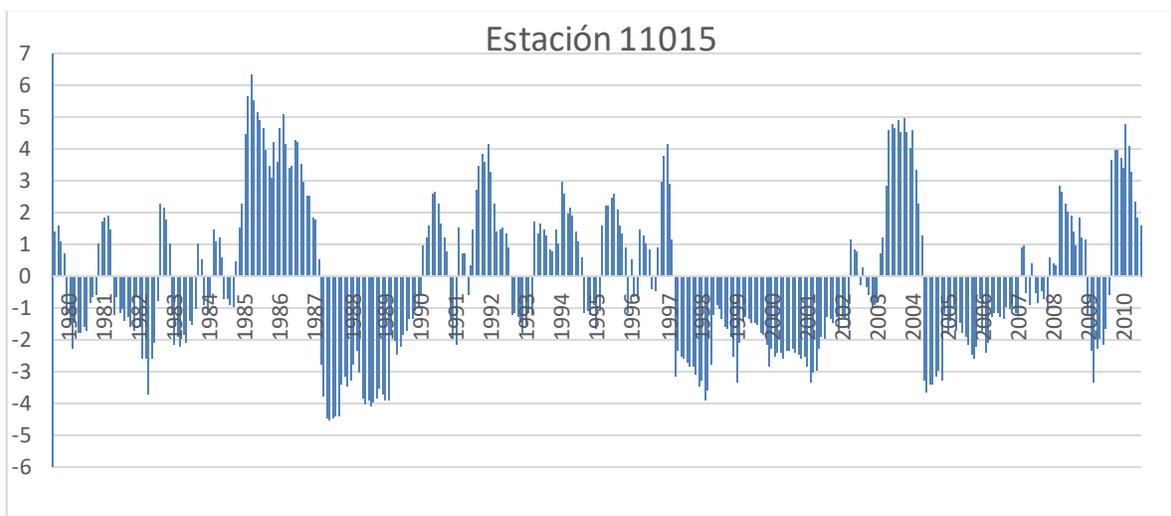


Figura 3.9 Valores mensuales de ISSP. Estación Charcas (11015), periodo histórico

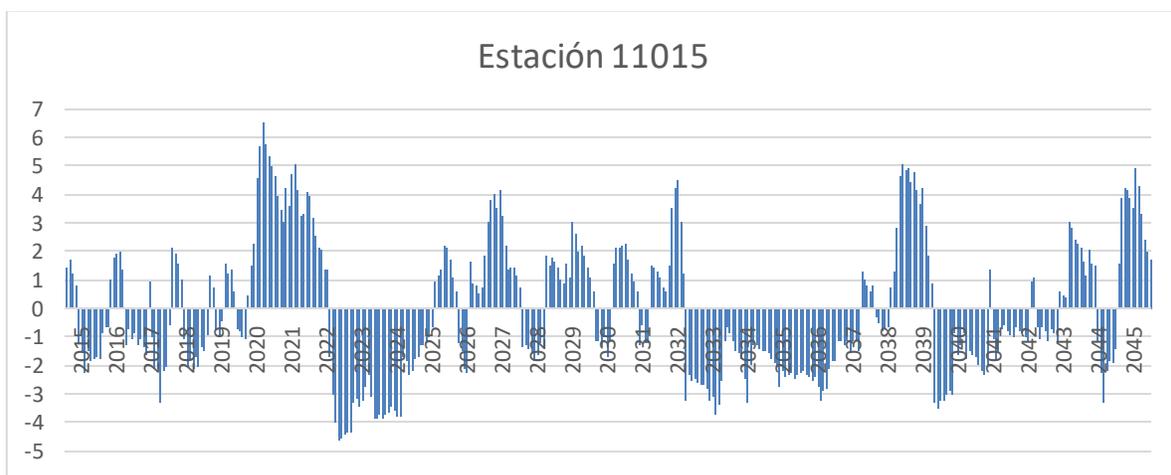


Figura 3.10 Valores mensuales de ISSP. Estación Charcas (11015), periodo cambio climático

En la estación 11044, a pesar de ser la estación con mayor valor promedio de ISSP se identificaron 9 periodos secos, siendo el más marcado el periodo 1997-2002.

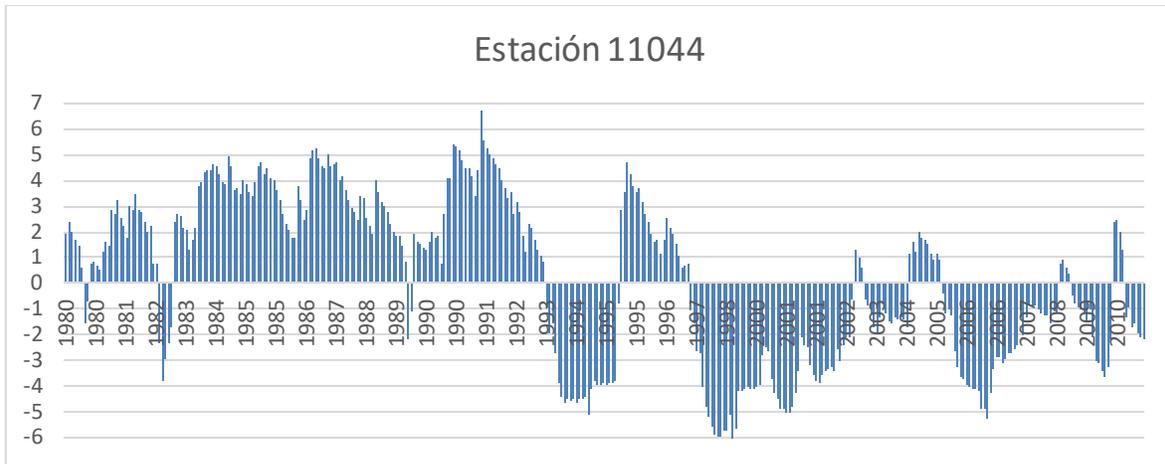


Figura 3.11 Valores mensuales de ISSP. Estación Mandujano (11044), periodo histórico

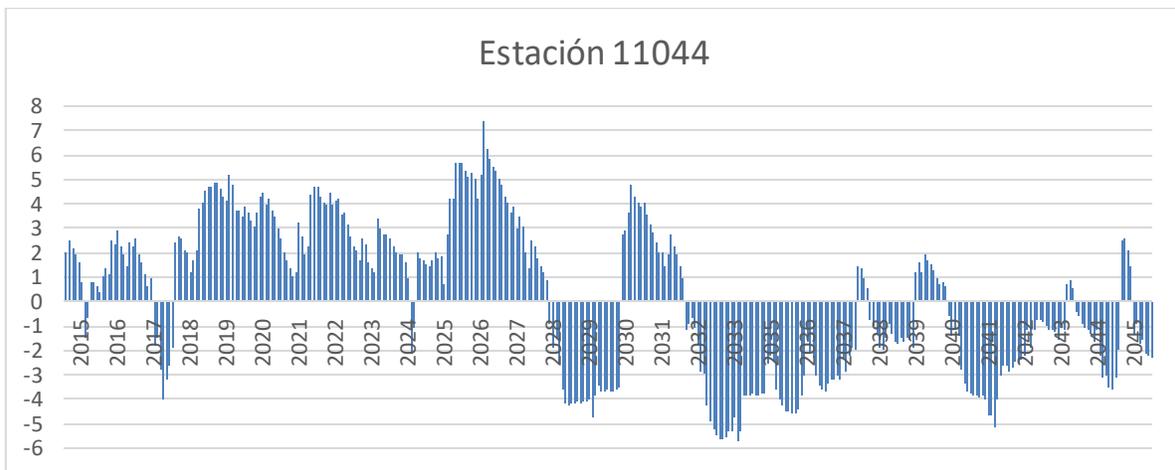


Figura 3.12 Valores mensuales de ISSP. Estación Mandujano (11044), periodo cambio climático

Con base a este análisis se identificó un periodo fuerte de sequía para los años 2032-2037, sin embargo esto es para una solo para dos estaciones por lo que fue necesario corroborar esta condición en la base de datos para todas las estaciones, corroborándose para todas este periodo de sequía.

También se observa que el ISSP en el periodo histórico muestra el mismo comportamiento que para el periodo histórico, esto se debe a que se tomó como base las temperaturas y

precipitaciones observadas y sobre esto se construyó la nueva tabla para el cálculo de ISSP de cambio climático.

Por su parte, para el análisis del comportamiento espacial del índice de sequía, se representó por medio de mapas. Cabe mencionar que uno de los objetivos iniciales de la presente investigación era realizar toda la contrastación del ISSP (histórico y escenario futuro) mediante comparación cartográfica, sin embargo debido a la complejidad de la elaboración de mapas a partir de información puntual por medio de métodos de interpolación, se estableció hacer la comparación de todo el periodo de tiempo a través de los datos organizados en tablas y gráficos; y finalmente hacer el análisis espacial de acuerdo a mapas correspondientes a los extremos, es decir, el año más seco y el más húmedo, del periodo de tiempo analizado. Para identificar estos, se hicieron promedios del ISSP por año incluyendo todas las estaciones disponibles.

Resultado de esto, se obtuvieron mapas por mes del año más seco y más húmedo, siendo estos el año 2000 y 2004 respectivamente para el periodo histórico y los años 2035 y 2039 para el periodo futuro. Para el análisis se compararon mes a mes el año más seco del periodo histórico con el año más seco del periodo proyectado a futuro, es decir, 2000 con 2035 y 2004 con 2039. Los mapas pueden verse en el Anexo 1

De acuerdo con los resultados de la presente investigación, para el mes de enero se presentan condiciones de sequía para la mayor parte del territorio guanajuatense, siendo la categoría con mayor superficie la de sequía moderada, seguida por sequía severa y sequía extrema, en la parte noroeste del estado y presentándose algunas condiciones de normalidad y de sequía incipiente en la porción noreste. En el resto del territorio predominan las condiciones de sequía ligera.

En el mes de febrero se muestra la misma distribución espacial que en enero, siendo la categoría con mayor superficie la de sequía moderada. Para el año 2035 se observa una disminución en cuanto a distribución de la categoría de sequía severa con respecto al año 2000, sin embargo la sequía moderada aumento en superficie.

Para el mes de marzo se observan condiciones de sequía extrema en la región noroeste de estado, la mayoría del territorio se encuentra en condiciones de sequía severa distribuido en

la parte centro-norte de Guanajuato. En contraste, en el año 2035 se identifica un cambio en cuanto a disminución en el territorio de la categoría de sequía severa y un aumento de sequía moderada. En el mes de abril se observa este mismo comportamiento, a diferencia de que la sequía extrema se mantiene igual para la proyección del año 2035.

En los meses febrero marzo y abril se observó un cambio en las categorías del índice de sequía, ya que para el año 2000 la superficie se encontró con categorías de sequía desde extrema hasta incipiente y cercano a lo normal, por el contrario en el año 2035 los resultados arrojan que las categorías del índice irán desde sequía extrema, pasando por condiciones de normalidad, hasta la categoría moderadamente húmedo.

Para los meses mayo y junio predominan las categorías de sequía severa, moderada y ligera, manteniéndose el patrón de distribución espacial y la superficie estatal afectada para el escenario futuro con respecto al histórico. Mientras que para el mes de julio en el año 2000 se observó la mitad del territorio afectado por sequía severa y el resto por sequía moderada, y la proyección a futuro para el año 2035 indica que disminuirán estas dos categorías y aumentará la sequía ligera.

En julio predominan en el territorio las categorías sequía severa y moderada para el año 2000, en contraste con el año 2035 se puede observar que disminuyen estas dos para dar lugar a la sequía ligera.

Para agosto se observan condiciones de sequía severa, siendo la mayor afectación en superficie la sequía moderada, manteniéndose esta condición en el escenario futuro. Mientras que para los meses de septiembre y octubre la condición observada para el territorio guanajuatense es la sequía severa, contando con modificaciones para el año 2035, sin embargo se mantiene el patrón de distribución espacial.

Los meses noviembre y diciembre del año 2000 presentan sequía severa en la mayor parte del territorio de Guanajuato, así como condiciones de sequía extrema en 15% de la superficie, lo cual significa mayor superficie de afectación por esta condición con respecto a meses anteriores.

Analizando los mapas del año extremo con condiciones de humedad, es decir 2004 (del periodo histórico) y 2039 (del escenario futuro) se puede observar que las categorías más húmedas del ISSP se encuentran en la parte sur-suroeste de Guanajuato y las condiciones de sequía en estos años se ubican en la región noreste del mismo. Las categorías predominantes en estos años son extremadamente húmedo, muy húmedo y moderadamente húmedo. Se observa que para todos los meses se mantiene esta distribución geográfica no encontrándose diferencia entre el año correspondiente al periodo histórico con el correspondiente al de escenario futuro.

De acuerdo con el análisis anterior, la distribución geográfica de la sequía en Guanajuato no mostró una diferencia marcada entre el periodo histórico y el de escenario climático. Las condiciones más severas de sequía se presentan en el noroeste del Estado mientras que las de humedad se presentan en el sur y suroeste del mismo.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos y el análisis de los mismos en el contexto de los objetivos formulados, se plantean las siguientes conclusiones:

El 45.4% de los meses analizados aumentó en cuanto a condiciones de sequía, es decir, disminuyó el valor del índice de sequía

Las categorías de sequía severa, sequía moderada, sequía ligera y sequía incipiente, aumentan su frecuencia, al pasar del análisis histórico a cambio climático, y solamente la categoría de sequía extrema disminuye. Por otro lado, las categorías de humedad incipiente, ligeramente húmedo, y moderadamente húmedo, disminuye su frecuencia, al pasar del análisis histórico a cambio climático, y solamente las categorías muy húmedo y extremadamente húmedo presentan aumento en su frecuencia.

Se estima un aumento generalizado en el número de meses afectados por alguna condición de sequía para el periodo 2015-2045, sin embargo los años 2015, 2024, 2026, 2034, 2035, 2041, 2044 y 2045 presentan cambios hacia mayores condiciones de humedad.

Se prevé un periodo fuerte de sequía para los años 2032-2037

De manera general, las categorías más húmedas del ISSP se encuentran en la parte sur-suroeste de Guanajuato y las condiciones de sequía se ubican en la región noreste del mismo

La distribución geográfica de la sequía en Guanajuato no mostró una diferencia marcada entre el periodo histórico y el de escenario climático

Finalmente, se concluye que el Índice de Severidad de Sequía de Palmer si se ve modificado ante un escenario de cambio climático, sin embargo estos cambios en la mayoría de los casos no son grandes o significativos.

BIBLIOGRAFÍA

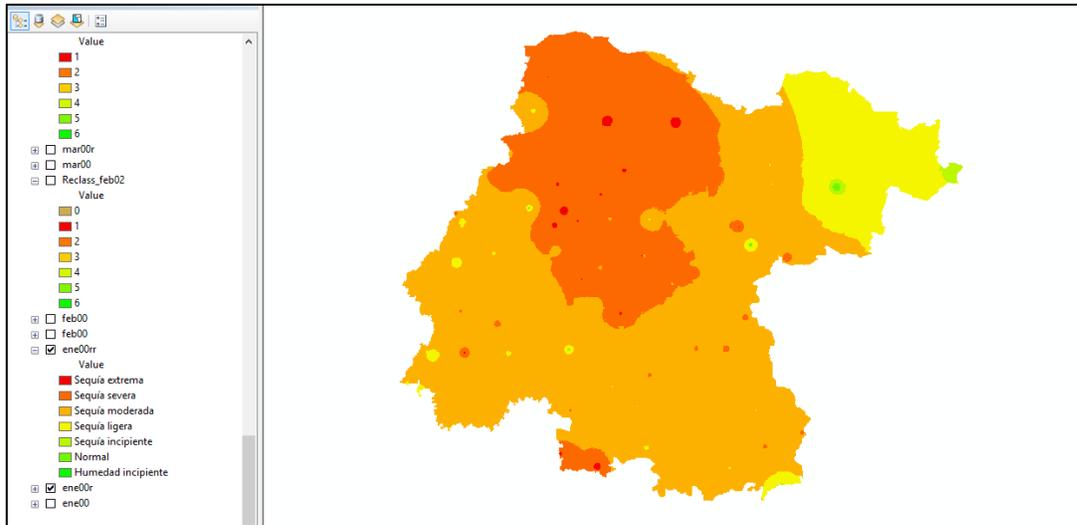
- ❖ Álvarez, P. S. 2002. Evaluación de tres métodos para caracterizar la sequía en cuatro localidades del Estado de Jalisco. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados
- ❖ Ayllon, T. 1996. Elementos de meteorología y climatología. Ed. Trillas. México D.F.
- ❖ Buzai, G. D. y Baxendale C. (2011) Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica: perspectiva científica, temáticas de base raster. 1ª ed. Buenos Aires : Lugar Editorial.
- ❖ CENAPRED 2015. Fenómenos hidrometeorológicos. Sequía. Recuperado el 17 de mayo de 2015 de
 - <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/index.php/riesgos-hidrometeorologicos/sequias>
- ❖ Centro de ciencias de la atmósfera, UNAM. Guía para la generación de Escenarios de Cambio Climático a Escala Regional.
- ❖ Crespo. P. G. 2015. Programa SP 4.0 Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo. México. Recuperado el 17 de mayo de 2015 de <http://www.cm.colpos.mx/meteoro/progde/palm/index.htm>
- ❖ Contexto Geográfico De La Entidad Federativa. (2015). Recuperado de <http://www.ine.mx/documentos/DEOE/MemoriasProcesos/memorias2006/11/00/cap01.pdf>
- ❖ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio climático. (1992) Artículo 1. FCCC/INFORMAL/84 GE.05-62301 (S)
- ❖ Duarte C. M. (coord.) 2009. Cambio global, Impacto de la actividad humana sobre el sistema tierra. Madrid: CSIC y CATARATA.
- ❖ FAO-World Soil Information (2006). Base referencial mundial del recurso suelo.
- ❖ Florescano, E. Breve historia de la sequía en México. CONACULTA 2000
- ❖ García, E. 1986. Apuntes de climatología. Offset Larios, 5ta edición. México D.F.
- ❖ Geografía local del estado de Guanajuato (2010). Recuperado de <https://archive.org/details/geografalocalde00gonzgoog>
- ❖ Hounam C.E, 1975. Drought and agriculture. World Meteorological organization. Geneva Switzerland
- ❖ INEGI. Guía para la interpretación de cartografía edafológica <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf>
- ❖ INEGI, Conjunto de Datos Edafológicos.
- ❖ INEGI, Continuo de Elevación Mexicana.
- ❖ INEGI, Conjunto de Datos Climáticos.
- ❖ INEGI, Conjunto de Datos Uso de Suelo y Vegetación.
- ❖ Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. 2008. Hacia una estrategia Estatal de Cambio Climático en Guanajuato. Guanajuato. México
Recuperado de

<http://coclima.guanajuato.gob.mx/archivos/file/Cambio%20Climatico.pdf> el 15 de Enero de 2016

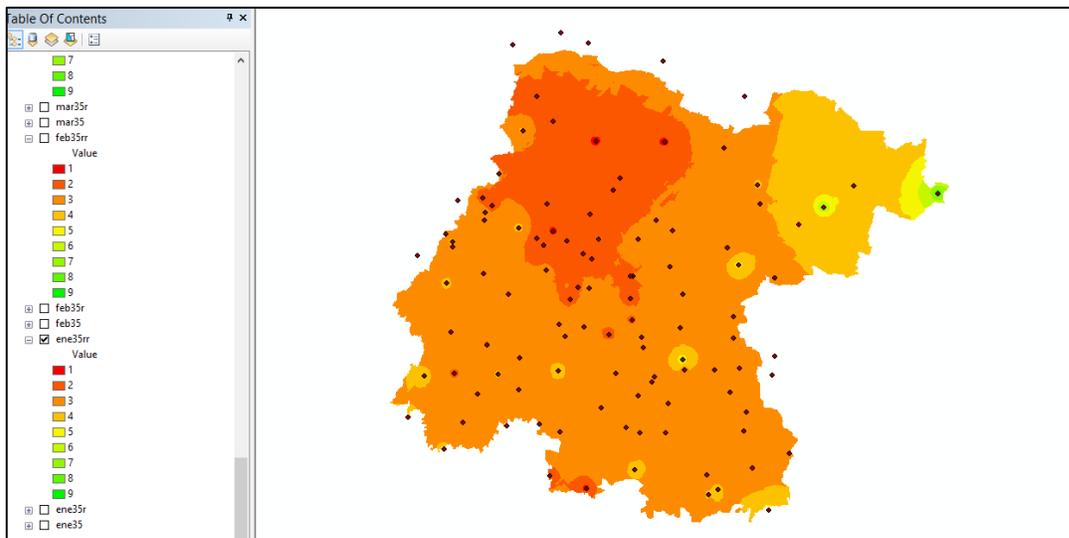
- ❖ Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)
<http://iecc.inecc.gob.mx/escenarios-introduccion.php>
- ❖ Israelsen, O. W. y Hansen, V. E. 1975. Principios y aplicaciones del riego. 2ª edición. Editorial reverté. Barcelona-Bogotá-Buenos Aires-Caracas-México
- ❖ Jáuregui, O. E. 1979. Algunos aspectos de las fluctuaciones pluviométricas en México, en los últimos cien años. Boletín de Geografía. Instituto de geografía de la UNAM. México.
- ❖ Marcos, V. O. 2001. Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. Investigaciones geográficas, n° 26 pp.59-80. Universidad de Alicante, Instituto Universitario de Geografía.
- ❖ Medina, G. 1998. Los climas de México, una estratificación ambiental basada en el componente climático. INIFAP. Jalisco, México
- ❖ Miller, A. 1975. Climatología. Ediciones Omega, Barcelona
- ❖ Moreno J. A. (coord.) (2006) Sistemas y análisis de la información geográfica: Manual de autoaprendizaje con ArcGis. Parte X. Análisis geo estadístico. Cañada. T. M. R. España : RA-MA Editorial.
- ❖ Ortega-Gaucin, D. 2012. Sequía en Nuevo León: vulnerabilidad, impactos y estrategias de mitigación. Instituto del agua del estado de nuevo león. N.L. México
- ❖ Palmer, W. C. 1965, Meteorological drought. Research Paper 45. U.S. Weather Bureau, Washington. D.C.
- ❖ Rivera, R. R. 2005. Comportamiento espacio temporal de la sequía en el Estado de Durango, México. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados
- ❖ Rossi, G., Vega T. and Bonaccorso, B. 2010 Methods and tools for drought analysis and management. Publishing by springer, Netherlands
- ❖ Saura, E. J. 2003. El cumplimiento del protocolo de Kioto sobre Cambio climático.- (Tribuna internacional;5). Publicaciones de la Universidad de Barcelona.
- ❖ SEMARNAT. Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. México. 2009. Recuperado de http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio_climatico_09-web.pdf el 27 de marzo de 2016
- ❖ Secretaría del trabajo y previsión social. (2016) Guanajuato, información laboral. Recuperado de <http://www.stps.gob.mx/gobmx/estadisticas/pdf/perfiles/perfil%20guanajuato.pdf>
- ❖ Wilhite, D. A. and M. H. Glantz. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International

ANEXOS

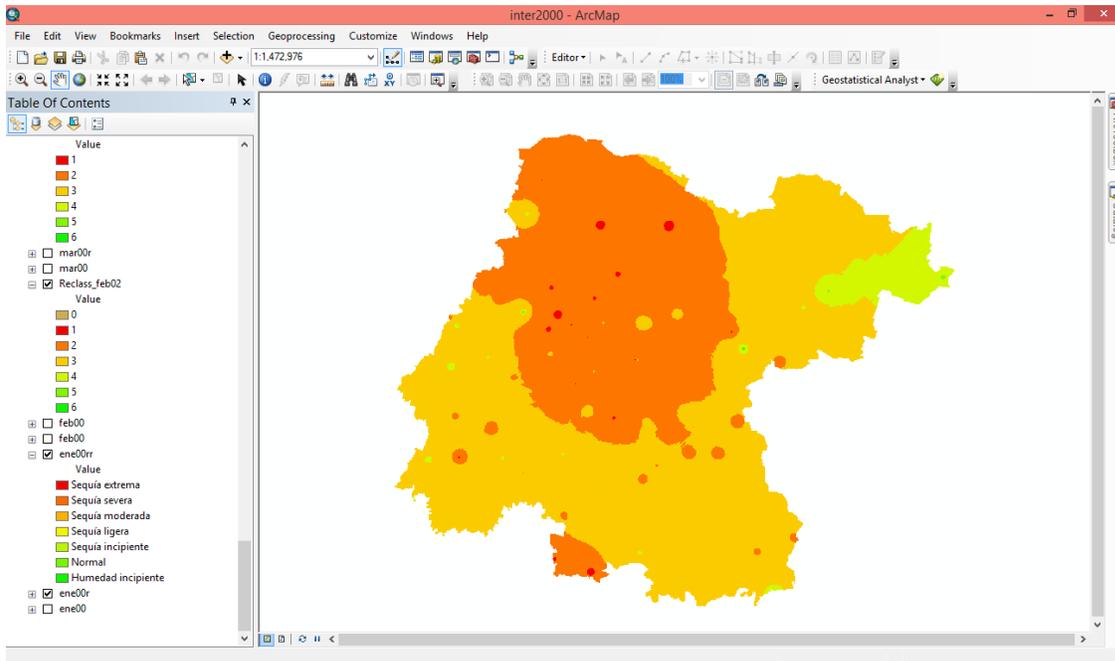
Enero 2000



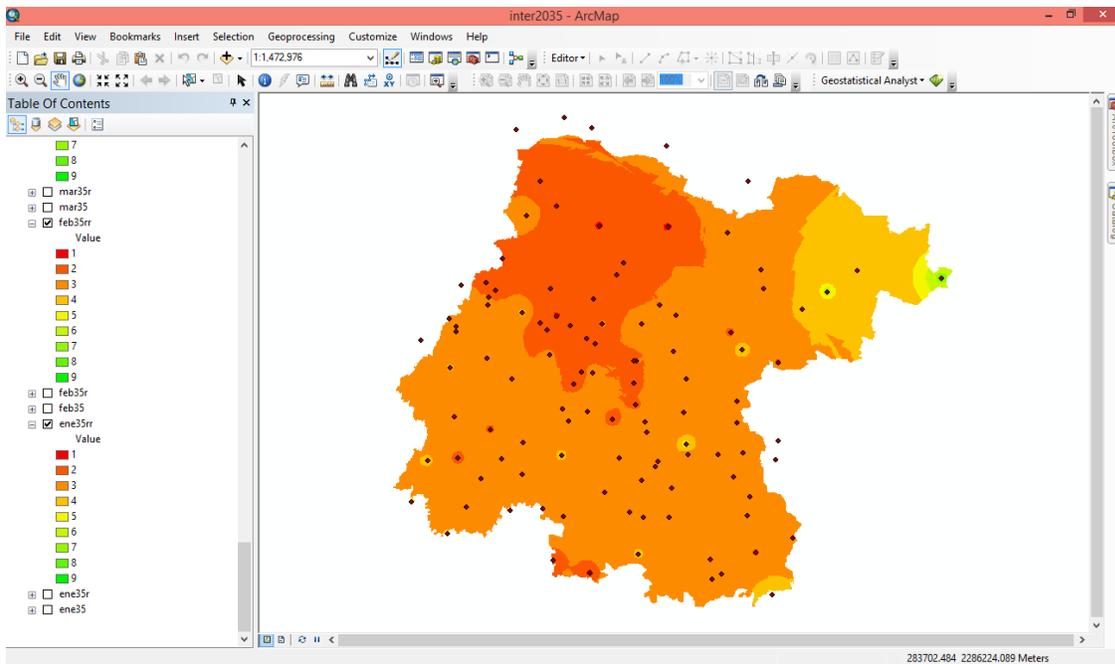
Enero 2035



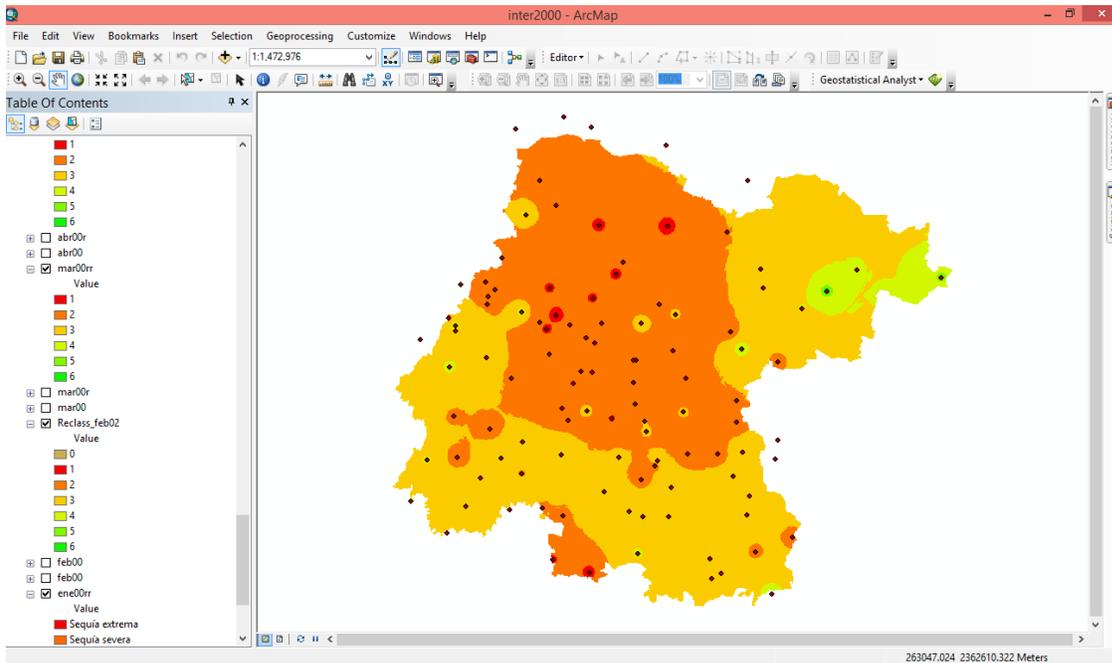
Febrero, 2000



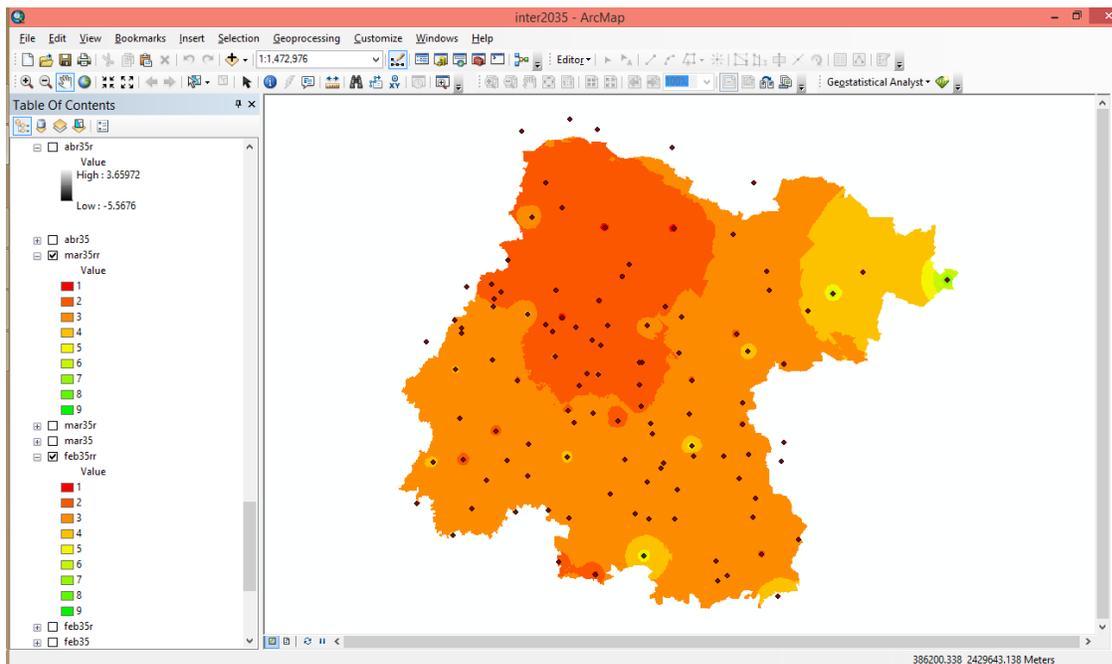
Febrero, 2035



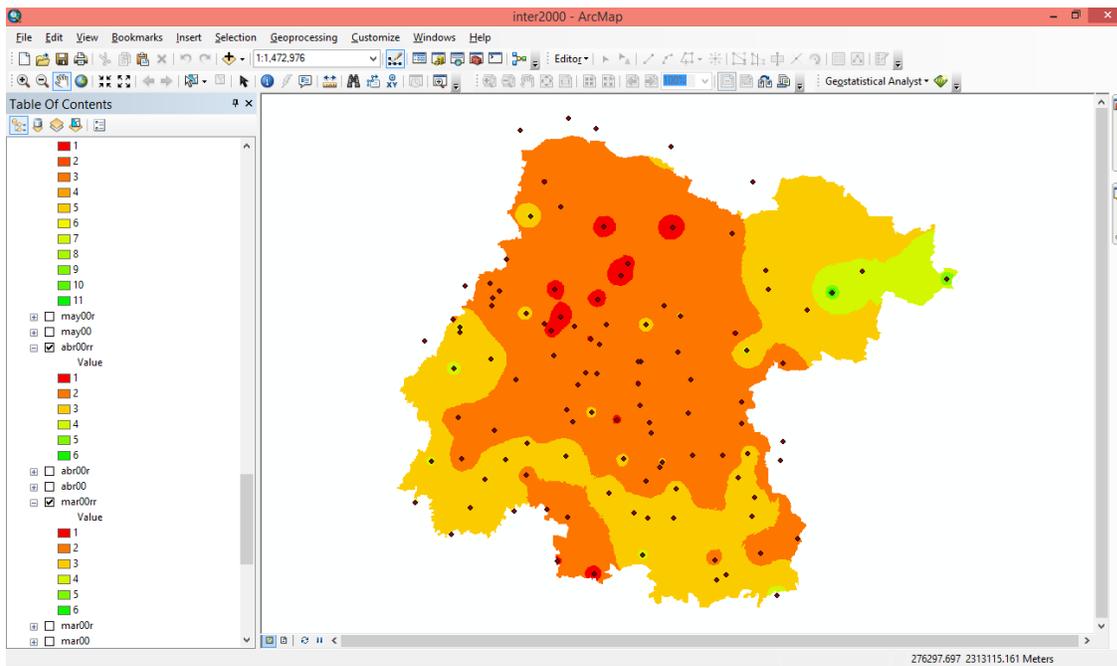
Marzo 2000



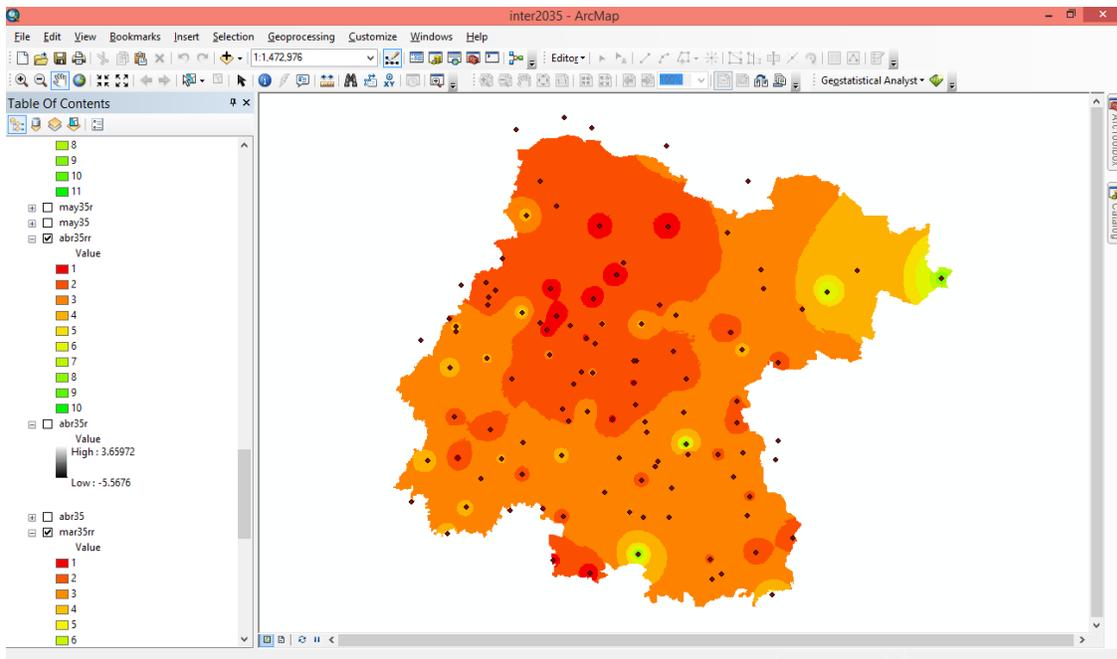
Marzo 2035



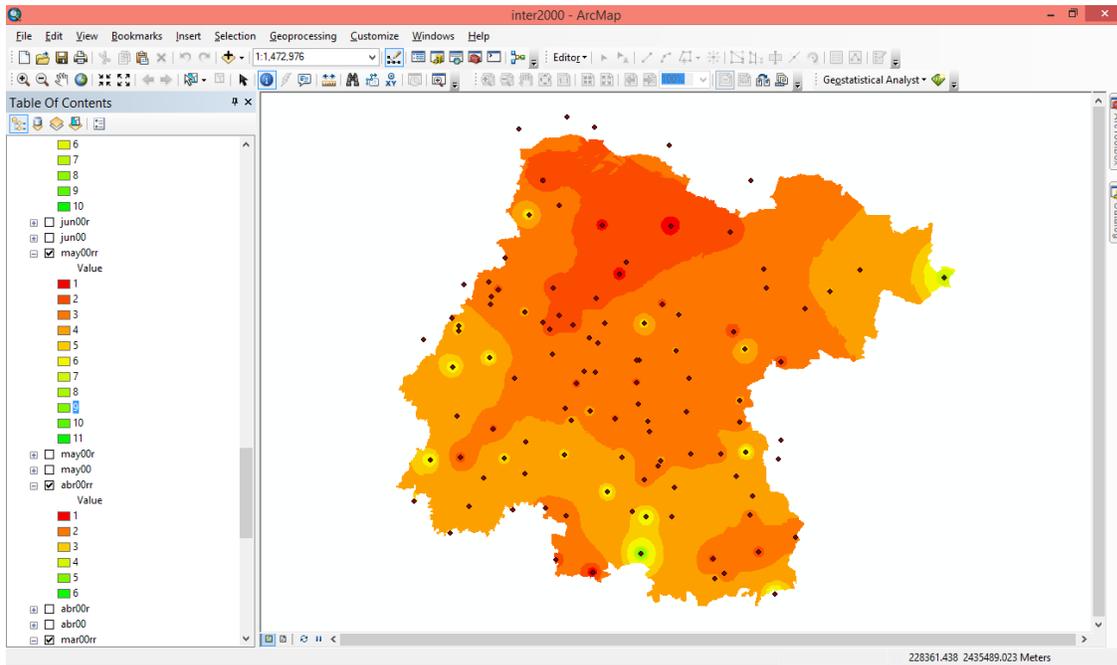
Abril 2000



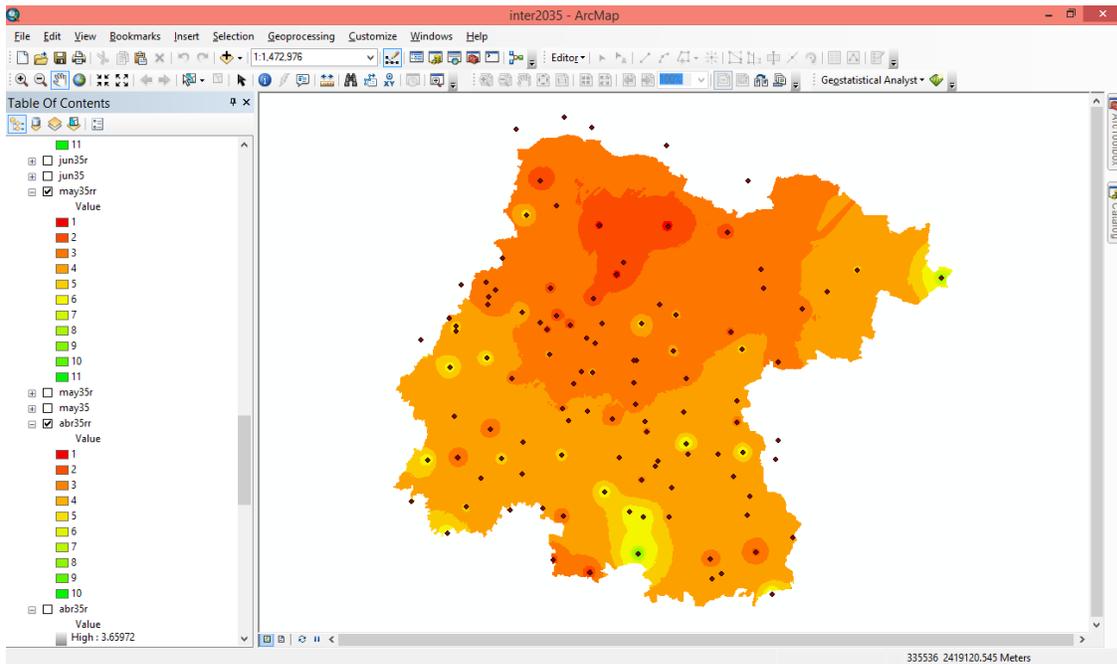
Abril 2035



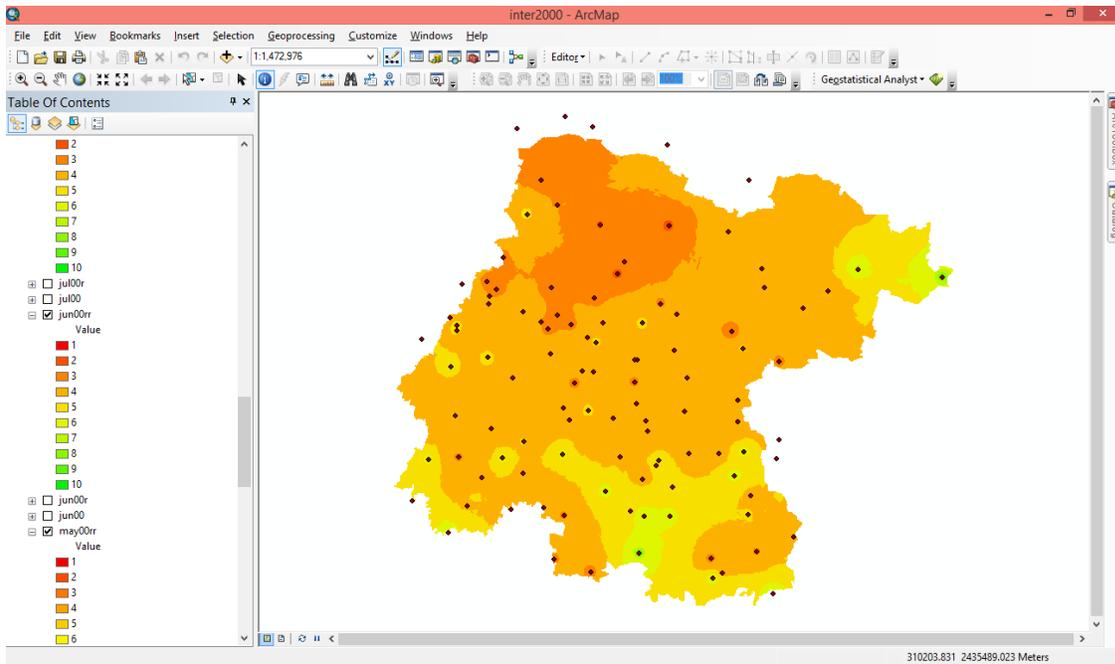
Mayo 2000



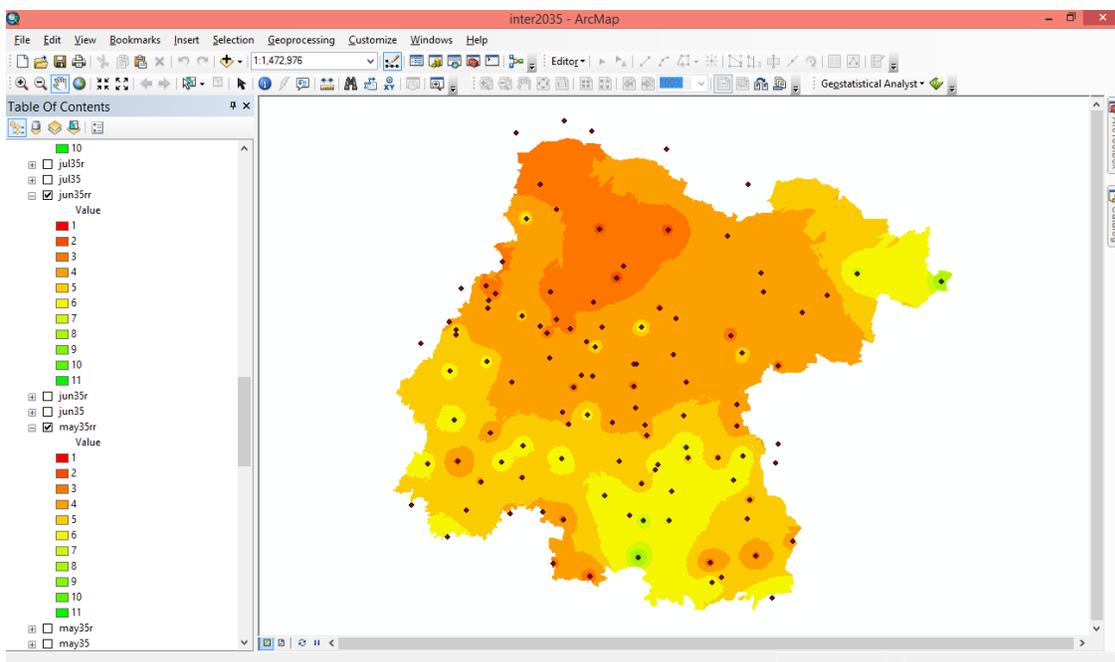
Mayo 2035



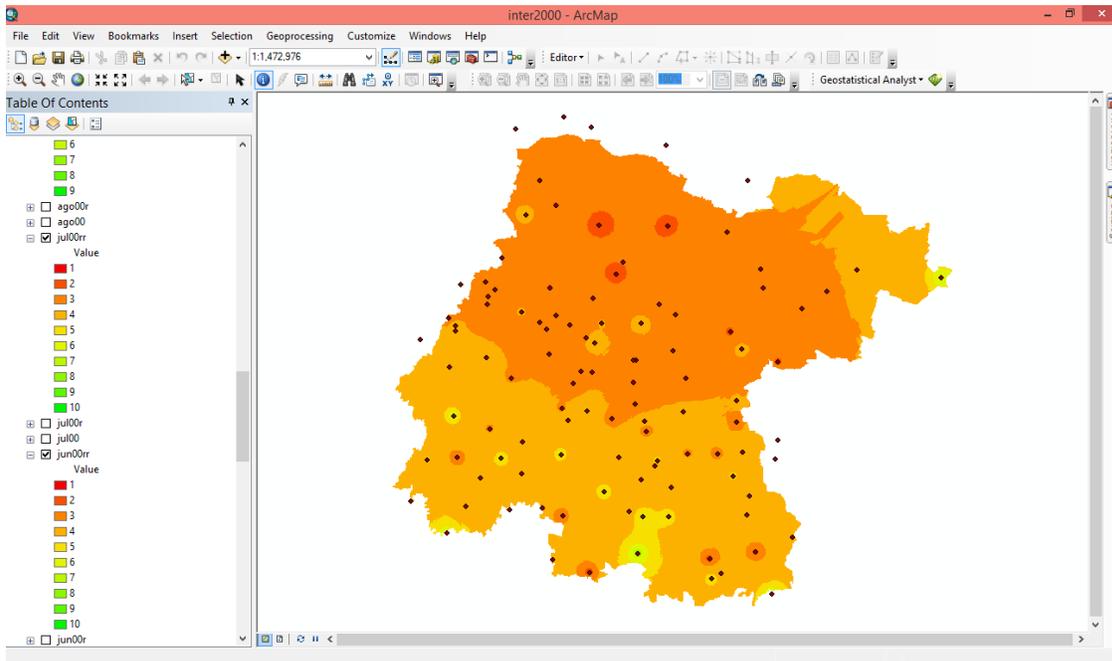
Junio 2000



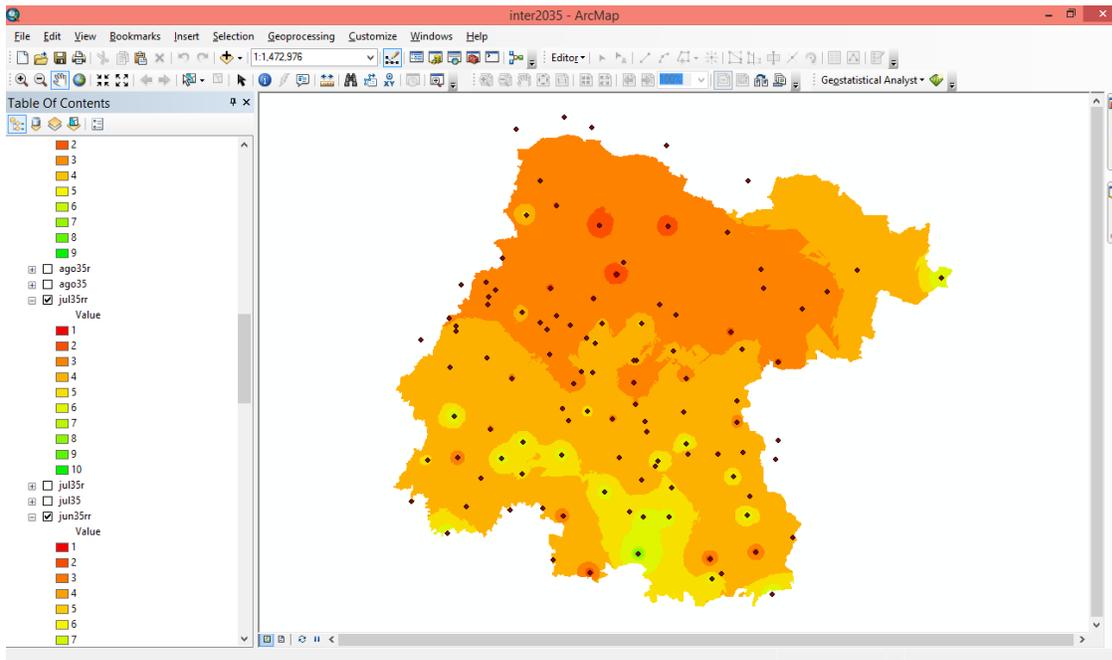
Junio 2035



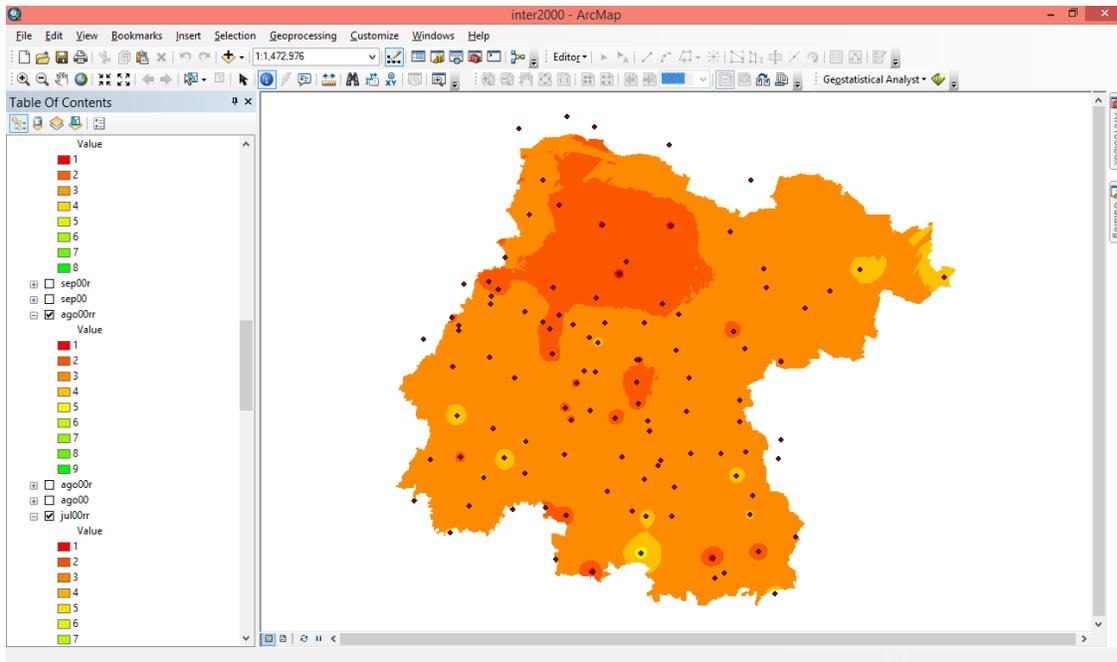
JULIO 2000



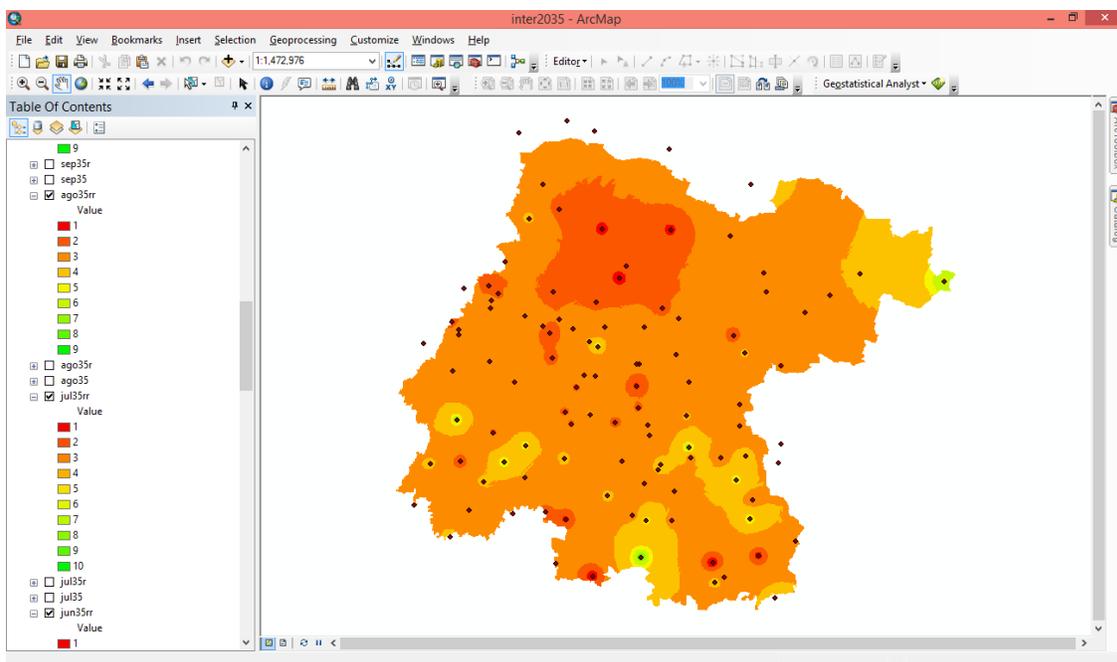
Julio 2035



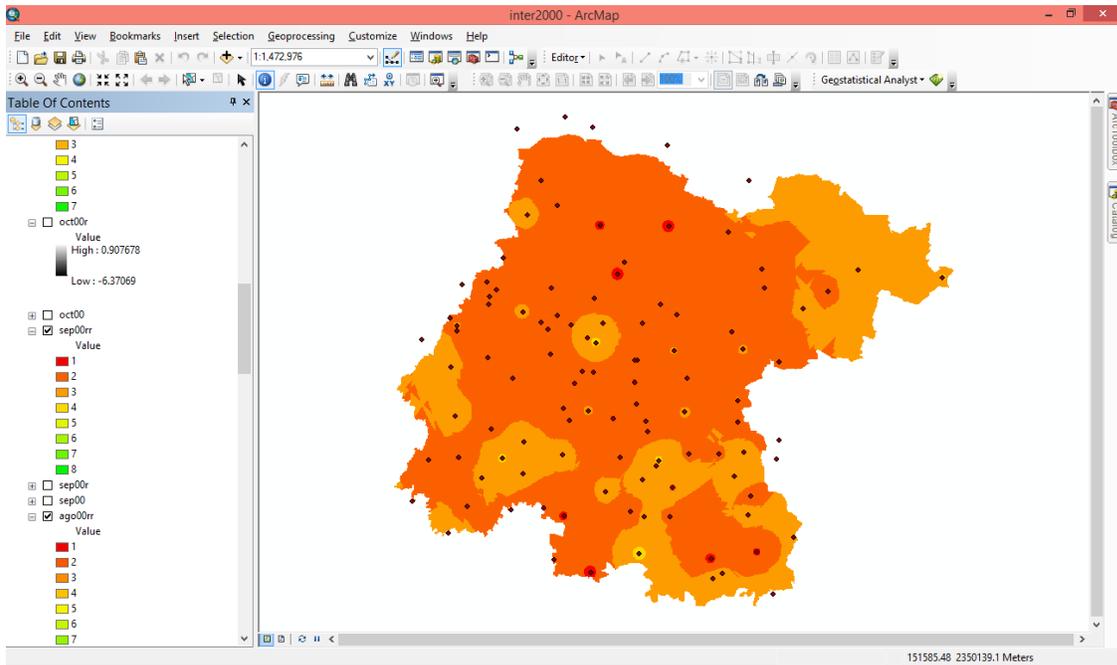
Agosto 2000



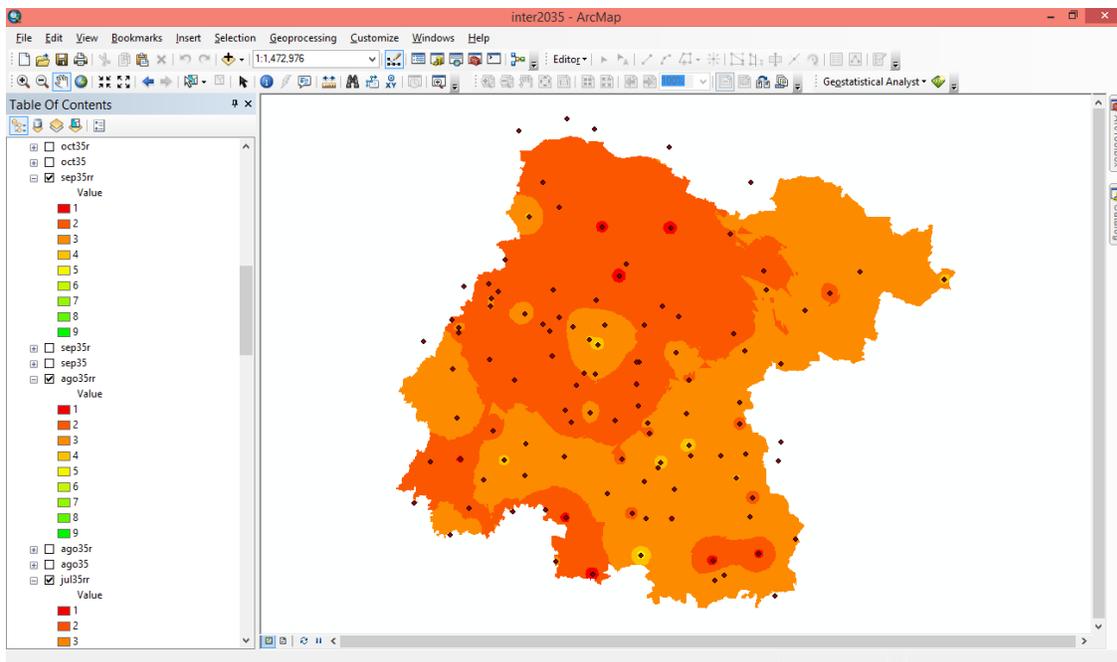
Agosto 2035



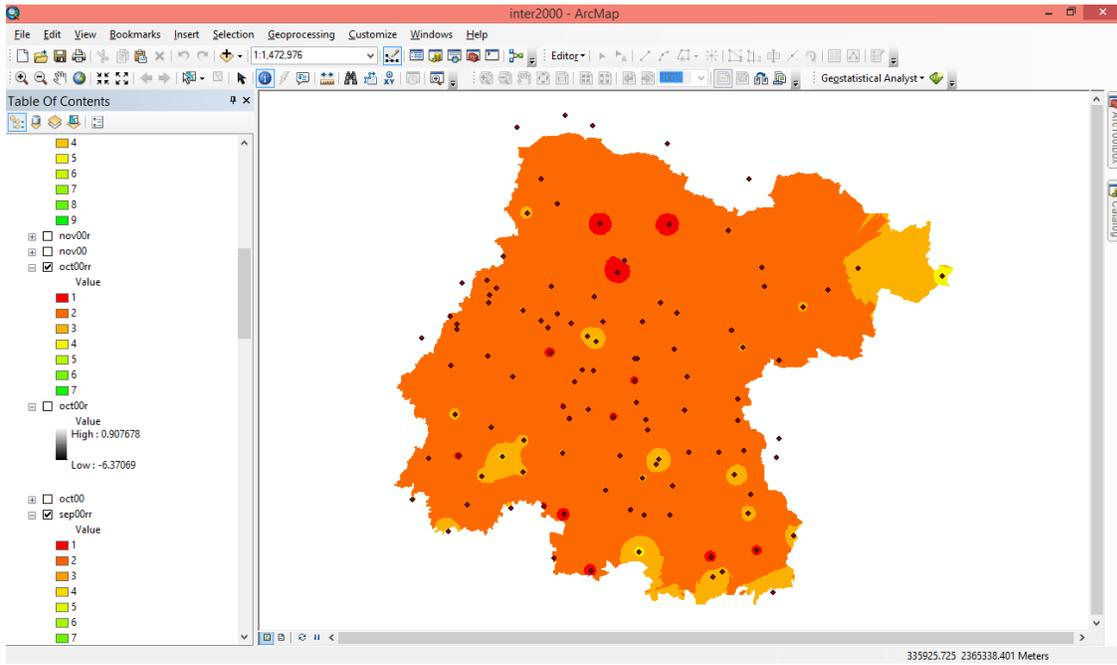
Septiembre 2000



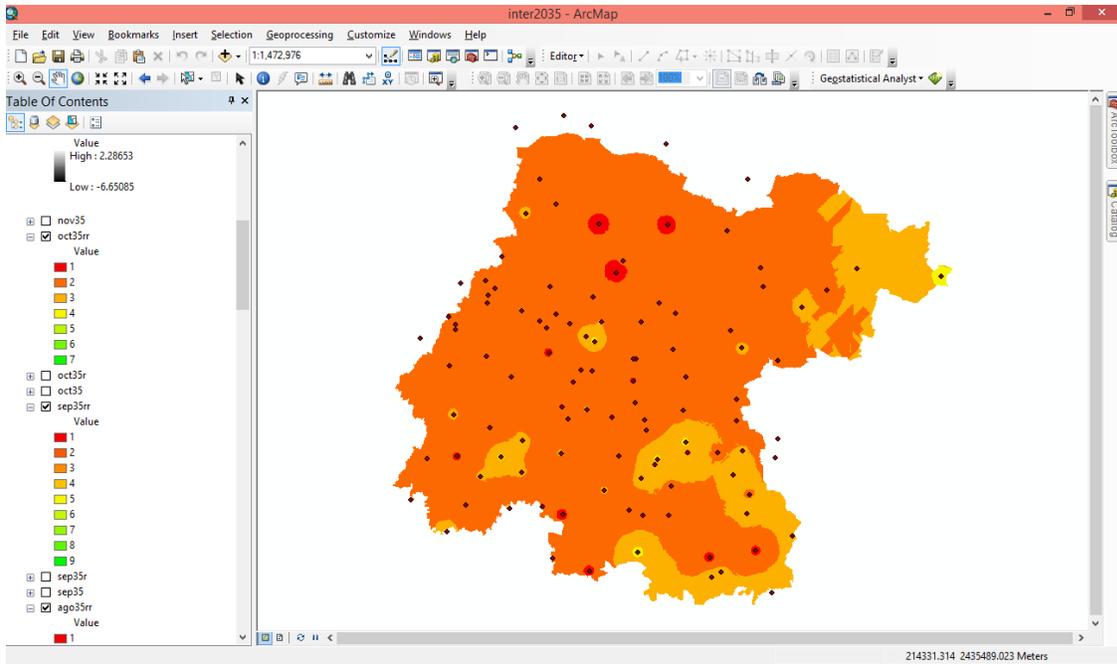
Septiembre 2035



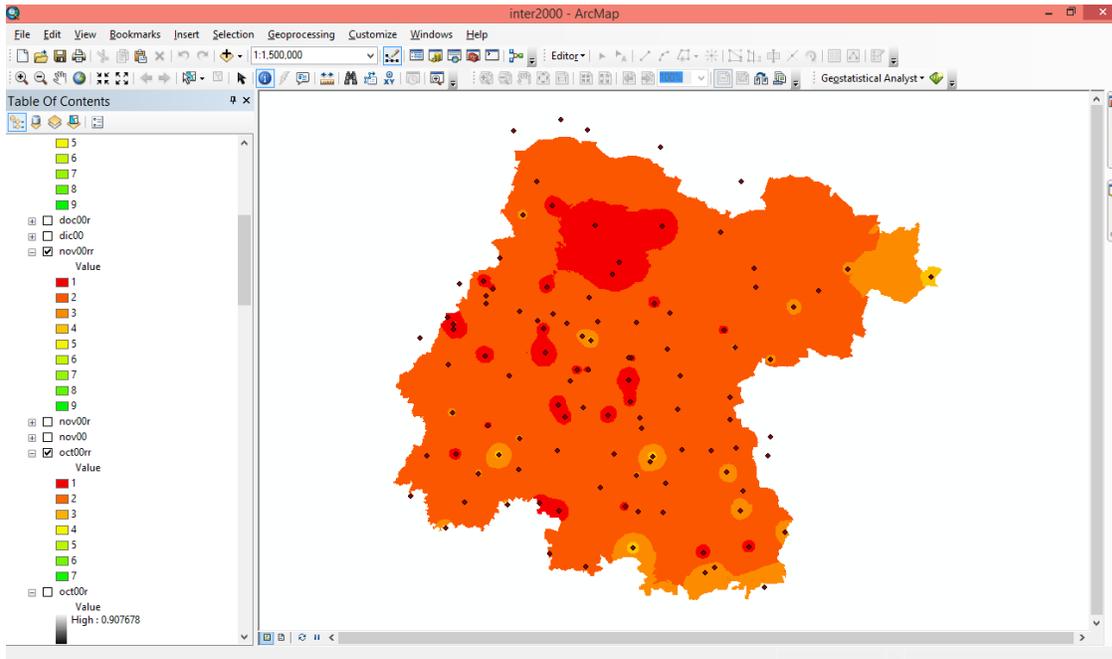
Octubre 2000



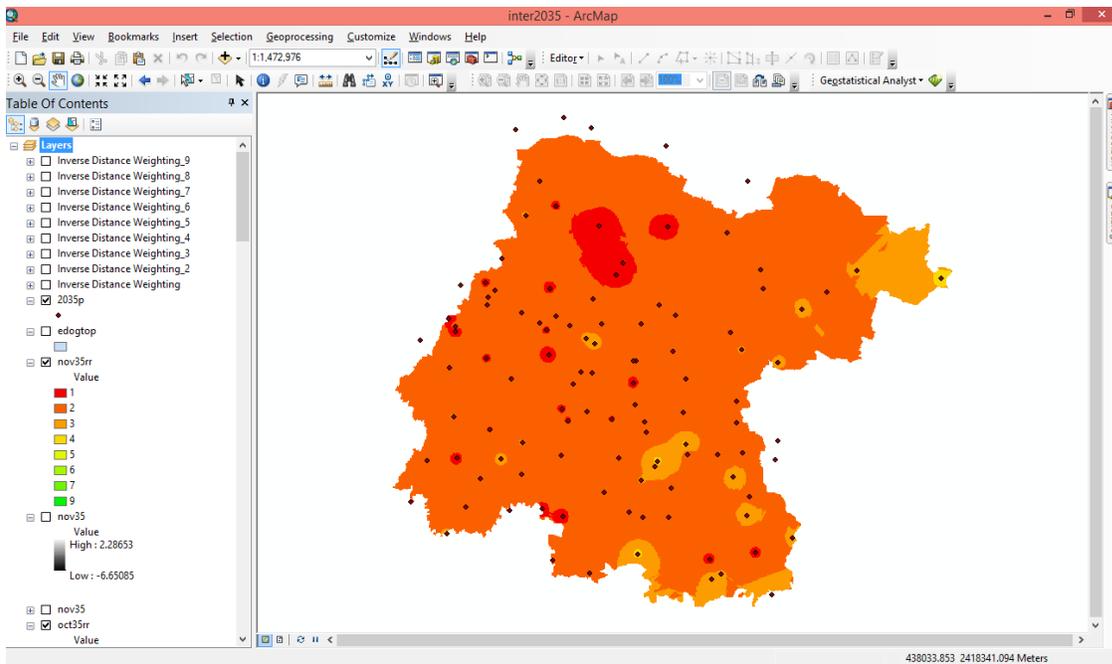
Octubre 2035



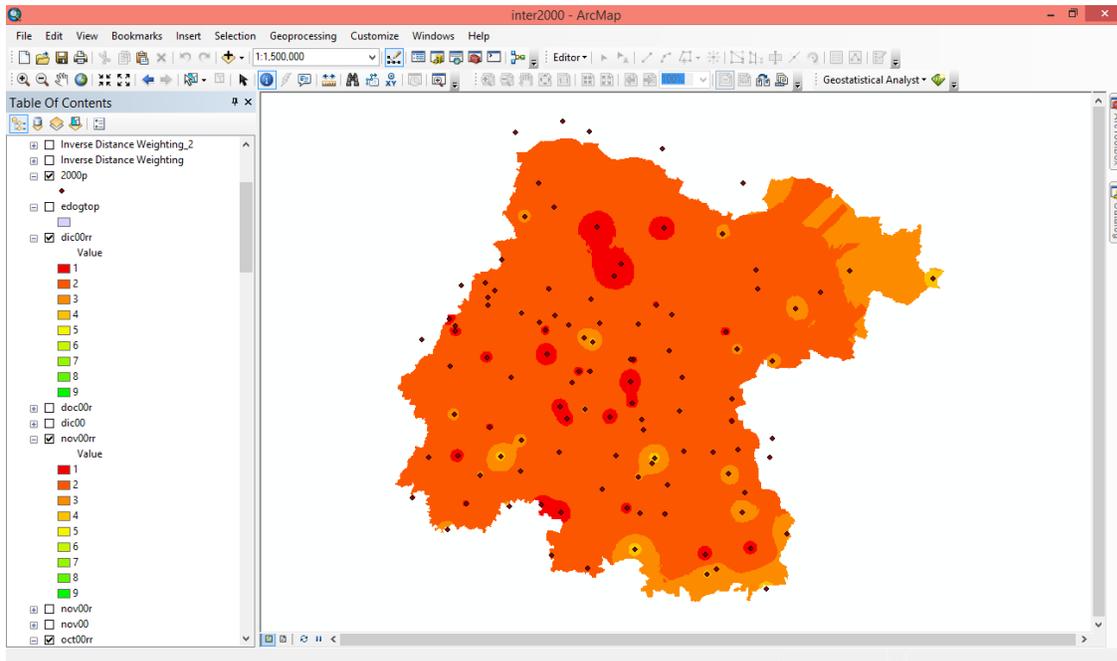
Noviembre 2000



Noviembre 2035

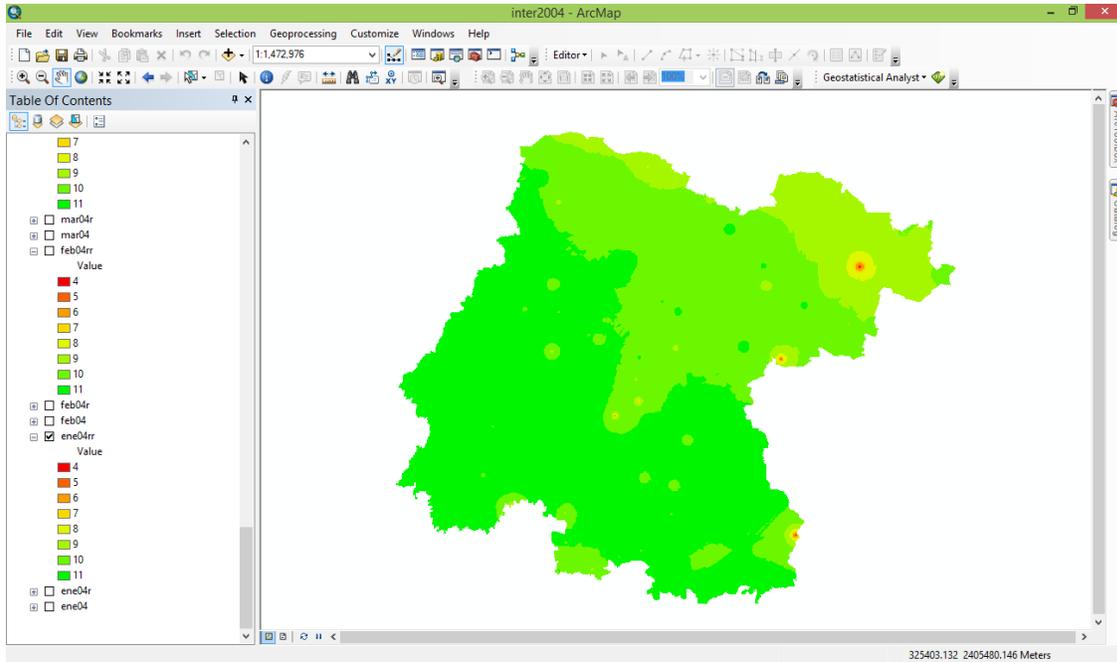


Diciembre 2000

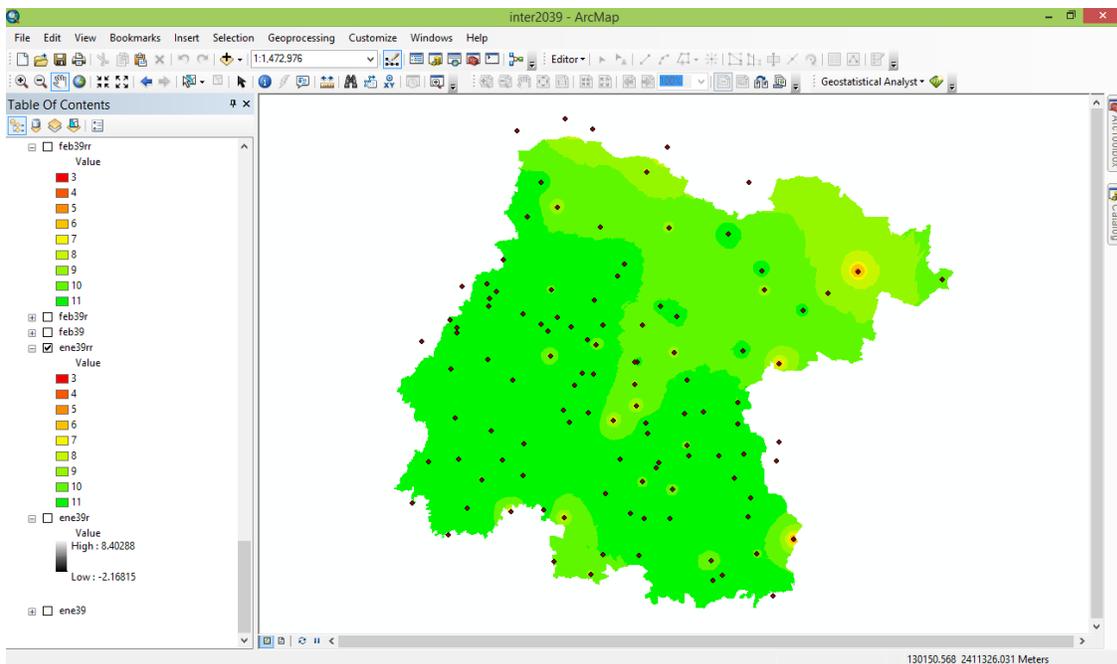


Diciembre 2035

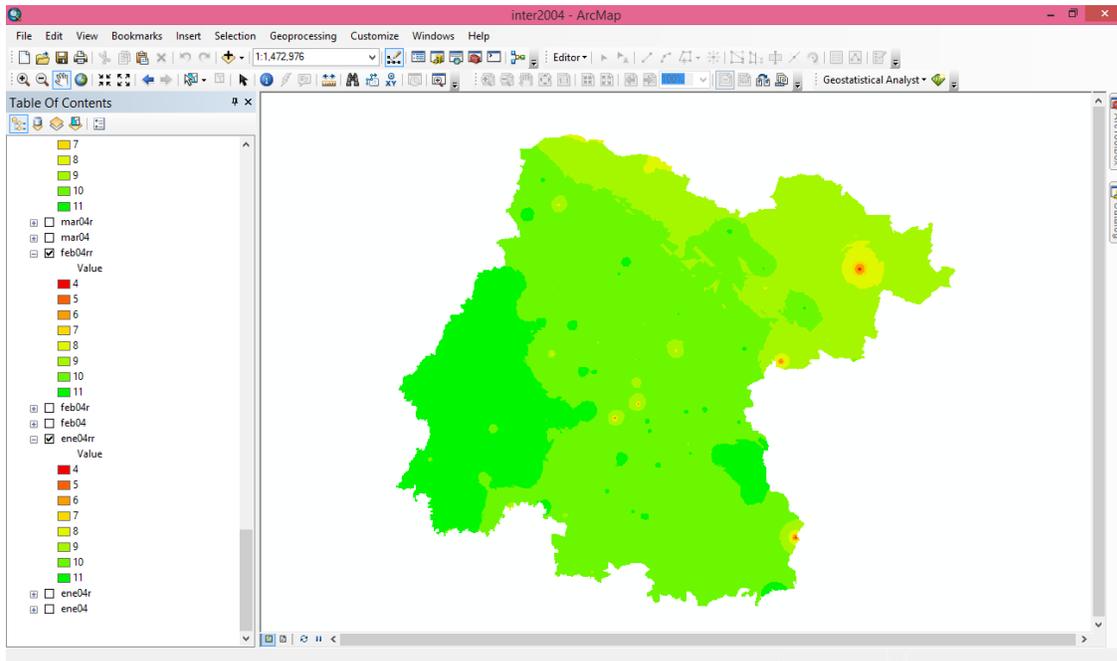
Enero 2004



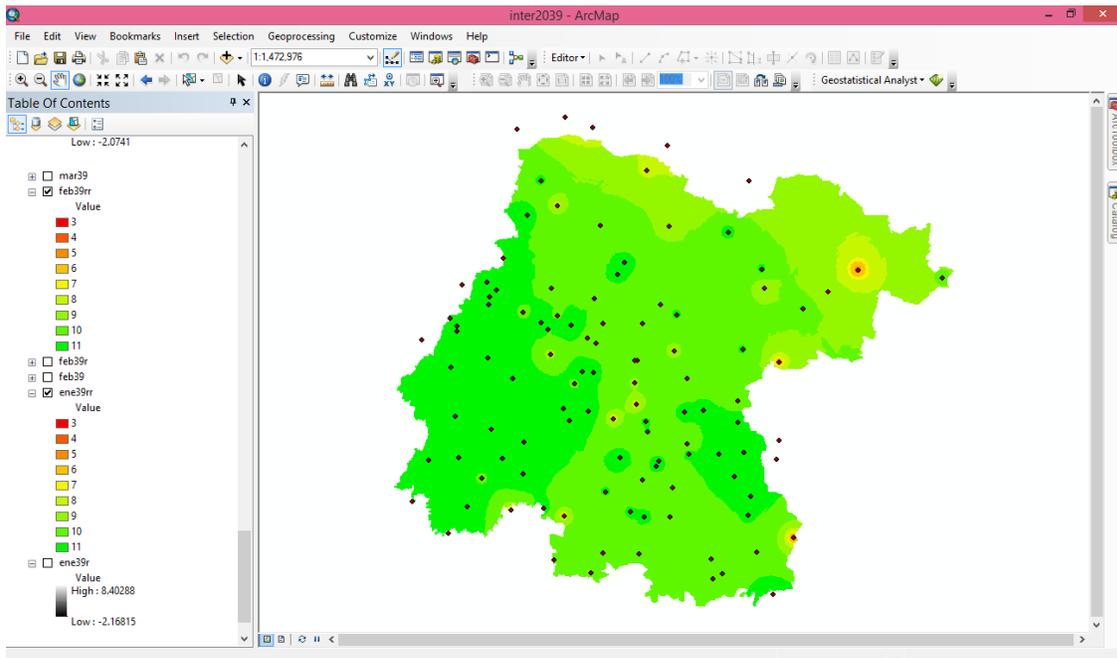
Enero 2039



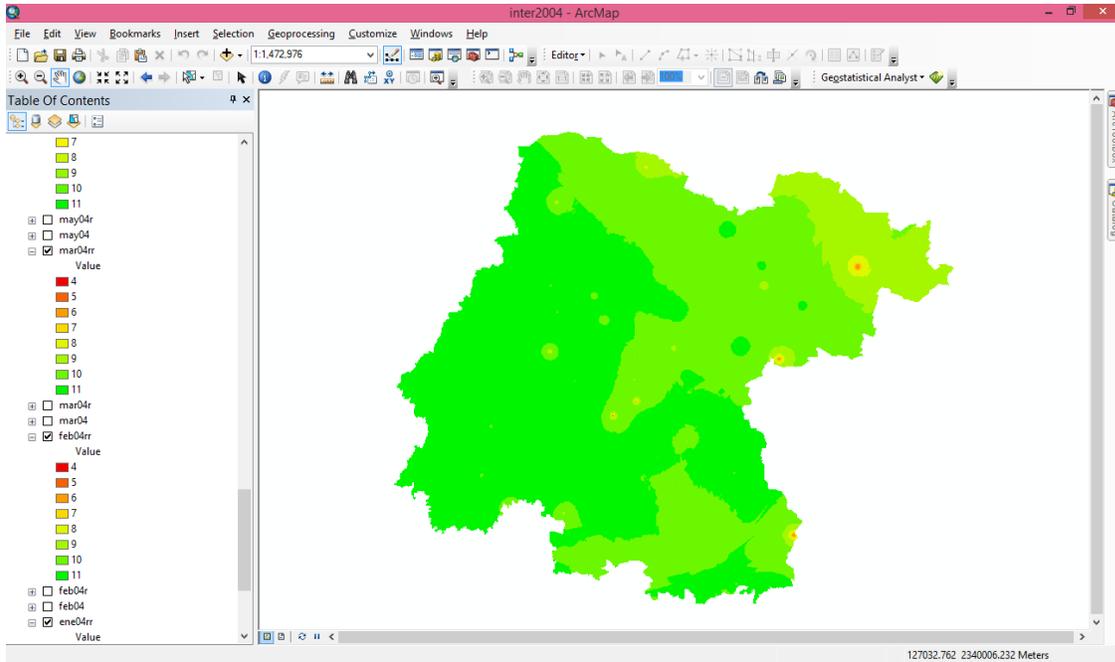
Febrero 2004



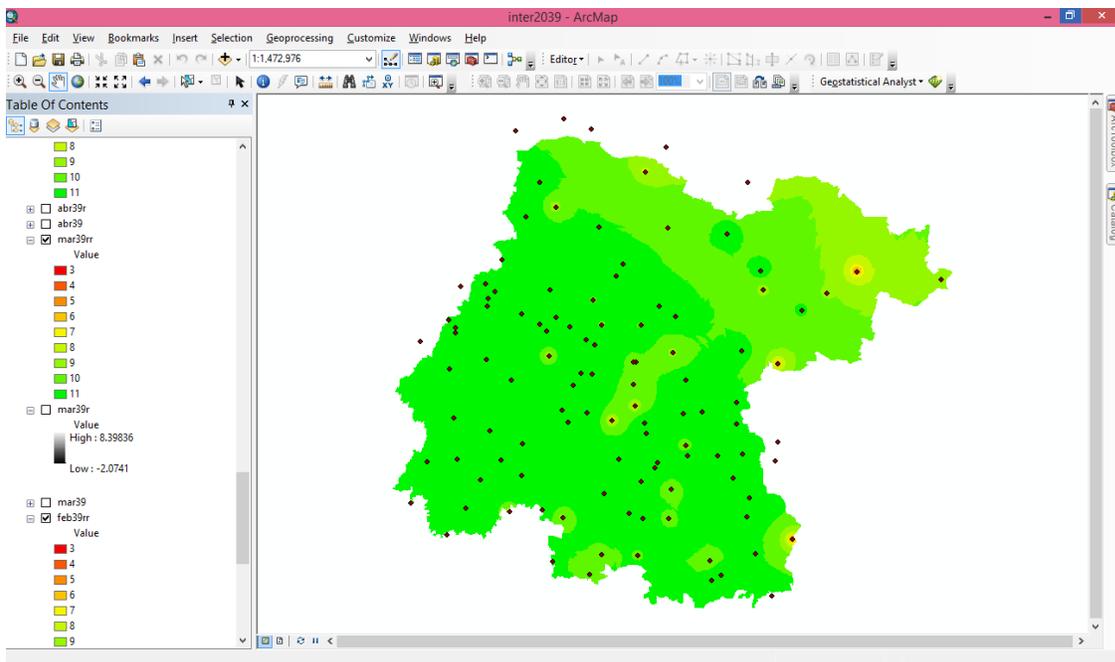
Febrero 2039



Marzo 2004

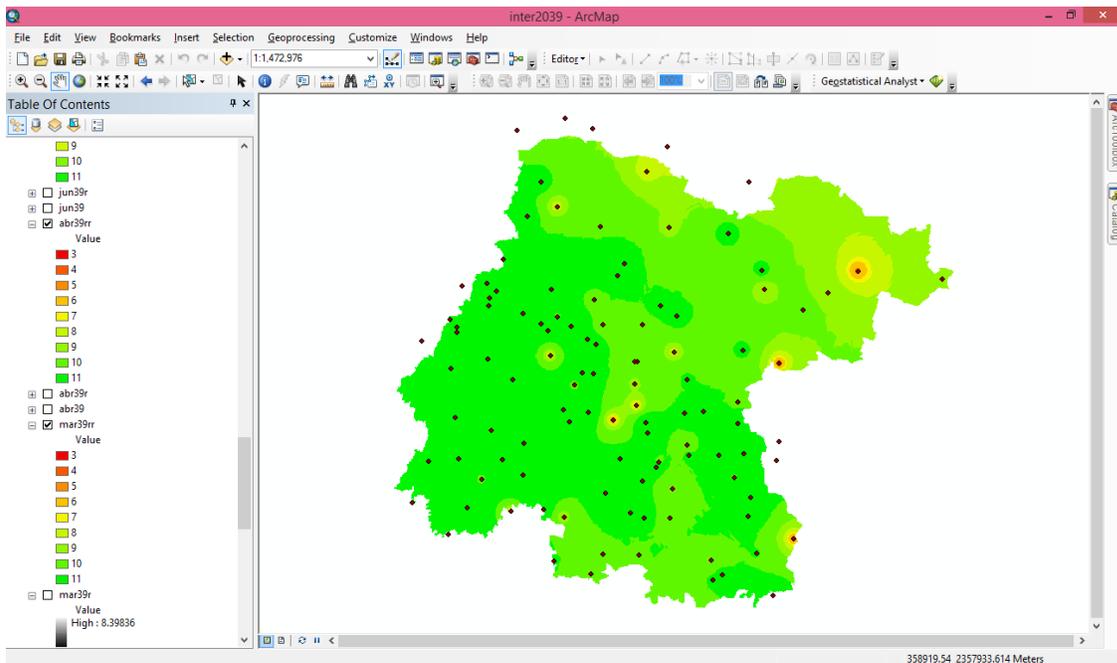


Marzo 2039

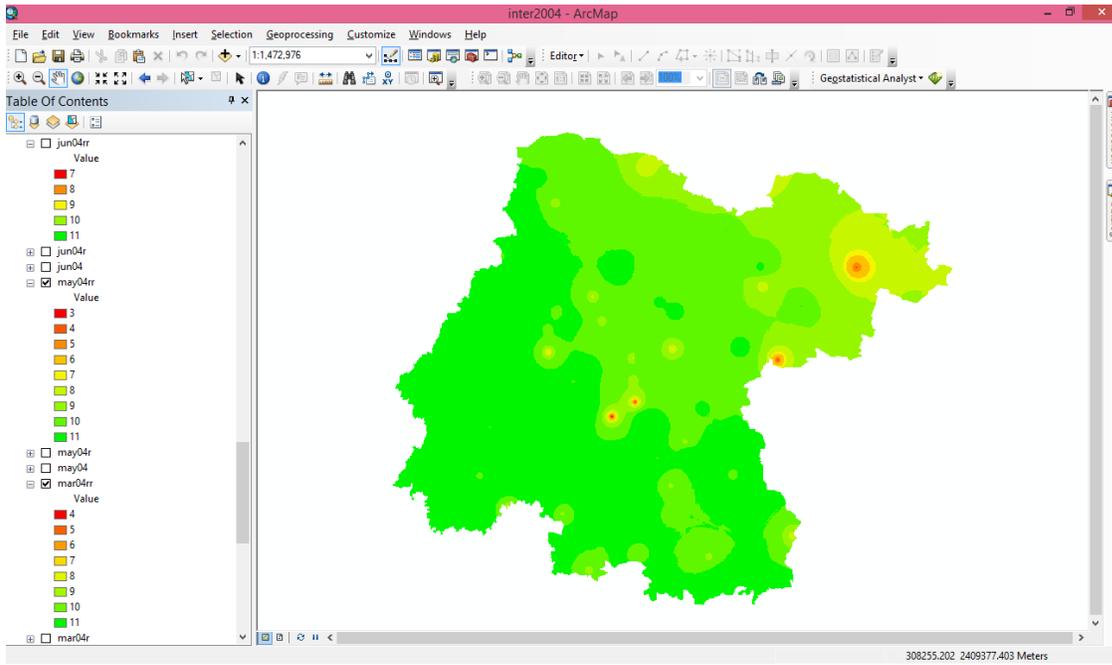


Abril 2004

Abril 2039

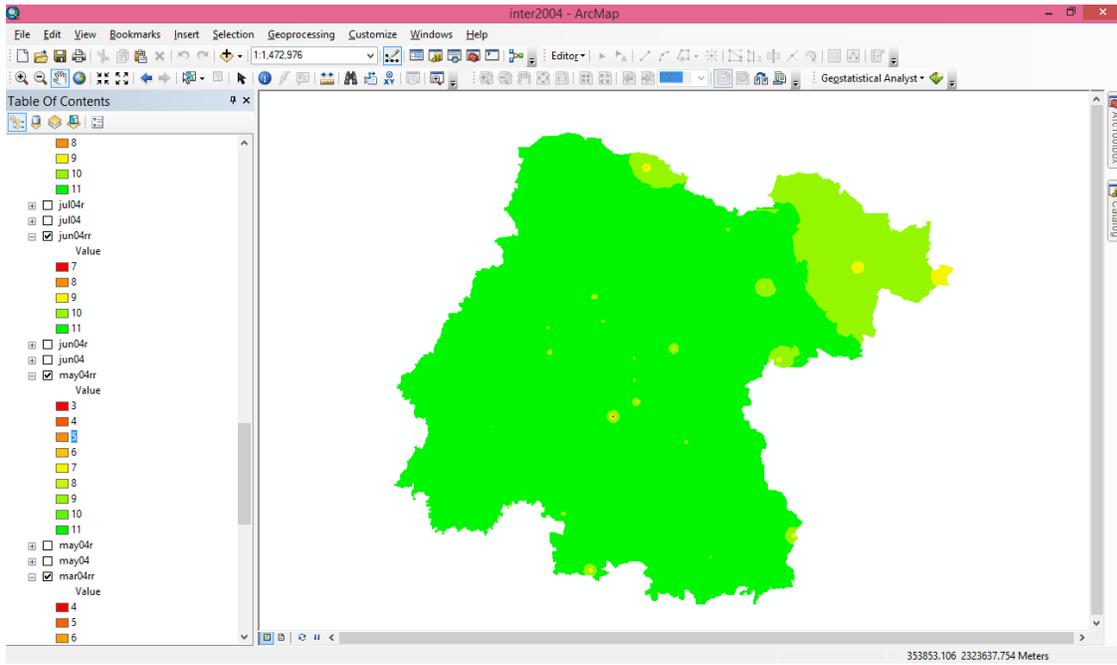


Mayo 2004

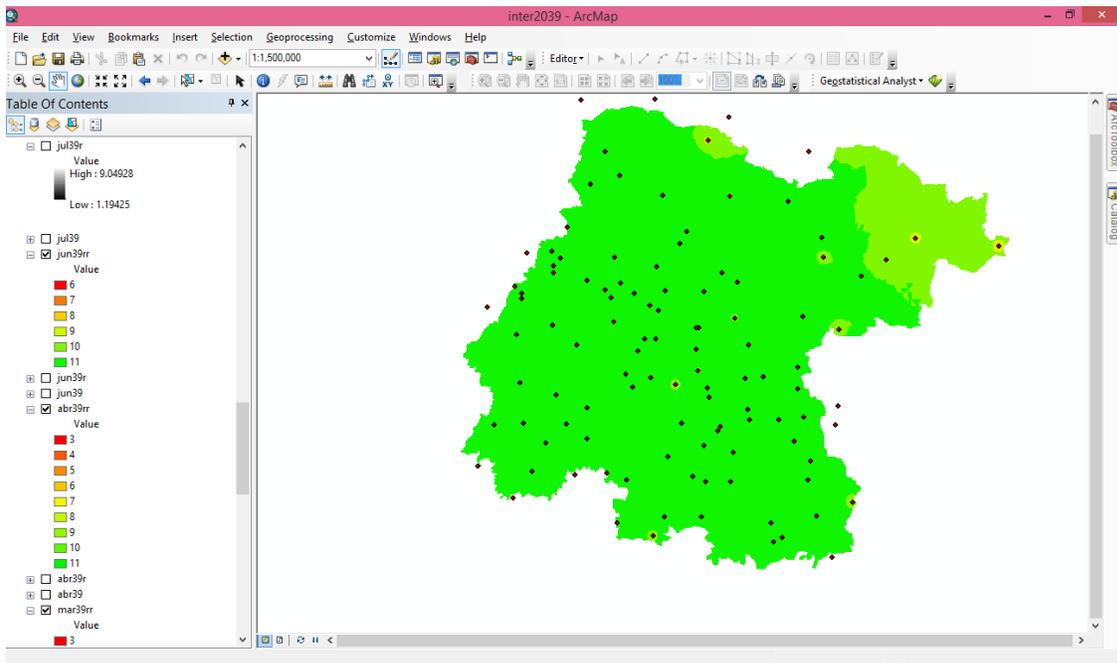


Mayo 2039

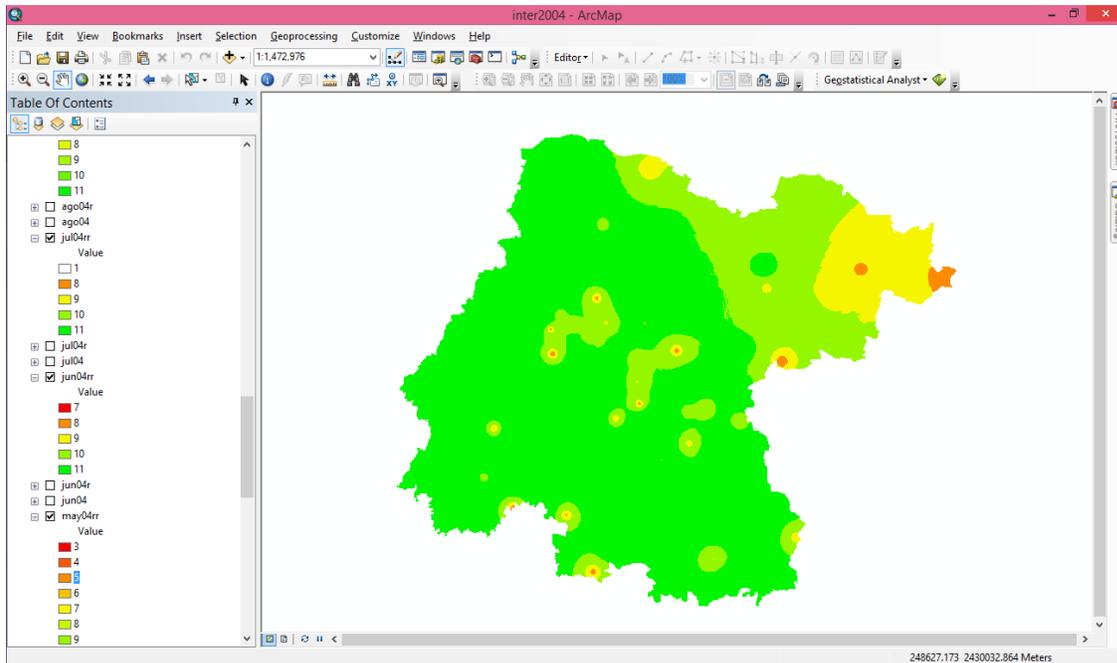
Junio 2004



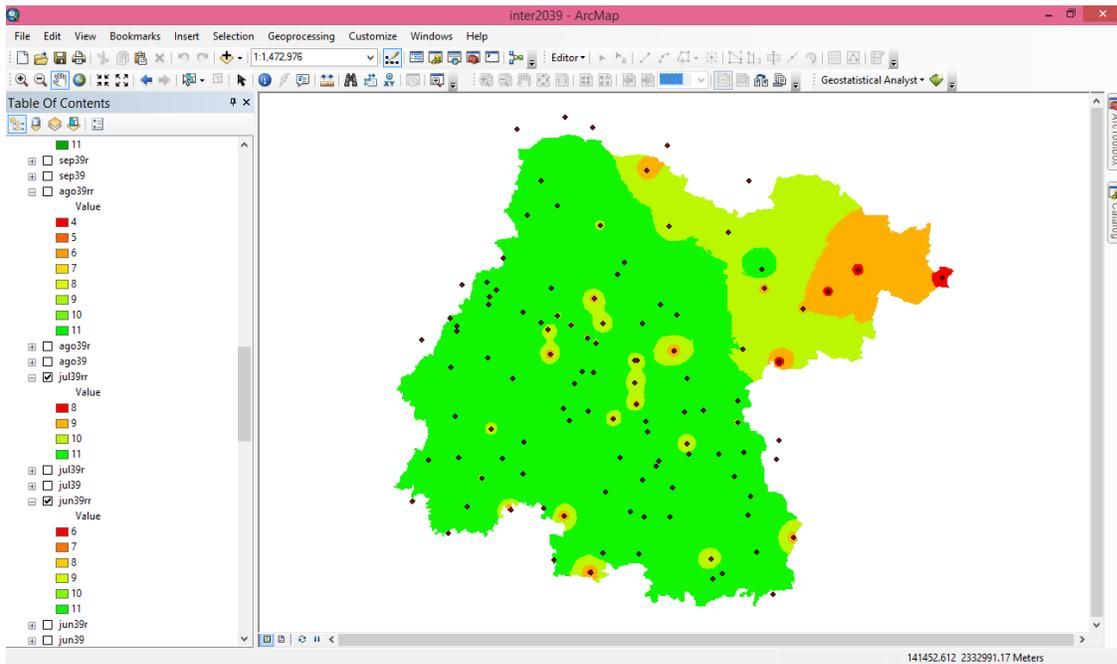
Junio 2039



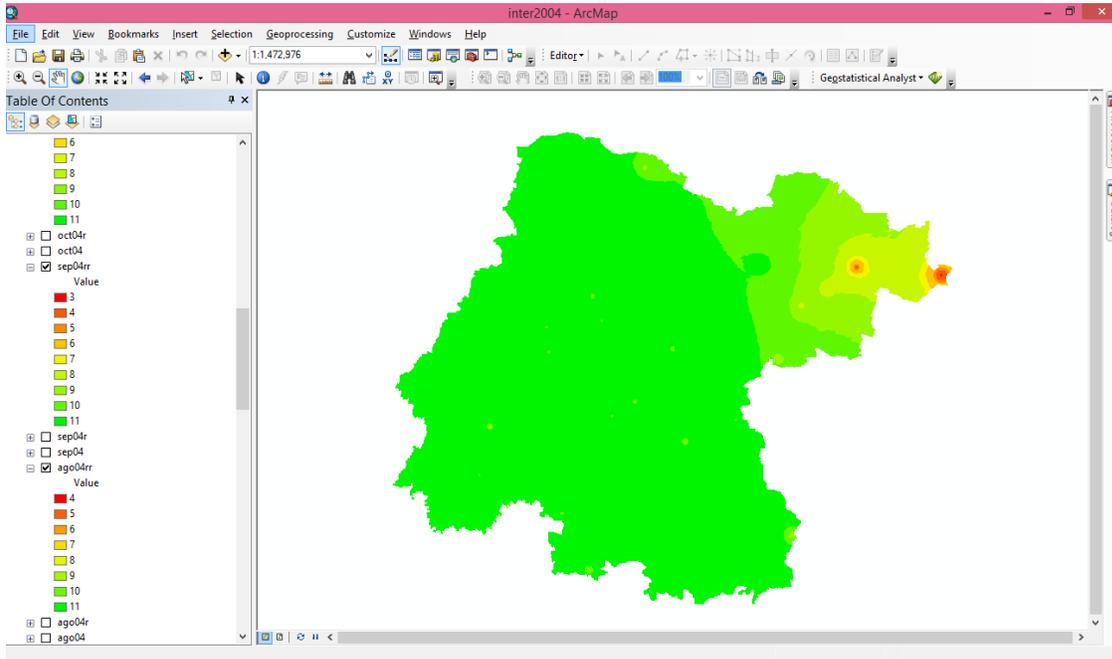
Julio 2004



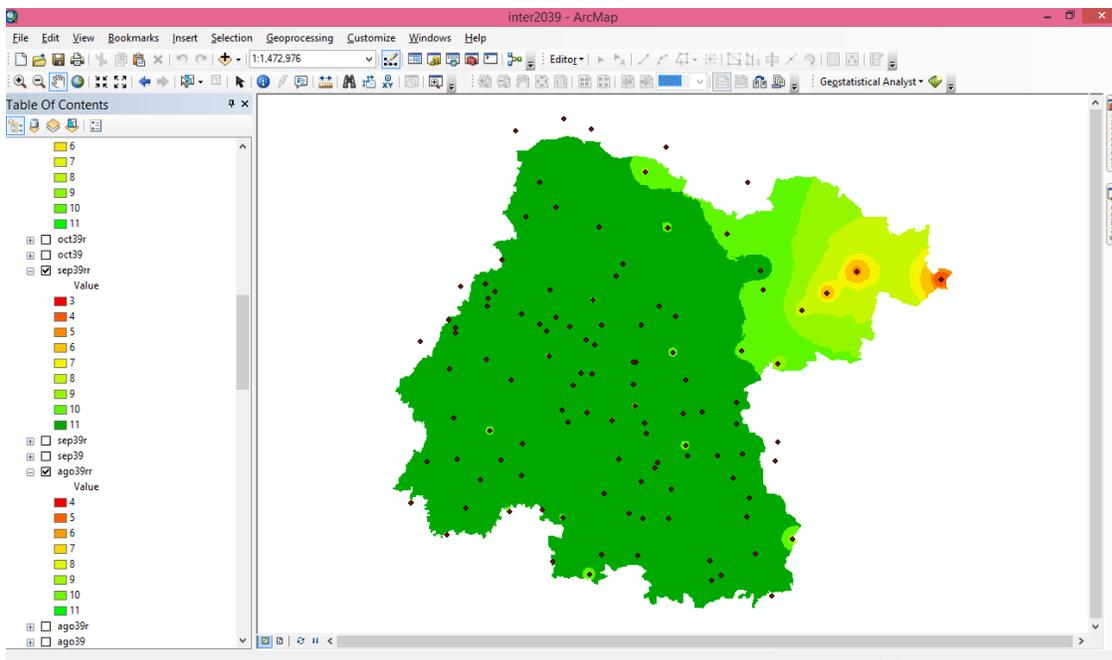
Julio 2039



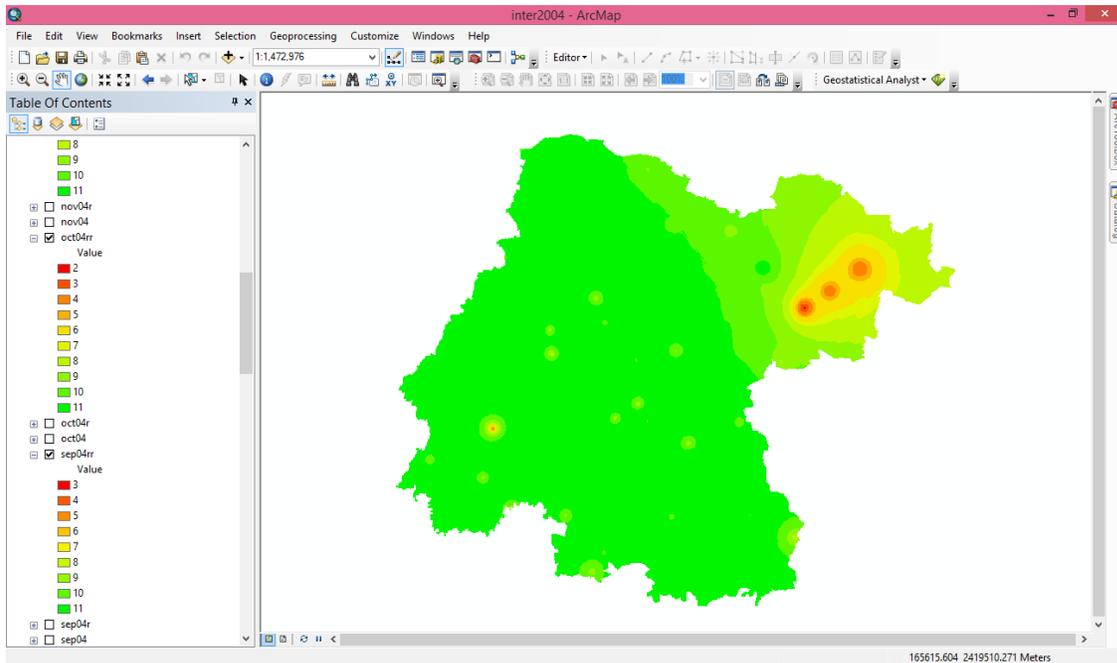
Septiembre 2004



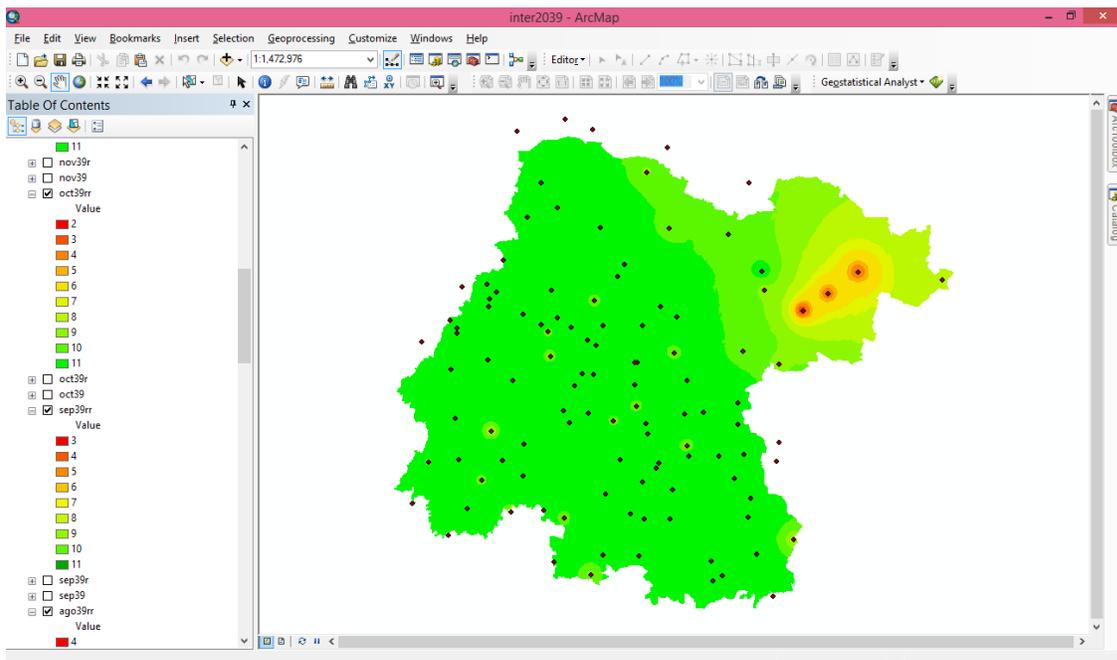
Septiembre 2039



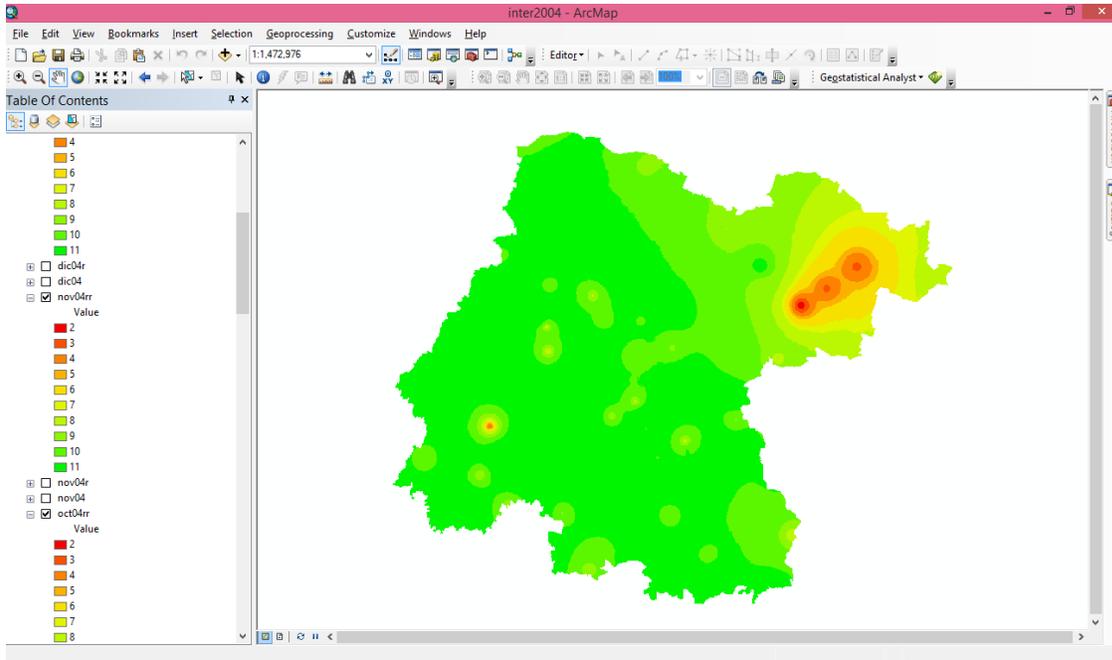
Octobre 2004



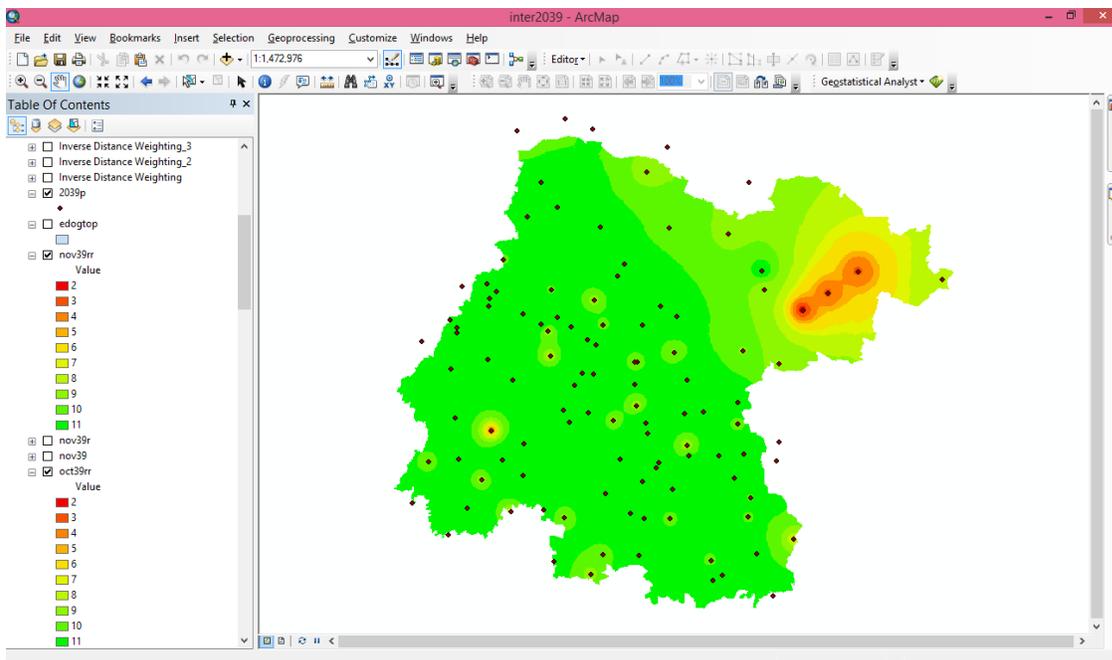
Octobre 2039



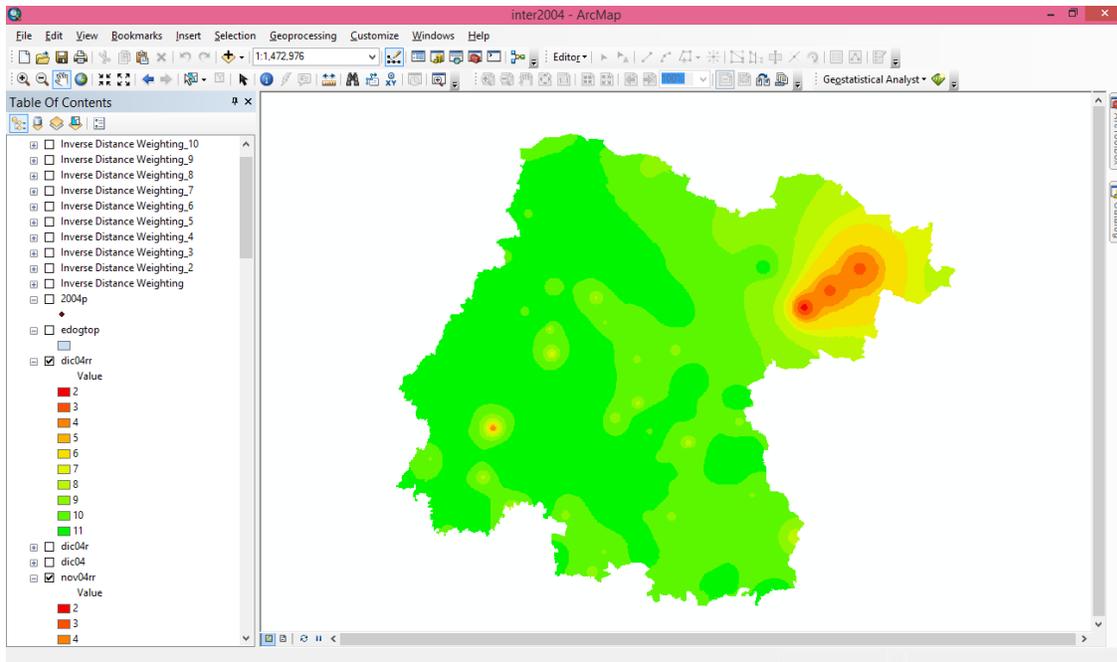
Noviembre 2004



Noviembre 2039



Diciembre 2004



Diciembre 2039