



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**POSGRADO DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**EFFECTOS DE LA ESCASEZ DEL AGUA EN  
EL SECTOR AGROPECUARIO DEL ESTADO  
DE QUERÉTARO**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA**  
INGENIERÍA CIVIL -HIDRÁULICA

PRESENTA:  
**JOSÉ LUIS HERRERA ALANÍS**

DIRECTOR DE TESIS  
**DR. CARLOS A. ESCALANTE SANDOVAL**



2006

## **JURADO ASIGNADO**

PRESIDENTE: DR. DOMÍNGUEZ MORA RAMÓN

SECRETARIO: DRA. REYES CHAVEZ LILIA

VOCAL: DR. ESCALANTE SANDOVAL CARLOS A.

1<sup>er</sup>. SUPLENTE: DR. GRACIA SÁNCHEZ JESÚS

2<sup>do</sup>. SUPLENTE: M. EN I. FRANCO VÍCTOR

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D. F.

EFFECTOS DE LA ESCASEZ DEL AGUA EN EL SECTOR AGROPECUARIO DEL  
ESTADO DE QUERÉTARO

DR. ESCALANTE SANDOVAL CARLOS AGUSTÍN.

---

FIRMA

---

A mi Padre José Esteban.  
A mi Madre Margarita.  
Y a mi Hermana Verónica  
Ya que si su apoyo nada de esto hubiera sido posible.

---

---

---

# RECONOCIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme formar parte durante tantos años.

A los profesores e investigadores tanto del Posgrado de Ingeniería como del Instituto de Ingeniería por todos sus consejos y por ser parte de mi formación.

A todos los compañeros del Edificio 5 del Instituto de Ingeniería y los compañeros con los que tuve la fortuna de tomar clase, por su amistad y camaradería.

Al CONACYT ya que su apoyo permitió llevar a cabo esta empresa.

Y a todas las personas que han estado presente a lo largo de estos años y que por mi pésima memoria me es imposible nombrar a todos y cada uno de ellos.

No me queda mas que agradecer y desearles toda la suerte del mundo en todos los aspectos de su vida y extender mi gratitud no solo con palabras si no con acciones y con mi eterna amistad. Gracias, en verdad, Gracias por todo.

Y para terminar, quiero compartir con ustedes una frase del Barón de Montesquieu.  
“Hay que estudiar un largo tiempo, para saber solo un poco”

---

---

---

---

# ÍNDICE.

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>I</b>
<b>ASPECTOS GENERALES DEL ESTADO DE QUERÉTARO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Características de los Municipios.....	3
1.2 Datos de las Estaciones Climatológicas.....	23
1.3 Datos Estadísticos de los Anuarios de INEGI.....	26
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>39</b>
2.1 Conceptos básicos de estadística.....	41
2.1.1. Media.....	41
2.1.2. Varianza.....	41
2.1.3. Desviación Estándar.....	41
2.1.4. Coeficiente de Variación.....	42
2.1.5. Coeficiente de Asimetría.....	42
2.1.6. Coeficiente de Curtosis.....	42
2.1.7. Covarianza y Correlación.....	42
2.1.8. Procesos de normalización y estandarización.....	43
2.2 Llenado de registros.....	44
2.2.1. Método de Thiessen.....	44
2.2.2. Método del Promedio de otras Estaciones.....	45
2.2.3. Método de interpolación lineal.....	45
2.2.3.1. Mínimos cuadrados.....	45
2.2.3.2. Aproximación Lagrange.....	46
2.2.4. Método de la distancia inversa.....	46
2.2.5. Método de la distancia inversa modificado.....	46
2.2.6. Método de interpolación multicuadrática.....	47
2.3 Cálculo de lluvia media.....	47
2.3.1. Media aritmética.....	47
2.3.2. Polígonos de Thiessen.....	47
2.3.3. Métodos de las Isoyetas.....	48
2.3.4. Método Kriging.....	49
2.4 Series sintéticas.....	50
2.4.1. Modelos autoregresivos anuales AR (p).....	50
2.4.1.1. Modelo autoregresivo anuales AR (1).....	52
2.4.1.2. Modelo autoregresivo anuales AR (2).....	52
2.4.2. Modelos autorregresivos anuales ARMA (p,q).....	53
2.4.2.1. Modelo autoregresivo anuales ARMA (1,1).....	53
2.4.2.2. Modelo autoregresivo anuales ARMA (2,1).....	54
2.4.2.3. Modelo autoregresivo anuales ARMA (1,2).....	54
2.4.2.4. Modelo autoregresivo anuales ARMA (2,2).....	55
2.4.3. Criterio de información de Akaike.....	55
<b>ANÁLISIS DE SEQUÍA Y ARIDEZ.....</b>	<b>57</b>

---

---

---

---

<b>3.1</b>	<b>Definición de Sequía.</b> .....	<b>59</b>
<b>3.2</b>	<b>Clasificación de la sequía.</b> .....	<b>60</b>
<b>3.3</b>	<b>Componentes de la Sequía.</b> .....	<b>61</b>
<b>3.4</b>	<b>Índices de la Sequía.</b> .....	<b>62</b>
3.4.1.	Porcentaje de la normal.....	62
3.4.2.	Variabilidad de la Precipitación Anual. ....	63
3.4.3.	Índice de Precipitación Estandarizada (SPI). ....	63
3.4.4.	Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI). ....	65
3.4.5.	Índice de Palmer de Sequía Hidrológica (PHDI). ....	67
3.4.6.	Índice de Humedad de los cultivos (CMI). ....	68
3.4.7.	Deciles de la precipitación. ....	68
<b>3.5</b>	<b>Definición de Aridez.</b> .....	<b>69</b>
<b>3.6</b>	<b>Índices de Aridez.</b> .....	<b>69</b>
3.6.1.	Índice de aridez de CNA (Comisión Nacional del Agua). ....	69
3.6.2.	Índice de aridez de la UNEP (Programa del Ambiente de Naciones Unidas).....	69
3.6.3.	Índice de aridez de Martonne.....	70
<b>APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE SEQUÍA Y ARIDEZ.</b> .....		<b>71</b>
<b>4.1</b>	<b>Aplicación del Llenado de Registros.</b> .....	<b>73</b>
<b>4.2</b>	<b>Calculo de la lluvia media.</b> .....	<b>75</b>
<b>4.3</b>	<b>Calculo de los parámetros estadísticos y determinación del modelo autoregresivo anual.</b> .....	<b>80</b>
<b>4.4</b>	<b>Análisis de Sequía por el método del porcentaje de la normal.</b> .....	<b>88</b>
<b>4.5</b>	<b>Análisis de Sequía por el método de los Deciles de la Precipitación.</b> .....	<b>117</b>
<b>4.6</b>	<b>Análisis de Aridez por el método de la CNA.</b> .....	<b>144</b>
<b>CONCLUSIONES.</b> .....		<b>147</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b> .....		<b>149</b>

---

---

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS.

<b>Figura 1. 1</b>	Ubicación del estado de Querétaro en la República Mexicana	3
<b>Figura 1. 2</b>	mapa Fisiográfico del Estado de Querétaro.	4
<b>Figura 1. 3</b>	mapa del los tipos de clima del estado de Querétaro.	6
<b>Figura 1. 4</b>	Ubicación de las Estaciones Climatológicas.	26
<b>Figura 2. 1</b>	Ejemplo de los Polígonos de Thiessen.	48
<b>Figura 2. 2</b>	Ejemplo del método de las Isoyetas	49
<b>Figura 4. 1</b>	Ubicación de la estación 22001	74
<b>Figura 4. 2</b>	Polígonos de Thiessen para el municipio de Arroyo Seco.	76
<b>Figura 4. 3</b>	Representación gráfica del nivel de truncamiento y determinación de los eventos, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México.	88
<b>Figura 4. 4</b>	Gráfica de las diferentes láminas disponibles resultantes del análisis de sequía de la serie registrada, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México.	92
<b>Figura 4. 5</b>	Gráfica de las diferentes láminas disponibles resultantes del análisis de sequía de la primera serie sintética, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México.	102
<b>Figura 4. 6</b>	Lamina de lluvia para diferentes condiciones de Sequía.	112
<b>Figura 4. 7</b>	Lámina de lluvia para diferentes condiciones de Periodo Húmedo.	113
<b>Figura 4. 8</b>	Curva de Ajuste entre el Rendimiento Esperado y los deciles para el Maíz, Municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro.	125
<b>Figura 4. 9</b>	Curvas de Ajustes para el Municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro.	126
<b>Figura 4. 10</b>	Curvas de Ajustes para el Municipio de Amoles del Pinal	127
<b>Figura 4. 11</b>	Curvas de Ajustes para el Municipio de Arroyo Seco.	128
<b>Figura 4. 12</b>	Cuva de Ajustes para el Municipio de Cadereyta de Montes.	129
<b>Figura 4. 13</b>	Curvas de Ajuste para el Municipio de Colón.	130
<b>Figura 4. 14</b>	Curvas de Ajuste para el Municipio de Corregidora.	131
<b>Figura 4. 15</b>	Curvas de Ajustes para el Municipio de Ezequiel Montes	132
<b>Figura 4. 16</b>	Curvas de Ajustes para el Municipio de Huimilpan	133
<b>Figura 4. 17</b>	Curvas de Ajuste para el Municipio de Jalpan de Serra.	133
<b>Figura 4. 18</b>	Curvas de Ajuste para el Municipio de Landa de Matamoros	134
<b>Figura 4. 19</b>	Curvas de Ajuste para el Municipio de El Marqués.	135
<b>Figura 4. 20</b>	Curvas de Ajuste para el Municipio de Pedro Escobedo.	135
<b>Figura 4. 21</b>	Curva de Ajustes para el Municipio Peñamiller.	135
<b>Figura 4. 22</b>	Curva de Ajuste para el Municipio de Querétaro.	136
<b>Figura 4. 23</b>	Curvas de Ajuste para el Municipio de San Joaquín.	137
<b>Figura 4. 24</b>	Curvas de Ajuste para el Municipio de San Juan del Río.	137
<b>Figura 4. 25</b>	Curvas de Ajuste para el Municipio de Tequisquiapan.	138
<b>Figura 4. 26</b>	Curvas de Ajuste para el Municipio de Tolimán.	139
<b>Figura 4. 27</b>	Plano de Lluvias Medias Anuales e Identificación de Regiones de Aridez	145

---

---

---

---

# ÍNDICE DE TABLAS.

<b>Tabla 1. 1</b> principales cuerpos de agua del Estado de Querétaro, ubicación y capacidad de almacenamiento. _____	5
<b>Tabla 1. 2</b> Localización y colindancia de los municipios que conforman el Estado de Querétaro. _____	7
<b>Tabla 1. 3</b> Características Orográficas del Estado de Querétaro por municipio. _____	13
<b>Tabla 1. 4</b> Características Hidrológicas del Estado de Querétaro por municipio. _____	15
<b>Tabla 1. 5</b> Características del Clima en el Estado de Querétaro por municipio. _____	17
<b>Tabla 1. 6</b> Características de los Recursos Naturales del Estado de Querétaro por municipio. _____	18
<b>Tabla 1. 7</b> Estaciones Utilizadas. _____	23
<b>Tabla 1. 8</b> Datos recopilados de INEGI por municipio. _____	27
<b>Tabla 3. 1</b> Clasificación de la sequía de acuerdo con la superficie afectada. 60	
<b>Tabla 3. 2</b> Clasificación del SPI en periodos húmedos y secos. _____	65
<b>Tabla 3. 3</b> Clasificación de los periodos húmedos y secos a través del PDSI. _____	67
<b>Tabla 3. 4</b> Clasificación del PHDI en periodos húmedos y secos. _____	67
<b>Tabla 3. 5</b> Definición de regiones de acuerdo con la precipitación media anual. _____	69
<b>Tabla 3. 6</b> Clasificación de aridez utilizando el índice de aridez de la UNEP _____	70
<b>Tabla 3. 7</b> Clasificación de aridez utilizando el índice de Martonne _____	70
<b>Tabla 4. 1</b> Datos faltantes de la estación 22001 73	
<b>Tabla 4. 2</b> Datos de Precipitación mensual de la base de datos del CLICOM _____	74
<b>Tabla 4. 3</b> Resultado del llenado de datos para la estación 2001 en el periodo de feb-mar 1973 _____	75
<b>Tabla 4. 4</b> Ejemplo de la Precipitación Media en el municipio de Arroyo Seco para el año 1966. _____	76
<b>Tabla 4. 5</b> Resultado de la precipitación media acumulada anual por municipio. _____	77
<b>Tabla 4. 6</b> Registro de la precipitación media anual del municipio de Amealco de Bonfil. _____	80
<b>Tabla 4. 7</b> Resultado de los parámetros estadísticos del municipio de Amealco de Bonfil. _____	80
<b>Tabla 4. 8</b> Resultado de la normalización y estandarización de la precipitación media del municipio de Amealco de Bonfil. _____	81
<b>Tabla 4. 9</b> Parámetros estadísticos de las series X, Y y Z del municipio de Amealco de Bonfil. _____	82
<b>Tabla 4. 10</b> Resultado de la serie de los residuales de los modelos AR (1) y AR (2) para el municipio de Amealco de Bonfil en el estado de Querétaro, México. _____	84
<b>Tabla 4. 11</b> Resumen de los valores del CIA para los diferentes modelos para el municipio de Amealco de Bonfil en el estado de Querétaro, México. _____	87
<b>Tabla 4. 12</b> Modelos autoregresivos determinados por el Criterio de Información de Akaike para cada municipio del estado de Querétaro. _____	87
<b>Tabla 4. 13</b> Análisis de la serie registrada por el método del porcentaje de la normal, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México. _____	90
<b>Tabla 4. 14</b> Resultado del análisis por el método del porcentaje de la normal en déficit de la serie registrada, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México. _____	91
<b>Tabla 4. 15</b> Cálculo de los números aleatorios con distribución normal y estándar. _____	99
<b>Tabla 4. 16</b> Cálculo de las series sintéticas, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México. _____	100
<b>Tabla 4. 17</b> Comparación de los estadísticos de la primera serie sintética con la serie original, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México. _____	101
<b>Tabla 4. 18</b> Resultado del análisis por el método del porcentaje de la normal en déficit para la primera serie sintética, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México. _____	103
<b>Tabla 4. 19</b> Comparación de los parámetros estadísticos de la serie original con el promedio de las series sintéticas, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México. _____	103
<b>Tabla 4. 20</b> Resultado del análisis de sequía por el método del porcentaje de la normal de las series sintéticas, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México. _____	104
<b>Tabla 4. 21</b> Resultado de las probabilidades de ocurrencia de evento con una duración determinada, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México. _____	104
<b>Tabla 4. 22</b> Comparación entre los parámetros estadísticos originales y los sintéticos, por municipio. _____	105
<b>Tabla 4. 23</b> Resultado del análisis de sequía por el método del porcentaje de la normal, por municipio. _____	106
<b>Tabla 4. 24</b> Resultado del análisis para periodo húmedo por el método del porcentaje de la norma, por municipio _____	109

---

---

---

---

## Introducción.

La sequía es un fenómeno natural asociado al ciclo hidrológico; a diferencia de las lluvias torrenciales que son eventos extremos que afectan regiones relativamente pequeñas en horas o días, la sequía abarca grandes extensiones, se presenta de forma lenta y el tiempo de afectación es de meses o años, además de que sus efectos son acumulativos.

Las causas de la sequía son diversas, entre las que destacan las siguientes: Los cambios de presión atmosférica, aumento en la temperatura, variaciones en la circulación de vientos, incremento en la concentración de bióxido de Carbono, mayor cantidad de absorción de radiación solar, etc.

La sequía tiene un fuerte efecto en todos los sectores de la sociedad y es el fenómeno meteorológico que mayor daño causa. En el sector agropecuario provoca grandes pérdidas económicas al abarcar grandes extensiones de tierra de cultivos y provocar la muerte de numerosas cabezas de ganado. En la industria se ve afectada la producción al disminuir la disponibilidad del agua. En la sociedad las ondas de calor provocan como primer efecto la deshidratación, después el aumento considerable de enfermedades gastrointestinales y por último la muerte. Por lo tanto es importante caracterizar y determinar las componentes cíclicas del régimen de lluvia, ya que con esto es posible determinar los estragos que la sequía causa y también planear las medidas necesarias para minimizar los daños.

Particularmente en el Estado de Querétaro se han reportados los siguientes efectos a causa de la sequía: El 3 de mayo del 2006 se reportó que 10 presas del Estado se encontraban totalmente secas y 2,000 mil bordos se encontraban en promedio a 15% de su capacidad [La Jornada, 2006]. Por otra parte una nota informativa menciona que han muerto 700 cabezas de ganado a causa de la sequía en el municipio de Jalpan de Serra y municipios aledaños [SEDESOL, 2005]. SAGARPA informa que la sequía destruyó el 51% de los cultivos de maíz de temporal, afectando a 14 municipios del estado con una pérdida económica de 88 millones de pesos [SAGARPA, 2005]. En mayo de 1998 se reportaron 300 cabezas de ganado muertas y 800 hectáreas de bosque afectadas [CENAPRED, 2002]

En el presente trabajo, se hace un análisis de sequía meteorológica a través de dos Métodos: El método del Porcentaje de la Normal y el Método de los Deciles. El primero permitirá conocer las láminas promedios disponibles de la serie registrada, y utilizando un modelo autorregresivo anual generar muestras sintéticas y estimar las láminas disponibles a largo plazo. El segundo permite hacer una comparación de sus efectos en el sector agropecuario y también se relaciona con los incendios forestales.

---

---

# Aspectos Generales del Estado de Querétaro



## 1.1 Características de los Municipios.

Antes de dar las características de los municipios que conforman el estado de Querétaro, se mencionará brevemente las características del Estado de Querétaro.

### Localización

Al Norte 21° 40', al Sur 20° 01' de latitud Norte; al Este 99° 03', al Oeste 100° 36' de longitud Oeste. Lo que lo sitúa en la zona tropical del planeta.

Los estados limítrofes son los siguientes: al Norte, Guanajuato y San Luis Potosí; al Este, San Luis Potosí e Hidalgo; al Sur, Hidalgo, México y Michoacán de Ocampo y al Oeste Guanajuato.



Figura 1. 1 Ubicación del estado de Querétaro en la República Mexicana

### Orografía

El estado de Querétaro participa simultáneamente de las provincias fisiográficas de la Mesa del Centro, Sierra Madre Oriental y Eje Neovolcánico Transmexicano.

#### Provincia de la Mesa del Centro.

Ocupa el Centro - Occidente de la entidad, con una extensión equivalente al 14.12% de la superficie total del estado. Sus formas geológicas características están alineadas del Norte al Sur y forman una serie de mesetas con altitudes de 2,000 msnm en promedio, con algunos cerros que alcanzan elevaciones superiores a los 3,000 msnm.

**Provincia de la Sierra Madre Oriental.**

Ocupa la parte Nororiental del estado, incluye la subprovincia del Carso Huasteco y se extiende por el 35.97% del territorio. El relieve se caracteriza por una topografía abrupta, configurada por cordilleras alargadas y valles, con una alineación preponderante Noreste al Suroeste y yuxtaposición de elevaciones superiores a los 3,000 msnm, con depresiones de 900 msnm.

**Provincia del Eje Neovolcánico Transmexicano.**

Se localiza en la parte Central y Sur de la entidad; ocupa una superficie que alcanza el 49.91% del territorio. El paisaje es típicamente volcánico y geomorfológicamente presenta contrastes entre los cerros y mesetas, situados entre los 2,000 y los 3,000 msnm, y los valles que se ubican entre 1,800 y 1,900 metros de altitud.



Figura 1. 2 mapa Fisiográfico del Estado de Querétaro.

**Hidrografía**

La entidad participa de las dos grandes regiones hidrológicas nacionales: el Lerma - Santiago y el Pánuco: La región Lerma - Santiago está integrada por las cuencas Lerma - Toluca y La Laja; en tanto que la región Pánuco se compone por las cuencas: Tamuín y Moctezuma

Los principales cuerpos de agua de que dispone el estado de Querétaro se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 1. 1 Principales cuerpos de agua del Estado de Querétaro, ubicación y capacidad de almacenamiento.**

Nombre	Ubicación	Capacidad de almacenamiento en millones de m <sup>3</sup>
<b>Región Hidrológica No. 12 Lerma – Santiago</b>		
Presa Santa Catarina	Querétaro	8.84
Presa El Batán	Corregidora	6.50
Ceja de Bravo	Huimilpan	6.00
Presa San Pedro Huimilpan	Huimilpan	5.00
Presa El Carmen	El Marqués	4.00
El Zorrillo	Huimilpan	3.00
San Rafael	Corregidora	3.00
<b>Región Hidrológica No. 26 Pánuco</b>		
Presa Constitución de 1917	San Juan del Río	65.00
Presa San Ildefonso	Amealco de Bonfil	52.70
Presa Centenario	Tequisquiapan	10.15
Presa La Llave (El Divino Redentor)	San Juan del Río	9.30
Presa Jalpan	Jalpan de Serra	8.00
Presa La Soledad	Colón	7.40
Colón	Colón	4.80
Presa El Capulín (S.P.T)	Amealco de Bonfil	3.80
Paso de Tablas	Tequisquiapan	3.00

## Clima

En el estado se distinguen tres áreas climáticas bien definidas:

### Climas templados subhúmedos del Sur.

Se distribuye en parte de los municipios de Amealco, Huimilpan, Pedro Escobedo, San Juan del Río y Corregidora, en zonas amplias, levemente onduladas e interrumpidas por una serie de montañas de más de 2,000 metros de altitud. Estos climas son de temperatura estable, con régimen térmico medio anual de 12°C a 18°C y con precipitaciones más abundantes en verano.

### Climas secos y semisecos del Centro.

Se manifiestan en la porción central del estado, en los municipios de Querétaro, Corregidora, El Marqués, Peñamiller, Ezequiel Montes, Cadereyta, San Juan del Río, Tolimán y Tequisquiapan, sobre terrenos de relieve levemente ondulado a plano y con altitudes menores a los 2,000 msnm, rodeados por sierras, mesetas y lomeríos del Eje Neovolcánico y de la Sierra Madre, que impiden el paso de los vientos húmedos del Golfo de México y de la Mesa Central, la cual retiene la humedad de los vientos que viajan de Norte a Sur. La disposición de este territorio origina un índice de precipitación baja en la zona y provoca una oscilación térmica de 7°C a 14°C que determina el carácter extremo de estos climas, a excepción de los semisecos templados que forman una ancha franja de Este a Oeste.

### Climas cálidos y semicálidos del Norte.

Estos climas prevalecen en la región de la Sierra Madre Oriental, en donde existen notables variaciones de altitud; las que provocan, con otros factores, la presencia de fenómenos meteorológicos complejos y una variación de temperaturas de cálido a frío, de Norte a Sur. En las áreas bajas de esta región las temperaturas promedio oscilan de 18°C a 28°C y la precipitación media anual alcanza los 850 mm. En otras áreas de esta región, las temperaturas anuales varían de 14°C a 20°C y las precipitaciones pueden llegar hasta 1,270 mm.



Figura 1. 3 mapa del los tipos de clima del estado de Querétaro.

### **Principales Ecosistemas**

En el estado de Querétaro se ha determinado la presencia de 18 diferentes tipos de asociaciones vegetales. Por las características que conserva el bosque que crece en el Cerro del Cimatarío, en el límite de los municipios de Corregidora, Querétaro y el Marqués, esta zona ha sido declarada Parque Nacional, en tanto que la Sierra Gorda ha sido declarada como reserva de la biósfera, pues la variedad de formas que tienen en ese sitio la flora y la fauna, la hacen una de las áreas más ricas de la región.

Como resultado de la estructura orográfica, los tipos de clima y la vegetación, en el estado existen 4 tipos de suelos: Los que se presentan en los Valles de San Juan del Río, Querétaro, Pedro Escobedo, Corregidora y El Marqués son denominados negros o chernozem, que se han formado con materiales de origen residual, aluvial y coluvial, y contienen abundante materia orgánica. En la parte central del estado se cuenta con suelos castaños o chestnut con regosoles y feozems. En la región de Jalpan, al Norte de la entidad y en Amealco, al extremo Sur, los suelos se han derivado de rocas sedimentarias fundamentalmente calizas. Los tipos de suelo se denominan suelos complejos de montaña o litosoles cuando se encuentran en pendientes mayores de 35 grados y denominados feozem y vertisol. En menores pendientes dominan los suelos café forestalpozólicos, con razonable cantidad de materia orgánica y subsisten en

lugares con clima de templado a frío con lluvias abundantes. También en esta región, concretamente en el municipio de Landa de Matamoros, se localiza el tipo de suelo llamado rendzina con luvisoles y cambisoles; son someros, de textura fina y subyacen a una capa calcárea de roca o tepetate, localizándose en laderas y en climas cálidos con abundantes lluvias. A continuación, se presentan tablas con las características generales de los municipios.

**Tabla 1. 2 Localización y colindancia de los municipios que conforman el Estado de Querétaro.**

Municipio	Localización
<p><b>Amealco de Bonfil</b></p> 	<p>Esta localizado al Sur del Estado, entre los 20°01' y 20°22' de latitud Norte y los 99°55' y 100°18' de longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con San Juan del Río y Huimilpan; al Sur con el Estado de México y Michoacán; al Este con San Juan del Río y el Estado de México y al Oeste con Huimilpan y Michoacán</p> <p>Su extensión es de 682 kilómetros cuadrados que representan el 5.8% del territorio estatal. Su cabecera municipal es Amealco.</p>
<p><b>Amoles del Pinal</b></p> 	<p>Se encuentra al Norte del Estado, entre los 20°58' y 21°21' de latitud Norte y los 99°26' y 99°43' de longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con Arrollo Seco; al Sur con San Joaquín y Cadereyta de Montes; al Este con Jalpan de Serra y San Joaquín y al Oeste con Peñamiller y Guanajuato.</p> <p>Su extensión es de 611.9 kilómetros cuadrados que representan el 5.2% del total del Estado. Su cabecera municipal es Amoles del Pinal.</p>
<p><b>Arroyo Seco</b></p> 	<p>Se encuentra localizado en la parte Norte del Estado, entre los 21°15' y 21°35' de latitud Norte y los 99°25' y 99°47' de longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con San Luis Potosí, al Sur con Jalpan de Serra, Amoles del Pinal y Guanajuato; al Este con Jalpan de Serra y San Luis Potosí y al Oeste con Guanajuato y San Luis Potosí.</p> <p>Su extensión es de 717.2 kilómetros cuadrados que representan el 6.1% del Estado. Su cabecera municipal es Arroyo Seco.</p>

Continuación

Municipio	Localización
<p><b>Cadereyta de Montes.</b></p> 	<p>Esta localizado al Este del Estado, entre los 20°34' y 21°03' de latitud Norte, y los 99°23' y 99°53' de longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con Peñamiller, Amoles del Pinal y San Joaquín; al Sur con Ezequiel Montes e Hidalgo; al Este con Hidalgo y al Oeste con Ezequiel Montes y Tolimán.</p> <p>Su extensión es de 1131 kilómetros cuadrados que representan el 9.6% del territorio estatal. Su cabecera municipal es Cadereyta.</p>
<p><b>Colón</b></p> 	<p>Se encuentra al Noroeste del Estado, entre los 20°34' y 20°56' de latitud Norte, y los 99°56' y 100°16' de longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con El Marqués, Tolimán y Guanajuato; al Sur con Pedro Escobedo, El marqués y Tequisquiapan; al Este con Tolimán, Ezequiel Montes y Tequisquiapan y al Oeste con El Marqués.</p> <p>Su extensión es de 764 kilómetros cuadrados que representan el 6.5% del total del Estado. Su cabecera municipal es Colón.</p>
<p><b>Corregidora</b></p> 	<p>Se encuentra localizado en la parte Suroeste del Estado, entre los 20°23' y 20°35' de latitud Norte y los 100°22' y 100°31' de longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con Querétaro; al Sur con Guanajuato; al Este con Huimilpan y al Oeste con Guanajuato.</p> <p>Su extensión es de 246 kilómetros cuadrados que representan el 2.1% del Estado. Su cabecera municipal es El Pueblito.</p>

Continuación

Municipio	Localización
<p><b>Ezequiel Montes</b></p> 	<p>Esta localizado en el Centro del Estado, entre los 20°43' y 20°31' de latitud Norte y los 99°44' y 99°59' de longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con Cadereyta de Montes y Tolimán; al Sur con Tequisquiapan; al Este con Cadereyta de Montes e Hidalgo y al Oeste con Tequisquiapan y Colón.</p> <p>Su extensión es de 278 kilómetros cuadrados que representan el 2.3% del territorio estatal. Su cabecera municipal es Ezequiel Montes.</p>
<p><b>Huimilpan</b></p> 	<p>Se encuentra al Suroeste del Estado, entre los 20°17' y 20°33' de latitud Norte y los 100°11' y 100°25' de longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con El Marqués, Corregidora y Pedro Escobedo; al Sur con Amealco de Bonfil, Guanajuato y Michoacán; al Este con Pedro Escobedo, San Juan del Río y Amealco de Bonfil y al Oeste con Corregidora y Guanajuato.</p> <p>Su extensión es de 397 kilómetros cuadrados que representan el 3.4% del total del Estado. Su cabecera municipal es Huimilpan.</p>
<p><b>Jalpan de Serra</b></p> 	<p>Se encuentra localizado en la parte Norte del Estado, entre los 20°06' y 21°41' de latitud Norte y los 99°05' y 99°33' longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con San Luis Potosí; al Sur con Landa de Matamoros, San Joaquín e Hidalgo; al Este con Landa de Matamoros y San Luis Potosí y al Oeste con Amoles del Pinal y Arrollo Seco.</p> <p>Su extensión es de 1121 kilómetros cuadrados que representan el 9.5% del Estado. Su cabecera municipal es Jalpan de Serra.</p>

Continuación

Municipio	Localización
<p><b>Landa de Matamoros</b></p> 	<p>Esta localizado al Norte del Estado, entre los 21°06' y 21°27' de latitud Norte y los 93°03' y 99°22' de longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con Jalpan de Serra y San Luís Potosí; al Sur con Hidalgo; al Este con Hidalgo y San Luis Potosí y al Oeste con Jalpan de Serra.</p> <p>Su extensión es de 840 kilómetros cuadrados que representan el 7.1% del territorio estatal. Su cabecera municipal es Landa.</p>
<p><b>El Marqués</b></p> 	<p>Se encuentra al Noroeste del Estado, entre los 20°31' y 20°58' de latitud Norte y los 100°09' y 100°24' longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con Guanajuato; al Sur con Huimilpan y Pedro Escobedo; al Este con Colón y al Oeste con Querétaro.</p> <p>Su extensión es de 787 kilómetros cuadrados que representan el 6.7% del total del Estado. Su cabecera municipal es El Marqués.</p>
<p><b>Pedro Escobedo</b></p> 	<p>Se encuentra localizado en la parte Suroeste del Estado, entre los 20°35' y 20°21' de latitud Norte y los 100°04' y 100°19' de longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con El marqués y Colón; al Sur con San Juan del Río y Huimilpan; al Este con Tequisquiapan y San Juan del Río y al Oeste con Huimilpan.</p> <p>Su extensión es de 291 kilómetros cuadrados que representan el 2.5% del Estado. Su cabecera municipal es Pedro Escobedo.</p>

Continuación

Municipio	Localización
<p><b>Peñamiller</b></p> 	<p>Esta localizado al Norte del Estado, entre los 20°57' y 21°14' de latitud Norte y los 99°39' y 100°02' de longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con Guanajuato; al Sur con Cadereyta de Montes y Toluán; al Oeste con Cadereyta de Montes y Amoles de Bonfil y al Este con Toluán y Guanajuato.</p> <p>Su extensión es de 795 kilómetros cuadrados que representan el 6.8% del territorio estatal. Su cabecera municipal es Peñamiller.</p>
<p><b>Querétaro</b></p> 	<p>Se encuentra al Oeste del Estado, entre los 20°30' y 20°54' de latitud Norte y los 100°17' y 100°36' de longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con Guanajuato; al Sur con; Huimilpan y Corregidora; al Este con El Marqués y al Oeste con Guanajuato.</p> <p>Su extensión es de 760 kilómetros cuadrados que representan el 6.5% del total del Estado. Su cabecera municipal es Santiago de Querétaro.</p>
<p><b>San Joaquín</b></p> 	<p>Se encuentra localizado en la parte Norte del Estado, entre los 21°07' y 20°53' de latitud Norte y los 99°22' y 99°39' de longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con Jalpan de Serra y Amoles del Pinal; al Sur con Cadereyta de Montes; al Este con Cadereyta de Montes e Hidalgo y al Oeste con Cadereyta de Montes e Hidalgo.</p> <p>Su extensión es de 499 kilómetros cuadrados que representan el 4.2% del Estado. Su cabecera municipal es San Joaquín.</p>

Continuación

Municipio	Localización
<p><b>San Juan del Río</b></p> 	<p>Esta localizado al Sureste del Estado, entre los 20°12' y 20°34' de latitud Norte y los 99°49' y 100°12' de longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con Pedro Escobedo y Tequisquiapan; al Sur con Amealco de Bonfil; al Oeste con Estado de México e Hidalgo y al Este con Pedro Escobedo y Amealco de Bonfil.</p> <p>Su extensión es de 779 kilómetros cuadrados que representan el 6.6% del territorio estatal. Su cabecera municipal es San Juan del Río.</p>
<p><b>Tequisquiapan</b></p> 	<p>Se encuentra al Sur del Estado, entre 20°58' y 21°21' latitud Norte. 99°26' y 99°43' longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con Ezequiel Montes y colón; al Sur con San Juan del Río; al Este con Ezequiel Montes e Hidalgo y al Oeste con Colón, Pedro Escobedo y San Juan de Río.</p> <p>Su extensión es de 343 kilómetros cuadrados que representan el 2.9% del total del Estado. Su cabecera municipal es Tequisquiapan.</p>
<p><b>Tolimán</b></p> 	<p>Se encuentra localizado en la zona Centro del Estado, entre los 21°45' y 21°04' de latitud Norte y los 99°47' y 100°05' de longitud Oeste.</p> <p>Limita al Norte con Peñamiller y Guanajuato; al Sur con Cadereyta de Montes, Ezequiel Montes y Colón; al Este con Cadereyta de Montes y Peñamiller y al Oeste con Guanajuato y Colón.</p> <p>Su extensión es de 724 kilómetros cuadrados que representan el 6.1% del Estado. Su cabecera municipal es Tolimán.</p>

Tabla 1. 3 Características Orográficas del Estado de Querétaro por municipio.

Municipios	Orografía
<b>Amealco de Bonfil.</b>	El municipio de Amealco es atravesado por una prolongación de la Sierra Queretana, que comprende los cerros de San Mateo, El Montoso, la Laguna de Servín que se prolonga hasta el Cerro de La Cruz, el Cerro de Santa Rosa, el Cerro del Gallo (el de mayor altura con 2,760 msnm), el Cerro Pelón y el Cerro de Tepozán que termina en los límites del estado de México con el Cerro de San Pablo.
<b>Amoles del Pinal.</b>	Se encuentra en una zona accidentada, con pendientes pronunciadas, planicies y mesetas pequeñas; la altitud sobre el nivel del mar es muy variable; oscila entre los 839 msnm, en el que se encuentra la comunidad de Huajales, hasta los 3350 msnm del cerro de La Calentura, que es el punto más alto de todo el estado.
<b>Arrollo Seco.</b>	La conformación del suelo es montañosa en su mayoría, con pendientes de más de 25% y está situado en una franja perteneciente a la Sierra Madre Oriental conocida con el nombre de la Sierra Gorda; cuenta con algunas planicies y valles situados principalmente en los márgenes de los ríos Ayutla y Concá. Las principales elevaciones son las de Santo Domingo, Cantera, Cofradía, Soledad y Pitorreal.
<b>Cadereyta de Montes.</b>	El municipio es ocupado por su porción Norte con sistemas de sierra con dirección Noroeste - Sureste que cubren aproximadamente el 60% de la superficie. La parte Sur presenta una pequeña llanura, así como lomeríos, mesetas y cañones.
<b>Colón.</b>	El territorio del municipio es montañoso en el Norte, Este y Oeste, tiene como principales alturas: el Zamorano, el Mexicano, el Pico del Carmen, Amapola, Grande, Cacalote y el Moro, que varían de 1,200 a 3,718 msnm. Hacia el Sur se localizan dos porciones planas, una de ellas es prolongación de la planicie de San Juan del Río.
<b>Corregidora.</b>	<p>Gran parte del municipio está atravesado por varios montes y cadenas montañosas. Las de mayor altura son: Las Vacas con 2260 msnm y Buenavista con 2230 msnm situados el primero al Oeste, un poco al Sur de La Cueva (hoy Joaquín Herrera), y el segundo al Suroeste de la misma población.</p> <p>Hay una muralla natural que circunda el valle en la mayor parte de sus puntos cardinales con cerros de poca elevación, de pendiente muy inclinada y cima que sigue un nivel casi regular en toda su extensión. Estos cerros se ubican al Este y al Sureste del Palillero, que más al Este da origen al Picacho; al Sur la loma de La Mesa y de La Cañada de La Plata; al Suroeste El Copal y al Oeste El Potrero, que se extiende por varios kilómetros.</p>
<b>Ezequiel Montes.</b>	Se encuentra situado entre las alturas de 1,800 y 2,000 metros sobre el nivel del mar; presenta zonas accidentadas en un 25% de la superficie al Sur del municipio; en tanto que el 75% corresponde a zonas semiplanas.
<b>Huimilpan.</b>	El municipio de Huimilpan forma parte de la Sierra Queretana, con algunas elevaciones de importancia, dentro de las cuales destaca el Cerro de Santa Teresa con 2 500 msnm, otros de mayor altura son: Bravo, Capula, el Picacho y el de la Cruz que alcanza 2 650 msnm.
<b>Jalpan de Serra</b>	En su topografía Jalpan presenta tres características de relieve: la primera corresponde a zonas accidentadas que abarca un 12% de la superficie territorial; la segunda abarca la zona semiplana con el 74% de su superficie y la tercera zona plana que abarca el 14% de la superficie.
<b>Landa de Matamoros</b>	<p>Presenta tres formas características de relieve: la primera con zonas accidentadas, formadas por los cerros y barrancas que bajan al río Moctezuma, con pendientes pronunciadas; este tipo de terreno se localiza principalmente en el Sur, Sureste, Noreste y Este del municipio. Las zonas semiplanas, formadas por la serranía y laderas con pendientes medianas. Finalmente, las zonas planas, pequeños valles entre las serranías, presentan pendientes menores localizadas en puntos aislados del municipio.</p> <p>Las principales elevaciones que presenta el municipio al Este son los cerros del Tejocote con una altitud de 2720 msnm; la Cebadilla 2560 msnm, al Oeste se localiza el cerro llamado Piedra Encimada a 1620 msnm; la Barca, a 1380 msnm y los Orujos, a 1260 msnm.</p>

## Continuación

Municipios	Orografía
<b>El Marqués</b>	La mayor parte de este municipio contiene planicies con buenas tierras para la agricultura delimitadas al Norte por estribaciones montañosas de la Sierra Madre Oriental y al Sur por las de la Sierra Madre Occidental; cuenta con algunos cerros de importancia histórica o turística pero de poca altura. Además está situado en el comienzo del parteaguas, no sólo de la República sino del mismo Continente.
<b>Pedro Escobedo</b>	Su forma es una llanura plana de contorno irregular, situada entre estribaciones de la Sierra Madre Oriental al Norte y prominencias de la Sierra Madre Occidental al Sur. Sus terrenos están situados alrededor de los 2000 msnm y sus cumbres más altas no exceden los 2650 metros; el cerro más alto es el Cerro de Enmedio.
<b>Peñamiller</b>	<p>Las elevaciones más importantes son: El Cerro de La Calentura a 3060 msnm, la Mesa de Salinas a 2460 msnm, El Campanario a 2120 msnm, La Tembladera a 2080 msnm, El Piloncito a 1980 msnm, El Cerro de Dios a 1900 msnm y el Picacho a 1680 msnm.</p> <p>Se observan en el municipio tres relieves: la parte baja, entre alturas de 1200 a 1400 msnm; Las Vegas, que se extienden a lo largo del río Extoraz, además de los arroyos de Boquillas, Encinos, Mentiras e Higueras.</p>
<b>Querétaro</b>	<p>El municipio de Querétaro está conformado morfológicamente por lomeríos, sierras y llanuras. La zona de lomeríos presenta colinas redondas de llanuras que se extienden de Sur a Norte por el municipio.</p> <p>En la zona de lomeríos se tienen sierras discontinuas al Norte y Este. Las sierras se localizan en las inmediaciones de El Charape y El Saucito son alargadas y forman pequeñas cañadas.</p> <p>La llanura en el municipio se desarrolla en la ciudad de Querétaro, a excepción del Cerro de las Campanas. La altitud de la planicie varía de 1,800 a 1,900 msnm.</p>
<b>San Joaquín</b>	San Joaquín se encuentra en la zona de la Sierra Gorda, entre zonas montañosas y boscosas, por lo que su topografía es muy accidentada, encontrándose varias barrancas en cuyo fondo corren arroyos y cerros con grandes alturas que sobrepasan los 3,000 msnm.
<b>San Juan del Río</b>	El municipio se encuentra asentado en una zona plana que se conoce con el nombre de Plan de San Juan; dentro de sus características de relieve se considera un 40% de superficie ocupada por zonas planas, 40% de su topografía tiene suaves lomeríos y el 20% restante su topografía es de montaña.
<b>Tequisquiapan</b>	El territorio del municipio de Tequisquiapan se encuentra ubicado en la altiplanicie mexicana, en las estribaciones australes de la Sierra Gorda, donde se localizan zonas relativamente planas que forman pequeños valles y planicies que se han convertido en áreas de cultivos; distribuidas del siguiente modo: zonas planas, 35%; zonas semiplanas, 35%; y zonas accidentadas, 30%.
<b>Tolimán</b>	<p>En el territorio del municipio se presentan elevaciones que oscilan entre los 1,350 msnm y los 2,740 msnm. La altitud de la Cabecera Municipal de Tolimán es de 1,560 msnm. Las elevaciones máximas están en el Derramadero y el cerro del Frontón con 2,500 m.</p> <p>El relieve estructural original de la mesa del centro fue generado en el terciario por erupciones volcánicas, lo cual conformó un altiplano sobrepuesto al antiguo relieve de rocas sedimentarias del mesozoico, que tienen relación con las que afloran en la Sierra Madre Oriental.</p>

Tabla 1. 4 Características Hidrológicas del Estado de Querétaro por municipio.

Municipios	Hidrografía
<b>Amealco de Bonfil.</b>	Cuenta con pequeños arroyos que se forman en la temporada de lluvia. Durante los meses de junio a septiembre las aguas se almacenan en pequeñas presas de las comunidades ubicadas en los municipios de San Juan del Río y Huimilpan.
<b>Amoles del Pinal.</b>	Las corrientes son en su mayoría torrenciales, además existen pequeños manantiales dispersos en toda la zona. Dos ríos de importancia cruzan por este municipio: el Extoraz que cruza en la parte Sur, en dirección oriental y El Rodezno o Río Escanela y desemboca en la presa de Jalpan de Serra.  También cuenta con 169 aprovechamientos de aguas, divididos en 143 manantiales, 6 bordos y 20 corrientes; estos últimos se consideran como ríos con movimiento natural de agua.
<b>Arrollo Seco</b>	El municipio de Arroyo Seco forma parte de la cuenca del río Pánuco y por este cruza el río Concá, el cual es afluente del río Santa María Acapulco; además de los ríos Ayutla, Santa María de Cocos y una parte del río Jalpan.  En total en el municipio se cuenta con 100 aprovechamientos de agua. La gran mayoría de estos aprovechamientos están situados en las inmediaciones de las localidades de Salitrillo, Concá y Ayutla.
<b>Cadereyta de Montes.</b>	La red hidrológica de Cadereyta pertenece en su totalidad a la vertiente del Golfo de México y se distribuye en tres subcuencas: en su zona Noroeste drena hacia el Extoraz; en el Centro y Sur corre hacia San Juan; y en el Norte vierte directamente al Río Moctezuma.
<b>Colón.</b>	El municipio forma parte de las cuencas de los ríos Lerma y Pánuco; sólo cuenta con una parte de los ríos Tolimán y San Juan, tienen además 315 aprovechamientos de aguas, divididos de la siguiente forma: 130 bordos, 6 manantiales, 169 pozos, 3 norias, 7 corrientes superficiales y aproximadamente 40 presas. Todos estos sistemas se utilizan para cubrir las necesidades pecuarias, domésticas y agrícolas.
<b>Corregidora.</b>	Al municipio de Corregidora lo cruzan de Sureste a Noroeste el río El Pueblito que nace en los alrededores de San Francisco Neverías, en el municipio de Huimilpan; penetrando por Arroyo Hondo y saliendo por Adjuntas en donde se une al río Querétaro. En su recorrido recoge aguas que no son capturadas y retenidas en las presas, bordos y cajas de aguas; sumándolas al caudal del río Lerma.
<b>Ezequiel Montes.</b>	Situado en la cuenca del río Moctezuma, a lo largo de sus límites por el estado de Hidalgo. De importancia relativa se tiene el Arroyo de Cantarranas, con una longitud de 18 km, que desemboca en el río San Juan; y el Arroyo Barajas, que con una longitud de 8 km desemboca en el río Moctezuma.
<b>Huimilpan.</b>	El sistema hidrológico del municipio depende de las cuencas de los ríos Lerma y Pánuco; teniendo como río principal el río Huimilpan, que es afluente del río Pueblito y que en su trayecto cuenta con tres presas almacenadoras de importancia: la San José; el Zorrillo y la Insurgentes.
<b>Jalpan de Serra.</b>	El Municipio de Jalpan de Serra forma parte de la Cuenca del río Pánuco y por la parte Norte lo es del paso del río Santa María. Cuenta además con 117 aprovechamientos hidráulicos, tanto superficiales como subterráneos, los cuales se dividen en 89 aprovechamientos superficiales: 48 manantiales, 28 corrientes subterráneas, 31 bordos, una laguna, una presa, 27 norias y 1 pozo.
<b>Landa de Matamoros.</b>	En la parte Oriental del municipio se encuentra el río Moctezuma, cuya corriente se forma por los ríos San Juan y Tula; sirve de límite con el estado de Hidalgo. Otros ríos son el Tancuilín y Río Verdito. Existen también algunos manantiales y pequeños arroyos los cuales en épocas de lluvias aumentan el caudal de los ríos.  Los principales recursos hidráulicos se reducen a bordos y ollas de agua de donde se abastecen la mayor parte de los habitantes.

## Continuación.

Municipios	Hidrografía
<b>El Marqués.</b>	<p>Situado en la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, tiene pocas corrientes y debido a la sobreexplotación de los mantos acuíferos, se ha decretado una veda con el fin de evitar mayor deterioro.</p> <p>El río Querétaro es la principal corriente superficial, aunque sólo lleva un buen caudal cuando la precipitación pluvial se incrementa; de menor importancia se considera a los ríos Chichimequillas y Pinal, así como los arroyos El Durazno, El Roble, Tepozanes, Piedras Lisas, Frijolillo, El Laurel, La Pila, La Angostura, La Gotera y Las Tinajas principalmente.</p>
<b>Pedro Escobedo.</b>	<p>Este municipio se encuentra en el parteaguas del estado, de la República Mexicana y aún del Continente Americano, pues los terrenos delimitados de la Cabecera Municipal hacia El Ahorcado drenan hacia el río de Querétaro que luego se transforman en el río Laja y cuyas aguas van a la laguna de Chapala para acabar desembocando en el Océano Pacífico; mientras que las corrientes situadas al Este de la Cabecera Municipal, como son los de la "D", El Sauz, Ignacio Pérez y San Clemente, se incorporan al río San Juan, después al río Moctezuma y acaban desembocando en el Golfo de México.</p>
<b>Peñamiller.</b>	<p>El único río que atraviesa por el municipio de Peñamiller es el río Extoraz del que es afluente el río Tolimán. Sus aguas son abundantes en la época de lluvias y escasas o ausentes en los meses de marzo a junio.</p> <p>Existe un manantial permanente cuyo arroyo se dirige rumbo a Atarjea, Guanajuato. Del mismo modo, en Adjuntas de Higueras existen manantiales que se localizan en la parte baja del municipio. En otras zonas existen manantiales como el de Río Blanco, Agua Caliente, El Manantial y Saucillo.</p>
<b>Querétaro.</b>	<p>El municipio de Querétaro pertenece a la vertiente del Océano Pacífico, hacia donde drena en forma total su red hidrológica mediante la cuenca del río Lerma-Santiago.</p> <p>La corriente principal del municipio es el río Querétaro el cual se ha convertido en un lugar de esparcimiento para la comunidad y el turismo, ya que cuenta con árboles de diferentes especies, pastizales, flores de ornato, así como peces, patos y unos juegos de aguas bailarinas a lo largo de su cauce.</p>
<b>San Joaquín.</b>	<p>De la hidrografía de San Joaquín, el río más importante es el Extoraz que pasa por algunas localidades del municipio, éste nace en el estado de Guanajuato, su corriente es de origen pluvial. Además existen manantiales dispersos debido a los escurrimientos superficiales ocasionados por las precipitaciones pluviales y otros de tipo permanente que en épocas de sequías bajan su nivel.</p> <p>Se cuenta con 48 sistemas hidráulicos para la captación de agua en época de lluvias: bordos, presas, ollas y manantiales.</p>
<b>San Juan del Río.</b>	<p>Las corrientes superficiales más importantes del municipio son los ríos de San Juan, Culebra y el Prieto; además se tiene la presencia de arroyos como El Caracol, Cocheros, Ciprés, La Culebra, Hondo, Dosocué, Yerbabuena y Viborillas entre otros.</p>
<b>Tequisquiapan.</b>	<p>El municipio se encuentra ubicado dentro de la región hidrológica del río Pánuco. El río más importante que drena el área es el río San Juan que vierte en la presa Centenario y atraviesa a lo largo de la zona urbana de Tequisquiapan, hasta conectar con la presa Paso de Tablas siguiendo su caudal dentro del estado de Hidalgo; conformado como río Moctezuma.</p>
<b>Tolimán.</b>	<p>El municipio se ubica en la subcuenca del río Extoraz perteneciente a la cuenca hidrológica del río Moctezuma que pertenece a la región del Pánuco. Dicha cuenca está formada por tres vertientes: Una procede de Bernal, San Antonio de la Cal y San Pablo; otra del Cerro del Zamorano y San Miguel; y la última procede de las estribaciones de El Derramadero e Higueras. Se concentran cerca de la Cabecera Municipal y continúan para unirse con el río Extoraz.</p> <p>Debido a la topografía del municipio y a la escasez de agua, solamente existen 10 arroyos principales, 5 tributarios y 16 arroyos pequeños, que únicamente conducen agua en época de lluvia.</p>

Tabla 1. 5 Características del Clima en el Estado de Querétaro por municipio.

Municipios	Clima
<b>Amealco de Bonfil.</b>	El clima predominante es templado-húmedo, fresco durante el verano. Se estima que su temperatura promedio anual es de 15°C. Los meses fríos son noviembre a febrero. Los meses cálidos de marzo a mayo. La Precipitación media anual es de 800 mm.
<b>Amoles del Pinal.</b>	Se presentan tres tipos de climas bien definidos: Templado húmedo, con lluvias en verano y temperatura media anual de entre los 12° C y 18° C, precipitación media anual de 850 mm; Semicálido seco, con temperaturas anuales de entre los 18° C y 22° C, con régimen de lluvias de verano, escasa lluvia invernal, la precipitación media anual es de 509 mm; Semicálido húmedo, con lluvias en verano y un bajo porcentaje de lluvias invernales, con verano cálido y la precipitación media anual de 992 mm.
<b>Arrollo Seco.</b>	En el municipio se encuentran dos tipos de clima: Semi-seco, es el más predominante con una temperatura media anual de 22° C; Semi-cálido, la temperatura varía entre los 22 y los 18° C con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor al 5% del total anual.
<b>Cadereyta de montes.</b>	Los climas que se presentan en el municipio son el seco, el semi-cálido y semi-seco. En el municipio se caracterizan por un invierno seco, temperatura media anual de 16.7 grados centígrados y máxima de 38 grados centígrados. Una precipitación pluvial de 560 mm mal distribuida.
<b>Colón.</b>	El clima predominante en la región es templado, semiseco, con una temperatura media anual de 17.4°C. El mes de enero presenta las más bajas de 1.8°C. El período de precipitaciones pluviales se presenta en verano con un promedio de 574.1 milímetros anuales.
<b>Corregidora.</b>	El municipio cuenta con un clima seco y semicálido que oscila entre los 18°C y los 22°C; siendo mayo el mes más caluroso. Predomina el régimen de lluvias de verano aunque en invierno también se registran lluvias, la precipitación media anual es de 610 mm.
<b>Ezequiel Montes.</b>	Templado-cálido, con temperatura media anual de 16.7°C, siendo el mes de junio el más caluroso y los meses de enero y febrero los más fríos. El período de lluvias es el verano, con una precipitación pluvial media anual de 460 mm.
<b>Huimilpan.</b>	La temperatura media anual es de 14.8°C, aunque en invierno se registran temperaturas de 0°C o más bajas mientras que durante el verano se registran temperaturas de más de 30° C. la precipitación media anual es de 635 mm.
<b>Jalpan de Serra.</b>	Su clima es cálido y húmedo, con temperatura media anual de 24.2° C; siendo los meses de abril y mayo los más calurosos y diciembre a febrero los meses más fríos. La precipitación media anual es de 1185 mm.
<b>Landa de Matamoros.</b>	El municipio cuenta con una gran variedad de climas debido a lo accidentado de sus suelos. La temperatura media anual es de 22° C. La precipitación pluvial anual promedio es de 920 mm. La dirección del viento predominante es de Noroeste a Sureste. En la parte baja existe clima seco y subhúmedo en las partes medias.
<b>El Marqués.</b>	El clima predominante es el subtropical de altura, templado-semiseco en el 80% del municipio, y el 20% restante presenta un clima templado-húmedo. La temperatura media anual está comprendida entre los 18 y los 24°C, mientras que para el clima templado-subhúmedo oscila de los 14 a los 16°C.  La precipitación pluvial registra de 400 a 500 milímetros, siendo el viento dominante de Noreste a Suroeste.
<b>Pedro Escobedo.</b>	El clima es subhúmedo con lluvias en verano; la temperatura media anual es de 18.4 grados centígrados y la precipitación pluvial media anual de 580 milímetros.
<b>Peñamiller.</b>	Los climas que predominan en la región son: Semiseco, donde la temporada de mayor calor se presenta durante los meses de mayo a agosto, con un promedio de temperatura de hasta 40.2°C; Semicálido con temperaturas que oscilan entre 2°C hasta 35°C y con una temperatura media de 22°C; se definen condiciones desérticas perfectamente observables. La precipitación media anual es de 460 mm.

## Continuación.

Municipios	Clima
Querétaro.	El clima es de templado a semiseco; caracterizado por un verano cálido. La temperatura media es de 18° C. Los meses más calurosos son mayo y junio, con temperaturas máximas de 36° C y los más fríos son diciembre y enero que registran una temperatura mínima de 3° C. La precipitación media anual es de 550 mm.
San Joaquín.	En el municipio prevalece el clima templado-húmedo con verano fresco, y una temperatura media anual de 14° C. La precipitación pluvial anual promedio es de 850 mm.
San Juan del Río.	El clima es subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 16.5°C con una precipitación anual de 620 milímetros.
Tequisquiapan.	El clima se considera semiseco y templado, con humedad intermedia, el período principal de lluvias es en verano, con una precipitación pluvial media anual de 500 milímetros. La temperatura fluctúa entre los 18° C y 37° C.
Tolimán.	El clima predominante es semicálido con lluvias en verano. La precipitación media anual es de 445 mm.

Tabla 1. 6 Características de los Recursos Naturales del Estado de Querétaro por municipio.

Municipios	Recursos Naturales
Amealco de Bonfil.	<p>En el municipio aun se encuentran zonas boscosas predominando en su vegetación los encinos, madroños, pinos, cedros, fresnos, capulines y tejocotes.</p> <p>En la actualidad la fauna silvestre está sensiblemente disminuida (principalmente tigrillos y gatos monteses. Sin embargo, aún se encuentran coyotes, ardillas, conejos, liebres y otras pocas especies silvestres como onzas, armadillos, palomas silvestres, cenizotes, calandrias y gorriones, entre otras.</p> <p>En este municipio se localizan cuatro tipos de suelo. El primero, se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes; el segundo presenta acumulaciones de arcilla, con coloraciones rojas y amarillas, su textura va de media a fina; el tercero; presenta un subsuelo rocoso con formaciones de terrones, además denota acumulación de arcilla. Por último, existe un suelo que se distingue por ser arenoso con una profundidad menor a los 10 cm.</p>
Amoles del Pinal.	<p>En cada tipo de clima se han desarrollado diferentes tipos de vegetación: selva baja caducifolia en la parte Norte; bosques de pino-encino en la parte Central y Noroeste. El bosque pino-encino es característico de los climas templados y alturas por arriba de los dos mil metros sobre el nivel del mar.</p> <p>Dependiendo de la flora y clima existentes, habitan diferentes tipos de especies animales en el territorio. Los más comunes son: venado cola blanca (en peligro de extinción), ardilla, tigrillo, mapache, lince, pájaro carpintero, perico, guacamaya, camarón, acamaya, así como varios tipos de reptiles.</p> <p>Los suelos en su mayoría son de origen sedimentario; la composición geológica es roca sedimentaria compuesta de caliza en un 45% y solamente el 15% roca ígnea. También debe considerarse la presencia de los suelos complejos de montañas, con pendiente de más de 35% con abundante materia orgánica.</p>

Continuación.

Municipios	Recursos Naturales
<b>Arrollo Seco.</b>	<p>Entre las especies forestales se encuentran los árboles de encino, pino, cedro blanco, madroño, tepozán, nogalillo y oyamel, donde se mezclan algunos cactus, nopales, cola de diablo, órgano y biznaga. En las zonas bajas abundan árboles de madera fina como cedro rojo, parota y ahuehuete.</p> <p>La fauna es muy abundante en aves y mamíferos. Entre las aves se encuentran palomas, codorniz, gallina silvestre, pavo cimarrón, ajolito, águila, gavilán, tecolote, correcaminos, lechuza, pato y ganso. En el bosque los pájaros alegran con su canto como los ceniztos, chichos, calandrias, gorriones, jilgueros, petirrojos, dominicos y otros.</p> <p>Entre los mamíferos se encuentran la ardilla, el conejo, armadillo, venado cola blanca, zorra, coyote, jabalí, puma, gato montés, tejón, mapache, pintorrabo, zorrillo y tlacuache.</p> <p>Abundan los reptiles como las víboras de cascabel, azul, navaca, cuatronarices, coralillo, amarilla y chirrionera.</p>
<b>Cadereyta de Montes.</b>	<p>De acuerdo a las condiciones climáticas existentes en la región, la vegetación se encuentra compuesta por diversas especies. La flora característica de la región del Semidesierto incluye matorrales como capulín o tullidora, matorrales espinosos, palo dulce, jara y helechos silvestres. Dentro de los árboles se encuentran especies de huitzaches, de pirul y de mezquite, pinos silbadores, eucaliptos, jacarandas y algunos arbustos como las bugambilias y una gran variedad de plantas domésticas. Los árboles frutales adaptados al medio son: higueras, duraznos, limoneros, granados, zapote verde y algunas variedades de chiles.</p> <p>La fauna silvestre incluye pequeñas variedades de mamíferos, entre ellos los roedores y algunos depredadores tales como: tuzas, ratones de campo, comadrejas, ardillas, conejos, liebres, zorrillos, zorras, tlacuaches, tejones y murciélagos. Se pueden encontrar reptiles y lagartos como culebras, víboras chirrioneras, cascabel, coralillos, tortugas de desierto, raposas, camaleones escupe sangre, lagartijas, escorpiones y ajolotes.</p> <p>Dentro de las aves se encuentran el cenizto, el huitlacoche, petirrojo, calandria amarilla, dominico, calandria, golondrina, colibrí, paloma, águila gris, águila café, tórtola, correcaminos, gavilán, cuervo, zopilote y torcaza.</p>
<b>Colón.</b>	<p>La vegetación se compone de bosque de pino, encino y mezquite, además de arbustos como palo bobo, uña de gato, hitsachem, granjeno y algunos cactus como nopal, biznaga y cola del diablo.</p> <p>La fauna se compone principalmente de coyote, zorro, liebre, conejo, gato montés, puma y en las zonas altas la presencia de venado. Además existe una gran variedad de aves silvestres de las que destacan el cenizto, gorrión y diferentes clases de paloma.</p> <p>El sustrato geológico que predomina está formado por rocas ígneas como riolitas y basaltos. En la región predominan los suelos tipo litosol. El suelo se compone fundamentalmente por 35% de arcilla y 65% de arena, formando una textura suave; en algunas áreas específicas el porcentaje de arena asciende hasta un 82%. La superficie presenta pendientes que varían de ocho a treinta por ciento.</p> <p>El área urbana actual, se asienta sobre un valle formado por un aluvión en donde se localizan bancos de sillar.</p>

Continuación.

Municipios	Recursos Naturales
<b>Corregidora.</b>	<p>La vegetación es del tipo mezquital y matorral, así como: palo bobo, huitzache, uña de gato, granjeno, palo shishote y algunos cactus como nopal, cola de diablo y biznaga.</p> <p>Entre los mamíferos existen todavía zorrillos, tlacuaches, tlacomiches, tejones, tuzas y onzas, así como liebres, conejos y ratones. Hay también reptiles como la víbora chirrionera, la ceniza, la cascabel, la coralillo, el alicante y aún algunas muy pequeñas como la agujilla y las lagartijas. Del mismo modo, subsisten aves como los gorriones, calandrias, cenizotes, jilgueros, torcazas, chillones, golondrinas, urracas.</p> <p>La región pertenece al período Cuaternario; su composición es de conglomerados areniscos. El tipo de suelo predominante es de textura pesada y en la mayoría de lomas y cerros.</p>
<b>Ezequiel Montes.</b>	<p>Cuenta en su mayoría con pastizales y mezquiales, existiendo pequeñas porciones de bosque. Sus principales especies son: órgano, nopal, cardón, escobilla, maguey y sábila.</p> <p>La fauna consiste en especies como víbora de cascabel, coralillo, trompa de puerco, alicante, conejo, liebre, zorrillo, chillón, zopilote, carpintero, tecolote, lechuza y murciélago.</p> <p>El tipo de suelo que predomina está compuesto por combinaciones de arcilla, lino y arenas, con mezcla en menor proporción de calizas formando texturas delgadas.</p>
<b>Huimilpan.</b>	<p>La vegetación con la que cuenta el municipio es de dos tipos: Los valles que se componen de uña de gato, huitzache, mezquite, palo bobo, palo dulce, cardones y nopal; en la parte montañosa subsiste vegetación de encino, pino, madroño, tejocote, capulín, cedro, eucalipto y pingüica. Del mismo modo, en la ribera del río hay vegetación como: fresno, sauz y jara.</p> <p>Dentro de la fauna silvestre se encuentran especies como coyote, gato montés, ardilla, tuza, conejo, liebre, onza o comadreja, tlacoyote o cacomiztle, mapache, tlacuache y tejón, así como una gran variedad de aves y reptiles. En las presas y ríos se encuentran especies como mojarra, carpa egipcia y carpa espejo.</p>
<b>Jalpan de Serra</b>	<p>La vegetación es contrastante según la región: hay matorral de tipo desértico como mezquite, huitzache, tepame, granjeno, zihuapate, palo bobo, hoja ancha y palo shishate donde se mezclan algunos cactus, cola de diablo, nopal, biznagas, garrambulos, cardones, órganos y pastos de algunas variedades, así como pino, encino.</p> <p>En lo que respecta a la fauna, hay conejos, liebres, ardillas, zorrillos, zorras, mapaches, comadrejas, serpientes, venado, coyote, jabalí, puma y tigrillo. Del mismo modo, existen aves diversas: varios tipos de paloma, codorniz, pato, agachona, gavilán, aguillilla, tecolote y lechuza, distintas clases de garza, martín pescador, periquillo, entre otros.</p> <p>En los cuerpos de agua existen: ranas, tortugas, salamandras y culebras, acamayaz, langostinos y una amplia variedad de peces.</p> <p>Los suelos predominantes en esta región son dos: Los suelos con cambio de color, estructura y consistencia se da debido al intemperismo, son jóvenes y poco desarrollados; se caracterizan porque soportan bosque de pino y encino; y suelos que tienen una capa de color pardo rojizo a pardo grisáceo, de textura arcillosa con alto contenido de calcio pero moderado en potasio y magnesio, soportan vegetación de selva caducifolia. El suelo está formado principalmente por rocas marinas de cuencas, plataforma y arrecifes con edades que van del Jurásico Superior al Cretácico Superior con rocas ígneas del Terciario y sedimentos continentales Cuaternarios.</p>

## Continuación.

Municipios	Recursos Naturales
<b>Landa de Matamoros.</b>	<p>El municipio es rico en flora y fauna. Dentro de la principal flora silvestre tenemos el pino, cedro rojo, cedro blanco, capulín, palo de rosa, granjeno, cactus, mora y frijolillo. Los principales frutos cultivados principalmente son naranja, durazno, papaya, limón, aguacate, toronja, lima, zapote, caña de azúcar, ciruela, manzana, mango y café.</p> <p>La fauna silvestre consta de especies como tigrillo, coyote, zorra, armadillo, tejón, gato montés, conejo, tlacuache, víbora, venado, correcominos, tórtola, jilguero, gorrión y guacamaya.</p> <p>Los tipos de suelos que predominan son el feozem lúvico litosol, luvisol crómico rendzina y vertisol pélico. Landa está ubicada en una zona sísmica.</p>
<b>El Marqués</b>	<p>En cuanto a la vegetación, según las características de suelo, cerca de los arroyos podemos encontrar árboles frutales, cedros, fresnos, oyameles y carrizales; en las zonas planas podemos apreciar los mezquites, huizaches, pirules y palos bobos. En las zonas donde escasea el agua encontramos gran diversidad de cactáceas y en una pequeña zona alta del municipio hay algunas piezas de pinos, cedros rojos, encinos, pingüicas y piñones.</p> <p>Los animales más abundantes son: coyote, lobo, zorra, liebre, conejo, tuza y tlacuache. Entre los reptiles existen: alicante de cascabel, chirrionera, coralillo y culebra. Entre las aves tenemos: águila, zopilote, gavilán, codorniz y paloma, así como depredadores como el cuervo, urraca y tordo. Temporalmente llegan aves migratorias como: garza, grulla, pato y golondrina.</p> <p>El municipio cuenta en su mayoría con suelos de tipo vertisol pélico. Éstos presentan como característica común un gran contenido en materia orgánica, debiéndose a ello su gran fertilidad.</p>
<b>Pedro Escobedo.</b>	<p>En el municipio se produce casi toda la clase de plantas que aportan las semillas empleadas en la alimentación básica del pueblo; muchas otras son utilizadas como forraje y árboles frutales, plantas de ornato, flores, verduras y una gran variedad de árboles como: coníferas, truenos, eucaliptos, bugambilias y jacarandas.</p> <p>Debido a lo plano del terreno, la fauna ha experimentado un gran aniquilamiento y sólo en contadas regiones subsisten ardillas, liebres, conejos y tlacuaches; entre las aves hay palomas, golondrinas, tordos, gavilanes, aguilillas y tecolotes; entre los reptiles existen los alicantes, culebras, coralillos y víboras de cascabel.</p> <p>El tipo de suelo en su mayor parte es el vertisol pélico, que presenta como característica común un gran contenido de materia orgánica, lo que explica su gran fertilidad.</p>
<b>Peñamiller.</b>	<p>El tipo de vegetación existente en el municipio es el de tipo mezquital en su mayor parte, bosque de encino-pino en la zona Oriente del municipio; y matorral desértico microfilo en mínima proporción en la zona Sur.</p> <p>Existe además otro tipo de vegetación dentro de la misma familia, tal como el palo bobo, uña de gato, huitzache, granjeno y palo sishote, donde se mezclan algunos cactus tales como nopal, órgano y biznaga.</p> <p>El tipo de suelo predominante en el municipio de Peñamiller es el kastañozems lúvicos. El suelo del municipio de Peñamiller es muy accidentado, forma parte de la región llamada Sierra Gorda, nombre que se le ha dado debido a la generalidad de la forma de sus montañas, las que se localizan a una altitud que va de 1,250 a 3,000 metros sobre el nivel del mar. Las pendientes van de 0 a 8% en las zonas de llanura y de más de 30% en las zonas de montaña.</p>

Continuación.

Municipios	Recursos Naturales
<b>Querétaro.</b>	<p>El municipio tiene los siguientes tipos de vegetación: palo bobo, uña de gato, huizache, granjeno y palo sishote; algunos cactus como el nopal de diversas clases, cola del diablo, órgano, biznaga y garambullo. Las especies mayores están compuestas por encino, eucalipto, trueno, jacaranda, flamboyán, paraíso, alamillo, pirul, sauz y mezquite.</p> <p>En el cerro El Cimatario, que ocupa una superficie de 2,447,870 ha. Se ha decretado Parque Nacional por el Sistema de Áreas Naturales Protegidas. Se han realizado intensos programas de reforestación y repoblamiento con diversas especies como el venado de cola blanca, águila, conejo, entre otros.</p> <p>El municipio cuenta en la mayoría de su superficie con suelos de tipo arcilloso, otros de tipo calcáreo y algunos con alto contenido orgánico.</p>
<b>San Joaquín.</b>	<p>La vegetación es de tipo boscosa con vegetación diversa como pino, encino, cedro rojo, cedro blanco, fresno, escobillos, roble y madroños; dado la altura que tiene el municipio la zona boscosa más importante es Campo Alegre la cual ha sido nombrado Parque Nacional.</p> <p>La fauna que aún existe es de especies pequeñas como lo son: coyote, zorra, tejón, tlacuache, ardilla, puerco espín, paloma, codorniz, gavilán, cuervo, zopilote y conejo.</p> <p>En este municipio se observan dos tipos de suelo, en un 80% del suelo se presentan acumulaciones de arcilla con coloraciones rojas y amarillas, su textura es media y fina; el otro 20% restante es de una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrientes.</p> <p>El origen geológico del municipio se da en la era Secundaria durante los períodos Jurásico y Cretácico, formándose las altas cadenas montañosas debido a los grandes plegamientos y al desplazamiento de las placas tectónicas de la corteza terrestre. Existen rocas calizas con fósiles incrustados de origen marino localizados en el Sur del municipio, dándose dicha formación en el período Jurásico (de 180 a 135 millones de años).</p>
<b>San Juan del Río.</b>	<p>Predomina la vegetación de tipo mezquital, pastizal y matorral. La destrucción del hábitat natural en gran parte del territorio estatal, ha ocasionado la desaparición de varias especies, conservándose algunas aves como la paloma, huijota y tórtola; algunos mamíferos como el zorrillo, tlalcoyote, comadreja y mapache, así como los reptiles víbora de cascabel y coralillo.</p> <p>Los suelos predominantes en el municipio se caracterizan por presentar una capa superficial con estructura bien desarrollada, de color pardo grisáceo, rica en materia orgánica y nutrimentos.</p>
<b>Tequisquiapan.</b>	<p>La variedad de paisaje que se presenta en el municipio es en gran medida producto de las características geológicas y de las condiciones climáticas predominantes; distinguiéndose el mezquital y el pastizal. Los mezquitales se desarrollan generalmente en terrenos planos de suelos profundos y climas semiáridos. La flora importante se logra en las partes bajas que acumulan humedad por la influencia del río San Juan. En estas zonas crecen el nogal, el fresno y el sabino.</p> <p>La fauna del municipio ha sufrido severas transformaciones debido a los diversos factores que han incidido para que algunas especies de la fauna silvestre hayan desaparecido y algunas se encuentren en peligro de extinción. Las especies que se han adaptado a las condiciones actuales son: liebre, conejo, zorrillo, ardilla, tejón y tlacuache.</p> <p>La topografía es propia de terreno plano a ligeramente ondulado, con suelos de textura media y fina respectivamente, compuesta con arena y arcilla. Sedimentos terciarios, los cuales se encuentran intercalados con riolitos y basaltos, forman capas de suelo que determinan la existencia de mantos acuíferos de agua termal.</p>

Continuación.

Municipios	Recursos Naturales
<b>Tolimán.</b>	<p>La vegetación está condicionada por los factores climáticos, naturaleza del material geológico, suelos y topografía del terreno. En esta región encontramos tipo de vegetación dominado por cactáceas grandes de tallos aplanados o cilíndricos, los ejemplares más abundantes son nopales, garambullos, biznagas, pitayos y órganos entre otros. También encontramos especies del género agave como el maguey pulquero, lechuguilla y sávila; material espinoso como el huizache, cardenche, mezquite, ocotillo y tepehuaje.</p> <p>Respecto a la fauna, las especies existentes son venado, coyote, armadillo, liebre, conejo, ardilla, tejón y zorrillo entre los mamíferos. Gavilán, cuervo, zopilote, urraca, pájaro carpintero, colibrí, paloma, golondrina y gorrión, entre otras aves. Alicante, víbora de cascabel, coralillo, y tortuga se cuentan entre los reptiles.</p> <p>En general, la escasez de corrientes superficiales de agua han provocado la mala calidad de suelo que no permite incorporarlos a la producción pues se obtienen bajos rendimientos. Los terrenos, aunque no son de vocación agrícola, pueden ser aptos para el ganado. La mayor parte corresponde a matorral con un 78.62% de la superficie total.</p>

## 1.2 Datos de las Estaciones Climatológicas.

Para este trabajo, se utilizaron 53 estaciones del Estado de Querétaro, 9 del Estado de México, 7 del Estado de Guanajuato, 4 del Estado de Hidalgo, 6 de San Luis Potosí y 3 de Michoacán. Ninguna estación presenta datos completos lo que hace necesario aplicar técnicas para llenar los registros. El periodo que se utilizó para este estudio fue de enero de 1966 a diciembre del 2002, la razón es por que antes y después de ese periodo hay poca información.

En la siguiente tabla se muestran las estaciones utilizadas, los meses con información, los faltantes y el porcentaje de información obtenida para el periodo de Enero del 1966 a diciembre del 2002

**Tabla 1. 7 Estaciones Utilizadas.**

Clave	Municipio	Latitud	Longitud	Elev.	Meses con Inform.	Meses faltantes	Porcentaje
11012	Coroneo	20.1833	-100.3500	2271	365	79	82.21%
11083	Xichu	21.3000	-100.0500	1310	350	94	78.83%
11105	Apaseo el grande	20.5500	-100.5833	1790	287	157	64.64%
11119	Tierra blanca	21.0833	-100.1500	1760	250	194	56.31%
11122	Sn Miguel Allende	20.7500	-100.6000	2040	316	128	71.17%
11144	Sn José Iturbide	20.9000	-100.4167	2200	255	189	57.43%
11148	Apaseo el grande	20.6667	-100.6333	2010	210	234	47.30%
13023	Tecoautla	20.5667	-99.7500	1572	57	387	12.84%
13147	Cardonal	21.1000	-98.9833	950	75	369	16.89%
13157	Pacula	21.0333	-99.3000	533	24	420	5.41%
13158	Zimapán	20.7167	-99.4000	935	84	360	18.92%

## Continuación

Clave	Municipio	Latitud	Longitud	Elev.	Meses con Inform.	Meses faltantes	Porcentaje
15024	Solis	19.9667	-99.9500		438	6	98.65%
15031	Solis	19.9667	-100.0500	2355	273	171	61.49%
15187	Aculco	20.1333	-99.9000	2555	354	90	79.73%
15188	Apaxco	20.1833	-99.9500	2179	165	279	37.16%
15190	Aculco	20.2167	-99.8833	2130	417	27	93.92%
15192	Polotitlan	20.0333	-99.9833	2260	255	189	57.43%
15223	Malinalco	20.0667	-99.9167		225	219	50.68%
15260	Aculco	20.1667	-99.9000		258	186	58.11%
15378	Tejupilco	20.2500	-99.7833	770	132	312	29.73%
16124	Contepec	20.0667	-100.2333	2470	222	222	50.00%
16175	Contepec	19.9667	-100.2000		276	168	62.16%
16233	Contepec	20.1334	-100.2834		250	194	56.31%
22001	Amealco	20.1847	-100.1456	264	284	160	63.96%
22002	Arrollo seco	21.3653	-99.5903	55	386	58	86.94%
22003	Cadereyta	20.7000	-99.8111	200	195	249	43.92%
22004	Corregidora	20.5042	-100.4244	188.1	372	72	83.78%
22005	Cadereyta	20.8506	-99.5878	250	418	26	94.14%
22006	Corregidora	20.5219	-100.4481	182.6	344	100	77.48%
22007	Jalpan	21.2167	-99.4667	860	219	225	49.32%
22008	Jalpan	21.2214	-99.4775	76	335	109	75.45%
22009	Pedro esc.	20.5167	-100.1833	0	272	172	61.26%
22011	Pedro esc.	20.5000	-100.1333	2000	102	342	22.97%
22012	Peñamiller	21.0550	-99.8144	132.5	415	29	93.47%
22015	Sn Juan del Río	20.3833	-100.0000	1978	116	328	26.13%
22016	Sn Joaquín	20.9161	-99.5650	220	173	271	38.96%
22017	Tolimán	20.8572	-99.8997	152	371	73	83.56%
22018	Corregidora	20.5333	-100.4333	1800	41	403	9.23%
22019	Landa de M.	21.2422	-99.2603	105	324	120	72.97%
22021	Cadereyta	20.7000	-99.8167	0	140	304	31.53%
22022	Sn Juan del Río	20.3742	-99.9983	194.5	334	110	75.23%
22024	Landa de M	21.3253	-99.2042	187	302	142	68.02%
22025	Tequisquiapan	20.5131	-99.9000	191.2	413	31	93.02%
22026	Colon	20.7856	-100.0453	192	279	165	62.84%
22027	Querétaro	20.6042	-100.4411	180	91	353	20.50%
22028	Sn Juan del Río	21.5483	-99.6886	196	214	230	48.20%
22029	Huimilpan	20.3839	-100.2806	225	272	172	61.26%
22030	Sn Juan del Río	20.3333	-99.9333	0	216	228	48.65%

## Continuación

Clave	Municipio	Latitud	Longitud	Elev.	Meses con Inform.	Meses faltantes	Porcentaje
22031	Tequisquiapan	20.5436	-99.8392	188	340	104	76.58%
22033	Amealco	20.1283	-99.9967	240	337	107	75.90%
22034	Ezequiel M.	20.7417	-99.9417	205	281	163	63.29%
22035	Cadereyta	20.8334	-99.7036	202.5	346	98	77.93%
22036	Arrollo Seco	21.5483	-99.6886	99	291	153	65.54%
22038	Tolimán	20.9167	-99.9333	0	107	337	24.10%
22040	Pedro esc.	20.4833	-100.1333	0	25	419	5.63%
22041	Querétaro	20.5556	-100.2167	240	207	237	46.62%
22042	Sn Juan del Río	20.4642	-99.9914	191	262	182	59.01%
22043	el Marqués	20.6167	-100.2333	1915	163	281	36.71%
22044	Amealco	20.2667	-100.0833	0	74	370	16.67%
22045	Querétaro	20.7044	-100.4594	188.5	233	211	52.48%
22046	Colon	20.6986	-100.1442	203	231	213	52.03%
22047	Amealco	20.1247	-100.0444	239.8	245	199	55.18%
22049	Colon	20.9042	-100.2117	259	207	237	46.62%
22050	Huimilpan	20.3983	-100.4242	212	152	292	34.23%
22051	Peñamiller	20.1650	-99.9456	188	198	246	44.59%
22052	Ezequiel M.	20.6667	-99.9000	0	48	396	10.81%
22054	Cadereyta	20.7192	-99.6925	206	198	246	44.59%
22056	Cadereyta	20.9144	-99.7631	158	230	214	51.80%
22057	Peñamiller (DGE)	21.0500	-99.8000	1325	50	394	11.26%
22058	Huimilpan	20.4919	-100.3033	204	226	218	50.90%
22059	Cadereyta	20.8333	-99.7833	0	83	361	18.69%
22062	Peñamiller	20.6997	-99.8111	137	164	280	36.94%
22063	Querétaro	20.5833	-100.3833	0	139	305	31.31%
22067	Pedro Esc.	20.4861	-100.1875	191	119	325	26.80%
22068	Colon	20.8533	-100.0619	175	156	288	35.14%
22070	el Marqués	20.6056	-100.3436	200	37	407	8.33%
24035	Lagunillas	21.5667	-99.5833	1390	361	83	81.31%
24084	Tamazuchale	21.5667	-99.1167	100	411	33	92.57%
24086	Tamasopo	21.6833	-99.3167		359	85	80.86%
24090	Tamasopo	21.6667	-99.2167	120	428	16	96.40%
24105	Xilitla	21.4000	-98.9833	1035	427	17	96.17%
24136	Santa Catarina	21.6333	-99.2500	150	328	116	73.87%



**Tabla 1. 8 Datos recopilados de INEGI por municipio.**

	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<b>Amealco de Bonfil</b>													
Producción (Ton)	Maíz	1339	23142	11523	20793	8205	9499	8298	20120	275	16239	21476	26397
S. Siembra (Ha)	Maíz	12524	13300	8290	12026	9620	12327	12886	12103	13798	13840	14295	14504
Rendimiento (Ton/Ha)	Maíz	0.107	1.740	1.390	1.729	0.853	0.771	0.644	1.662	0.020	1.173	1.502	1.820
Carne en canal (ton)	Bovino	975.400	1204.000	853.900	1017.180	933.000	812.300	1110.190	524.560	493.000	597.000	530.000	653.000
Sacrificio (Cab)	Bovino	4495.00	5509.00	4178.00	4637.00	4492.00	3743.00	5869.000	2078.000	1947.000	2667.000	2542.000	2796.000
Rendimiento (ton/cab)	Bovino	0.217	0.219	0.204	0.219	0.208	0.217	0.189	0.252	0.253	0.224	0.208	0.234
Carne en canal (ton)	Caprino	4.300	4.000	4.200	3.820	3.000	2.100	6.840	6.230	2.000	3.000	2.000	2.000
Sacrificio (Cab)	Caprino	414.000	345.000	387.000	320.000	298.000	168.000	830.000		27.000	150.000	134.000	113.000
Rendimiento (ton/cab)	Caprino	0.010	0.012	0.011	0.012	0.010	0.013	0.008		0.074	0.020	0.015	0.018
Carne en canal (ton)	Porcino	375.000	375.000	368.800	390.250	390.300	385.400	256.260	223.260	287.000	401.000	411.000	429.000
Sacrificio (Cab)	Porcino	5514.00	5339.00	5413.00	5697.00	5663.00	5545.00	4265.00	2930.00	4234.00	4792.00	4600.00	4608.00
Rendimiento (ton/cab)	Porcino	0.068	0.070	0.068	0.069	0.069	0.070	0.060	0.076	0.068	0.084	0.089	0.093
leche (miles de litros)	Bovino	927.00	947.00	1017.40	1025.94	992.40	908.30	1387.00	804.86	1129.00	1273.00	1563.00	1767.00
<b>Amoles del Pinal</b>													
Producción (Ton)	Maíz		3572	618	3996	1004	853	324	500	424	180	442	480
S. Siembra (Ha)	Maíz		3969	3670	3140	2511	2200	1208	1164	1265	400	500	600
Rendimiento (Ton/Ha)	Maíz		0.900	0.168	1.273	0.400	0.388	0.268	0.430	0.335	0.450	0.884	0.800

Continuación.

	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Producción (Ton)	Maíz-Frijol	2548	965	252	824	337	542	551	625	429	600	1200	800
S. Siembra (Ha)	Maíz-Frijol		924	1223	785	939	1440	2010	1304	1421	1500	1200	1200
Rendimiento (Ton/Ha)	Maíz-Frijol		1.044	0.206	1.050	0.359	0.376	0.274	0.479	0.302	0.400	1.000	0.667
Carne en canal (Ton)	Bovino	573.700	708.000	297.400	69.000	69.000	110.100	159.530	166.870	174.000	190.000	197.000	201.000
Sacrificio (Cab)	Bovino	2645.000	3242.000	1760.000	434.000	420.000	507.000	1116.000	740.000	954.000	1038.000	1076.000	1111.000
Rendimiento (Ton/cab)	Bovino	0.217	0.218	0.169	0.159	0.164	0.217	0.143	0.226	0.182	0.183	0.183	0.181
Carne en canal (Ton)	Porcino	193.100	193.000	188.000	30.800	30.800	87.000	30.290	29.380	35.000	39.000	44.000	55.000
Sacrificio (Cab)	Porcino	2840.000	2750.000	2765.000	540.000	537.000	1252.000	714.000	418.000	568.000	624.000	744.000	872.000
Rendimiento (Ton/cab)	Porcino	0.068	0.070	0.068	0.057	0.057	0.069	0.042	0.070	0.062	0.063	0.059	0.063
Miel (Ton)	Abeja	24.77	10.00	2.36	2.50	2.00	2.20	4.22	3.00	2.00	1.00	2.00	2.00
Incendios Forestales	(No.)		3	37.75	16.5	42	38.8	8	387	37	155.75	33.5	
<b>Arroyo Seco</b>													
Producción (Ton)	Maíz-Frijol		1685	152	474	412	1197	431	507	716	332	738	296
S. Siembra (Ha)	Maíz-Frijol		2719	1190	1206	1311	1575	1281	1484	1283	1351	918	840
Rendimiento (Ton/Ha)	Maíz-Frijol		0.620	0.128	0.393	0.314	0.760	0.336	0.342	0.558	0.246	0.804	0.352
Carne en canal (Ton)	Bovino	776.700	959.000	416.000	103.600	103.600	190.200	191.260	195.750	206.000	218.000	221.000	235.000
Sacrificio (Cab)	Bovino	3581.000	4720.000	2462.000	692.000	670.000	876.000	1327.000	766.000	931.000	1030.000	1104.000	1234.000
Rendimiento (Ton/cab)	Bovino	0.217	0.203	0.169	0.150	0.155	0.217	0.144	0.256	0.221	0.212	0.200	0.190

**Continuación**

	<b>Año</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Caprino</b>	4.000	4.000	3.800	5.200	5.200	3.800	7.240	6.300	7.000	6.000	5.000	5.000
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Caprino</b>	384.000	320.000	362.000	300.000	280.000	304.000	416.000	230.000	341.000	359.000	318.000	323.000
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Caprino</b>	0.010	0.013	0.010	0.017	0.019	0.013	0.017	0.027	0.021	0.017	0.016	0.015
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Ovino</b>	19.500	20.000	4.500	7.100	7.000	6.800	7.710	6.820	8.000	7.000	8.000	8.000
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Ovino</b>	280.000	266.000	299.000	420.000	424.000	439.000	441.000	246.000	377.000	386.000	446.000	434.000
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Ovino</b>	0.070	0.075	0.015	0.017	0.017	0.015	0.017	0.028	0.021	0.018	0.018	0.018
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Porcino</b>	242.700	243.000	234.000	25.400	25.400	160.200	28.300	34.920	38.000	38.000	48.000	59.000
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Porcino</b>	3569.000	3456.000	3457.000	540.000	537.000	2305.000	655.000	465.000	611.000	588.000	751.000	938.000
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Porcino</b>	0.068	0.070	0.068	0.047	0.047	0.070	0.043	0.075	0.062	0.065	0.064	0.063
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Gallinas</b>				28.120	30.000	45.500	19.350	20.990	27.000	24.000	23.000	21.000
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Gallinas</b>				14800	18811	25278	12165	11830	13770	14330	15510	13380
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Gallinas</b>				0.0019	0.0016	0.0018	0.0016	0.0018	0.0020	0.0017	0.0015	0.0016
<b>Incendios Forestales</b>	<b>(Ha)</b>				0.027	0.012	0.031		0.004	0.182	0.214	0.222	0.667
<b>Cadereyta de Montes</b>													
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz</b>		186	40	12	369	138	80	320	33	138	200	204
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz</b>		341	460	562	1370	700	900	800	765	810	800	800
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz</b>		0.545	0.087	0.021	0.269	0.197	0.089	0.400	0.043	0.170	0.250	0.255
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>		1409	102	117	2320	1266	740	4123	543	360	360	505
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>		4048	3000	7235	5976	7500	6800	6000	7170	6000	6300	5700
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>		0.348	0.034	0.016	0.388	0.169	0.109	0.687	0.076	0.060	0.057	0.089

**Continuación**

	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Fríjol</b>	567	987	170	19	216	219	135	588	176	122	400	480
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Fríjol</b>	1620	2277	3850	858	1803	900	1500	1000	1487	1490	1500	1600
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Fríjol</b>	0.350	0.433	0.044	0.022	0.120	0.243	0.090	0.588	0.118	0.082	0.267	0.300
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Caprino</b>	62.200	62.000	59.400	54.000	48.000	49.700	13.980	16.130	14.000	10.000	9.000	9.000
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Caprino</b>	5980.000	4979.000	5593.000	4530.000	4224.000	3976.000	833.000	1100.000	502.000	460.000	423.000	458.000
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Caprino</b>	0.010	0.012	0.011	0.012	0.011	0.013	0.017	0.015	0.028	0.022	0.021	0.020
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Ovino</b>	9.900	10.000	10.400	10.620	10.000	11.200	8.790	7.990	8.000	8.000	19.000	22.000
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Ovino</b>	633.000	602.000	679.000	689.000	695.000	723.000	436.000	458.000	259.000	286.000	661.000	854.000
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Ovino</b>	0.016	0.017	0.015	0.015	0.014	0.015	0.020	0.017	0.031	0.028	0.029	0.026
<b>Incendios Forestales (Ha)</b>				23.5	2	8	1211	9	69.5	13	1.5		62
<b>Colon</b>													
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz</b>		251	183	590	481	365	119	866	270	466	738	385
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz</b>		1958	2700	1518	1412	1368	2290	1250	1420	1480	1551	1255
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz</b>		0.128	0.068	0.389	0.341	0.267	0.052	0.693	0.190	0.315	0.476	0.307
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz-Fríjol</b>		660	117	3573	4442	1285	343	6794	1226	1083	1948	1808
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz-Fríjol</b>		4831	3178	7262	6311	6578	4898	7500	6065	6258	6117	6220
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz-Fríjol</b>		0.137	0.037	0.492	0.704	0.195	0.070	0.906	0.202	0.173	0.318	0.291
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Fríjol</b>	96		56	272	371	147	44	250	291	323	579	583
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Fríjol</b>	937	960	1600	920	790	818	1235	520	1080	1075	1315	1100
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Fríjol</b>	0.102	0.000	0.035	0.296	0.470	0.180	0.036	0.481	0.269	0.300	0.440	0.530

**Continuación**

	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Carne en canal (Ton)	Bovino	1128.60	1394.000	1566.600	1990.560	1925.000	1676.100	639.320	675.000	733.00	353.000	311.000	217.00
Sacrificio (Cab)	Bovino	5201.00	6374.000	6894.000	9048.000	8765.000	7724.000	2970.000	3078.000	2586.00	1160.000	978.000	809.00
Rendimiento (Ton/cab)	Bovino	0.217	0.219	0.227	0.220	0.220	0.217	0.215	0.219	0.283	0.304	0.318	0.268
Carne en canal (Ton)	Caprino	19.900	20.000	18.900	17.190	15.500	14.100	4.050	4.060	4.000	4.000	5.000	2.000
Sacrificio (Cab)	Caprino	1911.00	1591.000	1787.000	1442.000	1345.000	1128.000	238.000	271.000	183.00	172.000	170.000	113.00
Rendimiento (Ton/cab)	Caprino	0.010	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.017	0.015	0.022	0.023	0.029	0.018
Carne en canal (Ton)	Ovino	15.100	15.000	15.800	16.150	16.000	11.300	6.300	8.810	6.000	5.000	11.000	5.000
Sacrificio (Cab)	Ovino	963.000	916.000	1033.000	1048.000	1058.000	729.000	300.000	506.000	253.000	225.000	323.000	192.00
Rendimiento (Ton/cab)	Ovino	0.016	0.016	0.015	0.015	0.015	0.016	0.021	0.017	0.024	0.022	0.034	0.026
Incendios Forestales	(Ha)			15.5	10	94	3		380	13			
<b>Corregidora</b>													
Producción (Ton)	Maíz	1684.7	1925	5085	2619	1214	721	4242	266	177	5989	4495	
S. Siembra (Ha)	Maíz	1813	1919	3556	5572	2849	3150	4352	4260	4426	4523	3432	
Rendimiento (Ton/Ha)	Maíz	0.929	1.003	1.430	0.470	0.426	0.229	0.975	0.062	0.040	1.324	1.310	
Producción (Ton)	Maíz-Frijol	836	1482.02	1895	1637	12	160	115	731	298	27	872	1354
S. Siembra (Ha)	Maíz-Frijol	2686	1799	3020	2020	404	2664	1703	1163	1097	1112	980	964
Rendimiento (Ton/Ha)	Maíz-Frijol	0.311	0.824	0.627	0.810	0.030	0.060	0.068	0.629	0.272	0.024	0.890	1.405
Producción (Ton)	Trigo		548.8	90	104	263	52	65	288	2	1	47	149
S. Siembra (Ha)	Trigo		218	50	80	176	85	324	277	158	40	27	88
Rendimiento (Ton/Ha)	Trigo		2.517	1.800	1.300	1.494	0.612	0.201	1.040	0.013	0.025	1.741	1.693

**Continuación**

	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Bovino</b>	307.90	380.000	418.800	448.810	448.800	390.800	1916.99	2414.28	2434.00	1908.00	3288.00	3101.00
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Bovino</b>	1419.00	1739.00	1843.00	2046.00	1982.00	1801.00	8672.00	9712.00	10470.00	11104.00	12590.00	10781.00
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Bovino</b>	0.217	0.219	0.227	0.219	0.226	0.217	0.221	0.249	0.232	0.172	0.261	0.288
<b>Ezequiel Montes</b>													
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>		31	197	373	314	558		571	39		117	196
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>		1176	1200	974	1421	2029	1000	1036	1095	1240	1948	1843
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>		0.026	0.164	0.383	0.221	0.275	0.000	0.551	0.036	0.000	0.060	0.106
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Bovino</b>	1741.80	2151.00	4023.20	5510.12	5600.00	4907.600	1364.520	1265.780	1419.00	821.000	17177.00	11779.00
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Bovino</b>	8019.00	9828.00	17703.00	25046.00	24262.00	22616.00	6202.00	5743.00	4131.00	3138.00	42383.00	6073.00
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Bovino</b>	0.217	0.219	0.227	0.220	0.231	0.217	0.220	0.220	0.344	0.262	0.405	1.940
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Porcino</b>	496.50	497.00	486.800	547.050	547.100	440.500	385.240	377.590	548.000	386.000	2504.00	1624.00
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Porcino</b>	7302.00	7070.00	7145.00	7986.00	7939.00	6338.00	4588.00	4519.00	5335.00	5213.00	31386.00	14157.00
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Porcino</b>	0.068	0.070	0.068	0.069	0.069	0.070	0.084	0.084	0.103	0.074	0.080	0.115
<b>Huimilpan</b>													
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz</b>	1445	7484	2145	7580	5480	4138	1147	15038	2225	559	17600	16013
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz</b>	5940	6426	4200	7058	7231	5819	5532	7780	9520	9325	9500	8754
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz</b>	0.243	1.165	0.511	1.074	0.758	0.711	0.207	1.933	0.234	0.060	1.853	1.829
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>		580.2	104	412	260	101	56	1284	225	36	1260	1183
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>		857	460	650	304	840	1390	917	1246	1213	1800	1140
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>		0.677	0.226	0.634	0.855	0.120	0.040	1.400	0.181	0.030	0.700	1.038

**Continuación**

	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Fríjol</b>		55.15	6	293	32	0	10	167		2	50	44
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Fríjol</b>		386	68	751	128	203	171	279	124	122	100	100
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Fríjol</b>		0.143	0.088	0.390	0.250	0.000	0.058	0.599	0.000	0.016	0.500	0.440
<b>Incendios Forestales</b>	<b>(No.)</b>		1	3		5	8		2		6	1	3
<b>Jalpan de Serra.</b>													
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz</b>		149	125	1067	1022	1206	694	583	788	205	939	320
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz</b>		151	595	1278	1573	1380	1515	1114	1386	605	816	841
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz</b>		0.987	0.210	0.835	0.650	0.874	0.458	0.523	0.569	0.339	1.151	0.380
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz-Fríjol</b>	1688	2897	870	792	976	1186	560	1090	839	795	1221	701
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz-Fríjol</b>	1998	2893	2350	852	1219	1510	1132	1658	1614	1753	1216	1123
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz-Fríjol</b>	0.845	1.001	0.370	0.930	0.801	0.785	0.495	0.657	0.520	0.454	1.004	0.624
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Caprino</b>	1.200	1.000	1.100	7.100	7.100	1.100	6.500	7.430	9.000	8.000	8.000	8.000
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Caprino</b>	111.000	92.000	103.000	420.000	392.000	88.000	394.000	281.000	436.000	442.000	464.000	444.000
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Caprino</b>	0.011	0.011	0.011	0.017	0.018	0.013	0.016	0.026	0.021	0.018	0.017	0.018
<b>Incendios Forestales</b>	<b>(No.)</b>			8		5	10		14	7	2	3	8
<b>Landa de Matamoros</b>													
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz</b>		1100	164	884	566	1410	991	433	744	518	744	705
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz</b>		1034	688	926	943	1200	1817	711	1163	826	930	890
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz</b>		1.064	0.238	0.955	0.600	1.175	0.545	0.609	0.640	0.627	0.800	0.792

**Continuación**

	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>	2126	2620	643	2581	1272	1970	647	1926	1083	836	1369	858
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>	3000	2379	2310	2160	1985	2000	1110	2026	1086	1621	1560	1450
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>	0.709	1.101	0.278	1.195	0.641	0.985	0.583	0.951	0.997	0.516	0.878	0.592
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Ovino</b>	1.500	2.000	1.500	13.400	13.400	5.200	7.210	7.160	8.000	11.000	9.000	10.000
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Ovino</b>	95.000	90.000	101.000	780.000	787.000	335.000	673.000	259.000	385.000	518.000		574.000
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Ovino</b>	0.016	0.022	0.015	0.017	0.017	0.016	0.011	0.028	0.021	0.021		0.017
<b>Incendios Forestales</b>	<b>(No.)</b>			2		4	2	1	1	3	2	1	1
<b>El Marqués</b>													
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz</b>	1985	2072	792	2329	909	952	362	6980	1088	409	7815	9415
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz</b>	6830	4243	2510	5681	6786	7849	6505	7377	6751	6867	7200	7200
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz</b>	0.291	0.488	0.316	0.410	0.134	0.121	0.056	0.946	0.161	0.060	1.085	1.308
<b>Pedro Escobedo</b>													
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz</b>	480	1562	1177	2499	5878	1391	39	7123	330	1366	6107	9926
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz</b>	3888	3600	3946	3223	4616	3704	4355	4935	4720	5380	5065	5278
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz</b>	0.123	0.434	0.298	0.775	1.273	0.376	0.009	1.443	0.070	0.254	1.206	1.881
<b>Peñamiller</b>													
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>	272	192	36	251	962	264	66	318	401	98	59	179
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>	680	710	710	716	551	659	1116	577	1010	910	870	970
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>	0.400	0.270	0.051	0.351	1.746	0.401	0.059	0.551	0.397	0.108	0.068	0.185

## Continuación

	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<b>Querétaro</b>													
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz</b>	1990	1457	1320	3517	1100	1381	222	4582	326	52	2027	4495
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz</b>	4865	4265	3200	7646	3202	8553	5182	2458	3432	3476	3177	3485
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz</b>	0.409	0.342	0.413	0.460	0.344	0.161	0.043	1.864	0.095	0.015	0.638	1.290
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>	1835	2747.42	1191	2868	6556	478	60	10111	471	67	3039	6179
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>	6720	6450	3385	6243	8566	4656	7940	9083	7358	7487	7200	6488
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>	0.273	0.426	0.352	0.459	0.765	0.103	0.008	1.113	0.064	0.009	0.422	0.952
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Frijol</b>		11.5	2	75	59	6	5	31	12	1	10	44
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Frijol</b>		40	22	198	292	292	350	77	177	153	44	102
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Frijol</b>		0.288	0.091	0.379	0.202	0.021	0.014	0.403	0.068	0.007	0.227	0.431
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Bovino</b>	487.60	602.00	671.300	719.290	719.300	626.600	5608.150	5612.390	5597.000	6042.000	7280.000	8322.000
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Bovino</b>	2247.00	2754.00	2954.00	3279.00	3176.00	2886.00	25124.00	24582.00	24454.00	23117.00	28753.00	29999.00
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Bovino</b>	0.217	0.219	0.227	0.219	0.226	0.217	0.223	0.228	0.229	0.261	0.253	0.277
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Caprino</b>	8.700	9.000	8.300	7.320	7.100	2.800	46.950	69.580	66.000	71.000	69.000	59.000
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Caprino</b>	835.000	695.000	759.000	614.000	573.000	224.000	3810.000	4491.000	3995.000	3462.000	3562.000	3153.000
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Caprino</b>	0.010	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.012	0.015	0.017	0.021	0.019	0.019
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Ovino</b>	5.700	6.000	6.000	6.210	6.200	5.000	47.440	68.970	69.000	88.000	97.000	101.000
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Ovino</b>	362.000	344.000	391.000	403.000	407.000	323.000	3688.000	4010.000	3728.000	3706.000	4630.000	4427.000
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Ovino</b>	0.016	0.017	0.015	0.015	0.015	0.015	0.013	0.017	0.019	0.024	0.021	0.023

**Continuación**

	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Porcino</b>	1347.80	1348.00	1326.70	1380.90	1380.90	1349.30	5379.35	7553.33	8504.00	8916.00	8677.00	7855.000
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Porcino</b>	19821.0	19191.0	19474.0	20159.0	20041.0	19414.0	77290.0	88588.0	102631.0	101572.0	101135.0	101822.0
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Porcino</b>	0.068	0.070	0.068	0.069	0.069	0.070	0.070	0.085	0.083	0.088	0.086	0.077
<b>Incendios Forestales</b>	<b>(No.)</b>			11	3	3	3		2		5		2
<b>San Joaquín</b>													
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz</b>		388	88	171	216	88	315	175	205	354	469	563
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz</b>		620	620	322	430	468	800	450	655	640	586	600
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz</b>		0.626	0.142	0.531	0.502	0.188	0.394	0.389	0.313	0.553	0.800	0.938
<b>San Juan del Río</b>													
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Fríjol</b>	10	76	49	255		104	202	588	130	84	409	200
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Fríjol</b>	905	616	818	991	950	433	809	868	1500	460	450	446
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Fríjol</b>	0.011	0.123	0.060	0.257	0.000	0.240	0.250	0.677	0.087	0.183	0.909	0.448
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Bovino</b>	1379.70	1704.00	1802.90	2151.27	1900.00	1639.10	2793.22	2201.95	2342.00	2605.00	2739.00	2927.00
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Bovino</b>	6358.00	7792.00	7934.00	9807.00	9500.00	7553.00	14834.00	8616.00	10460.00	11855.00	12636.00	12631.00
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Bovino</b>	0.217	0.219	0.227	0.219	0.200	0.217	0.188	0.256	0.224	0.220	0.217	0.232
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Porcino</b>	1309.70	1310.00	1285.10	1355.96	1384.90	1162.70	579.87	599.55	748.00	1000.00	1015.00	1334.00
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Porcino</b>	19260.00	18648.00	18862.00	19795.00	19769.00	16729.00	9682.00	7779.00	10930.00	11681.00	11518.00	14602.00
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Porcino</b>	0.068	0.070	0.068	0.069	0.070	0.070	0.060	0.077	0.068	0.086	0.088	0.091

Continuación.

	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<b>Tequisquiapan</b>													
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz</b>		80	728	1338	658	635	126	4330		1692	5030	7326
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz</b>		1652	1999	1877	2905	2332	3000	2887	3195	3405	2960	3641
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz</b>		0.048	0.364	0.713	0.227	0.272	0.042	1.500	0.000	0.497	1.699	2.012
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>		140	227	518	270	401		731		335	784	580
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>		1929	1324	1280	1483	1273	1350	1216	1428	1620	1406	537
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>		0.073	0.171	0.405	0.182	0.315	0.000	0.601	0.000	0.207	0.558	1.080
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Frijol</b>	35	26	110	143	90	51	3	170		117	351	309
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Frijol</b>	472	794	490	633	593	372	450	341	493	366	570	737
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Frijol</b>	0.074	0.033	0.224	0.226	0.152	0.137	0.007	0.499	0.000	0.320	0.616	0.419
<b>Carne en canal (Ton)</b>	<b>Bovino</b>	636.400	786.000	1396.600	1807.520	1503.300	1296.900	1272.200	802.770	853.000	868.000	824.000	934.000
<b>Sacrificio (Cab)</b>	<b>Bovino</b>	2933.00	3595.00	6146.00	8216.00	7959.00	5976.00	6748.00	3229.00	4000.00	3950.00	3903.00	3605.00
<b>Rendimiento (Ton/cab)</b>	<b>Bovino</b>	0.217	0.219	0.227	0.220	0.189	0.217	0.189	0.249	0.213	0.220	0.211	0.259
<b>Tolimán</b>													
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz</b>				34	4	12	2	28	20	2	2	5
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz</b>		85	70	45	12	60	30	47	50	44	30	35
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz</b>		0.000	0.000	0.756	0.333	0.200	0.067	0.596	0.400	0.045	0.067	0.143
<b>Producción (Ton)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>	72			3	308	94	34	469	400	6	22	94
<b>S. Siembra (Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>	0.151	0.000	0.000	0.004	0.548	0.150	0.049	0.650	0.523	0.009	0.031	0.126
<b>Rendimiento (Ton/Ha)</b>	<b>Maíz-Frijol</b>	477	434	410	731	562	626	690	722	765	697	702	747

**Continuación**

	Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<b>Incendios Forestales</b>	(Ha.)			60		20			4	15			

Para el análisis de sequía se utilizaron los datos de Rendimientos. No todos los valores del rendimiento se ocuparon ya que algunos presentan datos incoherentes, por citar un ejemplo, en el año de 1991 en el municipio de Arroyo Seco, se presenta un rendimiento del ganado Ovino de 0.070 Toneladas/Cabeza, cuando la media es de 0.016 toneladas/cabeza, esto puede ser por varios factores, el principal el que INEGI reporta como Producción de carne en canal, a todo el peso producido en el municipio, sin embargo, en el número de animales sacrificados solo se reportan aquellos que fueron sacrificados en Rastros ya sean municipales o tipo TIF.

## Antecedentes.



## 2.1 Conceptos básicos de estadística.

Los fenómenos hidrológicos presentan una naturaleza aleatoria, por lo tanto para poder modelarlos se utilizan técnicas de probabilidad y estadística. A continuación se explicará brevemente en que consisten dichas técnicas.

La Estadística estudia los métodos científicos para recoger, organizar, resumir y analizar datos, así como sacar conclusiones válidas y tomar decisiones basadas en tal análisis.

Al recolectar datos de lluvia o de gastos, se obtiene una pequeña parte llamada *muestra* de un grupo llamado *población* o *universo*. Si la muestra es representativa de la población, es posible inferir características importantes de la población a través de la muestra. La parte de la estadística que trata con estas condiciones se llama estadística inductiva o inferencia estadística.

Los parámetros estadísticos más usados en la Hidrología son: Media, Desviación Estándar, Varianza, Coeficiente de Variación, Coeficiente de Asimetría y Coeficiente de Curtosis.

### 2.1.1. Media.

La media o media aritmética se define como el cociente de la suma de los valores de las observaciones entre el número de observaciones.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad [2.1]$$

Donde:

$X_i$  es el valor de las observaciones.

$N$  es el número total de observaciones.

### 2.1.2. Varianza.

Este valor cuantifica el grado de dispersión o separación de los valores de la distribución con respecto a la media. Se denota por  $S^2$ .

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N} \quad [2.2]$$

### 2.1.3. Desviación Estándar.

Se designa por la letra  $S$  y se define como la raíz cuadrada de la varianza.

$$S = \sqrt{S^2} \quad [2.3]$$

#### 2.1.4. Coeficiente de Variación.

El coeficiente de Variación es el cociente entre la desviación estándar y la media. Este parámetro es independiente de las unidades usadas y es por esta razón que es útil al compararlo entre dos o más grupos.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \quad [2.4]$$

#### 2.1.5. Coeficiente de Asimetría.

Se conoce como Coeficiente de Asimetría o sesgo al grado de asimetría de una distribución con respecto a su media. Si el coeficiente es cero, hay una distribución simétrica con respecto a la media; si es positivo el sesgo es hacia la derecha y negativo cuando el sesgo es a la izquierda. Se designa con la letra g.

$$g = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^3}{N * (S^2)^{3/2}} \quad [2.5]$$

#### 2.1.6. Coeficiente de Curtosis.

Este coeficiente indica la concentración de datos alrededor de la media, en otras palabras, si la forma de distribución es aplanada o picuda. Se designa con la letra k

$$k = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^4}{N * (S^2)^2} \quad [2.6]$$

#### 2.1.7. Covarianza y Correlación.

La covarianza es una medida del grado de dependencia lineal entre las variables. Su expresión es la siguiente:

$$S_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n} \quad [2.7]$$

Donde  $S_{xy}$  es la covarianza de las variables “x” y “y”. Si  $S_{xy} \neq 0$  se puede afirmar que hay dependencia entre las variables “x” y “y” y esta puede ser directa o inversa.

Es directa cuando los incrementos positivos de “x” son también incrementos positivos en “y”, ( $S_{xy} > 0$ ). Es inversa cuando los incrementos positivos de “x” corresponden a incrementos negativos de “y” ( $S_{xy} < 0$ ).

La covarianza es una medida absoluta y no indica si el grado de dependencia es elevado o no. Para conocer el grado de dependencia se utiliza el coeficiente de correlación lineal, o simplemente correlación.

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad [2.8]$$

Donde  $r$  es el coeficiente de correlación,  $S_{xy}$  la covarianza de las variables  $X$  y  $Y$ ,  $S_x$  y  $S_y$  la desviación estándar de las variables  $X$  y  $Y$  respectivamente.

Este coeficiente es una medida adimensional del grado de dependencia entre las variables, tiene el mismo signo que la covarianza y cumple con la siguiente condición:

$$-1 \leq r \leq 1 \quad [2.9]$$

Cuando más se aproxime a 1 ó -1, mayor será su dependencia lineal entre las variables, si  $r$  se aproxima a cero la dependencia lineal será prácticamente nula.

### 2.1.8. Procesos de normalización y estandarización.

La mayor parte de las técnicas estadísticas que se han desarrollado, toman en cuenta que las variables que se modelan se distribuyen en forma normal y estándar. En hidrología prácticamente esta distribución no se presenta, por lo que se hace necesario emplear técnicas para estandarizar y normalizar las muestras.

El proceso de normalización utilizado es el de Box-Cox y se lleva a cabo aplicando las siguientes expresiones:

$$w_i = \frac{(x_i)^\lambda - 1}{\lambda} \quad \lambda \neq 0, x_i > 0 \quad [2.10]$$

$$w_i = \ln(x_i) \quad \lambda = 0, x_i > 0 \quad [2.11]$$

Donde:

- $x_i$ : Es la serie registrada.
- $w_i$ : Serie normalizada.
- $\lambda$ : Parámetro de transformación.

Esta técnica normaliza el coeficiente de asimetría ( $g \approx 0$ ) pero a veces no el coeficiente de curtosis. Para esto se usa una segunda transformación:

$$t_i = \left( w_i - \bar{w} \right)^k \quad [2.12]$$

Donde:

- $t_i$ : Serie normalizada.  
 $\bar{w}$ : Media de los valores  $w_i$ .  
 $k$ : Parámetro de transformación.

En hidrología se aplican tres criterios para estandarizar una muestra:

Remoción de la media:

$$Z_i = Y_i - \bar{Y} \quad [2.13]$$

Modulación:

$$Z_i = \frac{Y_i}{\bar{Y}} \quad [2.14]$$

Estandarización completa:

$$Z_i = \frac{Y_i - \bar{Y}}{\sigma_Y} \quad [2.15]$$

Donde:

- $Z_i$ : Serie estandarizada.  
 $Y_i$ : Serie normalizada.  
 $\bar{Y}$ : Media de la serie normal.  
 $\sigma_Y$ : Desviación estándar de la serie normal.

## 2.2 Llenado de registros.

Generalmente los registros de una región contienen información fragmentada, por lo que se vuelve necesario completar los registros. Existen diferentes métodos para llevar a cabo el llenado de registros. En este trabajo el llenado se hace a través de la interpolación inversa, sin embargo, se hará mención de los más utilizados.

### 2.2.1. Método de Thiessen

Es el método más sencillo y solo consiste en transferir información de la estación más cercana. La distancia entre estaciones se conoce con la expresión:

$$d_{ej} = \sqrt{(x_e - x_j)^2 + (y_e - y_j)^2} \quad [2.16]$$

Donde  $d_{ej}$  es la distancia de la estación "j" a la estación de estudio "e".

### 2.2.2. Método del Promedio de otras Estaciones.

Este método también es muy sencillo, consiste en aplicar una media aritmética a las estaciones cercanas de la estación de estudio.

### 2.2.3. Método de interpolación lineal.

Esta técnica consiste en ajustar una ecuación global para el sitio de interés. La ecuación que se utiliza es la siguiente:

$$P_e = \sum_{k=1}^m \alpha_k \phi_k(x_e, y_e) \tag{2.17}$$

Donde  $P_e$  es el valor interpolado en el punto de estudio,  $\alpha_k$  es el k-ésimo coeficiente polinomial.  $\phi_k(x_e, y_e)$  es el k-ésimo monomio en términos de las coordenadas  $(x_e, y_e)$ .  $m$  es el numero total de monomios que determinan el grado de la función polinomial.

Los monomios algebraicos se obtienen con ayuda de la siguiente tabla:

Grado	k	$\phi_k(x,y)$	m
0	1	1	1
1	2-3	x      y	3
2	4-6	x <sup>2</sup> xy      y <sup>2</sup>	6
3	7-10	x <sup>3</sup> x <sup>2</sup> y      xy <sup>2</sup> y <sup>3</sup>	10
4	11-15	x <sup>4</sup> x <sup>3</sup> y      x <sup>2</sup> y <sup>2</sup> xy <sup>3</sup> y <sup>4</sup>	15
5	16-21	x <sup>5</sup> x <sup>4</sup> y      x <sup>3</sup> y <sup>2</sup> x <sup>2</sup> y <sup>3</sup> xy <sup>4</sup> y <sup>5</sup>	21
6	22-28	x <sup>6</sup> x <sup>5</sup> y      x <sup>4</sup> y <sup>2</sup> x <sup>3</sup> y <sup>3</sup> x <sup>2</sup> y <sup>4</sup> xy <sup>5</sup> y <sup>6</sup>	28

Los monomios de un polinomio deben de ser menores que el número de elementos. Para obtener los valores de peso de cada estación, es necesario obtener la solución del polinomio. Esta solución puede ser por mínimos cuadrados o con la aproximación de Lagrange.

#### 2.2.3.1. Mínimos cuadrados.

Esta técnica requiere que el número de estaciones sea mayor que el número monomial. Se parte de la siguiente expresión:

$$\hat{P}_j = \sum_{k=1}^m a_k \phi_k(x_j, y_j); \quad j = 1, 2, \dots, n \tag{2.18}$$

Los parámetros  $a_k$  se obtienen al minimizar la suma de los cuadrados de los errores.

$$f = \sum_{j=1}^n (P_j - \hat{P}_j)^2 \tag{2.19}$$

Donde  $P_j$  son los valores reales y  $\hat{P}_j$  son los valores estimados. Al derivar la ecuación anterior con respecto a  $a_k$  e igualando a cero obtenemos la solución:

$$P_e = \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^m \alpha_k \phi_k(x_e, y_e) P_j \right] \quad [2.20]$$

### 2.2.3.2. Aproximación Lagrange.

Para esta técnica el número de monomios es igual al número de estaciones ( $n=m$ ). los factores de peso se obtienen con la siguiente expresión:

$$w_j = [\beta_{kj}] [\phi_k(x_e, y_e)] \quad [2.21]$$

$$\beta_{kj} = [\phi_k(x_j, y_j)]^{-1} \quad [2.22]$$

### 2.2.4. Método de la distancia inversa.

En este método, los valores de peso son función del inverso de la distancia de las estaciones analizadas al sitio o estación de interés. La expresión es la siguiente:

$$P_e = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{P_i}{(d_{ei})^b}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{(d_{ei})^b}} \quad [2.23]$$

Donde  $d_{ei}$  es la distancia de la estación entre la estación “i” y la estación de estudio. b es el valor del exponente, es de práctica usual que tome el valor de 1 ó 2.

### 2.2.5. Método de la distancia inversa modificado.

Este método es una modificación del anterior, toma en cuenta la diferencia de cotas entre las estaciones.

$$P_e = \frac{\sum_{i=1}^N \left( \frac{d_{ei}}{\Delta E_{ei}} \right)^b P_i}{\sum_{i=1}^N \left( \frac{d_{ei}}{\Delta E_{ei}} \right)^b} \quad [2.24]$$

Donde  $\Delta E_{ei}$  es la diferencia de cotas entre la estación “i” y la estación de estudio.

### 2.2.6. Método de interpolación multicuadrática.

Este método también calcula los factores de peso utilizando la distancia entre las estaciones. Su expresión es la siguiente:

$$[w_j] = [d_{ij}]^{-1} [d_{ej}] \quad [2.25]$$

Donde  $d_{ij}$  es la distancia entre las estaciones y  $d_{ej}$  es la distancia entre las estaciones y el sitio de estudio.

## 2.3 Cálculo de lluvia media

La lluvia que registran los pluviógrafos o pluviómetros es puntual, es decir, es la que se produce en el punto en el que está instalado el aparato. Sin embargo, para estudios de Hidrología, es necesario conocer la lluvia que sea representativa de toda la zona de estudio, a esta lluvia se le denomina como *lluvia media*. Para calcular la lluvia media se usan los tres métodos siguientes: La Media aritmética, los polígonos de Thiessen y las isoyetas.

### 2.3.1. Media aritmética.

Es el método más sencillo y consiste únicamente en calcular la media aritmética de las alturas de lluvia registrada en cada una de las estaciones usadas en el análisis.

$$\bar{h}_p = \frac{\sum_{i=1}^N h_{pi}}{N} \quad [2.26]$$

Donde  $\bar{h}_p$  es la altura de precipitación media,  $h_{pi}$  es el valor de la precipitación en la estación  $i$  y  $N$  es el número de estaciones analizadas.

Este método no contempla la distribución espacial de las estaciones en la cuenca y la distribución de la lluvia.

### 2.3.2. Polígonos de Thiessen.

Para aplicar este método, es necesario conocer la ubicación de las estaciones dentro y/o en la periferia de la zona en estudio. Se unen las estaciones más próximas mediante líneas rectas (en la figura 2.1 se muestran como líneas discontinuas). Estas líneas se bisectan y forman los polígonos de Thiessen, cada polígono es el área de influencia de la estación correspondiente.

La lluvia media se calcula con la siguiente expresión.

$$\bar{h}_p = \frac{\sum_{i=1}^N A_i h_{pi}}{A_T} \quad [2.27]$$

Donde  $A_i$  es el área de influencia de la estación  $i$  y  $A_T$  es el área total de la cuenca.

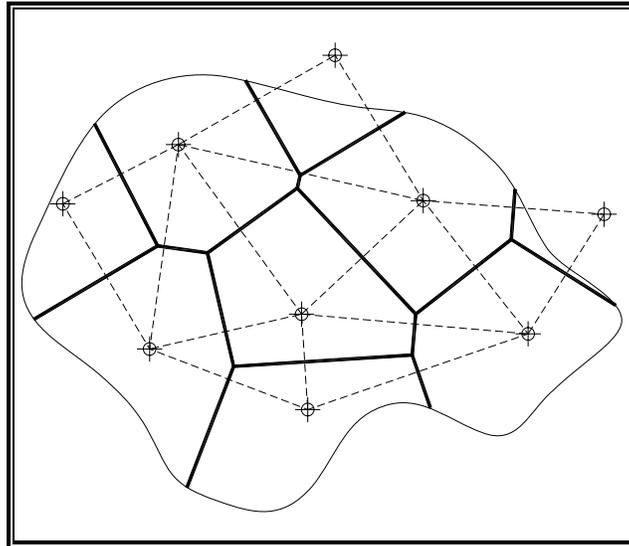


Figura 2. 1Ejemplo de los Polígonos de Thiessen.

Este método si toma en cuenta la distribución espacial de las estaciones, pero no los factores que pueden afectar la distribución de la lluvia (topográficos, etc.), sin embargo desde el punto de vista práctico, es el más conveniente sobre todo para cálculos repetitivos, ya que los polígonos no cambian a menos que se agreguen o quiten estaciones.

### 2.3.3. Métodos de las Isoyetas.

Este método consiste en trazar curvas de igual precipitación, llamadas Isoyetas, con la información registrada en las estaciones de estudio, del mismo modo que se trazan las curvas de nivel en topografía.

La lluvia media se calcula de forma similar que con los polígonos de Thiessen. La expresión es la siguiente:

$$\bar{h}_p = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{h}_{pi} A_i}{A_T} \quad [2.28]$$

Donde  $A_i$  es el área entre dos isoyetas,  $\bar{h}_{pi}$  es la precipitación promedio entre dos isoyetas,  $n$  es el número de áreas  $A_i$  consideradas, y  $A_T$  es el área total de la cuenca.

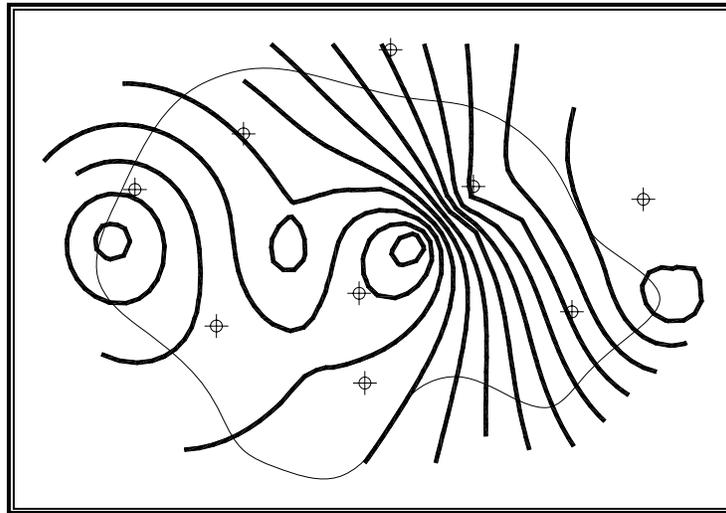


Figura 2. 2 Ejemplo del método de las Isoyetas

Este es el método más preciso ya que toma en cuenta la distribución de la lluvia, sin embargo es el más laborioso ya que cada tormenta tiene su propio plano de isoyetas.

#### 2.3.4. Método Kriging.

Este método estudia las variaciones de la distribución espacial de la precipitación a través de un proceso estocástico que representa en forma continua a la región considerada, estimando los valores puntuales o funciones lineales de un campo aleatorio a través de la covarianza o semivariograma.

Si  $Z(x)$  es un proceso estocástico continuo que describe la distribución de la precipitación total en un intervalo fijo de tiempo, donde la variable  $x$  representa las coordenadas de las estaciones donde se toman las mediciones.  $z(x)$  es una realización del proceso  $Z(x)$  y para hacer inferencias es necesario reconstruir su función de distribución de probabilidad a partir de la realización.

La precipitación media sobre un área,  $A$ , esta definida como:

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \int_A Z(X) dX \quad [2.29]$$

Se calcula con un estimador lineal que considera  $n$  estaciones climatológicas.

$$\bar{P} \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \quad [2.30]$$

Donde los pesos  $\lambda_i$ ,  $i=1,2,\dots,n$  se determinan de tal manera que el valor esperado del estimador sea igual al valor esperado de la precipitación media.

$$E(\hat{P}) = E(\bar{P}) \quad [2.31]$$

Y que el error cuadrático medio de la estimación sea mínimo.

$$\text{var}(\hat{P} - \bar{P}) = \min \quad [2.32]$$

Esta propiedad establece un criterio de optimización con respecto a la varianza, es decir, cualquier otro estimador lineal e insesgado tendrá un error de la varianza mayor que el método de kriging.

Este método no se limita al cálculo de la precipitación media, cualquier variable definida en un espacio y que defina un fenómeno geofísico.

## 2.4 Series sintéticas.

Para el manejo y planeación de los recursos hidráulicos, es necesario contar con un número de años que sea representativo. Aunque en ocasiones no es suficiente contar con un registro de datos, sino que es necesario generar un nuevo registro. A este nuevo registro se le conoce como registro o muestra sintética y conserva las características estadísticas de la muestra generada con la muestra histórica

Existen diferentes modelos hidrológicos estocásticos para la generación de las muestras sintéticas. Para este trabajo se utilizaron los modelos autoregresivos anuales. Los modelos que se describirán mas adelante, parten de que la serie modelada es normal y estándar. Sin embargo, los registros de lluvia o escurrimiento rara vez cumplen con esa condición. Por lo tanto, los registros se deben de normalizar y estandarizar.

Existen diversos métodos para normalizar y estandarizar una serie, para nuestro caso en particular, normalizaremos la serie únicamente aplicando logaritmos naturales, y para estandarizar la serie, solo se removerá la media.

- $X_t$ : Serie registrada (lluvia o escurrimiento).
- $Y_t$ : Serie normalizada ( $Y_t = \ln(X_t)$ ).
- $Z_t$ : Serie estandarizada ( $Z_t = Y_t - Y_m$ ).

A continuación se describirán los dos modelos utilizados en este trabajo.

### 2.4.1. Modelos autoregresivos anuales AR (p).

La forma general del modelo (Box y Jenkins, 1970) es:

$$Z_t = \sum_{j=1}^p \phi_j Z_{t-j} + \varepsilon_t = \sum_{j=1}^p \phi_j Z_{t-j} + \sigma_\varepsilon \xi_t \quad [2.33]$$

Donde:

- $p$  Orden del modelo autorregresivo.
- $Z_t$  Variable estandarizada.

$\phi_j$	coeficiente autoregresivo.
$\varepsilon_t$	Serie de residuales.
$\sigma_\varepsilon$	Desviación estándar de la serie de los residuales.
$\xi_t$	serie aleatoria con distribución normal estándar.

La desviación estándar de la serie de los residuales se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma_\varepsilon = \sqrt{\sigma_y \left[ 1 - \sum_{j=1}^p \phi_j \rho_j \right]} \quad [2.34]$$

Donde  $\rho_j$  es el coeficiente de correlación serial de la serie  $y_t$ .

Los parámetros  $\phi_i$  se estiman al resolver el sistema de  $p$  ecuaciones no lineales donde los coeficientes  $r_j$  se sustituyen por los estimadores  $r_k$ .

$$\rho_k = \phi_1 \rho_{k-1} + \phi_2 \rho_{k-2} + \dots + \phi_p \rho_{k-p} = \sum_{j=1}^p \phi_j \rho_{|k-j|} \quad [2.35]$$

$$r_k = \phi_1 r_{k-1} + \phi_2 r_{k-2} + \dots + \phi_p r_{k-p} \quad [2.36]$$

Para  $k > 0$  ( $k$  es el tiempo de retraso).

Cuando no se pueden calcular los valores  $\xi_t$  directamente, estos se pueden obtener a través del procedimiento propuesto por Box y Müller. Para este procedimiento se proponen números  $u_1$  y  $u_2$  que son números aleatorios con distribución uniforme en el intervalo  $(0,1)$  y se sustituye en las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \xi_1 &= \cos(2\pi u_2) \sqrt{2 \ln \left( \frac{1}{u_1} \right)} \\ \xi_2 &= \text{sen}(2\pi u_2) \sqrt{2 \ln \left( \frac{1}{u_1} \right)} \end{aligned} \quad [2.37]$$

Los números  $\xi_1$  y  $\xi_2$  se obtienen por parejas.

Una vez que se han obtenido los parámetros del modelo, se verifica que la serie de los residuales tiene una distribución normal y que sea independiente. La serie de residuales se obtiene con la siguiente expresión:

$$\varepsilon_t = Z_t - \sum_{j=1}^p \phi_j Z_{t-j} \quad [2.38]$$

Los parámetros  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$  deben de cumplir las condiciones de estacionariedad, es decir, las raíces de la ecuación 2.39 se ubican dentro del círculo unitario.

$$U^p - \phi_1 U^{p-1} - \dots - \phi_p = 0 \quad [2.39]$$

En este trabajo se utilizaron dos modelos AR, los cuales son AR (1) y AR (2).

#### 2.4.1.1. Modelo autoregresivo anuales AR (1).

Es uno de los modelos autoregresivos más sencillos, utiliza solo un parámetro autoregresivo. La forma del modelo es:

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \varepsilon_t \quad [2.40]$$

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \sigma_\varepsilon \xi_t \quad [2.41]$$

El parámetro autoregresivo se estima como:

$$\phi_1 = r_1 \quad [2.42]$$

Para cumplir la condición de estacionalidad, se debe verificar lo siguiente:

$$-1 < \phi_1 < 1 \quad [2.43]$$

Y la varianza de los residuales se calcula con la siguiente ecuación:

$$\sigma_\varepsilon^2 = \sigma_y^2 (1 - \phi_1^2) \quad [2.44]$$

La serie de los residuales se obtiene para  $t=2,3,\dots,n$ . Se considera  $\varepsilon_1=0$ .

$$\varepsilon_t = Z_t - \phi_1 Z_{t-1} \quad [2.45]$$

#### 2.4.1.2. Modelo autoregresivo anuales AR (2).

Este modelo presenta la siguiente forma:

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \varepsilon_t \quad [2.46]$$

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \sigma_\varepsilon \xi_t \quad [2.47]$$

Los parámetros autoregresivos, se estiman con las siguientes expresiones:

$$\phi_1 = \frac{r_1(1-r_2)}{1-r_1^2} \quad [2.48]$$

$$\phi_2 = \frac{r_2 - r_1^2}{1 - r_1^2} \quad [2.49]$$

La condición de estacionalidad se verifica con:

$$\begin{aligned} \phi_1 + \phi_2 &< 1 \\ \phi_2 - \phi_1 &< 1 \\ -1 &< \phi_2 < 1 \end{aligned} \quad [2.50]$$

La varianza de los residuales se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma_\varepsilon^2 = \sigma_y^2 \frac{1 + \phi_2}{1 - \phi_2} \left[ (1 - \phi_2)^2 - \phi_1^2 \right] \quad [2.51]$$

La serie de los residuales para este modelo, se obtienen para  $t=3,4,\dots,n$ . Se considera  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0$ .

$$\varepsilon_t = Z_t - \phi_1 Z_{t-1} - \phi_2 Z_{t-2} \quad [2.52]$$

### 2.4.2. Modelos autorregresivos anuales ARMA (p,q).

Este modelo parte del modelo AR(p) pero involucra otra variable, la cual afecta a los números aleatorios. La formula general del modelo es la siguiente:

$$Z_t = \sum_{j=1}^p \phi_j Z_{t-j} + \varepsilon_t - \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} \quad [2.53]$$

Donde:

- $p$ : Orden del modelo autoregresivo.
- $q$ : Orden de promedio móviles.
- $Z_t$ : Variable estandarizada.
- $\varepsilon_t$ : Serie de residuales.
- $\phi_j$ : Coeficiente autoregresivo.
- $\theta_j$ : Coeficiente de los residuales

#### 2.4.2.1. Modelo autoregresivo anuales ARMA (1,1).

La forma general del modelo es:

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} \quad [2.54]$$

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \sigma_\varepsilon \xi_t - \theta_1 \sigma_\varepsilon \xi_{t-1} \quad [2.55]$$

El parámetro autoregresivo  $\phi_1$  se obtiene del proceso de AR (1). Los parámetros  $\theta_1$  y  $\sigma_\varepsilon^2$  se obtienen al resolver de manera iterada las dos ecuaciones siguientes:

$$\theta_1 = \frac{-C_1}{\sigma_\varepsilon^2} \quad [2.56]$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = \frac{C_0}{1 + \theta_1^2} \quad [2.57]$$

Donde  $C_0$  y  $C_1$  son las autocovarianzas, y estas se obtienen con la siguiente expresión general:

$$C_k = \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} (Z_t - \bar{Z})(Z_{t+k} - \bar{Z}) \quad [2.58]$$

Donde  $k$  es el tiempo de retraso y  $n$  es el número de datos del registro.

El proceso termina cuando se cumplen simultáneamente las dos condiciones. Para iniciar el calculo se puede iniciar con el valor de  $\sigma_\varepsilon^2$  obtenido del modelo AR (1).

#### 2.4.2.2. Modelo autoregresivo anuales ARMA (2,1).

La forma general del modelo es:

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} \quad [2.59]$$

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \sigma_\varepsilon \xi_t - \theta_1 \sigma_\varepsilon \xi_{t-1} \quad [2.60]$$

Los parámetros autoregresivos  $\phi_1$  y  $\phi_2$  se obtienen del proceso de AR (2). Los parámetros  $\theta_1$  y  $\sigma_\varepsilon^2$  se obtienen igual que en el modelo ARMA (1,1)

#### 2.4.2.3. Modelo autoregresivo anuales ARMA (1,2).

La forma general del modelo es:

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} \quad [2.61]$$

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \sigma_\varepsilon \xi_t - \theta_1 \sigma_\varepsilon \xi_{t-1} - \theta_2 \sigma_\varepsilon \xi_{t-2} \quad [2.62]$$

El parámetro autoregresivo  $\phi_1$  se obtiene del proceso de AR (1). Los parámetros  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  y  $\sigma_\varepsilon^2$  se obtienen al resolver las siguientes ecuaciones de forma iterativa:

$$\sigma_\varepsilon^2 = \frac{C_0}{1 + \theta_1^2 + \theta_2^2} \quad [2.63]$$

$$\theta_2 = -\frac{C_2}{\sigma_\varepsilon^2} \quad [2.64]$$

$$\theta_1 = -\left[ \frac{C_1}{\sigma_\varepsilon^2} - \theta_1\theta_2 \right] \quad [2.65]$$

El proceso iterativo se termina cuando se cumplen simultáneamente las tres condiciones. Para iniciar el cálculo, se puede suponer que el valor de  $\sigma_\varepsilon^2$  es el mismo que el del modelo AR(2), y el valor de  $\theta_1$  igual a cero.

#### 2.4.2.4. Modelo autoregresivo anuales ARMA (2,2).

La forma general del modelo es:

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} \quad [2.66]$$

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \sigma_\varepsilon \xi_t - \theta_1 \sigma_\varepsilon \xi_{t-1} - \theta_2 \sigma_\varepsilon \xi_{t-2} \quad [2.67]$$

Los parámetros autoregresivos  $\phi_1$  y  $\phi_2$  se obtienen del proceso de AR (2). Los parámetros  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  y  $\sigma_\varepsilon^2$  se obtienen igual que en el modelo ARMA (1,2).

#### 2.4.3. Criterio de información de Akaike.

Este criterio es para seleccionar cual de los modelos autoregresivos (AR o ARMA) es el que presenta un mejor ajuste. Su formula general es la siguiente:

$$CIA(p, q) = n \ln(\sigma_\varepsilon^2) + 2(p + q) \quad [2.68]$$

Donde

$CIA(p, q)$ :	Criterio general de akaike
$p$ :	Orden del modelo autoregresivo.
$q$ :	Orden de promedio móviles.
$n$ :	Número de elementos de la muestra.
$\sigma_\varepsilon^2$ :	Varianza de los residuales.

Este criterio se caracteriza por ser de fácil aplicación. El criterio de información de akaike pondera entre la función logaritmo de máxima verosimilitud, usando la varianza de los residuales y el número de parámetros. Una vez calculado el  $CIA$  para cada modelo, se selecciona aquel cuyo  $CIA$  es menor.



## **Análisis de Sequía y Aridez.**



### 3.1 Definición de Sequía.

La sequía es un fenómeno natural relacionado con el clima y afecta grandes regiones por meses o años. Tiene un impacto en la producción alimenticia y reduce la esperanza de vida y el desempeño económico de grandes regiones o países completos.

La sequía es un rasgo recurrente del clima. Ocurre en casi todas las zonas climáticas y sus características varían significativamente entre ellas.

El problema de una definición de sequía es causada por los conceptos que cada campo de estudio aplica sobre ella, por lo tanto no hay una definición aceptada universalmente. A continuación se dan algunas definiciones más comunes:

**Centro Nacional de Mitigación contra la Sequía en Estados Unidos de Norte América (National Drought Mitigation Center):** La sequía puede considerarse como un comportamiento normal y recurrente del clima que ocurre en todas las regiones climáticas de la tierra, sus características varían de manera significativa de una región a otra.

**Centro de Investigación Sobre Sequía (CEISS):** Una sequía es un periodo considerado como anormalmente seco, el cual persiste a través del tiempo y puede producir graves cambios en los balances hidrológicos en una determinada región. La severidad de una sequía, depende en gran medida del grado de deficiencia de humedad, de la duración y de la superficie afectada.

**Sequía Meteorológica:** Se presenta cuando la precipitación durante cierto periodo de tiempo es significativamente mas pequeña que el promedio a largo plazo o que un valor específico de la precipitación. Las definiciones de este tipo de sequía deben ser específicas de la región, a manera de ejemplo se citarán algunas definiciones de diferentes países.

Estados Unidos (1942): Menor que 2.5 mm de lluvia en 48 horas.

Reino Unido (1936): Quince días consecutivos con lluvia diaria menor que 0.25 mm.

Libia (1964) Lluvia anual menor de 180 mm.

Bali (1964): Seis días sin lluvia

**Sequía Hidrológica:** Ocurre cuando existe un déficit de agua en los escurrimientos superficiales y subterráneos con respecto a la media mensual o anual. Usualmente la sequía hidrológica se relaciona con la sequía meteorológica.

**Sequía Agrícola:** se define como el período durante el cual la humedad en el suelo es insuficiente para satisfacer las necesidades óptimas de desarrollo en un cultivo. La sequía agrícola se considera una sequía intermedia entre la sequía meteorológica y la sequía hidrológica, además de que afecta a la población más marginada.

**Sequía Socioeconómica:** Esta sequía ocurre cuando la disponibilidad de agua es menor que su demanda, y esta escasez afecta a la sociedad tanto en su producción como en sus actividades. La demanda de agua depende del uso (agrícola, industrial, doméstico, etc.), de la densidad y la distribución de los usuarios.

## 3.2 Clasificación de la sequía.

La Secretaría de Gobernación (SEGOB, 2000) estableció dos clasificaciones para la sequía.

### Por Clima.

- a) Permanentes: se producen en zonas de clima árido.
- b) Estacionales: se observan en sitios con temporadas de lluvia y estiaje bien definidos.
- c) Contingentes: se presentan en cualquier época del año debido a periodos prolongados de calor, a falta de lluvia o a la coincidencia de ambos.
- d) Invisibles: ocurren cuando en la época de lluvias, estas no cubren las pérdidas de humedad por evaporación.

### Por Magnitud.

- a) Leves: son aquellas que tienen como causa la escasez parcial de lluvia y no repercuten de manera importante en las actividades humanas.
- b) Moderadas: son las originadas por una disminución significativa en la precipitación pluvial que afecta la producción agrícola.
- c) Severas: son las que se producen por la disminución general o total de lluvia, con daños cuantiosos en la producción.
- d) Extremadamente severas: son producto del proceso permanente de escasez de agua que provoca crisis en la producción y en la economía.

Adicionalmente a estas clasificaciones, Medina y Espino (1998) clasifican a la sequía de acuerdo con la superficie afectada.

**Tabla 3. 1 Clasificación de la sequía de acuerdo con la superficie afectada.**

Área (%)	Categoría
Menor al 10	Local
De 11 a 20	Vasta
De 21 a 30	Muy vasta
De 31 a 50	Extraordinaria
Mayor de 50	Catastrófica

### 3.3 Componentes de la Sequía.

El primer paso para el análisis científico es la definición clara y específica de los componentes bajo investigación. Se consideran tres componentes principales en el estudio de la sequía, la duración, la intensidad y la severidad.

La naturaleza del ciclo hidrológico indica los períodos de escasez en la precipitación, en los escurrimientos y en la humedad en el subsuelo. La precipitación es la aportación o el dato de entrada en el sistema de la cuenca, y el escurrimiento es uno de los datos de salida.

Al hacer el estudio de la sequía se debe seleccionar la unidad de tiempo a emplear. Si la unidad de tiempo es corta (días, meses) se tendrá un mayor número de eventos que en periodos más largos (años), además de que los eventos cortos presentan una mayor correlación serial. La presencia de correlación serial en las series de tiempo puede ocasionar problemas significativos al llevar a cabo un análisis de frecuencias, ya que los métodos suponen que los datos de estudio están constituidos por eventos independientes.

Un elemento esencia para completar la definición de sequía es especificar el método por el cual los eventos de sequía serán extraídos del resto de los datos, tanto de las series hidrológicas como de las meteorológicas. Este elemento será referido como "Nivel de Truncamiento" el cual servirá para dividir la serie en dos partes y determinar la severidad, la duración y la intensidad. Estos parámetros se relacionan por medio de la siguiente expresión:

$$I = \frac{S}{D} \quad [3.1]$$

Donde  $I$  es la intensidad,  $S$  es la severidad y  $D$  la duración. Se definirá la duración como el número de años consecutivos en los cuales la lluvia o el escurrimiento están por debajo del nivel de truncamiento. La severidad es el déficit acumulado en la duración determinada. La intensidad es la severidad por año.

En teoría el nivel de truncamiento puede ser un valor arbitrario, sin embargo, en la práctica depende del estudio que se este realizando. Algunos autores establecen la siguiente ecuación como la más conveniente para escoger el nivel de truncamiento.

$$X_0 = \bar{X} - eS \quad [3.2]$$

Donde:

- $X_0$ : Nivel de truncamiento.
- $\bar{X}$ : Media de la serie.
- $S$ : Desviación estándar de la serie.
- $e$ : Factor de escala

Aunque no se especifica como calcular el valor de “ $e$ ” ni su intervalo.

En general el nivel de truncamiento se escoge de las medidas de tendencia central, entre las cuales son de mayor importancia la Media y la Mediana. En un principio algunos autores utilizaron la mediana como nivel de truncamiento para el análisis de la duración de la sequía y la media como truncamiento para el análisis de la severidad. Sin embargo para un análisis completo, la duración y la severidad deben ser estudiadas de forma simultánea por lo que no es práctico usar dos niveles de truncamiento. Otros autores recomiendan usar la media como valor de truncamiento, ya que la media es más sensible al considerar los valores extremos de la serie de datos.

### 3.4 Índices de la Sequía.

Con el fin de comparar las características de la sequía en una o en varias regiones, se han propuesto un conjunto de índices. Todos los índices propuestos tienen sus limitaciones y su uso se restringe solo como comparación del impacto y la severidad de la sequía en distintos sitios y épocas. Diversos países y departamentos han adoptado un índice para la toma de decisiones, por ejemplo, el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) es utilizado ampliamente por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos en donde existen grandes áreas con topografía uniforme, en estados con topografía montañosa lo complementan con el Índice de suministro de Agua Superficial; El Centro Nacional de Mitigación de Sequía (NDMC) usa el Índice de la Precipitación Estandarizada para supervisar las condiciones de humedad, ya que este índice identifica los meses de sequía más pronto que el índice de Palmer y se puede calcular para varias escalas de tiempo.

A continuación se da una introducción a los índices más usados.

#### 3.4.1. Porcentaje de la normal.

Es uno de los Índices más sencillos y hace uso solo de los registros de lluvia. Este índice se obtiene al dividir la precipitación entre la precipitación normal, la cual se establece como la precipitación media para un registro de al menos 30 años.

Tiene las siguientes ventajas: Es un análisis muy sencillo; es aplicable a diferentes escalas de tiempo; es muy eficaz cuando se compara en una sola región o estación.

Entre las desventajas, se encuentran las siguientes: La precipitación media es diferente a la mediana de la precipitación, debido a que la lluvia no tiene una distribución normal; La comparación entre regiones o estaciones no siempre es adecuada.

### 3.4.2. Variabilidad de la Precipitación Anual.

El coeficiente de variación de la precipitación anual, se utiliza frecuentemente como un Índice de Sequía. Las Sequías son más frecuentes cuando el coeficiente de variación es mayor de 0.35.

En diversos países, incluyendo México, se ha encontrado una relación entre un valor alto del coeficiente de variación y las regiones áridas y semiáridas, que son las regiones más afectadas por la sequía.

### 3.4.3. Índice de Precipitación Estandarizada (SPI).

El SPI esta basado en la probabilidad de precipitación para cualquier escala de tiempo y fue diseñado para cuantificar el déficit de precipitación para múltiples escalas temporales.

La comprensión de que el déficit de la precipitación tiene impactos diferentes fue lo que llevo al desarrollo de este índice. Las condiciones de humedad del suelo responden a las anomalías de la lluvia a corto plazo, mientras que el agua subterránea, el escurrimiento y el almacenamiento en presas son una respuesta a las anomalías de la precipitación a largo plazo. Por estas razones, originalmente se calculó el SPI para períodos de 3, 6, 12, 24 y 48 meses.

El cálculo del SPI se basa en el registro a largo plazo de la precipitación para un período de tiempo específico. Este registro se ajusta a una distribución de probabilidad, la cual es inmediatamente transformada a una distribución normal estándar, tal que el valor medio del SPI para un sitio y periodo deseado es cero. Los valores positivos del SPI indican precipitaciones más grandes que la mediana.

De las diferentes funciones de densidad de probabilidad, la función Gamma de dos parámetros es la que en general representa un mejor ajuste a las series mensuales de precipitación. La función Gamma esta definida por:

$$f(x) = \frac{x^{\beta-1} e^{-x/\alpha}}{\alpha^{\beta} \Gamma(\beta)} \quad [3.3]$$

Existen diferentes métodos para estimar los parámetros (momentos, máxima verosimilitud, momentos L, etc.). Después de obtener los parámetros se calcula la distribución acumulada para un evento observado de precipitación para un mes dado y para una escala de tiempo determinada. La función de probabilidad acumulada es:

$$F(x) = \int_0^x \frac{x^{\beta-1} e^{-x/\alpha}}{\alpha^{\beta} \Gamma(\beta)} dx \quad [3.4]$$

Cambiando la variable  $t=x/\alpha$ , la expresión anterior se transforma en la función Gamma incompleta.

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\beta)} \int_0^x t^{\beta-1} e^{-t} dt \quad [3.5]$$

La función anterior no está definida para  $x=0$ , pero en un registro real si cuenta con ceros, entonces se debe determinar la probabilidad acumulada de la forma:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad [3.6]$$

Donde  $q$  es la probabilidad de ceros, y se define como:

$$q = \frac{m}{n} \quad [3.7]$$

Donde  $m$  es el número de ceros de la serie y  $n$  es el total de valores del registro. La expresión 3.6 se puede resolver mediante el uso de tablas de la función Gamma incompleta.

Una vez que se obtienen las probabilidades acumuladas, se transforman a variables estandarizadas, las cuales son los *SPI*. La transformación a variables normales estandarizadas se hace a través de la siguiente aproximación:

Para una probabilidad acumulada  $0 < H(x) \leq 0.5$

$$SPI \approx v - \frac{b_0 + b_1 v + b_2 v^2}{1 + b_3 v + b_4 v^2 + b_5 v^3} \quad [3.8]$$

Donde:

$$b_0 = 2.515517$$

$$b_1 = 0.802853$$

$$b_2 = 0.010328$$

$$b_3 = 1.432788$$

$$b_4 = 0.189269$$

$$b_5 = 0.001308$$

$$v = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad [3.9]$$

Para una probabilidad acumulada de  $0.5 < H(x) \leq 1$ , en la expresión 3.8 se cambia  $H(x)$  por  $[1-H(x)]$  y se le cambia el valor a *SPI*.

McKee et al. (1993) utilizaron el sistema de clasificación que se muestra en la tabla siguiente para definir la intensidad de la sequía. También establecieron un criterio para la ocurrencia de una sequía para cualquier escala de tiempo. Así, una sequía tiene lugar si en cualquier tiempo el SPI tiene un valor igual o menor a -1.0. El evento concluye cuando el SPI es positivo. Por lo tanto, cada periodo de sequía se puede caracterizar mediante su inicio, término y la intensidad para cada mes que el evento continúa. La suma de los valores negativos del SPI para todos los meses se considera como la magnitud de la sequía.

**Tabla 3. 2 Clasificación del SPI en periodos húmedos y secos.**

SPI	Clase
2.00 o más	Extremadamente húmedo.
1.50 a 1.99	Muy húmedo.
1.00 a 1.49	Moderadamente húmedo.
-0.99 a 0.99	Humedad cercana a la normal.
-1.00 a -1.49	Moderadamente seco.
-1.50 a -1.99	Severamente seco.
-2.00 o menos	Extremadamente seco.

Este índice tiene la ventaja de que puede calcularse para diferentes escalas de tiempo, es menos complejo que el índice de Palmer, proporciona un pronóstico de sequía y puede evaluar su severidad.

#### 3.4.4. Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI).

Muchas veces llamado simplemente como Índice de Sequía de Palmer (PDSI). Es usado como un índice meteorológico, siendo de los más completos ya que involucra a la precipitación, la evapotranspiración, escurrimiento y humedad del suelo.

Palmer basó su índice en el concepto de suministro y demanda a partir de un balance de agua. En el balance no se consideran impactos humanos, como la irrigación o el suministro de agua. Es un índice mensual y estandarizado, así que tiene un significado consistente en diferentes regiones climáticas.

De la condición de humedad normal, la diferencia “d” entre la precipitación real P para un mes y la precipitación calculada  $\hat{P}$  a partir de un balance de agua

$$d = P - \hat{P} \quad [3.10]$$

$$\hat{P} = ET + RO + (\hat{R} - \hat{L}) \quad [3.11]$$

Donde

$d$ : Diferencia entre la precipitación real y la calculada.

$P$ : Precipitación real.

$\hat{P}$ : Precipitación calculada, climatológicamente normal para el mes estudiado.

- $ET$ : Evapotranspiración.  
 $RO$ : Escurrimiento.  
 $\hat{R}$ : Recarga de agua en el suelo.  
 $\hat{L}$ : Pérdida de agua en el suelo.

Los parámetros  $\hat{P}$  y  $\hat{L}$  son el suministro, mientras que los parámetros  $ET$ ,  $RO$  y  $\hat{R}$  representan a la demanda. Cada parámetro se calcula con datos del clima en el área y con promedios mensuales del periodo de registro.

La diferencia de humedad mensual con respecto a la normal se pondera para crear un índice estandarizado que se puede aplicar a diferentes áreas climáticas, la diferencia " $d$ " para cada mes se pondera por un parámetro  $K$ , generando el índice de humedad anormal  $Z$ .

$$Z = dK \quad [3.12]$$

El factor de peso  $K$ , se deriva empíricamente de los registros mensuales de clima para el área en estudio, utilizando la relación de demanda a suministro de humedad y la media mensual de los valores absolutos de " $d$ " para todos los años de registro. El factor  $K$  ajusta las diferencias de humedad para crear una medida estandarizada mensual para diferentes climas.

El  $PDSI$  para cierto mes  $i$  se calcula utilizando el índice de humedad anormal de ese mes  $Z_i$  y el valor previo mensual de índice  $PDSI$ .

$$PDSI_i = 0.897PDSI_{i-1} + \frac{Z_i}{3} \quad [3.13]$$

Durante el mes inicial, el primer término es cero y el índice es igual a  $Z/3$ . Cuando  $Z$  es cero (condición de humedad normal,  $d=0$ ) el  $PDSI$  es 0.897 veces el mes previo.

El índice de Palmer es muy popular y ampliamente usado. Algunas de las ventajas de este índice son: proporciona un pronóstico muy útil para activar programas de contingencia para la sequía; representa espacial y temporalmente las sequías históricas; al involucrar las condiciones de humedad del suelo, es muy utilizado para establecer políticas de operación en distritos de riego.

Dentro de las desventajas, se encuentran las siguientes: Para la estimación de la evapotranspiración se utiliza el método de Thornthwait, aunque esta técnica es ampliamente usada sigue siendo solo una aproximación; No considera el retraso natural entre la precipitación y el escurrimiento; el índice no incluye fenómenos como las nevadas, ventiscas, etc.; el índice es muy sensible a las condiciones de humedad del suelo.

**Tabla 3. 3 Clasificación de los periodos húmedos y secos a través del PDSI.**

PDSI	Clase
4.00 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.
0.50 a 0.99	Humedad incipiente.
0.49 a -0.49	Normal
-0.50 a -0.99	Sequía incipiente.
-1.00 a -1.99	Sequía leve.
-2.00 a -2.99	Sequía moderada.
-3.00 a -3.99	Sequía severa.
-4.00 o menor	Sequía extrema.

### 3.4.5. Índice de Palmer de Sequía Hidrológica (PHDI).

El PHDI describe la deficiencia anormal de humedad en el suelo, utilizando el mismo principio que en el PDSI. La principal diferencia es que el inicio y el término de los periodos húmedos y secos, el PHDI responde más lentamente a los cambios en el clima. Esto ocurre ya que el PHDI expresa la humedad recibida como un porcentaje de la humedad requerida para que termine la sequía. La ventaja de este retraso en la respuesta es que mientras el clima puede retornar a la normalidad puede existir déficit en la humedad del suelo, escurrimiento y nivel de los lagos. La respuesta de tiempo más lenta permite la recuperación de esas características hidrológicas y así el índice describe mejor a la sequía hidrológica. Es importante señalar que el valor del PHDI no es lineal y no debe promediarse.

**Tabla 3. 4 Clasificación del PHDI en periodos húmedos y secos.**

PHDI	Clase
4.00 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.
0.50 a 0.99	Humedad incipiente.
0.49 a -0.49	Normal
-0.50 a -0.99	Sequía incipiente.
-1.00 a -1.99	Sequía leve.
-2.00 a -2.99	Sequía moderada.
-3.00 a -3.99	Sequía severa.
-4.00 o menor	Sequía extrema.

### 3.4.6. Índice de Humedad de los cultivos (CMI).

El CMI fue desarrollado por Palmer dentro del contexto del PSDI. Este índice emplea una aproximación meteorológica para monitorear semana a semana las condiciones de los cultivos. Así como el PSDI se desarrolló para monitorear las condiciones de humedad o sequía de largo plazo, el CMI fue diseñado para evaluar las condiciones de humedad de corto plazo a lo largo de grandes extensiones agrícolas.

El índice se basa en la precipitación total y la temperatura media de cada semana dentro de una división climática, así como el valor del CMI de la semana previa. El CMI responde rápidamente a las condiciones climatológicas de corto plazo y se puede construir planos que reflejen las variaciones de humedad en diferentes sitios de una región, sin embargo, una fuerte lluvia durante una sequía puede dar como resultado un valor del CMI que indique condiciones adecuadas de humedad, aún cuando las condiciones de sequía no se hayan interrumpido.

### 3.4.7. Deciles de la precipitación.

Esta técnica fue desarrollada por Gibbs y Maher y consiste en dividir la precipitación en decimos. A cada una de estas divisiones se le conoce con el nombre de Decil. Los límites de cada decil se calculan ordenando la muestra de tamaño “ $n$ ” de menor a mayor magnitud, el valor más grande registrado se le asigna la variable  $Hp(n)$  y al más pequeño  $Hp(1)$ . Cada decil se obtiene con las siguientes ecuaciones:

$$c = \frac{Hp(n) - Hp(1)}{10} \quad [3.14]$$

$$decil(1) = Hp(1) + c \quad [3.15]$$

$$decil(i) = decil(i-1) + c \quad \text{parai} = 2, 3, \dots, 10 \quad [3.16]$$

Este índice puede ser anual o mensual, y también es útil para representar espacialmente la sequía. Una desventaja es que se necesita una cantidad importante de información para establecer adecuadamente los deciles.

### 3.5 Definición de Aridez.

La Sequía y la Aridez, son fenómenos que frecuentemente se confunden debido a que las regiones más secas son usualmente donde la variabilidad de la precipitación es más alta, y por lo tanto es más probable que se presente una sequía.

La aridez se define como un estado climático permanente; cuando una cantidad de agua disponible representa una variable crítica que limita la economía de la región, tanto en su planeación como en su desarrollo. Por lo que el concepto de aridez es distinto al de sequía, ya que la sequía desaparece durante algunas temporadas.

Para definir el término de aridez se debe de partir de las características de la superficie terrestre, tales como geomorfología y vegetación, las cuales afectan el clima hasta presentar las condiciones comunes de desertización. Sin embargo, la definición más formal está en función de las causas que la originan y a menudo se basan en comparaciones entre la precipitación y algunas medidas climáticas.

### 3.6 Índices de Aridez.

Los índices de aridez en general están basados en una comparación entre la precipitación y otra componente climática.

#### 3.6.1. Índice de aridez de CONAGUA (Comisión Nacional del Agua).

Este índice solo se basa en la precipitación media anual, por lo tanto es el más sencillo, la definición de las regiones se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 3. 5 Definición de regiones de acuerdo con la precipitación media anual.**

Región	Precipitación media anual
Árida	Menor o igual a 400 mm.
Semiárida	Entre 400 y 600 mm.
Semihúmeda	Entre 600 y 1500 mm.
Húmeda	Mayor de 1500 mm.

#### 3.6.2. Índice de aridez de la UNEP (Programa del Ambiente de Naciones Unidas).

Este índice se basa en el valor del cociente de la altura de precipitación media anual con respecto a la evapotranspiración potencial media anual.

$$I_{UNEP} = \frac{Hp}{ETP} \quad [3.17]$$

Donde  $Hp$  es la precipitación media anual y  $ETP$  es la evapotranspiración potencial media anual.

**Tabla 3. 6 Clasificación de aridez utilizando el índice de aridez de la UNEP**

$I_{UNEP}$	Región
0.65 o mayor	Húmedo
0.50 a 0.65	Sub húmedo
0.20 a 0.50	Semiárido
0.05 a 0.20	Árido
0.05 o menor	Aridez extrema

### 3.6.3. Índice de aridez de Martonne.

Este índice se fundamenta en la comparación de la precipitación media anual y la temperatura media anual. Su expresión es la siguiente:

$$I_a = \frac{Hp}{T + 10} \quad [3.18]$$

Donde  $Hp$  es la precipitación media anual en milímetros y  $T$  es la temperatura media anual en grados centígrados.

**Tabla 3. 7 Clasificación de aridez utilizando el índice de aridez de Martonne**

$I_a$	Región
60 o mayor	Muy húmedo
30 a 60	Húmedo
20 a 30	Sub húmedo
15 a 20	Semiárido
5 a 15	Árido
0 a 5	Aridez extrema

---

---

## **Aplicación del Análisis de Sequía y Aridez.**



En este trabajo se realizó el análisis de sequía a través de dos métodos. El primero es por el método del Porcentaje de la Normal, el cual permite conocer los valores de la lámina disponible, segundo por el método de Deciles de la Precipitación, el cual utilizaremos para estimar los efectos de la sequía en los sectores agropecuarios y forestales.

Antes de entrar al análisis de la sequía, se realizó el llenado de registros, ya que la mayoría de las estaciones localizadas en el estado no presentaban datos completos. Una vez terminado el llenado se calculó la precipitación media para cada municipio y con esto se generaron las series sintéticas con los modelos autoregresivos anuales que mejor se ajustaban de acuerdo al Criterio de Información de Akaike. Por último, a través de el método de los deciles se relacionaron los efectos de la precipitación en la producción ganadera y agrícola, también se relacionan con los incendios forestales.

## 4.1 Aplicación del Llenado de Registros.

Todas las estaciones del Estado de Querétaro presentaban datos incompletos. Los datos se obtuvieron de la base de datos del CLICOM. Para llenar los registros se utilizó el método de la distancia inversa, en dos formas, lineal y cuadrada. Con estas dos interpolaciones se sacó un promedio y ese fue el dato que se ingreso al registro. Se utilizó este método por ser el más fácil para programar.

Se utilizó una misma longitud de registro para todas las estaciones, que fue del enero de 1966 a diciembre del 2002. No se utilizaron datos posteriores por no contar con información.

El ejemplo se realizó con la estación 22001, ubicada en el municipio de Amealco de Bonfil, en el Estado de Querétaro.

Los datos faltantes se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4. 1 Datos faltantes de la estación 22001**

Feb 73 – Abr 73	May 74	Nov 74	Feb 75 – Mar 75	Ago 75
Jun 77	Sep 77	Nov 77	May 79	Jul 79
Sep 80 – May 81	Sep 81	Dic 81 – Ene 82	Oct 83 – Abr 84	Jul 84
Sep 84	Dic 84	Jul 85 – Nov 85	Ene 87 – Jun 88	Ago 88
May 89	Nov 89	Dic 90	Abr 91 – Nov 97	Jun 98 – Nov 98
Feb 99 – Jul 99	Oct 99	Jul 00	Sep 00	Jul 01

Después se ubica la estación de estudio y las estaciones cercanas, se utilizaron las estaciones que estuvieran dentro de un radio de 25 km. Las estaciones dentro del intervalo son: 22033, 22044, 22047, 22015, 22022, 22028, 22029, 15188, 15192, 15260, 11012, 16124, 16124, 16129 y 16175. No todas las estaciones presentaban datos para estos periodos deseados.

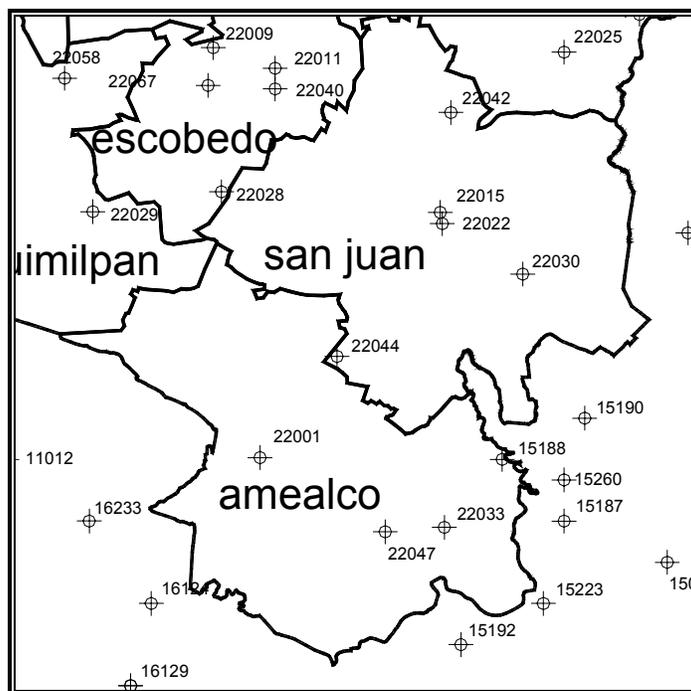


Figura 4. 1 Ubicación de la estación 22001

Los datos de las estaciones y su respectiva precipitación se tomaron de la base de datos del CLICOM, y con la ayuda del programa TRANINV que se encuentra libre en la página de INEGI, se transformaron las coordenadas geográficas a coordenadas UTM y con esto se determinaron las distancias.

Para el primer periodo, 11 de 15 estaciones que reportaron datos, los cuales se muestran en la tabla.

Tabla 4. 2 Datos de Precipitación mensual de la base de datos del CLICOM

Clave	22033	22015	22022	22028	22029	15031
Nombre	San Pablo	Sn Juan Río (smn)	Sn Juan Río	Galindo	Huimilpan	Hacienda
Municipio	Amealco	San Juan Río	Sn Juan Río	Sn Juan Río	Huimilpan	Solis
Latitud (°)	20.12833	20.38333	20.37417	21.54833	20.38389	19.96667
Longitud (°)	-99.99667	-100.00000	-99.99833	-99.68861	-100.28056	-100.05000
X (UTM) (m)	395822.55	395644.676	395812.42	377216.463	366363.915	364082.395
Y (UTM) (m)	2225862.35	2254085.42	2253069.8	2256052.07	2254350.03	2266327.87
Distancia (m)	16766.5328	26725.438	26000.246	24047.5175	26167.3767	37782.8473
Inversa	5.9643E-05	3.74175E-05	3.8461E-05	4.1584E-05	3.8216E-05	2.6467E-05
Cuadrada	3.5572E-09	1.40007E-09	1.4793E-09	1.7293E-09	1.4604E-09	7.005E-10
Feb-1973	0.5	0	0	0	4.5	0
Mar-1973	0	2	2	0.7	0	0
Abr-1973	21.4	35.3	35.3	20.4	38.2	0

Continuación

Clave	15188	15192	11012	16124	16129
Nombre	la mora	Taxhie	coroneo	tamascales	tepuxtepec
Municipio	Apaxco	polotitlan	coroneo	contepec	contepec
Latitud (°)	20.18333	20.03333	20.18333	20.06667	20.00000
Longitud (°)	-99.95000	-99.98333	-100.35000	-100.23333	-100.25000
X (UTM) (m)	400735.579	397154.751	358934.979	371032.003	369233.473
Y (UTM) (m)	2231920.2	2215340.24	2232209.72	2219203.44	2211837.7
Distancia (m)	20436.232	23841.1257	21366.329	15966.0465	23178.6981
Inversa	4.8933E-05	4.1944E-05	4.6803E-05	6.2633E-05	4.3143E-05
Cuadrada	2.3944E-09	1.7593E-09	2.1905E-09	3.9229E-09	1.8613E-09
Feb-1973	0	0	0	1.5	0
Mar-1973	0.2	0	0	3	0
Abr-1973	40.6	17.1	11.2	35.6	13.5

La fila Distancia se refiere a la distancia entre las estaciones y la estación de estudio. Aplicando la formula 2.23 se determinan los datos de lluvia faltantes.

Tabla 4. 3 Resultado del llenado de datos para la estación 2001 en el periodo de feb-mar 1973

	Estación 22001	Resultado		
		lineal	cuadrada	promedio
Feb-1973	0.6	0.6	0.6	0.6
Mar-1973	0.8	0.8	0.9	0.8
Abr-1973	25.7	25.4	26.1	25.7

El municipio de Amoles del Pinal, no cuenta con ninguna estación climatológica, por lo que fue necesario interpolar el registro al centroide del municipio.

## 4.2 Calculo de la lluvia media.

Después de aplicar el llenado de registro, se calcula la lluvia media para cada municipio. Se determino a través del método de los polígonos de Thiessen. Para ejemplificar, se calculó la precipitación media para el municipio de Arroyo Seco. Lo primero es determinar el área de influencia de cada estación.

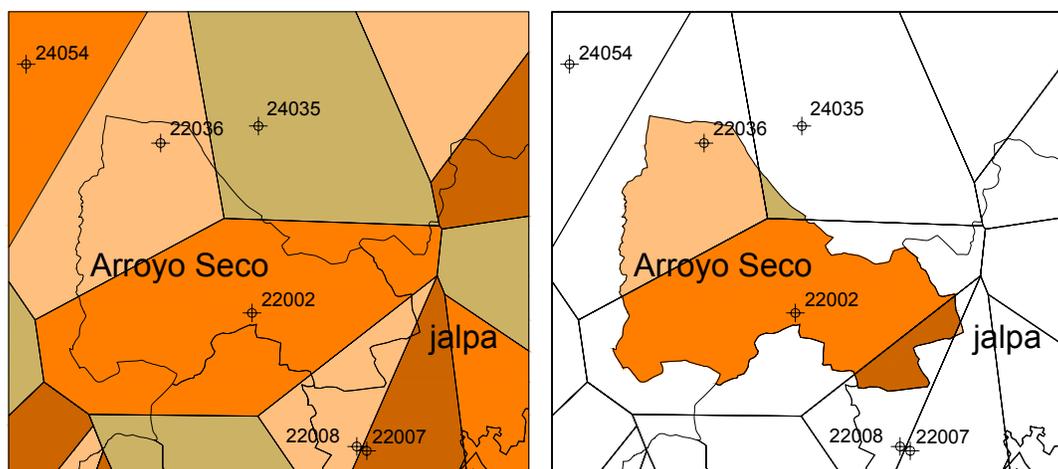


Figura 4. 2 Polígonos de Thiessen para el municipio de Arroyo Seco.

Tabla 4. 4 Ejemplo de la Precipitación Media en el municipio de Arroyo Seco para el año 1966.

Clave	22036	22002	22007	22008	24035	Lluvia media
Nombre	Arroyo Seco	Ayutla	Jalpa (DGE)	Jalpa	Lagunillas	Arroyo Seco
Municipio	Arroyo Seco	Arroyo Seco	Jalpa	Jalpa	Lagunillas	Arroyo Seco
Latitud (°)	21.54833	21.36527	21.21666	21.22138	21.56666	
Longitud (°)	-99.68861	-99.59027	-99.46666	-99.4775	-99.58333	
Áreas (km <sup>2</sup> )	223.6	431.2	1.1	49.9	11.3	717.2
Thiessen	0.312	0.601	0.002	0.070	0.016	1.000
Ene-1966	16.4	9.0	47.5	45.8	13.0	14.0
Feb-1966	40.8	39.5	38.5	38.1	47.0	39.9
Mar-1966	16.2	8.0	26.5	26.3	12.5	11.9
Abr-1966	17.9	13.0	53.5	52.6	18.5	17.4
May-1966	42.2	25.0	91.5	87.8	39.0	35.0
Jun-1966	261.5	149.5	272.0	268.1	351.0	196.1
Jul-1966	52.2	80.0	126.5	125.0	37.5	73.9
Ago-1966	63.4	102.0	111.0	110.2	51.0	89.8
Sep-1966	94.2	70.5	89.5	89.1	122.5	80.0
Oct-1966	155.3	154.5	171.0	168.4	145.9	155.6
Nov-1966	34.6	77.5	8.3	10.7	24.9	58.5
Dic-1966	0.0	0.0	1.2	1.2	0.0	0.1

La lluvia media se calcula como una media pesada, donde los factores de peso es el área de influencia, se utiliza la ecuación 2.27.

Tabla 4. 5 Resultado de la precipitación media acumulada anual por municipio.

Municipio/Año	Amealco	Amoles	Arroyo Seco	Cadereyta	Colon	Corregidora
1966	939.1	945.0	772.2	740.9	712.6	691.7
1967	1062.5	1016.9	1025.3	637.9	642.4	747.7
1968	898.5	1035.8	850.1	851.3	631.1	534.2
1969	871.3	1036.2	976.3	760.2	379.1	456.0
1970	772.5	878.6	775.1	566.9	405.4	607.4
1971	986.6	1069.2	748.5	809.5	628.6	902.6
1972	683.3	1005.7	711.5	724.8	390.0	485.0
1973	841.9	1203.8	943.3	753.2	668.8	823.7
1974	820.4	740.9	684.8	722.1	512.2	571.2
1975	909.1	1098.4	934.7	680.8	469.0	634.6
1976	928.3	1104.6	777.0	879.7	724.8	813.4
1977	861.9	642.2	555.9	461.3	428.1	647.3
1978	932.2	1031.3	818.0	784.3	476.5	597.6
1979	756.6	765.6	585.4	611.2	422.8	415.3
1980	805.4	596.9	489.5	532.5	431.5	626.7
1981	777.0	1170.8	1182.0	775.1	579.3	605.7
1982	589.2	402.3	372.2	329.2	365.8	412.3
1983	911.0	711.0	546.3	482.1	468.1	704.8
1984	770.4	773.3	895.7	493.9	461.0	608.0
1985	888.6	754.7	693.7	599.4	495.8	780.6
1986	910.4	717.9	623.8	456.4	545.2	903.7
1987	683.2	408.6	370.7	359.1	394.9	434.8
1988	666.3	904.2	784.5	514.0	407.2	456.6
1989	765.8	450.5	277.9	322.8	346.8	569.5
1990	1295.6	695.0	599.4	554.5	530.4	565.6
1991	928.5	600.0	556.6	651.6	560.5	789.2
1992	917.8	778.3	803.4	574.7	605.5	788.6
1993	685.6	836.2	643.7	395.8	393.4	554.7
1994	667.5	566.8	495.5	421.5	460.1	545.3
1995	775.8	632.1	405.5	414.4	281.4	599.4
1996	689.8	561.2	497.5	467.8	341.6	486.4
1997	606.3	623.1	535.6	536.1	454.2	406.8
1998	703.1	741.2	798.7	625.4	501.7	672.0
1999	624.9	651.6	708.1	470.6	313.7	404.1
2000	612.3	621.9	596.8	307.4	404.1	412.3
2001	832.3	536.4	564.3	391.5	465.6	661.2
2002	957.8	483.9	520.7	372.2	527.5	706.9

## Continuación.

Municipio/año	Ezequiel M.	Huimilpan	Jalpan de S.	Landa de M.	Pedro E.	Márquez
1966	523.3	779.0	1742.9	1881.8	860.6	753.8
1967	555.5	798.2	1920.9	2027.3	825.3	701.1
1968	626.4	587.6	1688.1	1778.6	583.1	555.8
1969	335.5	502.3	1801.6	2108.8	479.5	465.8
1970	350.3	599.8	1625.4	1700.1	534.7	527.9
1971	496.1	856.6	1654.6	1900.6	738.0	783.3
1972	373.7	496.0	1454.5	1092.1	471.5	464.2
1973	677.9	1016.5	1336.8	888.6	833.1	739.5
1974	562.8	658.4	1113.7	893.8	801.9	571.4
1975	421.9	703.6	1413.8	1110.4	570.2	528.1
1976	735.2	641.3	1349.8	1027.1	632.6	751.3
1977	418.1	769.3	800.1	644.2	661.6	551.0
1978	507.8	760.7	1169.9	925.3	612.7	531.8
1979	393.5	605.7	915.2	780.1	520.7	417.4
1980	406.5	561.4	834.7	667.9	530.4	501.1
1981	523.0	708.4	1354.5	953.5	639.7	561.8
1982	351.1	438.2	555.3	473.8	459.6	348.3
1983	519.0	815.3	1046.9	648.9	691.8	500.6
1984	403.5	652.3	1236.9	721.9	542.0	488.3
1985	475.1	726.2	1042.1	856.7	572.3	602.0
1986	518.4	923.6	947.1	611.0	792.4	688.0
1987	375.9	502.4	730.1	601.0	455.3	361.4
1988	423.2	605.7	1238.1	851.1	548.2	427.8
1989	255.1	549.8	883.8	962.6	438.8	439.7
1990	483.4	630.0	1043.4	931.0	713.9	553.3
1991	557.1	732.8	1936.0	3024.9	699.7	642.4
1992	494.4	748.9	1452.7	1593.1	711.3	702.1
1993	368.3	387.2	1534.3	1034.9	446.4	431.5
1994	462.4	476.6	839.9	878.1	395.8	460.7
1995	365.8	615.6	868.7	710.1	379.5	373.8
1996	330.7	517.9	830.8	723.6	453.1	431.3
1997	472.1	469.4	801.1	619.6	445.4	462.8
1998	523.1	714.1	1172.4	1020.3	657.9	537.4
1999	303.4	342.0	956.5	680.3	307.5	384.0
2000	435.4	403.6	860.1	691.7	383.0	388.2
2001	521.9	665.3	1103.6	1247.7	568.8	502.6
2002	611.0	567.7	594.8	470.1	487.5	508.4

## Continuación.

Municipio/año	Peñamiller	Querétaro	San Joaquín	San Juan del Río	Tequisquiapan	Tolimán
1966	703.9	693.3	1093.9	792.5	619.3	579.2
1967	557.1	700.0	852.3	747.7	629.1	553.4
1968	763.5	522.6	1244.7	647.6	578.0	742.0
1969	609.9	461.0	1417.6	494.8	374.0	395.0
1970	425.1	567.9	856.3	633.9	464.7	354.1
1971	624.6	834.0	1458.0	850.3	634.2	528.5
1972	420.9	482.9	1407.9	472.1	389.0	396.9
1973	571.6	748.3	1444.8	752.9	656.9	569.2
1974	432.9	536.6	1028.1	621.2	566.6	437.7
1975	550.4	547.6	1225.1	609.6	454.6	553.4
1976	669.2	788.4	1348.2	779.7	759.0	788.9
1977	401.1	594.0	586.4	648.5	467.7	613.6
1978	497.8	572.8	1375.1	585.2	455.7	476.8
1979	383.8	401.3	1042.9	512.5	438.3	400.7
1980	329.1	529.9	771.6	548.0	434.2	381.7
1981	529.7	545.6	1454.9	649.8	500.6	537.2
1982	281.5	383.4	395.5	395.2	331.4	342.8
1983	329.9	538.3	629.7	623.3	517.0	341.1
1984	380.2	540.1	710.5	654.4	471.3	356.4
1985	493.7	652.2	743.8	703.7	502.3	479.1
1986	318.1	703.3	521.6	816.3	583.4	377.9
1987	211.7	379.4	420.0	437.6	376.4	285.7
1988	403.0	409.5	692.3	464.8	426.8	353.3
1989	318.3	403.5	531.2	389.5	302.4	292.2
1990	401.0	514.2	726.6	1288.9	555.9	427.0
1991	518.8	680.1	733.2	913.3	507.4	467.8
1992	499.4	737.3	809.4	638.0	487.7	495.4
1993	395.2	475.6	702.1	437.0	374.8	329.5
1994	546.0	596.8	619.7	428.9	452.6	502.9
1995	455.8	500.1	669.8	546.0	375.6	359.7
1996	403.7	423.1	607.8	489.4	370.6	310.5
1997	478.9	417.3	628.3	506.8	491.4	401.4
1998	465.1	627.1	833.9	686.2	515.7	572.7
1999	384.4	365.1	663.7	439.9	289.9	329.4
2000	345.0	403.6	493.5	505.8	405.1	361.4
2001	379.1	519.8	423.1	651.7	514.8	390.3
2002	476.3	546.4	401.9	760.1	658.3	397.8

### 4.3 Cálculo de los parámetros estadísticos y determinación del modelo autoregresivo anual.

Una vez calculada la lluvia media para cada municipio, se determinan sus parámetros estadísticos para cada registro, para esto se utilizan las ecuaciones que van de la 2.1 a la 2.6.

**Tabla 4. 6 Registro de la precipitación media anual del municipio de Amealco de Bonfil.**

Año	X (mm)	Año	X (mm)
1966	939.1	1985	888.6
1967	1062.5	1986	910.4
1968	898.5	1987	683.2
1969	871.3	1988	666.3
1970	772.5	1989	765.8
1971	986.6	1990	1295.6
1972	683.3	1991	928.5
1973	841.9	1992	917.8
1974	820.4	1993	685.5
1975	909.1	1994	667.5
1976	928.3	1995	775.8
1977	861.9	1996	689.8
1978	932.2	1997	606.3
1979	756.6	1998	703.1
1980	805.4	1999	624.9
1981	777.0	2000	612.3
1982	589.2	2001	832.3
1983	911.0	2002	957.8
1984	770.4		

**Tabla 4. 7 Resultado de los parámetros estadísticos del municipio de Amealco de Bonfil.**

media	819.696
desv. Est.	145.363
varianza	21130.505
C. Asimetría	0.719
C. Curtosis	4.099
C. Variación	0.177

Para determinar el modelo autoregresivo se utiliza el Criterio de Información de Akaike, sin embargo el registro no tiene un comportamiento normal y estándar ( $g \neq 0$  y  $k \neq 3$ ). Como primer paso se normalizará la muestra usando la ecuación 2.11, posteriormente se estandarizará con la expresión 2.13.

**Tabla 4. 8 Resultado de la normalización y estandarización de la precipitación media del municipio de Amealco de Bonfil.**

Año	X	Y	Z
1966	939.1	6.84	0.15
1967	1062.5	6.97	0.27
1968	898.5	6.80	0.11
1969	871.3	6.77	0.08
1970	772.5	6.65	-0.04
1971	986.6	6.89	0.20
1972	683.3	6.53	-0.17
1973	841.9	6.74	0.04
1974	820.4	6.71	0.02
1975	909.1	6.81	0.12
1976	928.3	6.83	0.14
1977	861.9	6.76	0.06
1978	932.2	6.84	0.14
1979	756.6	6.63	-0.07
1980	805.4	6.69	0.00
1981	777.0	6.66	-0.04
1982	589.2	6.38	-0.32
1983	911.0	6.81	0.12
1984	770.4	6.65	-0.05
1985	888.6	6.79	0.10
1986	910.4	6.81	0.12
1987	683.2	6.53	-0.17
1988	666.3	6.50	-0.19
1989	765.8	6.64	-0.05
1990	1295.6	7.17	0.47
1991	928.5	6.83	0.14
1992	917.8	6.82	0.13
1993	685.5	6.53	-0.16
1994	667.5	6.50	-0.19
1995	775.8	6.65	-0.04
1996	689.8	6.54	-0.16
1997	606.3	6.41	-0.29
1998	703.1	6.56	-0.14
1999	624.9	6.44	-0.26
2000	612.3	6.42	-0.28
2001	832.3	6.72	0.03
2002	957.8	6.86	0.17

Donde la columna X es la serie de la precipitación media del municipio de Amealco de Bonfil, la columna Y es la serie normalizada y la columna Z es la serie normalizada y estandarizada.

**Tabla 4. 9 Parámetros estadísticos de las series X, Y y Z del municipio de Amealco de Bonfil.**

Parámetros	X	Y	Z
Media	819.696	6.694	0.000
Desv. Est.	145.363	0.173	0.173
Varianza	21130.506	0.030	0.030
C. Asimetría	0.720	0.170	0.170
C. Curtosis	4.100	2.807	2.807
C. Variación	0.177	0.026	

Como se observa, en la serie Z, la media es cero, el coeficiente de asimetría es cercano a cero, así como el coeficiente de curtosis se aproxima a tres, por lo tanto se puede decir que la serie Z es normal y estándar.

Como se observó en el tema 2.3.4, el Criterio de Información de Akaike se determina a través de la ecuación 2.68:

$$CIA(p, q) = n \ln(\sigma_\varepsilon^2) + 2(p + q)$$

Se debe calcular para cada modelo autoregresivo. Siguiendo con el ejemplo del municipio de Amealco de Bonfil, se tiene lo siguiente:

**Modelo AR (1).**

Para este modelo, la expresión se reduce a:

$$CIA(p) = n \ln(\sigma_\varepsilon^2) + 2(p) \tag{4.1}$$

Para calcular la varianza de los residuales ( $\sigma_\varepsilon^2$ ) es necesario conocer la varianza de la serie normal ( $\sigma_y^2$ ) y el parámetro autoregresivo ( $\phi_1$ ), el cual se igual a la autocovarianza de la serie Z. Para el cálculo de la autocovarianza, las ecuaciones 2.7 y 2.8 se modifican y se integran en una sola ecuación.

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (z_i - \bar{z})(z_{i+k} - \bar{z})}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \tag{4.2}$$

Donde  $k$  es el tiempo de retraso. De nuestro ejemplo, el valor del parámetro autoregresivo es:

$$\phi_1 = r_1 = 0.299$$

Cumple la condición del círculo unitario.

Recordando que el valor de la varianza de la serie Y es de 0.030, se calcula la varianza de los residuales:

$$\sigma_{\varepsilon}^2 = 0.030(1 - 0.299^2) = 0.027$$

Por lo tanto el Criterio de Información de Akaike es:

$$CIA(1) = 37 * \ln(0.027) + 2(1) = -131.170$$

### Modelo AR (2).

Para el cálculo de los parámetros autoregresivos se usan las ecuaciones 2.48 y 2.49, los valores de  $r_1$  y  $r_2$  se calculan con la expresión 4.2. Los resultados son los siguientes:

$$r_1 = -0.032$$

$$r_2 = 0.034$$

Con estos valores se determinan los parámetros autoregresivos.

$$\phi_1 = \frac{-0.032(1 - 0.034)}{1 - (-0.032)^2} = 0.292$$

$$\phi_2 = \frac{0.034 - (-0.032)^2}{1 - (-0.032)^2} = 0.025$$

Se verifica la condición del círculo unitario.

La varianza de los residuales se determina con la expresión 2.51.

$$\sigma_{\varepsilon}^2 = 0.030 \left( \frac{1 + 0.025}{1 - 0.025} \right) \left[ (1 - 0.025)^2 - 0.292^2 \right] = 0.029$$

Y aplicando el CIA, tenemos:

$$CIA(2) = 37 * \ln(0.029) + 2(2) = -127.129$$

### Modelo ARMA (1,1).

Este modelo parte del AR (1), con la diferencia que se involucra a los residuales. De la ecuación 2.40 se despeja la variable  $\varepsilon$ .

$$\varepsilon_t = Z_t - \phi_1 Z_{t-1}$$

**Tabla 4. 10 Resultado de la serie de los residuales de los modelos AR (1) y AR (2) para el municipio de Amealco de Bonfil en el estado de Querétaro, México.**

Año	X	Y	Z	$\varepsilon$ [AR (1)]	$\varepsilon$ [AR (2)]
1966	939.1	6.84	0.15	0.00	0.00
1967	1062.5	6.97	0.27	0.23	0.00
1968	898.5	6.80	0.11	0.02	0.02
1969	871.3	6.77	0.08	0.04	0.04
1970	772.5	6.65	-0.04	-0.07	-0.07
1971	986.6	6.89	0.20	0.21	0.21
1972	683.3	6.53	-0.17	-0.23	-0.22
1973	841.9	6.74	0.04	0.09	0.09
1974	820.4	6.71	0.02	0.00	0.01
1975	909.1	6.81	0.12	0.11	0.11
1976	928.3	6.83	0.14	0.10	0.10
1977	861.9	6.76	0.06	0.02	0.02
1978	932.2	6.84	0.14	0.12	0.12
1979	756.6	6.63	-0.07	-0.11	-0.11
1980	805.4	6.69	0.00	0.02	0.01
1981	777.0	6.66	-0.04	-0.04	-0.04
1982	589.2	6.38	-0.32	-0.30	-0.30
1983	911.0	6.81	0.12	0.21	0.21
1984	770.4	6.65	-0.05	-0.08	-0.07
1985	888.6	6.79	0.10	0.11	0.11
1986	910.4	6.81	0.12	0.09	0.09
1987	683.2	6.53	-0.17	-0.20	-0.20
1988	666.3	6.50	-0.19	-0.14	-0.15
1989	765.8	6.64	-0.05	0.00	0.01
1990	1295.6	7.17	0.47	0.49	0.49
1991	928.5	6.83	0.14	0.00	0.00
1992	917.8	6.82	0.13	0.09	0.08
1993	685.5	6.53	-0.16	-0.20	-0.20
1994	667.5	6.50	-0.19	-0.14	-0.15
1995	775.8	6.65	-0.04	0.02	0.02
1996	689.8	6.54	-0.16	-0.15	-0.14
1997	606.3	6.41	-0.29	-0.24	-0.24
1998	703.1	6.56	-0.14	-0.05	-0.05
1999	624.9	6.44	-0.26	-0.22	-0.21
2000	612.3	6.42	-0.28	-0.20	-0.20
2001	832.3	6.72	0.03	0.11	0.12
2002	957.8	6.86	0.17	0.16	0.17

Una vez determinada la serie de los residuales, se calculan las autocovarianzas con la expresión 2.58. y se tienen los siguientes resultados:

$$C_0 = 0.026$$

$$C_1 = -0.001$$

Las variables  $\theta_1$  y  $\sigma_\varepsilon^2$ , se determinan al resolver las ecuaciones 2.54 y 2.57 en forma iterativa. Para iniciar el proceso, es conveniente tomar el valor de la varianza de los residuales obtenida en el proceso AR (1).

$$\theta_1 = \frac{-(-0.001)}{0.027} = 0.033$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = \frac{0.026}{1 + 0.033^2} = 0.026$$

Al final del proceso, el resultado es el siguiente:

$$\theta_1 = 0.035$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = 0.026$$

Aplicando CIA, tenemos:

$$CIA(1,1) = 37 * \ln(0.026) + 2(1 + 1) = -131.193$$

### Modelo ARMA (1,2).

En este modelo hay un parámetro autoregresivo y dos parámetros de los residuales. Se deben de resolver de manera reiterativa las ecuaciones 2.63, 2.64 y 2.65, las autocovarianzas se calculan con la serie de residuales obtenida con el modelo AR (1). Los resultados son los siguientes:

$$C_0 = 0.033$$

$$C_1 = -0.064$$

$$C_2 = 0.026$$

Para la primera iteración se hacen dos suposiciones, la varianza de los residuales se tomara del modelo AR (1) y el valor de  $\theta_1$  será igual a cero.

$$\theta_2 = -\frac{0.002}{0.027} = -0.060$$

$$\theta_1 = -\left(\frac{-0.001}{0.027} - 0(-0.060)\right) = 0.033$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = \frac{0.026}{1 + (-0.060)^2 + 0.033^2} = 0.027$$

Al final de la iteración, los resultados son los siguientes:

$$\theta_1 = 0.033$$

$$\theta_2 = -0.064$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = 0.026$$

El resultado del *CIA* es:

$$CIA(1,2) = 37 \ln(0.026) + 2(1+2) = -129.338$$

### Modelo ARMA (2,1).

Este modelo parte del AR (2), y el cálculo del coeficiente de los residuales es igual al descrito en el modelo ARMA (1,1), por lo tanto los resultados son los siguientes:

$$C_0 = 0.026$$

$$C_1 = -0.001$$

$$\theta_1 = 0.035$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = 0.026$$

$$CIA(2,1) = -129.193$$

### Modelo ARMA (2,2).

Este modelo también parte del AR (2) y el cálculo de los coeficientes de los residuales es el mismo que el descrito en el modelo ARMA (1,2), los resultados son los siguientes:

$$C_0 = 0.026$$

$$C_1 = -0.001$$

$$C_2 = 0.002$$

$$\theta_1 = 0.033$$

$$\theta_2 = -0.064$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = 0.026$$

$$CIA(2,2) = -127.338$$

De estos modelos se escoge el que presente el menor valor del *CIA*, para este ejemplo, es el modelo ARMA (1,1), en la siguiente tabla se muestra un resumen de los valores del *CIA* obtenidos.

**Tabla 4. 11 Resumen de los valores del CIA para los diferentes modelos para el municipio de Amealco de Bonfil en el estado de Querétaro, México.**

Modelo	p	q	$\sigma^2$	CIA
AR(1)	1	0	0.027	-131.170
AR(2)	2	0	0.029	-127.129
ARMA(1,1)	1	1	0.026	-131.193
ARMA(1,2)	1	2	0.026	-129.338
ARMA(2,1)	2	1	0.026	-129.193
ARMA(2,2)	2	2	0.026	-127.338

**Tabla 4. 12 Modelos autoregresivos determinados por el Criterio de Información de Akaike para cada municipio del estado de Querétaro.**

Municipio	CIA
Amealco	ARMA(1,1)
Amoles del pinal	ARMA(1,2)
Arroyo seco	AR(1)
Cadereyta	ARMA(2,1)
Colon	ARMA(1,1)
Corregidora	AR(2)
Escobedo M.	ARMA(1,1)
Ezequiel Montes	AR(2)
Huimilpan	AR(1)
Jalpan	ARMA(1,1)
Landa de Matamoros	ARMA(1,1)
Marqués	ARMA(1,1)
Peñamiller	ARMA(1,1)
Querétaro	AR(2)
Sn Joaquín	ARMA(1,1)
Sn Juan del Río	AR(2)
Tequisquiapan	ARMA(1,1)
Tolimán	ARMA(1,1)

### 4.4 Análisis de Sequía por el método del porcentaje de la normal.

Estrictamente en el tema anterior se determinó el modelo autoregresivo que mejor se ajusta, sin embargo, es en este tema donde se determina el cálculo de las series sintéticas. El motivo es por que se calculará simultáneamente las series sintéticas y el análisis de sequía por el método del porcentaje de la normal.

A todas las serie se les determina el número de eventos, la severidad, la duración, la periodicidad y la intensidad.

Los números negativos indican que se encuentran en la parte del déficit, y los positivos a la parte del superávit.

El procedimiento para este análisis es sencillo. Como primer paso es escoger el nivel de truncamiento el cual será igual a la media, este valor no cambiará en todo el proceso, por lo tanto afectará a la serie original y a las series sintéticas.

Con el nivel de truncamiento, se separa la serie en dos partes, quedando en la parte superior el superávit y en la parte inferior el déficit.

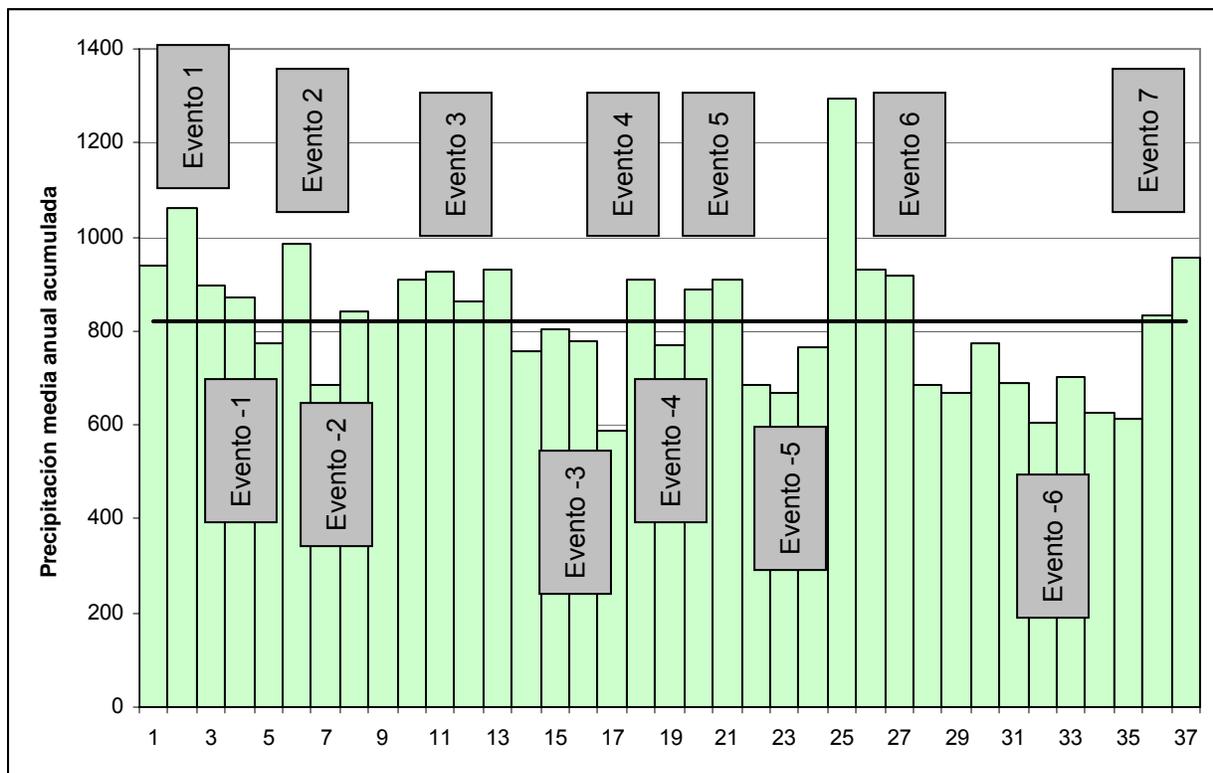


Figura 4. 3 Representación gráfica del nivel de truncamiento y determinación de los eventos, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México.

En este ejemplo, el nivel de truncamiento se fijó en el valor de 819.70 mm.

Un evento lo forman años consecutivos en los cuales se presenta un superávit o déficit, según sea el caso. Se determinaron trece eventos, 7 eventos en superávit y 6 en déficit. El signo negativo se utilizará para referirse a los valores que se encuentren en déficit y los positivos para los superávits.

Se calcula para cada serie los siguientes parámetros:

**Duración.**

Número de años que dura el evento. En nuestra serie original el primer evento de superávit tiene una duración de 4 años, el primer evento en déficit tiene una duración de un año, etc.

**Severidad.**

Déficit o superávit acumulado en una duración determinada.

$$S = \sum_{i=1}^n X_i - \bar{X}$$

Donde  $n$  es la duración del evento.

**Intensidad:**

Es la relación de la severidad entre la duración.

$$M = \frac{S}{D}$$

**Periodicidad:**

Tiempo en que tarda en repetirse los eventos, por ejemplo: El primer evento que se presenta en nuestra serie es un superávit (año 1966), y tarda cinco años en presentarse otro superávit (año 1971); el segundo evento es un déficit (año 1970) y el siguiente déficit se presenta dos años después (1972). Este criterio es el que se utiliza en todo el proceso.

Una vez obtenido estos parámetros, se determina lo que es propiamente el análisis de sequía por el método del porcentaje de la normal y se pueden establecer lo siguiente.

**Porcentaje de la normal:**

Cociente entre la intensidad y la lluvia media. Lo cual es la base de este análisis. Por ejemplo, el primer evento tiene una intensidad de 123.2 mm/año y la lluvia media es de 819.7 mm. Entonces el porcentaje de la normal por año para ese evento es:  $123.2/819.7 = 15.03\%$

**Lámina disponible.**

Suma algebraica entre la lluvia media y la intensidad. Siguiendo el mismo ejemplo, la lámina disponible para el primer evento es  $123.2 \text{ mm} + 819.7 \text{ mm} = 942.9 \text{ mm}$

**Probabilidad de un evento con duración determinada.**

Se suman los eventos de una misma duración y se dividen entre el número total de eventos de superávit o déficit según sea el caso.

En la siguiente tabla se presenta el resultado del análisis.

**Tabla 4. 13 Análisis de la serie registrada por el método del porcentaje de la normal, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México.**

X (mm)	X-Xm (mm)	evento	Severidad (mm)	Duración (año)	Periodicidad (año)	Intensidad (mm/año)
939.1	119.4					
1062.5	242.8					
898.5	78.8					
871.3	51.6	1	492.6	4		123.2
772.5	-47.2	-1	-47.2	-1		-47.2
986.6	166.9	2	166.9	1	5	166.9
683.3	-136.4	-2	-136.4	-1	-2	-136.4
841.9	22.2				2	
820.4	0.7					
909.1	89.4					
928.3	108.6					
861.9	42.2					
932.2	112.5	3	375.7	6		62.6
756.6	-63.1				-7	
805.4	-14.3					
777.0	-42.7					
589.2	-230.5	-3	-350.5	-4		-87.6
911.0	91.3	4	91.3	1	10	91.3
770.4	-49.3	-4	-49.3	-1	-5	-49.3
888.6	68.9				2	
910.4	90.7	5	159.6	2		79.8
683.2	-136.5				-3	
666.3	-153.4					
765.8	-53.9	-5	-343.8	-3		-114.6
1295.6	475.9				5	
928.5	108.8					
917.8	98.1	6	682.8	3		227.6
685.5	-134.2				-6	
667.5	-152.2					
775.8	-43.9					
689.8	-129.9					

Continuación

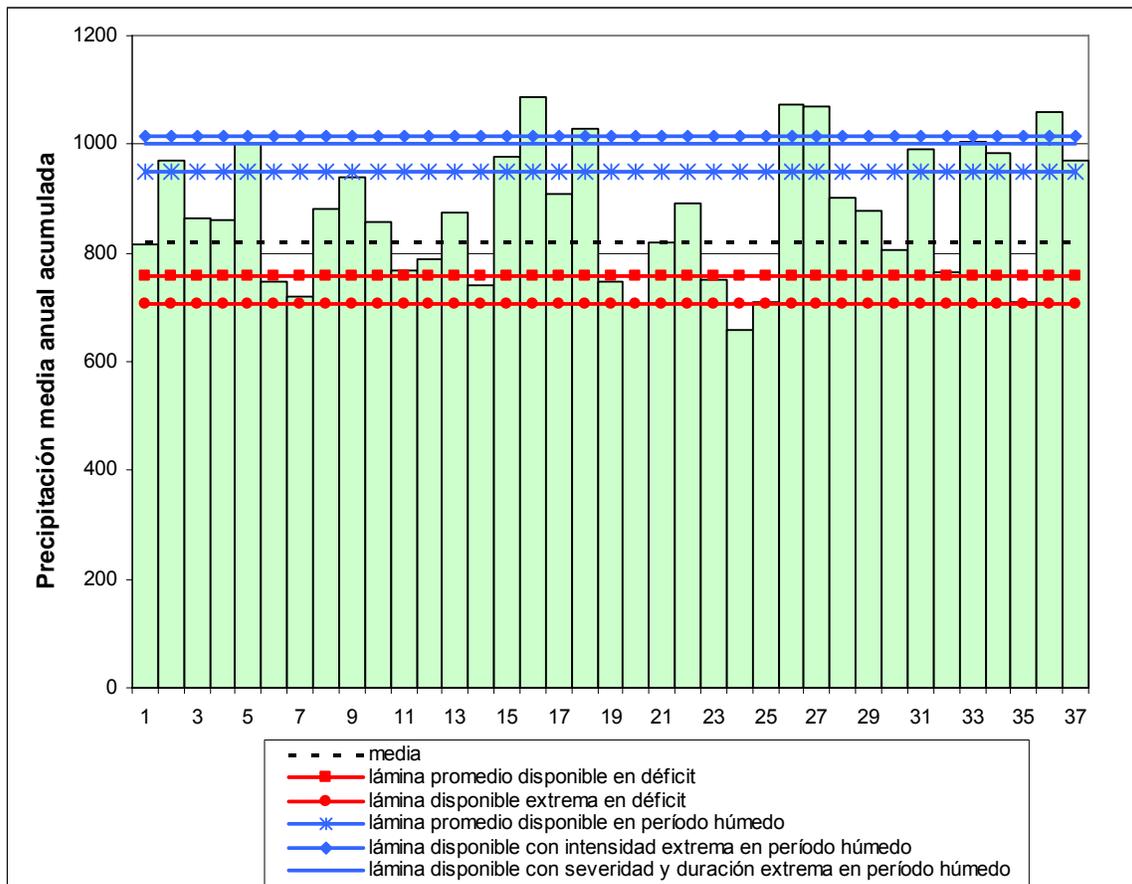
X (mm)	X-Xm (mm)	evento	Severidad (mm)	Duración (año)	Periodicidad (año)	Intensidad (mm/año)
606.3	-213.4					
703.1	-116.7					
624.9	-194.8					
612.3	-207.4	-6	-1192.4	-8		-149.1
832.3	12.6				11	
957.8	138.1	7	150.7	2		75.4

De la tabla anterior se obtienen los valores promedios y extremos.

**Tabla 4. 14 Resultado del análisis por el método del porcentaje de la normal en déficit de la serie registrada, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México.**

		Periodo Seco		Periodo Húmedo	
<b>Promedios</b>	Eventos	-6		7.0	
	Severidad	-353.3	mm	302.8	mm
	Duración	-3.0	años	2.7	años
	Intensidad	-97.4	mm/año	118.1	mm/año
	Periodicidad	-3.8	años	5.0	años
	Lámina	722.3	mm	722.3	mm
<b>Duración Máxima</b>	Duración	-8.0	años	6.0	años
	Severidad	-1192.4	mm	375.7	mm
	Intensidad	-149.1	mm/año	62.6	mm/año
	% Intensidad	-18.0		8.0	
	Lámina disponible	670.6	mm	882.3	mm
<b>Intensidad Máxima</b>	Intensidad	-149.1	mm/año	227.6	mm/año
	Duración	-8.0	año	3.0	Año
	Severidad	-1192.4	mm	682.8	mm
	% Intensidad	-18.0		28.0	
	Lámina disponible	670.6	mm	1047.3	mm
<b>Severidad Máxima</b>	Severidad	-1192.4	mm	682.8	mm
	Duración	-8.0	año	3.0	año
	Intensidad	-149.1	mm/año	227.6	mm/año
	% Intensidad	-18.0		28.0	
	Lámina disponible	670.6	mm	1047.3	mm

En la siguiente figura se muestra la lluvia media anual acumulada, pero se ha incorporado las diferentes láminas obtenidas por el análisis. Cabe señalar que las láminas disponibles para severidad, intensidad y duración máxima en sequías coinciden, sin embargo esto no es una regla.



**Figura 4. 4 Gráfica de las diferentes láminas disponibles resultantes del análisis de sequía de la serie registrada, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México.**

Otro dato que se obtiene de este análisis es la probabilidad de que se presente un evento de una duración determinada. En la serie registrada se presentaron 6 eventos en déficit de los cuales tres tuvieron duración de un año, un evento presentó duración de tres años, otro de cuatro años y el último de ocho años.

Periodo seco			Periodo húmedo		
Duración	Número de eventos	Probabilidad	Duración	Número de eventos	Probabilidad
1 año	3	50.00 %	1 año	2	28.57 %
3 años	1	16.67 %	2 años	2	28.57 %
4 años	1	16.67 %	3 años	1	14.29 %
8 años	1	16.67 %	4 años	1	14.29 %
			6 años	1	14.29 %

**Tabla 4. 15 Resultado del análisis de sequía de la serie registrada por el método del porcentaje de la normal, por municipio.**

Municipios	Amealco de Bonfil	Amoles del Pinal	Arroyo seco	Cadereyta de Montes	Colon	Corregidora
<b>Eventos</b>	9	6	7	7	8	9
<b>Promedios</b>						
Severidad	116.1	573.7	426.2	359.8	204.9	234.6
Duración	1.7	3.7	2.6	2.9	2.8	2.3
Intensidad	63.0	132.1	164.1	101.3	71.0	95.3
% Intensidad	7.7	17.0	24.2	17.8	14.7	15.6
Periodicidad	3.7	3.3	3.3	4.1	3.8	3.4
Lámina disp.	756.9	646.0	514.9	467.1	410.8	516.2
<b>Duración Máx.</b>						
Duración	3	9	5	5	5	5
Severidad	337.4	1585.2	816.8	635.3	478.3	464.5
Intensidad	112.5	176.1	163.4	127.1	95.7	92.9
% Intensidad	13.7	22.6	24.1	22.3	19.9	15.2
Lámina disp.	707.2	602.0	515.6	441.4	386.1	518.5
<b>Intensidad Máx.</b>						
Duración	3	3	2	4	3	2
Severidad	337.4	588.9	439.3	732.1	296.5	406.5
Intensidad	112.5	196.3	219.7	183.0	98.8	203.2
% Intensidad	13.7	25.2	32.4	32.2	20.5	33.2
Lámina disp.	707.2	581.9	459.3	385.4	383.0	408.2
<b>Severidad Máx.</b>						
Duración	3	9	5	4	5	5
Severidad	337.4	1585.2	816.8	732.1	478.3	464.5
Intensidad	112.5	176.1	163.4	183.0	95.7	92.9
% Intensidad	13.7	22.6	24.1	32.2	19.9	15.2
Lámina disp.	707.22	602.0	515.6	385.4	386.1	518.5

## Continuación

Municipios	Ezequiel Montes	Huimilpan	Jalpan de Serra	Landa de Matamoros	Marqués, El	Pedro Escobedo
<b>Eventos</b>	10	8	6	4	8	9
<b>Promedios</b>						
Severidad	157.3	278.0	963.1	1913.3	216.6	242.4
Duración	1.8	2.4	3.5	6.5	2.6	2.3
Intensidad	82.3	125.1	250.7	340.5	70.6	87.1
% Intensidad	17.7	19.7	21.2	31.7	13.3	15.0
Periodicidad	2.8	4.2	3.3	7.3	3.8	3.3
Lámina disp.	381.4	510.8	934.4	733.3	460.2	492.5
<b>Duración Máx.</b>						
Duración	4	5	9	15	5	5
Severidad	327.8	713.0	2638.5	4451.8	494.0	777.9
Intensidad	81.9	142.6	293.2	296.8	98.8	155.6
% Intensidad	17.7	22.4	24.7	27.6	18.6	26.8
Lámina disp.	381.8	493.3	892.0	777.0	432.0	424.0
<b>Intensidad Máx.</b>						
Duración	2	2	2	1	3	5
Severidad	241.7	526.2	768.2	603.7	363.6	777.9
Intensidad	120.8	263.1	384.1	603.7	121.2	155.6
% Intensidad	26.1	41.4	32.4	56.2	22.8	26.8
Lámina disp.	342.9	372.8	801.1	470.1	409.6	424.0
<b>Severidad Máx.</b>						
Duración	3	5	9	15	5	5
Severidad	336.9	713.0	2638.5	4451.8	494.0	777.9
Intensidad	112.3	142.6	293.2	296.8	98.8	155.6
% Intensidad	24.2	22.4	24.7	27.6	18.6	26.8
Lámina disp.	351.4	493.3	892.0	777.1	432.0	424.0

Continuación.

Municipios	Peñamiller	Querétaro	San Joaquín	San Juan del Río	Tequisquiapan	Tolimán
<b>Eventos</b>	10	8	4	8	9	9
<b>Promedios</b>						
Severidad	176.5	224.8	1326.7	295.8	172.6	197.6
Duración	2	2.9	6	2.4	2.1	2.4
Intensidad	69.1	73.0	146.3	121.8	82.0	73.2
% Intensidad	15.1	13.3	17.1	19.5	16.9	16.4
Periodicidad	2.9	3.9	3.8	3.8	3.3	3.3
Lámina disp.	389.2	476.8	706.8	503.1	402.7	372.3
<b>Duración Máx.</b>						
Duración	5	6	21	5	4	5
Severidad	639.3	360.2	4957.9	716.6	365.1	491.2
Intensidad	127.9	60.0	236.1	143.3	35.7	98.2
% Intensidad	27.9	10.9	27.7	22.9	7.4	22.1
Lámina disp.	330.4	489.8	617.0	481.6	449.0	347.2
<b>Intensidad Máx.</b>						
Duración	5	4	1	3	1	1
Severidad	639.3	492.6	266.7	582.9	153.2	116.0
Intensidad	127.9	123.1	266.7	194.3	153.2	116
% Intensidad	27.9	22.4	31.3	31.1	31.6	26.0
Lámina disp.	330.4	426.7	586.4	430.6	331.4	329.5
<b>Severidad Máx.</b>						
Duración	5	4	21	5	4	5
Severidad	639.3	492.6	4957.9	716.6	365.1	491.2
Intensidad	127.9	123.1	236.1	143.3	91.3	98.2
% Intensidad	27.9	22.4	27.7	22.9	18.8	22.1
Lámina disp.	330.4	426.7	617.0	481.6	393.4	347.2

**Tabla 4. 16 Resultado del análisis para periodo húmedo de la serie registrada por el método del porcentaje de la normal, por municipio.**

Municipios	Amealco de Bonfil	Amoles del Pinal	Arroyo seco	Cadereyta de Montes	Colon	Corregidora
<b>Eventos</b>	9	6	7	7	9	10
<b>Promedios</b>						
Severidad	337.4	573.7	426.2	359.8	182.1	211.2
Duración	2.4	2.5	2.7	2.4	1.7	1.6
Intensidad	131.7	228.3	174.2	120.2	107.1	134.9
% Intensidad	16.1	29.3	25.7	21.1	22.2	22.1
Periodicidad	3.8	4.3	4.6	4.6	4	3.5
Lámina disk.	951.4	1006.5	853.1	688.6	588.9	746.3
<b>Duración Máx.</b>						
Duración	4	8	11	6	3	3
Severidad	721.1	1965.9	1730.7	1159.4	540.7	261.0
Intensidad	180.3	245.7	157.3	193.2	180.2	87.0
% Intensidad	22.0	31.6	23.1	34.0	37.4	14.2
Lámina disk.	1000.0	1023.9	836.3	761.7	662.1	698.4
<b>Intensidad Máx.</b>						
Duración	2	1	1	1	1	1
Severidad	390.2	392.6	503.0	206.6	243.0	291.1
Intensidad	195.1	392.6	503.0	206.6	243.0	291.1
% Intensidad	23.8	50.5	74.1	36.4	50.4	47.6
Lámina disk.	1014.8	1170.8	1182.0	775.1	724.8	902.6
<b>Severidad Máx.</b>						
Duración	4	8	11	6	3	2
Severidad	721.1	1965.9	1730.7	1159.4	540.7	461.4
Intensidad	180.3	245.7	157.3	193.2	180.2	230.7
% Intensidad	22.0	31.6	23.2	34.0	37.4	37.7
Lámina disk.	1000.0	1023.9	836.3	761.7	662.0	842.1

## Continuación

Municipios	Ezequiel Montes	Huimilpan	Jalpan de Serra	Landa de Matamoros	Marqués, El	Pedro Escobedo
<b>Eventos</b>	11	8	6	4	8	9
<b>Promedios</b>						
Severidad	143.0	278.0	963.1	1913.3	216.6	242.4
Duración	1.7	2.3	2.7	2.8	2	1.8
Intensidad	85.6	115.5	232.4	539.0	106.3	135.7
% Intensidad	18.5	18.2	19.6	50.2	20.0	23.4
Periodicidad	3.2	4.4	4.2	8.8	4	3.6
Lámina disk.	549.3	751.4	1417.6	1612.8	637.1	715.3
<b>Duración Máx.</b>						
Duración	3	6	8	7	3	3
Severidad	314.0	734.2	3743.5	4972.3	418.4	530.1
Intensidad	104.7	122.4	467.9	710.3	139.5	176.7
% Intensidad	22.6	19.2	39.5	66.1	26.3	30.5
Lámina disk.	568.4	758.3	1653.1	1784.2	670.3	756.3
<b>Intensidad Máx.</b>						
Duración	1	1	8	2	1	2
Severidad	271.5	220.7	3743.5	2470.4	252.4	475.8
Intensidad	271.5	220.7	467.9	1235.2	252.4	237.9
% Intensidad	58.5	34.7	39.5	115.0	47.6	41.0
Lámina disk.	735.2	856.6	1653.1	2309.0	783.2	817.5
<b>Severidad Máx.</b>						
Duración	3	6	8	7	3	3
Severidad	314.0	734.2	3743.5	4972.3	418.4	530.1
Intensidad	104.7	122.4	467.9	710.3	139.5	176.7
% Intensidad	22.6	19.2	39.5	66.1	26.3	30.5
Lámina disk.	568.4	758.3	1653.1	1784.2	670.3	756.3

Continuación.

Municipios	Peñamiller	Querétaro	San Joaquín	San Juan del Río	Tequisquiapan	Tolimán
<b>Eventos</b>	11	8	4	9	10	9
<b>Promedios</b>						
Severidad	160.5	224.8	1326.7	262.9	155.4	197.6
Duración	1.5	1.8	3.3	2	1.8	1.7
Intensidad	86.2	126.2	403.9	114.1	93.5	99.4
% Intensidad	18.8	23.0	47.3	18.3	19.3	22.3
Periodicidad	3.3	4	3.8	3.9	3.5	3.6
Lámina disp.	544.5	676.0	1257.0	739.1	578.1	544.9
<b>Duración Máx.</b>						
Duración	4	3	9	3	3	4
Severidad	801.2	305.8	3752.6	965.3	372.4	650.8
Intensidad	200.3	101.9	417.0	321.8	124.1	162.7
% Intensidad	43.7	18.5	48.9	51.5	25.7	36.5
Lámina disp.	658.6	651.7	1270.1	946.7	608.8	608.2
<b>Intensidad Máx.</b>						
Duración	4	1	1	3	1	3
Severidad	801.2	198.5	601.8	965.3	274.3	538.2
Intensidad	200.3	198.6	601.8	321.8	274.3	179.4
% Intensidad	43.7	36.1	70.5	51.5	56.6	40.3
Lámina disp.	658.6	748.3	1454.9	946.7	759.0	624.8
<b>Severidad Máx.</b>						
Duración	4	2	9	3	3	4
Severidad	801.2	317.8	3752.6	965.3	372.4	650.8
Intensidad	200.3	158.9	417.0	321.8	124.1	162.7
% Intensidad	43.7	28.9	48.9	51.5	25.6	36.5
Lámina disp.	658.6	708.7	1270.1	946.7	608.8	608.2

Este procedimiento se repite para cada una de las series sintéticas, estas series tienen la misma longitud de registro que la serie original.

Por otra parte se generan 10,000 números aleatorios y dado que la serie tiene 37 elementos, se generan 271 series sintéticas.

Continuando con el ejemplo, la expresión para el modelo autoregresivo ARMA (1,1) es la 2.55

Los parámetros para este modelo fueron obtenidos en el subtema 4.3.

$$\phi_1 = 0.299$$

$$\theta_1 = 0.035$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = 0.026$$

$$\sigma_\varepsilon = \sqrt{\sigma_\varepsilon^2} = 0.161$$

Para obtener los números aleatorios con distribución normal y estándar se usará el procedimiento de Box y Müller, ecuación 2.37, el cual hace uso de números aleatorios con distribución uniforme. Este procedimiento obtiene los números aleatorios por parejas.

**Tabla 4. 17 Cálculo de los números aleatorios con distribución normal y estándar.**

U	ξ	U	ξ
0.531	0.051	0.608	-0.722
0.243	1.124	0.791	0.312
0.958	0.129	0.175	0.609
0.177	0.263	0.428	-0.616
0.331	1.232	0.672	-1.148
0.905	-0.833	0.127	-0.454
0.628	-0.611	0.286	1.981
0.359	0.746	0.429	1.285
0.719	0.804	0.025	0.202
0.023	0.116	0.941	0.315
0.910	-0.430	0.930	-0.149
0.522	-0.059	0.361	1.257
0.696	0.530	0.921	-0.677
0.857	-0.667	0.243	1.445
0.129	1.320	0.086	0.862
0.137	1.533	0.087	-1.150
0.419	0.228	0.337	1.887
0.222	1.299	0.726	0.705
0.517	-0.893	0.079	0.379

El cálculo es el siguiente:

$$\xi_1 = \cos(2\pi(0.243))\sqrt{2\ln\left(\frac{1}{0.531}\right)} = 0.051$$

$$\xi_2 = \text{sen}(2\pi(0.243))\sqrt{2\ln\left(\frac{1}{0.531}\right)} = 1.124$$

Con esto, ya se tienen todos los elementos para generar la serie sintética  $Z_t$ . Hay que recordar que la serie  $Z_t$  es una serie normal y estándar, por lo tanto es necesario desestandarizar y desnormalizar para a si llegar a la serie  $X_t$  que es la que requiere el análisis.

Por lo tanto la secuencia en la siguiente:

$$\begin{aligned} Z_t &= \phi_1 Z_{t-1} + \sigma_\epsilon \xi_t - \theta_1 \sigma_\epsilon \xi_{t-1} \\ Y_t &= Z_t + \bar{Y} \\ X_t &= e^{Y_t} \end{aligned}$$

En la primera serie sintética, el valor de  $Z_{t-1}$  será igual a cero, para las siguientes series, el valor será igual al último valor de  $Z_t$  de la serie sintética anterior.

A esta serie se le determinan sus parámetros estadísticos y se comparan con la muestra original.

**Tabla 4. 18 Cálculo de las series sintéticas, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México.**

U	$\xi$	$Z_t$	$Y_t$	$X_t$
0.531	0.051	0.008	6.702	814.4
0.243	1.124	0.183	6.877	970.0
0.958	0.129	0.069	6.763	865.6
0.177	0.263	0.062	6.756	859.6
0.331	1.232	0.215	6.910	1001.8
0.905	-0.833	-0.077	6.618	748.1
0.628	-0.611	-0.116	6.578	718.9
0.359	0.746	0.089	6.783	882.6
0.719	0.804	0.152	6.846	940.0
0.023	0.116	0.060	6.754	857.2
0.910	-0.430	-0.052	6.642	766.7
0.522	-0.059	-0.023	6.672	789.6
0.696	0.530	0.079	6.773	873.9
0.857	-0.667	-0.087	6.607	740.6
0.129	1.320	0.190	6.884	976.9
0.137	1.533	0.296	6.990	1086.0
0.419	0.228	0.117	6.811	907.6
0.222	1.299	0.243	6.937	1029.4

Continuación.

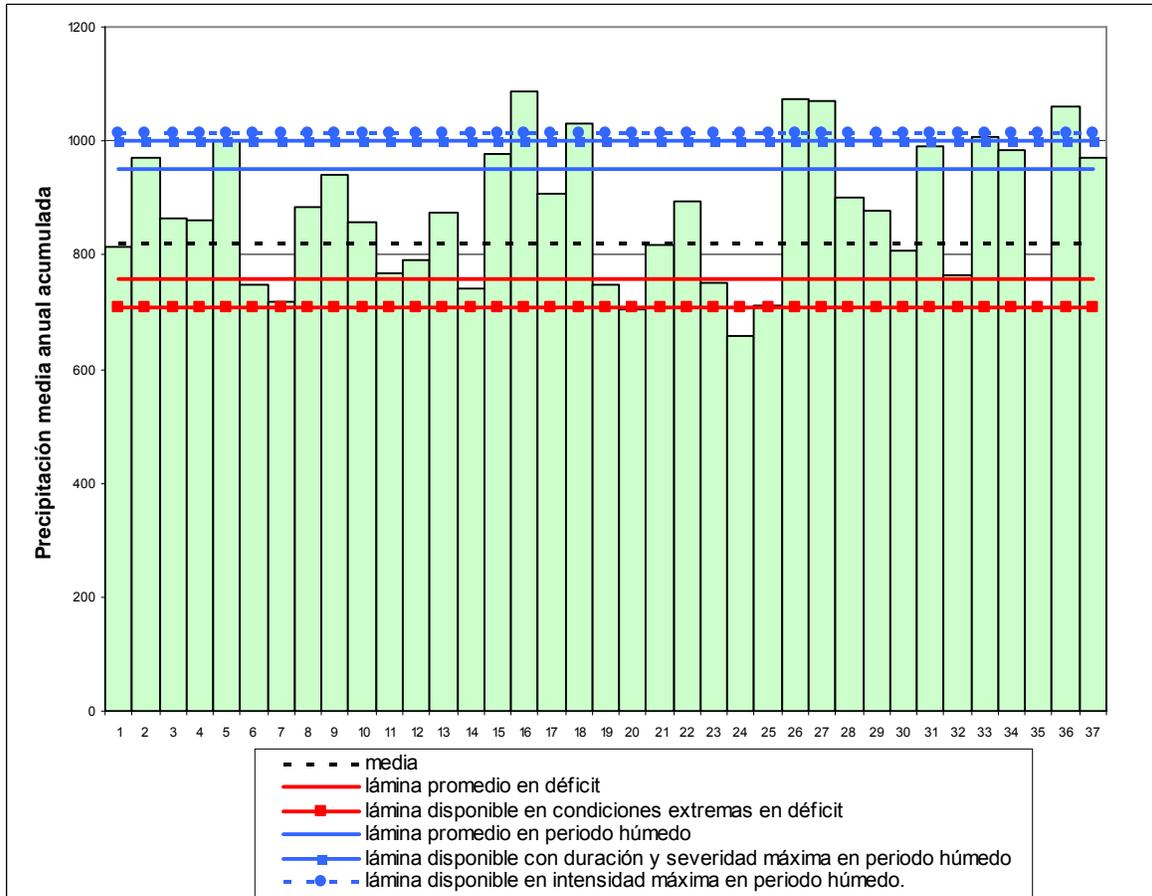
U	$\xi$	$Z_t$	$Y_t$	$X_t$
0.517	-0.893	-0.078	6.616	746.7
0.608	-0.722	-0.135	6.560	706.0
0.791	0.312	0.014	6.708	819.1
0.175	0.609	0.100	6.795	893.0
0.428	-0.616	-0.073	6.622	751.2
0.672	-1.148	-0.203	6.491	659.3
0.127	-0.454	-0.127	6.567	711.2
0.286	1.981	0.283	6.978	1072.3
0.429	1.285	0.280	6.974	1068.9
0.025	0.202	0.109	6.803	900.8
0.941	0.315	0.082	6.776	876.8
0.930	-0.149	-0.001	6.693	806.7
0.361	1.257	0.203	6.897	989.2
0.921	-0.677	-0.055	6.639	764.2
0.243	1.445	0.220	6.914	1006.2
0.086	0.862	0.196	6.890	982.9
0.087	-1.150	-0.131	6.563	708.4
0.337	1.887	0.271	6.965	1059.0
0.726	0.705	0.184	6.878	970.6
0.079	0.379			

Tabla 4. 19 Comparación de los estadísticos de la primera serie sintética con la serie original, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México.

Estadísticos	Serie registrada	Serie Sintética
media	819.70	873.54
desv. Est	145.36	121.90
varianza	21130.51	14859.85
C. Asimetría	0.72	0.10
C. Curtosis	4.10	1.76
C. Variación	0.18	0.14

Después de calcular todas las series sintéticas y promediar el valor de sus parámetros estadísticos, estos tienden a los valores originales.

A esta serie generada, se le vuelve a aplicar el análisis de sequía, a manera de ejemplificar, solo se mostrará la gráfica con las láminas disponibles y los resultados.



**Figura 4. 5 Gráfica de las diferentes láminas disponibles resultantes del análisis de sequía de la primera serie sintética, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México.**

En esta serie se presenta un mayor número de eventos tanto en déficit como en superávit, y aparecen duraciones que en la serie registrada no aparecieron como es el caso de la duración de dos años. Las láminas en condiciones extremas de severidad, duración e intensidad coinciden.

Esta serie presenta las siguientes probabilidades.

Periodo seco.			Periodo húmedo.		
Duración	Número de eventos	Probabilidad	Duración	Número de eventos	Probabilidad
1 año	5	56.56 %	1 año	3	33.33 %
2 años	2	22.22 %	2 años	2	22.22 %
3 años	2	22.22 %	3 años	1	11.11 %
			4 años	3	33.33 %

**Tabla 4. 20 Resultado del análisis por el método del porcentaje de la normal en déficit para la primera serie sintética, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México.**

		Periodo Seco		Periodo Húmedo	
<b>Promedios</b>	Eventos	-9.0		9.0	
	Severidad	-116.1	mm	337.4	mm
	Duración	-1.7	años	2.4	años
	Intensidad	-63.0	mm/año	131.7	mm/año
	Periodicidad	-3.7	años	3.8	años
	Lámina	756.7	mm/año	951.4	mm/año
<b>Duración Máxima</b>	Duración	-3.0	años	4.0	años
	Severidad	-337.4	mm	721.1	mm
	Intensidad	-112.5	mm/año	104.5	mm/año
	% Intensidad	-14.0		13.0	
	Lámina disponible	707.2	mm	924.2	mm
<b>Intensidad Máxima</b>	Intensidad	-112.5	mm/año	195.1	mm/año
	Duración	-3.0	año	2.0	año
	Severidad	-337.4	mm	390.2	mm
	% Intensidad	-14.0		24.0	
	Lámina disponible	707.2	mm	1014.8	mm
<b>Severidad Máxima</b>	Severidad	-337.4	mm	721.1	mm
	Duración	-3.0	año	4.0	año
	Intensidad	-122.5	mm/año	104.5	mm/año
	% Intensidad	-14.0		13.0	
	Lámina disponible	707.2	mm	707.2	mm

Después de haber realizado y analizado todas las series sintéticas, se tienen los siguientes resultados:

**Tabla 4. 21 Comparación de los parámetros estadísticos de la serie original con el promedio de las series sintéticas, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México.**

	Serie registrada	Series Sintéticas
<b>media</b>	819.696	819.490
<b>desv. Est</b>	145.363	138.050
<b>varianza</b>	21130.506	19465.155
<b>C. Asimetría</b>	0.720	-0.963
<b>C. Curtosis</b>	4.100	3.866
<b>C. Variación</b>	0.177	0.168

Como se observa en la tabla, se conserva el valor de la media y los valores de la desviación estándar, el coeficiente de curtosis y el coeficiente de variación son muy cercanos a los de la serie original.

En cuanto al análisis de sequía se tienen los siguientes resultados a largo plazo.

**Tabla 4. 22 Resultado del análisis de sequía por el método del porcentaje de la normal de las series sintéticas, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México.**

		Periodo Seco		Periodo Húmedo	
<b>Promedios</b>	Eventos	-8.1		8.0	
	Severidad	-268.3	mm	266.5	mm
	Duración	-2.5	años	2.2	años
	Intensidad	-97.2	mm/año	109.1	mm/año
	Periodicidad	-4.1	años	4.1	años
	Lámina	722.4	mm/año	928.0	mm/año
<b>Duración Máxima</b>	Duración	-6.0	años	5.1	años
	Severidad	-725.4	mm	710.9	mm
	Intensidad	-119.4	mm/año	139.0	mm/año
	% Intensidad	-14.6		17.0	
	Lámina disponible	700.3	mm	958.7	mm
<b>Intensidad Máxima</b>	Intensidad	-179.4	mm/año	228.4	mm/año
	Duración	-2.7	año	2.5	año
	Severidad	-453.6	mm	530.9	mm
	% Intensidad	-21.9		27.9	
	Lámina disponible	640.3	mm	1048.1	mm
<b>Severidad Máxima</b>	Severidad	-762.2	mm	766.4	mm
	Duración	-5.7	año	4.7	año
	Intensidad	-137.9	mm/año	173.3	mm/año
	% Intensidad	-16.8		21.2	
	Lámina disponible	681.8	mm	993.0	mm

**Tabla 4. 23 Resultado de las probabilidades de ocurrencia de evento con una duración determinada, municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, México.**

Período Seco				Período Húmedo			
Duración	Probab.	Duración	Probab.	Duración	Probab.	Duración	Probab.
1	42.60 %	9	0.84 %	1	46.56 %	9	0.27 %
2	23.87 %	10	0.18 %	2	24.64 %	10	0.13 %
3	13.42 %	11	0.31 %	3	13.04 %	12	0.09 %
4	7.22 %	13	0.09 %	4	7.14 %	13	0.13 %
5	5.27 %	14	0.04 %	5	3.44 %	17	0.04 %
6	2.97 %	15	0.04 %	6	2.72 %		
7	1.73 %	17	0.09 %	7	1.16 %		
8	1.33 %			8	0.63 %		

**Tabla 4. 24 Comparación entre los parámetros estadísticos originales y los sintéticos, por municipio.**

	Amealco de Bonfil		Amoles del Pinal		Arroyo Seco		Cadereyta de Montes	
	Original	Sintéticas	Original	Sintéticas	Original	Sintéticas	Original	Sintéticas
<b>media</b>	819.696	819.490	778.166	779.422	678.917	682.681	568.434	568.338
<b>desv. Est</b>	145.363	138.050	223.700	227.856	199.129	219.444	161.605	165.631
<b>varianza</b>	21130.50	19465.15	50041.49	53761.32	39652.49	49419.61	26116.10	28087.76
<b>C. Asimetría</b>	0.720	-0.963	0.211	-0.848	0.266	-0.247	0.178	0.164
<b>C. Curtosis</b>	4.100	3.866	1.892	4.189	2.659	3.586	1.839	3.079
<b>C. Variación</b>	0.177	0.168	0.287	0.292	0.293	0.321	0.284	0.291
	Colón		Corregidora		Ezequiel Montes		Huimilpan	
	Original	Sintéticas	Original	Sintéticas	Original	Sintéticas	Original	Sintéticas
<b>media</b>	481.791	480.834	611.421	608.120	463.716	462.776	635.921	637.624
<b>desv. Est</b>	110.632	104.458	142.559	126.695	105.506	101.017	151.265	160.672
<b>varianza</b>	12239.48	11125.79	20323.17	16362.47	11131.52	10397.91	22881.22	26362.68
<b>C. Asimetría</b>	0.459	-0.493	0.277	-0.376	0.378	-0.346	0.240	-0.374
<b>C. Curtosis</b>	2.400	3.368	2.125	3.191	2.802	3.196	2.673	3.378
<b>C. Variación</b>	0.230	0.217	0.233	0.208	0.228	0.218	0.238	0.252
	Jalpan de Serra		Landa de Matamoros		El Marqués		Pedro Escobedo	
	Original	Sintéticas	Original	Sintéticas	Original	Sintéticas	Original	Sintéticas
<b>media</b>	1185.151	1179.345	1073.853	1045.958	530.802	529.686	579.610	578.388
<b>desv. Est</b>	373.865	352.109	559.169	412.966	119.444	110.426	142.864	137.297
<b>varianza</b>	139775.00	127829.67	312669.49	180505.44	14266.80	12448.01	20410.22	19275.89
<b>C. Asimetría</b>	0.368	-0.687	1.538	-1.024	0.558	-0.672	0.263	-0.610
<b>C. Curtosis</b>	2.054	4.036	5.097	5.187	2.303	3.576	2.077	3.616
<b>C. Variación</b>	0.315	0.298	0.521	0.393	0.225	0.208	0.246	0.237
	Peñamiller		Querétaro		San Joaquín		San Juan del Río	
	Original	Sintéticas	Original	Sintéticas	Original	Sintéticas	Original	Sintéticas
<b>media</b>	458.255	456.764	549.793	549.073	853.112973	845.537562	624.936	618.380
<b>desv. Est</b>	120.399	113.103	123.652	117.934	343.303692	313.984277	176.143	135.703
<b>varianza</b>	14495.92	13109.37	15289.79	14199.37	117857.42	102938.28	31026.47	18799.59
<b>C. Asimetría</b>	0.477	-0.692	0.439	-0.582	0.5579601	-0.71705481	1.386	-0.380
<b>C. Curtosis</b>	2.879	3.783	2.282	3.481	1.91078094	4.51152311	6.200	3.243
<b>C. Variación</b>	0.263	0.247	0.225	0.215	0.40241293	0.37008945	0.282	0.219
	Tequisquiapan		Tolimán					
	Original	Sintéticas	Original	Sintéticas				
<b>media</b>	484.669	484.665	445.462	444.519				
<b>desv. Est</b>	107.170	106.760	118.847	107.464				
<b>varianza</b>	11485.49	11617.68	14124.497	11846.437				
<b>C. Asimetría</b>	0.371	-0.410	0.993	-0.779				
<b>C. Curtosis</b>	2.653	3.278	3.545	3.888				
<b>C. Variación</b>	0.221	0.220	0.267	0.241				

**Tabla 4. 25 Resultado del análisis de sequía de las series sintéticas por el método del porcentaje de la normal, por municipio.**

Municipios	Amealco de Bonfil	Amoles del Pinal	Arroyo seco	Cadereyta de Montes	Colon	Corregidora
<b>Eventos</b>	8.1	8.8	9.2	11.3	9.3	9.4
<b>Promedios</b>						
Severidad (mm)	268.4	417.3	351.6	217.1	172.8	212.8
Duración (año)	2.5	2.5	2.3	1.9	2.2	2.2
Intensidad (mm/año)	97.3	152.3	149.6	126.4	75.9	94.6
% Intensidad	11.9	19.6	22.0	22.2	15.8	15.5
Periodicidad (año)	4.1	3.9	3.7	3.0	3.6	3.6
Lámina disp. (mm)	722.4	625.9	529.3	442.0	405.9	516.9
<b>Duración Máx.</b>						
Duración (año)	6.0	6.9	5.4	4.1	5.2	5.0
Severidad (mm)	726.3	1287.4	889.3	432.7	440.8	499.9
Intensidad (mm/año)	119.4	182.4	158.3	100.7	81.1	96.5
% Intensidad	14.6	23.4	23.3	17.7	16.8	15.8
Lámina disp. (mm)	700.3	595.7	520.6	467.7	400.7	514.9
<b>Intensidad Máx.</b>						
Duración (año)	2.7	2.6	1.9	1.2	1.9	1.9
Severidad (mm)	453.6	682.2	495.1	279.0	258.1	310.7
Intensidad (mm/año)	179.4	285.2	271.6	243.3	143.9	176.2
% Intensidad	21.9	36.6	40.0	42.8	29.9	28.8
Lámina disp. (mm)	640.3	493.0	407.4	325.2	337.9	435.3
<b>Severidad Máx.</b>						
Duración (año)	5.7	6.6	5.1	3.7	4.9	4.6
Severidad (mm)	762.2	1317.3	925.9	468.5	460.5	529.1
Intensidad (mm/año)	137.9	201.7	186.5	142.4	98.0	122.0
% Intensidad	16.8	25.9	27.5	25.1	20.3	20.0
Lámina disp. (mm)	681.8	576.5	492.4	426.0	383.8	489.5

## Continuación.

Municipios	Ezequiel Montes	Huimilpan	Jalpan de Serra	Landa de Matamoros	Marqués, El	Pedro Escobedo
<b>Eventos</b>	9.8	9.4	8.0	6.9	8.7	8.7
<b>Promedios</b>						
Severidad (mm)	157.6	254.3	698.4	1082.9	198.6	245.9
Duración (año)	2.1	2.2	2.7	3.6	2.4	2.4
Intensidad (mm/año)	75.5	114.7	235.0	264.2	78.9	96.5
% Intensidad	16.3	18.0	19.8	24.6	14.9	16.7
Periodicidad (año)	3.4	3.5	4.2	4.8	3.8	3.8
Lámina disp. (mm)	388.3	521.2	950.2	809.6	451.9	483.1
<b>Duración Máx.</b>						
Duración (año)	4.8	5.1	6.5	8.5	5.6	5.8
Severidad (mm)	380.2	643.5	1873.5	2941.4	521.3	651.3
Intensidad (mm/año)	75.3	119.7	281.6	339.6	89.7	110.0
% Intensidad	16.2	18.8	23.8	31.6	16.9	19.0
Lámina disp. (mm)	388.5	516.2	903.6	734.3	441.1	469.6
<b>Intensidad Máx.</b>						
Duración (año)	1.7	1.9	2.9	4.5	2.4	2.3
Severidad (mm)	230.8	374.5	1135.8	1878.3	318.7	384.8
Intensidad (mm/año)	144.9	215.8	413.8	440.4	146.4	177.9
% Intensidad	31.3	33.9	34.9	41.0	27.6	30.7
Lámina disp. (mm)	318.8	420.1	771.4	633.4	384.4	401.7
<b>Severidad Máx.</b>						
Duración (año)	4.5	4.8	6.2	8.3	5.3	5.5
Severidad (mm)	400.6	670.1	1942.4	2993.4	545.5	679.9
Intensidad (mm/año)	95.4	145.5	321.2	365.5	106.0	128.7
% Intensidad	20.6	22.9	27.1	34.0	20.0	22.2
Lámina disp. (mm)	368.3	490.4	863.9	708.4	424.8	450.9

## Continuación.

Municipios	Peñamiller	Querétaro	San Joaquín	San Juan del Río	Tequisquiapan	Tolimán
<b>Eventos</b>	8.4	8.7	7.6	9.0	9.7	8.1
<b>Promedios</b>						
Severidad (mm)	212.4	209.8	676.9	244.7	167.7	209.2
Duración (año)	2.5	2.4	3.0	2.4	2.1	2.6
Intensidad (mm/año)	78.1	83.9	199.7	100.8	78.3	73.9
% Intensidad	17.0	15.3	23.4	16.1	16.2	17.4
Periodicidad (año)	4.0	3.8	4.4	3.7	3.5	4.1
Lámina disp. (mm)	380.2	465.9	653.4	524.2	406.4	371.6
<b>Duración Máx.</b>						
Duración (año)	6.1	5.5	7.5	5.3	5.0	6.2
Severidad (mm)	573.1	539.6	1860.6	575.4	420.6	559.4
Intensidad (mm/año)	91.4	95.4	245.7	107.0	80.0	88.1
% Intensidad	20.0	17.4	28.8	17.1	16.5	19.8
Lámina disp. (mm)	366.8	454.4	607.5	517.9	404.7	357.4
<b>Intensidad Máx.</b>						
Duración (año)	2.6	2.3	3.5	2.2	1.8	2.7
Severidad (mm)	341.8	332.6	1134.0	368.5	250.3	337.0
Intensidad (mm/año)	142.0	153.5	342.3	180.9	150.7	132.5
% Intensidad	31.0	27.9	40.1	28.9	31.1	29.7
Lámina disp. (mm)	316.3	396.3	510.8	444.1	334.0	313.0
<b>Severidad Máx.</b>						
Duración (año)	5.8	5.2	7.1	4.9	4.7	5.9
Severidad (mm)	597.9	562.5	1909.1	608.2	439.3	583.8
Intensidad (mm/año)	106.8	112.3	272.1	134.2	99.4	103.0
% Intensidad	23.3	20.4	31.9	21.5	20.5	23.1
Lámina disp. (mm)	351.4	437.5	581.1	490.8	385.3	342.5

**Tabla 4. 26 Resultado del análisis para periodo húmedo de las series sintéticas por el método del porcentaje de la normal, por municipio**

Municipios	Amealco de Bonfil	Amoles del Pinal	Arroyo seco	Cadereyta de Montes	Colon	Corregidora
<b>Eventos</b>	8.0	8.6	9.1	11.2	9.3	9.3
<b>Promedios</b>						
Severidad (mm)	266.5	415.0	365.7	217.7	168.5	198.1
Duración (año)	2.2	2.0	1.9	1.5	1.9	1.8
Intensidad (mm/año)	109.1	189.9	196.0	159.7	90.3	108.9
% Intensidad	13.3	24.4	28.9	28.1	18.7	17.8
Periodicidad (año)	4.1	3.8	3.6	3.1	3.6	3.6
Lámina disp. (mm)	928.8	968.0	874.9	728.1	572.1	720.4
<b>Duración Máx.</b>						
Duración (año)	5.1	5.1	4.2	3.0	4.2	3.8
Severidad (mm)	710.9	1291.6	931.2	377.1	423.7	449.4
Intensidad (mm/año)	139.0	232.6	216.5	122.5	97.5	116.4
% Intensidad	17.0	29.9	31.9	21.6	20.2	19.0
Lámina disp. (mm)	958.7	1010.8	895.5	691.0	579.3	727.8
<b>Intensidad Máx.</b>						
Duración (año)	2.5	2.2	1.7	1.1	1.7	1.6
Severidad (mm)	530.9	862.8	485.6	428.1	314.5	367.3
Intensidad (mm/año)	228.4	432.0	716.9	407.2	204.2	246.4
% Intensidad	27.9	55.5	67.6	71.6	42.4	40.3
Lámina disp. (mm)	1048.1	1210.2	1137.5	975.7	686.0	857.8
<b>Severidad Máx.</b>						
Duración (año)	4.7	4.8	3.6	2.1	3.6	3.3
Severidad (mm)	766.4	1363.5	1038.3	524.4	468.6	515.7
Intensidad (mm/año)	173.3	307.9	333.9	324.9	146.6	181.4
% Intensidad	21.2	39.6	49.2	57.2	30.4	29.7
Lámina disp. (mm)	993.0	1086.1	1012.9	893.3	628.4	792.8

## Continuación

Municipios	Ezequiel Montes	Huimilpan	Jalpan de Serra	Landa de Matamoros	Marqués, El	Pedro Escobedo
<b>Eventos</b>	9.8	9.4	7.9	6.6	8.6	8.6
<b>Promedios</b>						
Severidad (mm)	153.4	260.5	666.6	895.1	193.0	240.1
Duración (año)	1.8	1.8	2.1	2.3	2.0	2.0
Intensidad (mm/año)	89.7	141.7	286.4	322.0	91.6	114.7
% Intensidad	19.4	22.3	24.2	30.0	17.3	19.8
Periodicidad (año)	3.4	3.6	4.1	4.7	3.8	3.8
Lámina disp. (mm)	553.4	777.6	1471.6	1395.8	622.4	694.3
<b>Duración Máx.</b>						
Duración (año)	3.9	4.2	4.7	5.1	4.5	4.5
Severidad (mm)	357.3	648.2	1852.5	2567.1	504.2	629.8
Intensidad (mm/año)	89.8	150.6	371.3	462.3	106.8	134.2
% Intensidad	19.4	23.7	31.3	43.1	20.1	23.2
Lámina disp. (mm)	553.5	786.5	1556.4	1536.1	637.6	713.8
<b>Intensidad Máx.</b>						
Duración (año)	1.4	1.6	2.4	3.1	2.1	2.1
Severidad (mm)	282.7	492.2	1428.8	2122.7	387.1	485.5
Intensidad (mm/año)	207.7	326.3	262.5	674.6	199.8	252.1
% Intensidad	44.8	51.3	52.9	62.8	37.6	43.5
Lámina disp. (mm)	671.4	962.2	1811.6	1748.5	730.6	831.8
<b>Severidad Máx.</b>						
Duración (año)	3.3	3.6	4.3	4.8	4.0	4.0
Severidad (mm)	405.4	724.1	1985.7	2723.3	550.5	691.3
Intensidad (mm/año)	145.9	233.0	493.6	573.0	150.7	191.6
% Intensidad	31.5	36.6	41.7	53.4	28.4	33.1
Lámina disp. (mm)	609.7	868.9	1678.7	1646.9	681.5	771.2

## Continuación

Municipios	Peñamiller	Querétaro	San Joaquín	San Juan del Río	Tequisquiapan	Tolimán
<b>Eventos</b>	8.3	8.6	7.4	8.9	9.6	8.0
<b>Promedios</b>						
Severidad (mm)	205.4	205.8	631.9	216.5	167.5	203.9
Duración (año)	2.1	2.0	2.2	1.9	1.8	2.2
Intensidad (mm/año)	92.6	98.1	256.2	113.6	94.2	86.0
% Intensidad	20.2	17.8	30.0	18.2	19.4	19.3
Periodicidad (año)	4.0	3.8	4.4	3.7	3.5	4.1
Lámina disp. (mm)	550.9	647.8	1109.3	738.3	578.8	531.4
<b>Duración Máx.</b>						
Duración (año)	4.6	4.4	4.8	3.9	4.1	4.8
Severidad (mm)	555.8	519.3	1772.8	492.0	407.5	551.3
Intensidad (mm/año)	114.3	114.0	343.8	128.2	96.8	108.2
% intensidad	24.9	20.7	40.3	20.5	20.0	24.3
Lámina disp. (mm)	572.5	663.8	1196.9	753.2	581.5	553.7
<b>Intensidad Máx.</b>						
Duración (año)	2.3	2.0	2.7	1.8	1.5	2.4
Severidad (mm)	428.9	407.4	1435.6	430.2	308.4	424.4
Intensidad (mm/año)	201.3	214.7	558.6	256.3	216.0	185.3
% Intensidad	43.9	39.1	65.5	41.0	44.6	41.6
Lámina disp. (mm)	659.6	764.5	1411.7	881.3	700.6	630.8
<b>Severidad Máx.</b>						
Duración (año)	4.2	3.9	4.4	3.3	3.5	4.4
Severidad (mm)	601.8	571.2	1906.1	570.1	457.6	596.4
Intensidad (mm/año)	155.3	164.2	456.7	197.6	151.3	143.8
% Intensidad	33.9	29.9	53.5	31.6	31.2	32.3
Lámina disp. (mm)	613.6	714.0	1309.8	822.5	636.0	589.2

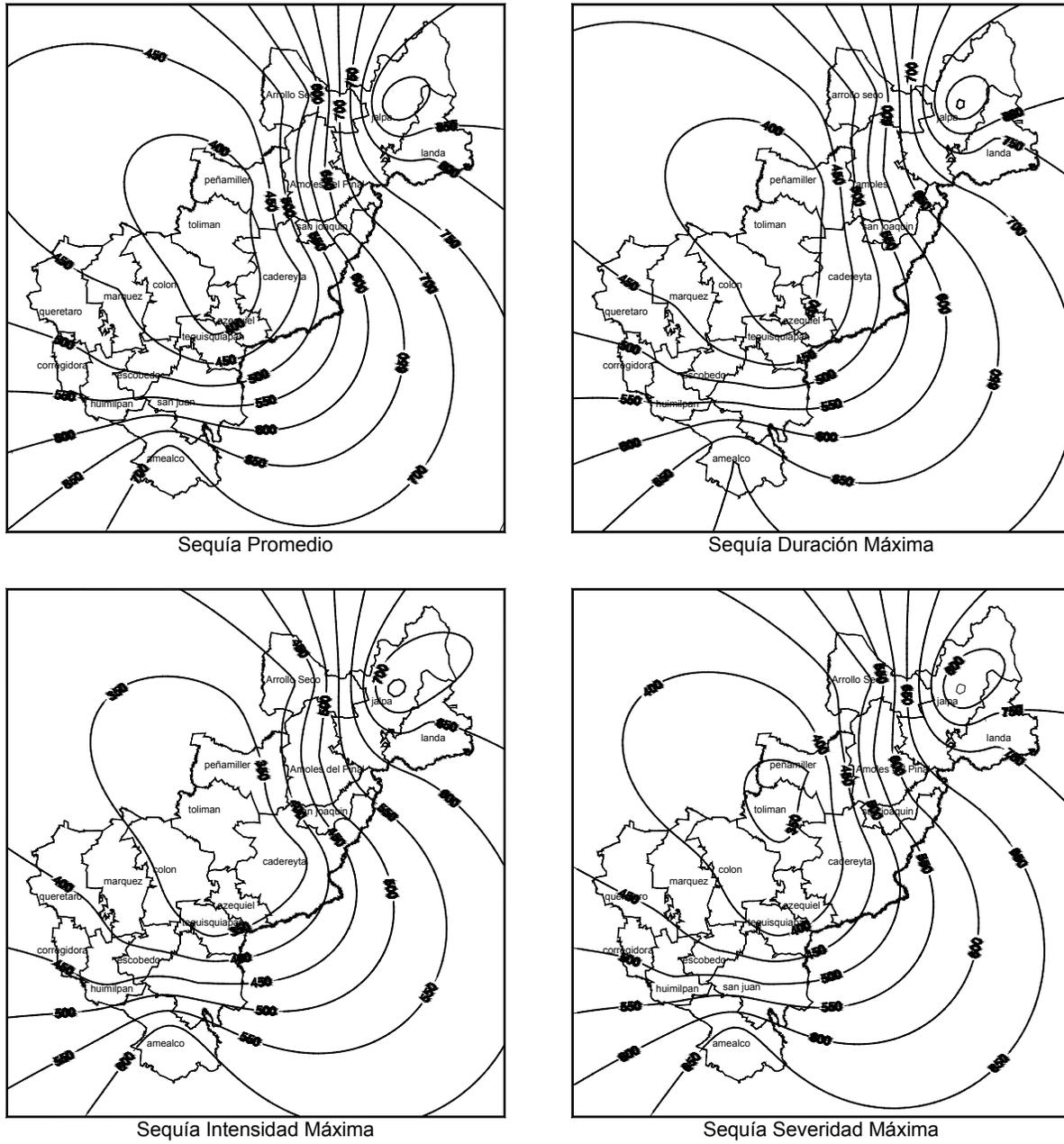
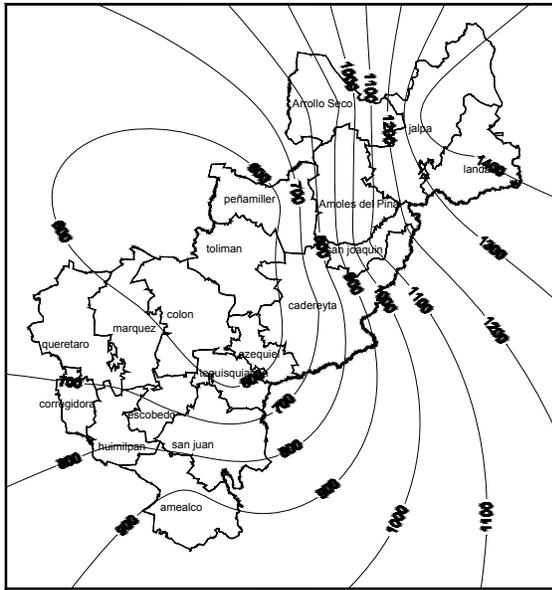
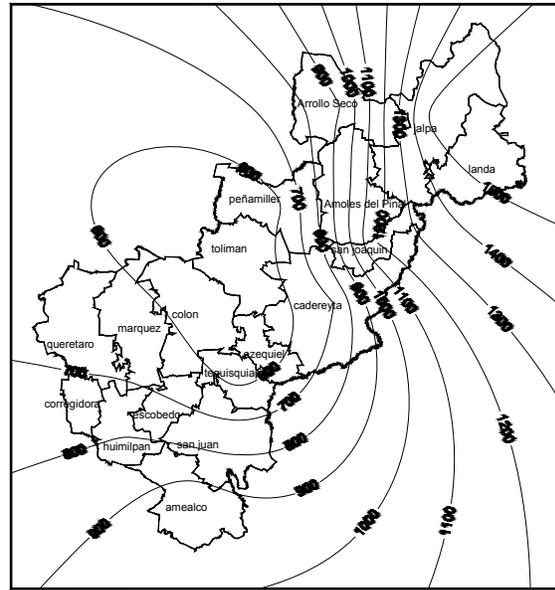


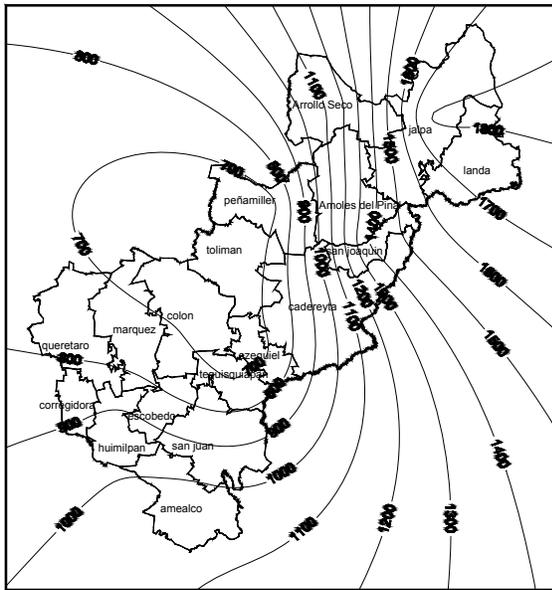
Figura 4. 6 Lamina de lluvia en mm, para diferentes condiciones de Sequía.



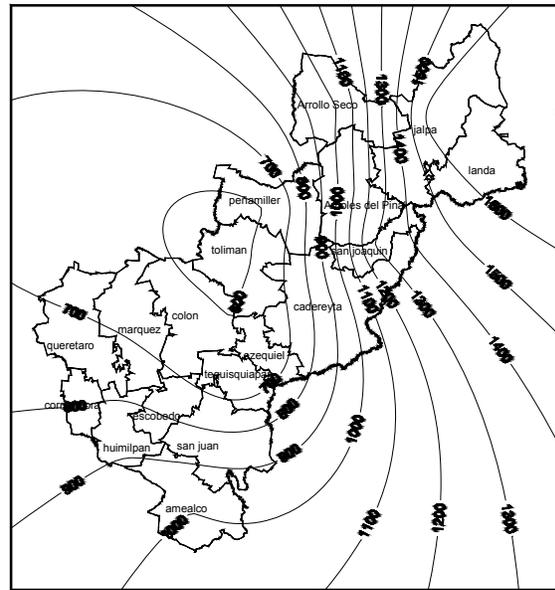
Periodo Húmedo Promedio



Periodo Húmedo Duración Máxima



Periodo Húmedo Intensidad Máxima



Periodo Húmedo Severidad Máxima

Figura 4. 7 Lámina de lluvia en mm, para diferentes condiciones de Periodo Húmedo.

**Tabla 4. 27 Resultado de probabilidades de ocurrencia en sequía para diferentes duraciones por municipio**

Duración	Amealco	Amoles	Arroyo Seco	Cadereyta	Colon	Corregidora
1	42.60	55.91	43.92	50.05	45.33	40.93
2	23.87	15.95	25.67	30.50	25.65	29.95
3	13.42	7.99	13.90	11.68	13.55	14.94
4	7.22	6.20	6.83	4.17	6.74	6.59
5	5.27	4.85	4.89	2.34	4.75	4.08
6	2.97	3.18	2.21	0.79	1.72	1.41
7	1.73	2.00	1.17	0.22	1.07	1.07
8	1.33	1.14	0.78	0.16	0.69	0.57
9	0.84	1.06	0.39	0.09	0.31	0.38
10	0.18	0.61	0.08	0.00	0.04	0.00
11	0.31	0.37	0.04	0.00	0.04	0.00
12	0.00	0.08	0.04	0.00	0.04	0.00
13	0.09	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.04	0.20	0.04	0.00	0.04	0.04
15	0.04	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.09	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04
18	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Duración	Ezequiel M.	Huimilpan	Jalpan.	Landa	Marqués	Pedro Esc.
1	46.41	46.18	39.66	35.38	43.47	43.38
2	27.21	25.74	24.54	21.16	24.61	24.34
3	13.57	13.13	12.72	12.19	13.80	13.69
4	6.31	6.70	7.78	9.17	7.03	7.07
5	3.81	4.58	5.60	5.47	5.14	5.18
6	1.16	1.48	3.38	4.33	2.63	2.71
7	0.73	1.10	2.45	3.02	1.27	1.40
8	0.40	0.61	1.51	2.19	1.07	1.11
9	0.25	0.34	1.24	1.93	0.62	0.62
10	0.04	0.00	0.36	1.56	0.12	0.16
11	0.04	0.04	0.36	0.78	0.08	0.16
12	0.00	0.04	0.00	0.57	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.13	0.36	0.04	0.04
14	0.04	0.04	0.09	0.73	0.04	0.04
15	0.00	0.00	0.09	0.47	0.04	0.04
16	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
17	0.04	0.04	0.09	0.10	0.04	0.04
18	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00
19	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00

## Continuación

Duración	Peñamiller	Querétaro	San Joaquín	San Juan del Río	Tequisquiapan	Tolimán
1	41.88	41.50	38.69	36.58	47.06	40.86
2	24.52	26.58	22.30	30.67	26.01	24.40
3	13.30	14.38	12.56	16.27	13.34	13.33
4	7.16	6.86	8.12	7.38	6.28	7.55
5	5.54	5.05	5.72	4.43	4.03	5.60
6	2.99	2.63	3.73	2.19	1.44	3.22
7	1.71	1.31	2.69	1.32	0.89	1.81
8	1.28	0.74	2.03	0.56	0.48	1.46
9	0.90	0.70	1.61	0.44	0.37	0.97
10	0.17	0.04	0.80	0.00	0.00	0.22
11	0.30	0.08	0.28	0.08	0.04	0.22
12	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00
13	0.09	0.00	0.33	0.00	0.00	0.13
14	0.04	0.04	0.33	0.04	0.04	0.09
15	0.04	0.04	0.14	0.00	0.00	0.04
16	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
17	0.09	0.04	0.09	0.04	0.04	0.09

**Tabla 4. 28 Resultado de las probabilidades de ocurrencia en periodo húmedo para diferentes duraciones, por municipio.**

Duración	Amealco	Amoles	Arroyo Seco	Cadereyta	Colon	Corregidora
1	46.56	64.19	54.95	66.76	54.96	51.40
2	24.64	13.51	25.39	23.99	25.14	30.13
3	13.04	7.75	10.10	6.89	10.35	11.04
4	7.14	6.42	5.74	1.69	5.72	4.77
5	3.44	3.44	2.00	0.48	2.09	1.54
6	2.72	1.95	1.18	0.16	1.12	0.73
7	1.16	1.24	0.20	0.03	0.23	0.19
8	0.63	0.79	0.16	0.00	0.15	0.08
9	0.27	0.25	0.04	0.00	0.04	0.08
10	0.13	0.12	0.08	0.00	0.08	0.04
11	0.00	0.08	0.08	0.00	0.04	0.00
12	0.09	0.08	0.04	0.00	0.04	0.00
13	0.13	0.08	0.04	0.00	0.04	0.00
14	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00

## Continuación

Duración	Ezequiel M.	Huimilpan	Jalpan	Landa	Marqués	Pedro Esc.
1	56.80	55.27	50.39	49.35	51.27	51.71
2	26.13	25.25	24.11	21.43	25.22	25.17
3	9.82	10.24	11.96	12.45	11.16	11.06
4	4.51	5.50	6.16	7.36	6.76	6.74
5	1.69	2.10	3.53	3.63	2.70	2.62
6	0.55	0.99	2.08	2.16	1.74	1.66
7	0.26	0.27	0.68	1.52	0.33	0.25
8	0.15	0.15	0.54	0.87	0.46	0.42
9	0.04	0.04	0.23	0.38	0.08	0.08
10	0.04	0.08	0.09	0.22	0.12	0.12
11	0.04	0.04	0.00	0.11	0.04	0.04
12	0.00	0.04	0.05	0.16	0.04	0.04
13	0.00	0.04	0.14	0.27	0.04	0.04
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04
17	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00
Duración	Peñamiller	Querétaro	San Joaquín	San Juan del Río	Tequisquiapan	Tolimán
1	50.67	49.05	50.34	48.28	56.60	48.46
2	24.84	27.13	23.11	32.14	25.06	24.54
3	11.42	12.30	12.16	11.87	9.92	12.70
4	6.49	6.63	6.35	4.80	5.18	6.48
5	3.12	2.20	3.54	1.57	1.83	3.40
6	2.03	1.62	2.33	0.89	0.78	2.41
7	0.52	0.50	0.87	0.20	0.30	0.94
8	0.48	0.25	0.58	0.12	0.11	0.54
9	0.13	0.12	0.29	0.08	0.04	0.18
10	0.13	0.04	0.15	0.00	0.07	0.13
11	0.04	0.08	0.00	0.04	0.04	0.00
12	0.04	0.04	0.10	0.00	0.04	0.04
13	0.04	0.04	0.15	0.00	0.04	0.13
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.04	0.00	0.05	0.00	0.00	0.04

## 4.5 Análisis de Sequía por el método de los Deciles de la Precipitación.

Para este tipo de análisis se utilizan tres tipos de años: los años calendario que van de enero a diciembre del mismo año y se utilizan para los productos derivados de la ganadería y para incendios forestales; años agrícolas que van de octubre de un año a septiembre del siguiente año, el cual comprende los periodos de siembra y cosecha primavera-verano, otoño-invierno; y año ganadero que es el promedio de dos años consecutivos y es utilizado para la relación de producción de carne.

Para este análisis se utilizan las ecuaciones 3.14, 3.15 y 3.16

$$c = \frac{Hp(n) - Hp(1)}{10}$$

$$decil(1) = Hp(1) + c$$

$$decil(i) = decil(i-1) + c \quad \text{para } i = 2, 3, \dots, 10$$

**Tabla 4. 29 Lluvia acumulada en año agrícola del municipio de Arroyo Seco, Querétaro.**

Año Agrícola	Hp (mm)	Año Agrícola	Hp (mm)
1967	1093.4	1985	687.6
1968	914.5	1986	543.2
1969	968.1	1987	458.5
1970	840.3	1988	776.3
1971	644.5	1989	260.6
1972	685.2	1990	575.1
1973	950.7	1991	377.5
1974	774.4	1992	879.5
1975	938.2	1993	771.9
1976	762.0	1994	485.2
1977	523.9	1995	381.7
1978	740.6	1996	537.4
1979	715.9	1997	449.7
1980	499.2	1998	751.7
1981	1142.4	1999	834.1
1982	304.4	2000	568.3
1983	650.0	2001	580.9
1984	913.1	2002	514.3

Una vez ordenada la muestra se determinan los valores de  $Hp(1)$ ,  $Hp(n)$  y  $c$ .

$$Hp(1) = 260.6$$

$$Hp(n) = 1142.4$$

$$c = \frac{1142.4 - 260.6}{10} = 88.18$$

Y se determinan los intervalos para cada decil.

**Tabla 4. 30 Limite inferior y superior para los diferentes deciles, municipio de Arroyo Seco.**

Decil	Límite inferior	Límite Superior.
1	260.60	348.78
2	348.78	436.96
3	436.96	525.14
4	525.14	613.32
5	613.32	701.50
6	701.50	789.68
7	789.68	877.86
8	877.86	966.04
9	966.04	1054.22
10	1054.22	1142.40

Y por último, a cada año, se le asigna el decil correspondiente. Se sigue el mismo proceso para los diferentes años.

**Tabla 4. 31 año agrícola y Deciles para el municipio de Arroyo Seco, Querétaro.**

Año Agrícola	Hp	Decil	Año Agrícola	Hp	Decil
1967	1093.4	10	1985	687.6	5
1968	914.5	8	1986	543.2	4
1969	968.1	9	1987	458.5	3
1970	840.4	7	1988	776.3	6
1971	644.5	5	1989	260.6	1
1972	685.2	5	1990	575.1	4
1973	950.7	8	1991	377.5	2
1974	774.4	6	1992	879.5	8
1975	938.2	8	1993	771.9	6
1976	762.0	6	1994	485.2	3
1977	523.9	3	1995	381.7	2
1978	740.6	6	1996	537.4	4
1979	715.9	6	1997	449.7	3
1980	499.2	3	1998	751.7	6
1981	1142.4	10	1999	834.1	7
1982	304.4	1	2000	568.3	4
1983	650.0	5	2001	580.9	4
1984	913.1	8	2002	514.3	3

Tabla 4. 32 Resultado del análisis de los deciles para los diferentes años, por municipio.

Año	Amealco de B.			Amoles del Pinal			Arroyo Seco			Cadereyta		
	Agr.	Gan.	Cal.	Agr.	Gan.	Cal.	Agr.	Gan.	Cal.	Agr.	Gan.	Cal.
1966		6	5		8	7		7	6		9	8
1967	4	6	4	8	8	8	10	10	9	7	8	6
1968	3	5	3	9	9	8	8	10	7	10	9	10
1969	2	3	2	8	9	8	9	10	8	10	10	8
1970	3	3	3	7	8	6	7	9	6	8	7	5
1971	4	5	6	7	8	9	5	7	6	9	8	9
1972	1	4	1	8	9	8	5	6	5	9	10	8
1973	4	3	5	10	10	10	8	8	8	10	9	8
1974	3	4	3	6	8	5	6	8	5	9	9	8
1975	3	3	3	9	7	9	8	8	8	8	8	7
1976	3	4	5	9	10	9	6	9	6	10	10	10
1977	3	5	3	3	7	3	3	5	4	4	8	3
1978	2	3	3	8	6	8	6	5	6	10	6	9
1979	2	2	2	7	7	5	6	6	4	8	8	6
1980	2	2	2	3	3	3	3	2	3	5	5	4
1981	2	3	3	9	7	10	10	8	10	10	7	9
1982	1	2	1	1	5	1	1	7	2	1	5	1
1983	3	2	3	5	1	4	5	1	3	5	2	4
1984	3	4	3	6	4	5	8	6	7	5	4	4
1985	3	4	4	5	5	5	5	8	5	6	5	6
1986	3	5	5	3	4	4	4	5	4	2	4	3
1987	2	3	1	2	1	1	3	2	2	3	2	1
1988	1	1	1	7	3	7	6	3	6	5	2	4
1989	1	1	1	1	3	1	1	2	1	1	2	1
1990	2	7	10	4	2	4	4	1	4	5	2	5
1991	10	10	6	3	3	3	2	3	4	7	6	7
1992	2	6	3	5	4	5	8	5	6	6	6	5
1993	2	2	1	7	5	6	6	6	5	3	3	2
1994	1	1	1	2	4	3	3	3	3	2	2	2
1995	2	1	2	4	2	3	2	1	2	3	2	2
1996	1	2	2	3	2	2	4	1	3	4	3	3
1997	2	2	2	2	2	3	3	2	3	4	4	4
1998	2	3	4	5	3	5	6	5	6	6	6	6
1999	2	3	1	5	4	4	7	7	5	5	5	3
2000	2	1	2	3	3	3	4	5	4	2	1	1
2001	2	3	3	3	2	2	4	3	4	2	1	2
2002	4	5	5	2	1	2	3	3	3	2	1	2

Continuación

Año	Colón			Corregidora			Ezequiel Montes			Huimilpan		
	Agr.	Gan.	Cal.	Agr.	Gan.	Cal.	Agr.	Gan.	Cal.	Agr.	Gan.	Cal.
1966		10	10		7	6		7	6		9	7
1967	10	10	9	7	8	7	8	8	7	7	9	7
1968	8	9	8	5	6	3	6	9	8	5	7	4
1969	3	5	3	2	3	2	4	6	2	3	4	3
1970	4	3	3	5	3	5	4	1	2	4	4	4
1971	8	6	8	10	8	10	5	3	6	7	8	8
1972	3	5	3	2	7	2	3	4	3	2	7	3
1973	10	6	9	10	6	9	10	7	9	10	9	10
1974	6	7	6	5	7	4	7	10	7	6	10	5
1975	6	5	5	6	5	5	5	6	4	6	7	6
1976	9	8	10	7	8	9	10	9	10	3	7	5
1977	5	7	4	7	8	5	4	9	4	8	8	7
1978	5	4	5	3	5	4	6	5	6	6	9	7
1979	4	4	4	3	3	1	4	4	3	5	7	4
1980	5	3	4	5	3	5	4	3	4	3	5	4
1981	7	5	7	4	5	5	7	5	6	5	6	6
1982	1	5	2	1	3	1	1	4	2	2	5	2
1983	7	3	5	7	4	7	7	4	6	7	6	8
1984	6	4	5	5	6	5	6	5	4	5	8	5
1985	5	5	5	8	7	8	5	4	5	6	7	6
1986	6	6	6	9	10	10	5	6	6	7	10	9
1987	5	4	3	5	7	1	4	4	3	5	8	3
1988	4	3	3	2	1	2	4	3	4	4	4	4
1989	1	2	2	4	3	4	1	1	1	3	5	4
1990	5	4	6	4	4	4	5	2	5	4	5	5
1991	7	6	7	8	7	8	7	7	7	6	7	6
1992	8	7	8	8	9	8	6	7	5	6	8	7
1993	6	5	3	6	7	4	4	4	3	2	5	1
1994	4	3	5	3	4	3	4	3	5	2	2	2
1995	1	2	1	5	4	4	3	3	3	4	4	5
1996	2	1	2	3	4	2	2	1	2	3	5	3
1997	4	3	4	1	1	1	4	3	5	2	3	2
1998	6	5	5	5	4	6	7	6	6	5	5	6
1999	2	3	1	3	3	1	2	3	2	2	4	1
2000	4	2	3	1	1	1	4	2	4	1	1	1
2001	5	4	5	6	3	6	5	5	6	5	4	5
2002	6	5	6	6	7	7	9	9	8	3	6	4

## Continuación

Año	Jalpan de Serra			Landa de M.			Marqués			Pedro Escobedo		
	Agr.	Gan.	Cal.	Agr.	Gan.	Cal.	Agr.	Gan.	Cal.	Agr.	Gan.	Cal.
1966		10	9		8	6		10	10		10	10
1967	10	10	10	9	8	7	10	10	9	10	10	10
1968	9	10	9	8	8	6	7	7	5	6	7	5
1969	9	10	10	9	8	7	4	4	3	3	4	4
1970	9	9	8	8	8	5	5	4	5	4	4	5
1971	7	9	8	6	8	6	10	8	10	6	6	8
1972	8	8	7	5	6	3	4	7	3	3	6	3
1973	6	6	6	2	3	2	10	6	9	10	6	10
1974	5	5	5	3	2	2	6	8	6	9	10	9
1975	6	5	7	4	3	3	6	5	5	5	7	5
1976	6	6	6	3	3	3	8	7	10	4	5	6
1977	2	3	2	1	2	1	7	8	5	7	6	7
1978	5	2	5	3	2	2	5	5	5	5	6	6
1979	4	3	3	2	2	2	3	3	2	4	5	4
1980	3	1	3	2	1	1	4	2	4	4	4	5
1981	6	3	6	3	2	2	6	4	5	5	5	7
1982	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	4	3
1983	4	1	4	1	1	1	6	2	4	7	5	7
1984	6	4	5	2	1	1	5	3	4	5	6	5
1985	4	4	4	2	2	2	7	5	6	5	5	5
1986	3	2	3	1	1	1	7	8	8	6	7	9
1987	3	1	2	2	1	1	3	4	1	5	6	3
1988	5	2	5	2	1	2	4	1	2	4	4	5
1989	2	3	3	3	2	2	3	2	3	2	3	3
1990	4	2	4	3	3	2	5	4	5	5	5	8
1991	8	7	10	10	9	10	8	6	7	8	8	8
1992	8	9	7	8	10	5	9	8	9	7	7	8
1993	9	7	8	5	5	3	5	5	2	4	5	3
1994	3	4	3	2	3	2	4	2	3	1	2	2
1995	3	1	3	2	2	1	2	1	1	1	1	2
1996	3	1	2	2	1	1	3	1	2	2	2	3
1997	2	1	2	1	1	1	3	2	3	2	3	3
1998	4	2	5	3	2	3	5	4	5	5	5	7
1999	5	3	3	2	2	1	3	3	1	2	3	1
2000	2	2	3	1	1	1	3	1	1	1	1	2
2001	5	2	4	4	3	4	5	2	4	5	3	5
2002	2	1	1	1	2	1	4	4	4	2	4	4

## Continuación

Año	Peñamiller			Querétaro			San Joaquín			San Juan del Río		
	Agr.	Gan.	Cal.	Agr.	Gan.	Cal.	Agr.	Gan.	Cal.	Agr.	Gan.	Cal.
1966		10	9		10	7		7	7		6	5
1967	6	9	7	8	10	8	5	6	5	4	6	4
1968	10	10	10	6	7	4	8	7	8	3	5	3
1969	8	10	8	3	4	3	10	10	10	2	3	2
1970	5	6	4	6	5	5	6	8	5	3	3	3
1971	7	6	8	10	10	10	8	8	10	4	5	6
1972	4	6	4	3	9	3	10	10	10	1	4	1
1973	7	6	7	10	8	9	10	10	10	4	3	5
1974	4	6	5	4	8	4	7	9	6	3	4	3
1975	6	6	7	5	5	4	8	7	8	3	3	3
1976	8	8	9	8	9	10	9	9	9	3	4	5
1977	4	7	4	8	10	5	3	6	2	3	5	3
1978	5	5	6	4	7	5	8	6	10	2	3	3
1979	3	5	4	3	4	1	9	8	7	2	2	2
1980	3	3	3	3	3	4	4	5	4	2	2	2
1981	6	4	6	5	5	4	10	7	10	2	3	3
1982	1	4	2	1	3	1	1	6	1	1	2	1
1983	3	1	3	5	3	4	3	1	3	3	2	3
1984	4	3	4	5	5	4	4	3	3	3	4	3
1985	5	4	6	7	7	7	4	4	4	3	4	4
1986	1	4	2	6	10	8	1	3	2	3	5	5
1987	1	1	1	3	5	1	1	1	1	2	3	1
1988	3	1	4	2	1	1	3	2	3	1	1	1
1989	2	3	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1
1990	3	3	4	3	3	4	3	3	4	2	7	10
1991	5	5	6	8	7	7	3	4	4	10	10	6
1992	5	6	6	8	10	8	4	4	4	2	6	3
1993	5	5	4	4	7	3	4	4	3	2	2	1
1994	5	5	7	6	5	5	2	3	3	1	1	1
1995	5	6	5	4	6	3	3	3	3	2	1	2
1996	4	4	4	2	3	2	3	3	2	1	2	2
1997	4	5	5	2	2	2	2	3	3	2	2	2
1998	4	5	5	6	5	6	4	4	5	2	3	4
1999	4	4	4	3	4	1	4	4	3	2	3	1
2000	3	3	3	1	1	1	2	2	1	2	1	2
2001	3	3	4	4	3	4	1	1	1	2	3	3
2002	5	4	5	3	5	4	1	1	1	4	5	5

Continuación

Año	Tequisquiapan			Tolimán		
	Agr.	Gan.	Cal.	Agr.	Gan.	Cal.
1966		10	8		7	6
1967	10	10	8	7	7	6
1968	7	10	7	7	9	10
1969	4	5	2	5	7	3
1970	6	3	4	4	2	2
1971	8	8	8	5	4	5
1972	3	6	3	3	4	3
1973	10	7	8	7	5	6
1974	7	10	6	5	5	4
1975	5	6	4	7	5	6
1976	10	10	10	10	10	10
1977	5	10	4	8	10	7
1978	4	5	4	5	6	4
1979	4	4	4	2	4	3
1980	5	4	4	4	2	2
1981	5	5	5	6	4	5
1982	1	3	1	1	4	2
1983	7	3	5	3	1	2
1984	6	6	4	3	1	2
1985	6	6	5	5	3	4
1986	6	8	7	2	3	2
1987	5	5	2	2	1	1
1988	4	2	3	2	1	2
1989	1	1	1	1	1	1
1990	4	3	6	3	2	3
1991	8	7	5	4	4	4
1992	6	6	5	5	5	5
1993	4	4	2	3	3	1
1994	3	3	4	4	3	5
1995	3	3	2	3	3	2
1996	2	1	2	2	1	1
1997	5	4	5	2	1	3
1998	6	6	5	7	5	6
1999	2	3	1	3	4	1
2000	3	1	3	2	1	2
2001	5	5	5	3	2	3
2002	9	9	8	3	2	3

Los valores obtenidos de los Deciles, se asocian con los datos de Rendimiento (tabla 1.8) como ejemplo utilizaremos el Municipio de Cadereyta de Montes.

**Tabla 4. 33 Comparación de Deciles vs. Rendimientos**

	Año Agrícola				Año Ganadero			Año Calendario	
	Decil	Maíz	Maíz-Frijol	Frijol	Decil	Caprino	Ovino	Decil	Área
		Rendim.	Rendim.	Rendim.		Rendim.	Rendim.		Incendiada
		(Ton/Ha)	(Ton/Ha)	(Ton/Ha)		(Ton/Cab)	(Ton/Cab)		Ha
1991	7			0.350	6	0.010	0.016	7	
1992	6	0.545	0.348	0.433	6	0.012	0.017	5	
1993	3	0.087	0.034	0.044	3	0.011	0.015	2	23.5
1994	2	0.021	0.016	0.022	2	0.012	0.015	2	2.0
1995	3	0.269	0.252	0.120	2	0.011	0.014	2	8.0
1996	4	0.197	0.169	0.243	3	0.013	0.015	3	1211.0
1997	4	0.089	0.109	0.090	4	0.017	0.020	4	9.0
1998	6	0.400	0.687	0.588	6	0.015	0.017	6	69.5
1999	5	0.043	0.076	0.118	5	0.028	0.031	3	13.0
2000	2	0.170	0.060	0.082	1	0.022	0.028	1	1.5
2001	2	0.250	0.057	0.267	1	0.021	0.029	2	
2002	2	0.255	0.089	0.300	1	0.020	0.026	2	62.0

Como se observa en la tabla anterior para un mismo decil se presentan varios valores de rendimiento, por lo tanto se calcula el valor medio para cada decil y se ajusta mediante una curva. Para el ajuste de curvas se utilizó el programa de Excel que pertenece a la paquetería de Office de Microsoft ®

**Tabla 4. 34 Valor Esperado del Rendimiento del Maíz para cada Decil, Municipio de Cadereyta de Montes**

Maíz	Decil			
	2	3	4	6
Rendimiento o Ton/ha.	0.021	0.087	0.197	0.545
	0.170	0.269	0.089	0.400
	0.250			
	0.255			
<b>Valor Esp.</b>	<b>0.174</b>	<b>0.178</b>	<b>0.143</b>	<b>0.473</b>

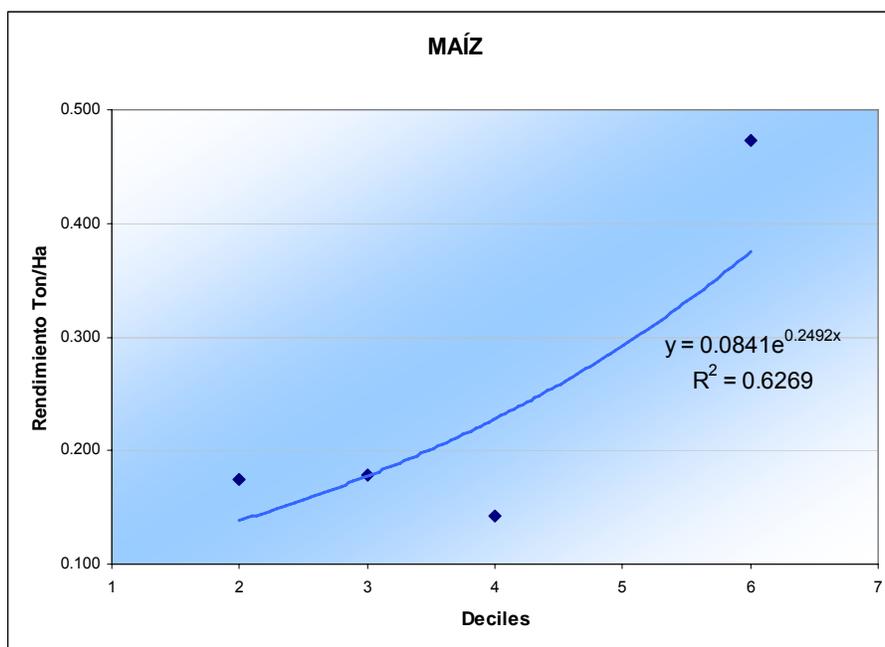


Figura 4. 8 Curva de Ajuste entre el Rendimiento Esperado y los deciles para el Maíz, Municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro.

Tabla 4. 35 Comparación del Rendimiento Real con el Rendimiento Ajustado.

Decil	Rendimiento	Rendimiento Ajustado				
	real	lineal	logarítmica	Cuadrada	Potencial	Exponencial
1		0.034	-0.064	0.315	0.079	0.108
2	0.174	0.110	0.107	0.188	0.138	0.138
3	0.178	0.185	0.207	0.140	0.191	0.178
4	0.143	0.261	0.278	0.171	0.240	0.228
5		0.336	0.333	0.280	0.287	0.292
6	0.473	0.412	0.377	0.467	0.333	0.375
7		0.487	0.415	0.733	0.376	0.481
8		0.563	0.448	1.077	0.419	0.617
9		0.638	0.477	1.499	0.460	0.792
10		0.714	0.503	2.000	0.501	1.016
	R <sup>2</sup>	0.6963	0.5463	0.9661	0.478	0.6269
	Rr - Ra	0.25024	0.32574	0.08538	0.28641	0.21876

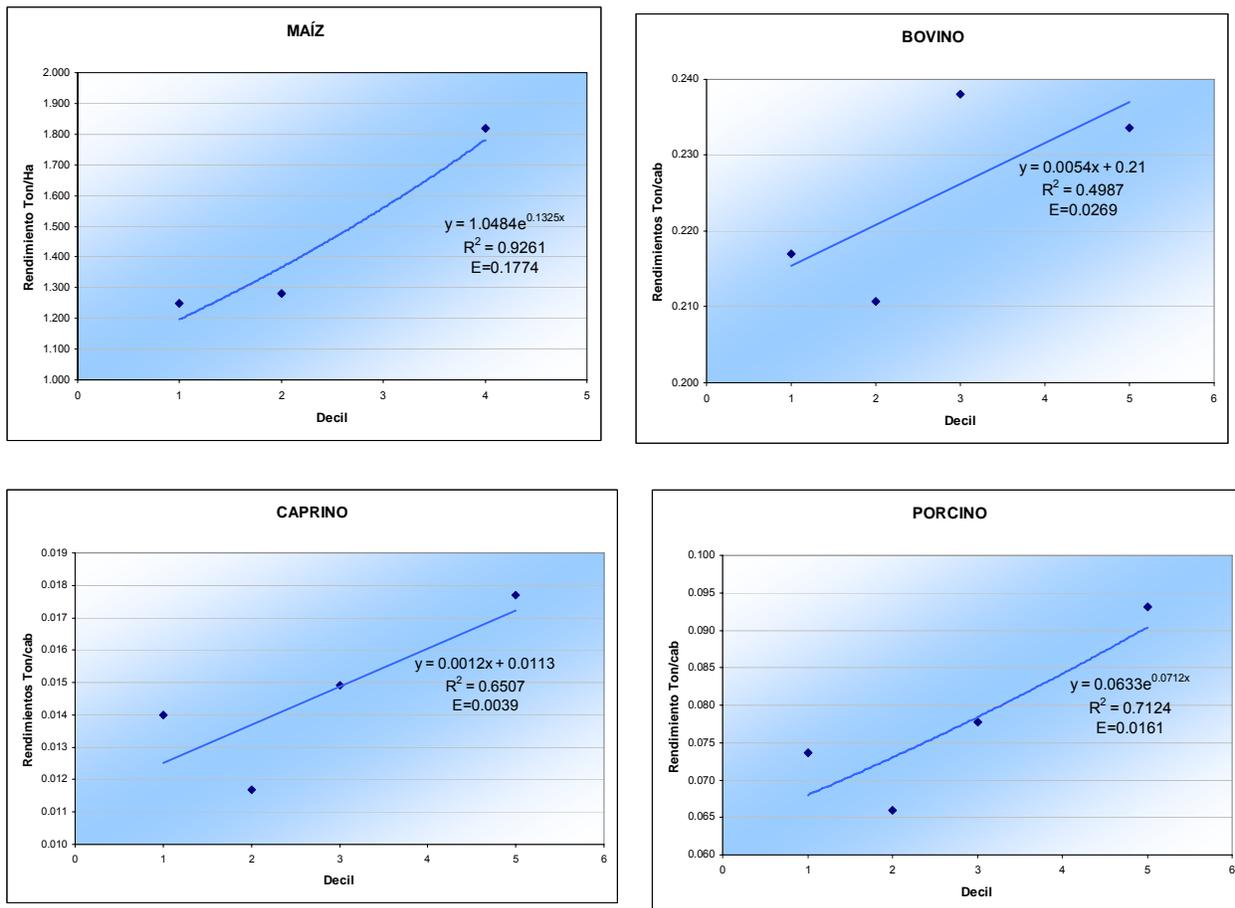
En la Figura 4. 8 y en la Tabla 4. 35 se muestra el valor del coeficiente de Determinación (R<sup>2</sup>) y en teoría se escoge el ajuste que presenta el mayor R<sup>2</sup>, sin embargo en este trabajo el criterio de selección fue escoger el ajuste que presente la menor diferencia en valor absoluto del rendimiento real y el rendimiento ajustado, también se debe buscar que los valores ajustados sean coherentes, por ejemplo, el

ajuste a través de una curva logarítmica da valores negativos los cuales no tienen sentido físico, el ajuste a través de una curva parabólica o cuadrada presenta el mayor valor del Coeficiente de Determinación y el menor valor de la diferencia de los rendimientos en valor absoluto, sin embargo se observa que en el primer decil se presenta un rendimiento mayor que los deciles 2,3,4 y 5 por lo que tampoco es coherente y también queda descartada.

El ajuste lineal presenta un coeficiente de determinación mayor que el ajuste exponencial, pero si observamos las diferencias entre los rendimientos reales y los ajustados, es menor en el ajuste exponencial. Esta es la razón por la que se escogió este criterio en lugar del  $R^2$ .

A continuación se presentan los ajustes para cada municipio y sector.

Figura 4. 9 Curvas de Ajustes para el Municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro.



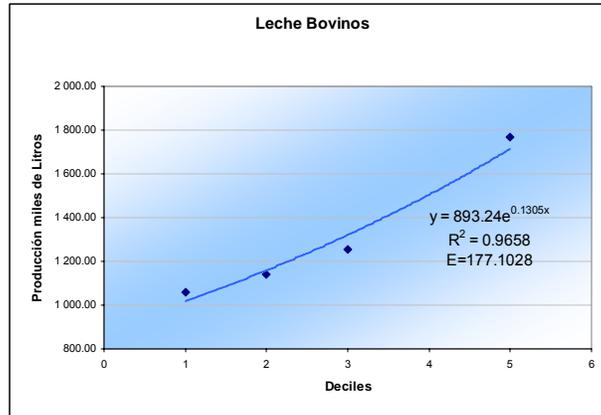
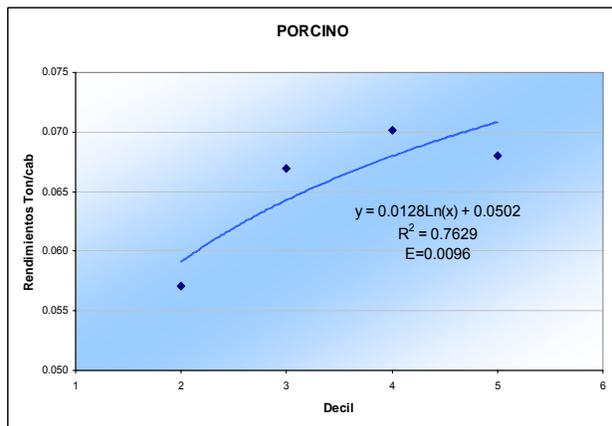
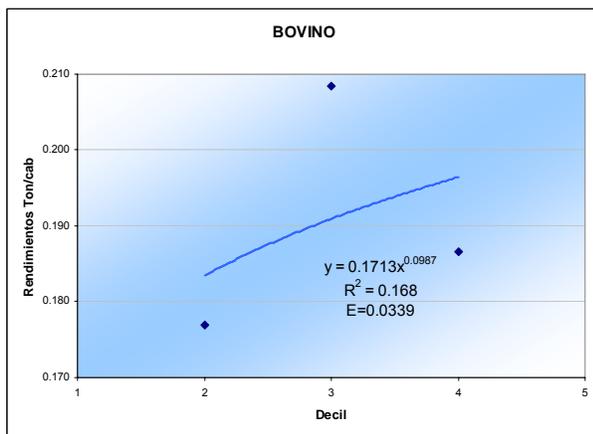
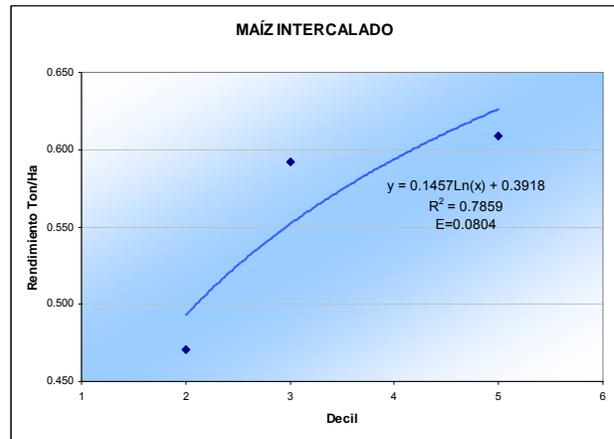
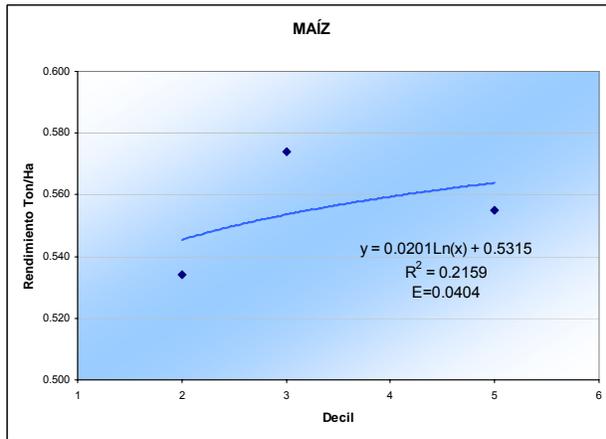


Figura 4. 10 Curvas de Ajustes para el Municipio de Amoles del Pinal



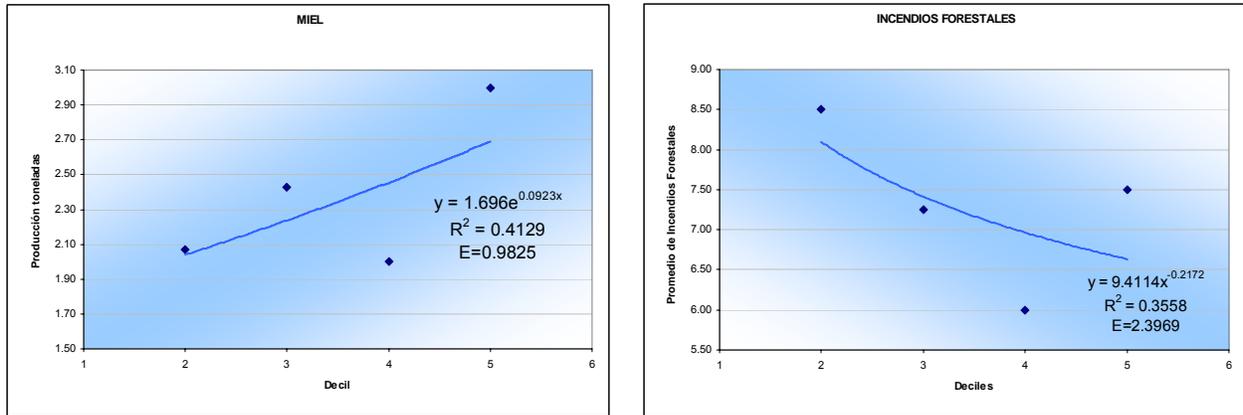
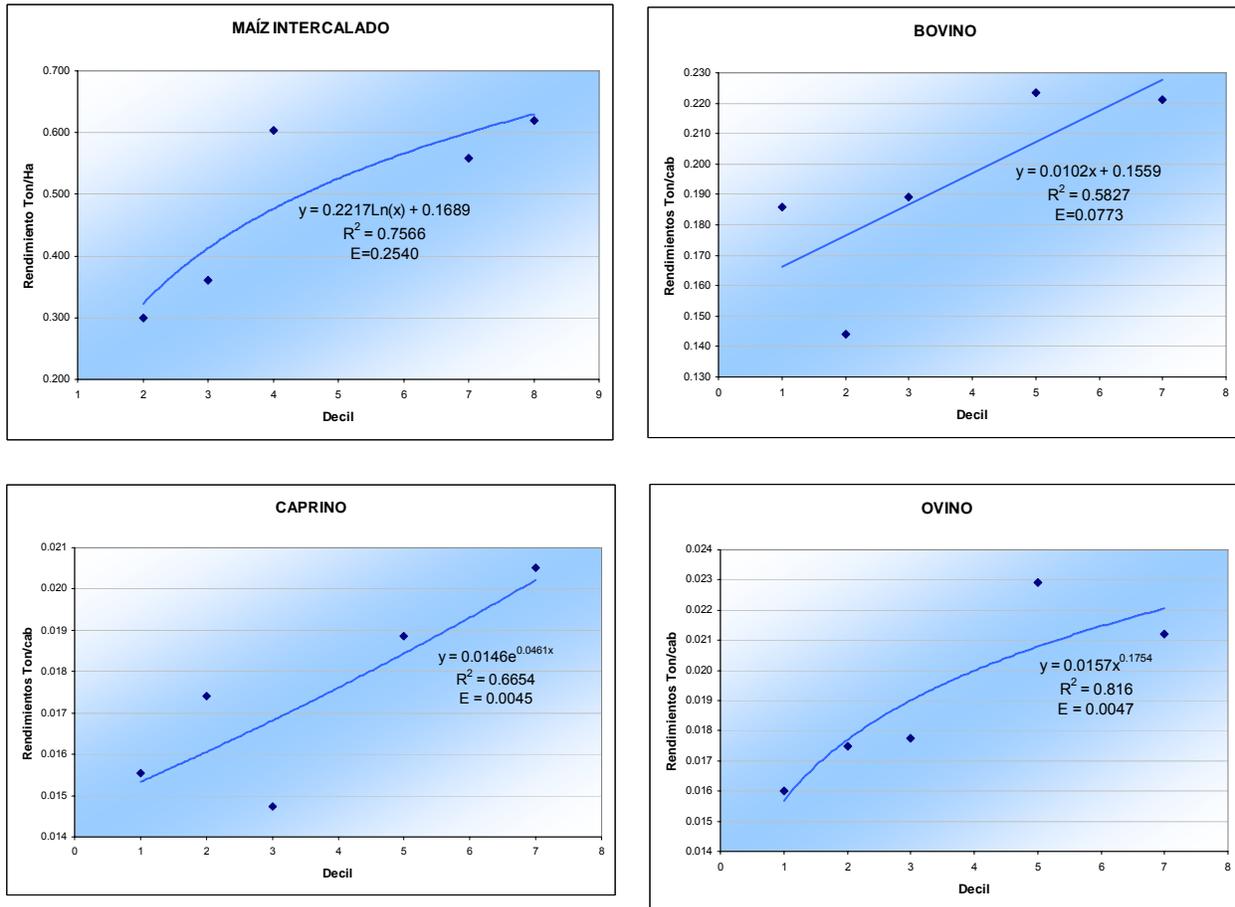


Figura 4. 11 Curvas de Ajustes para el Municipio de Arroyo Seco.



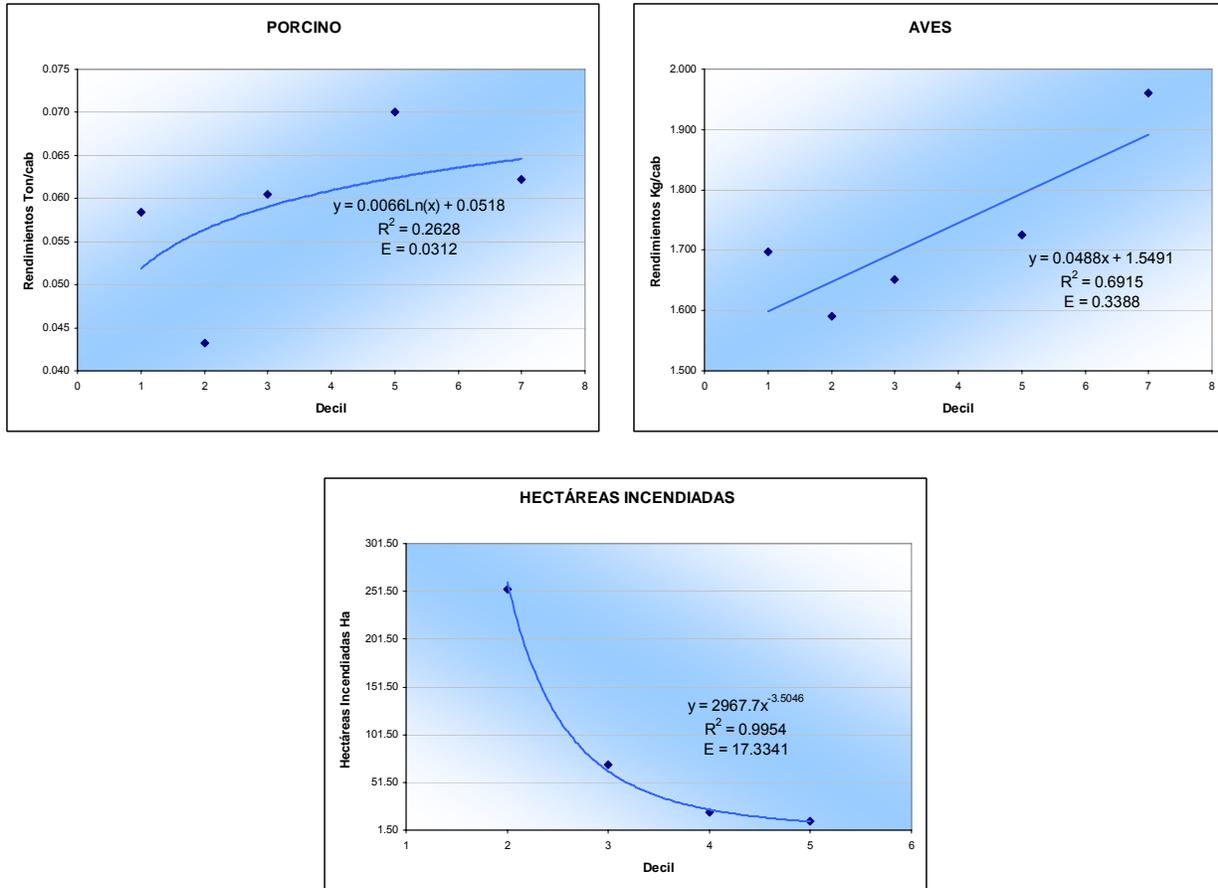
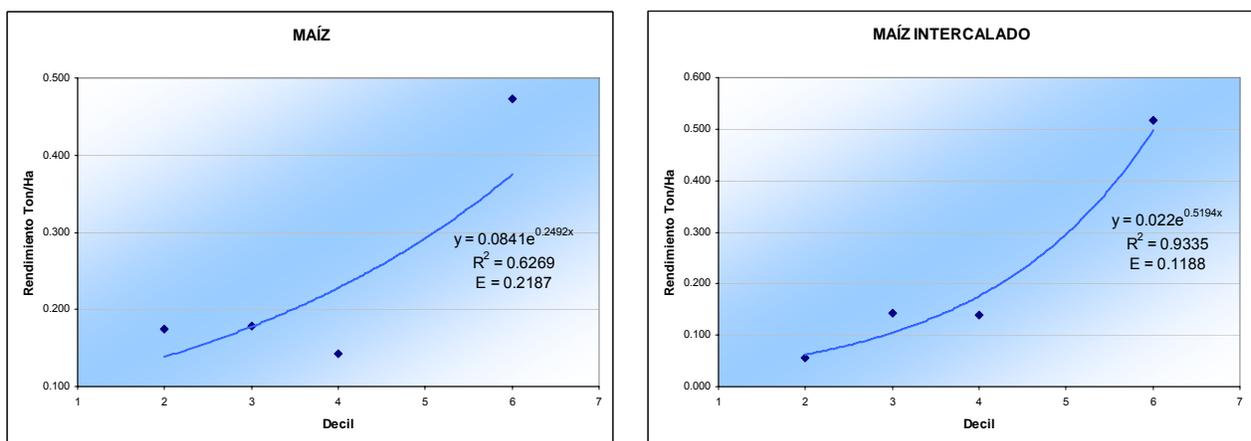


Figura 4. 12 Curva de Ajustes para el Municipio de Cadereyta de Montes.



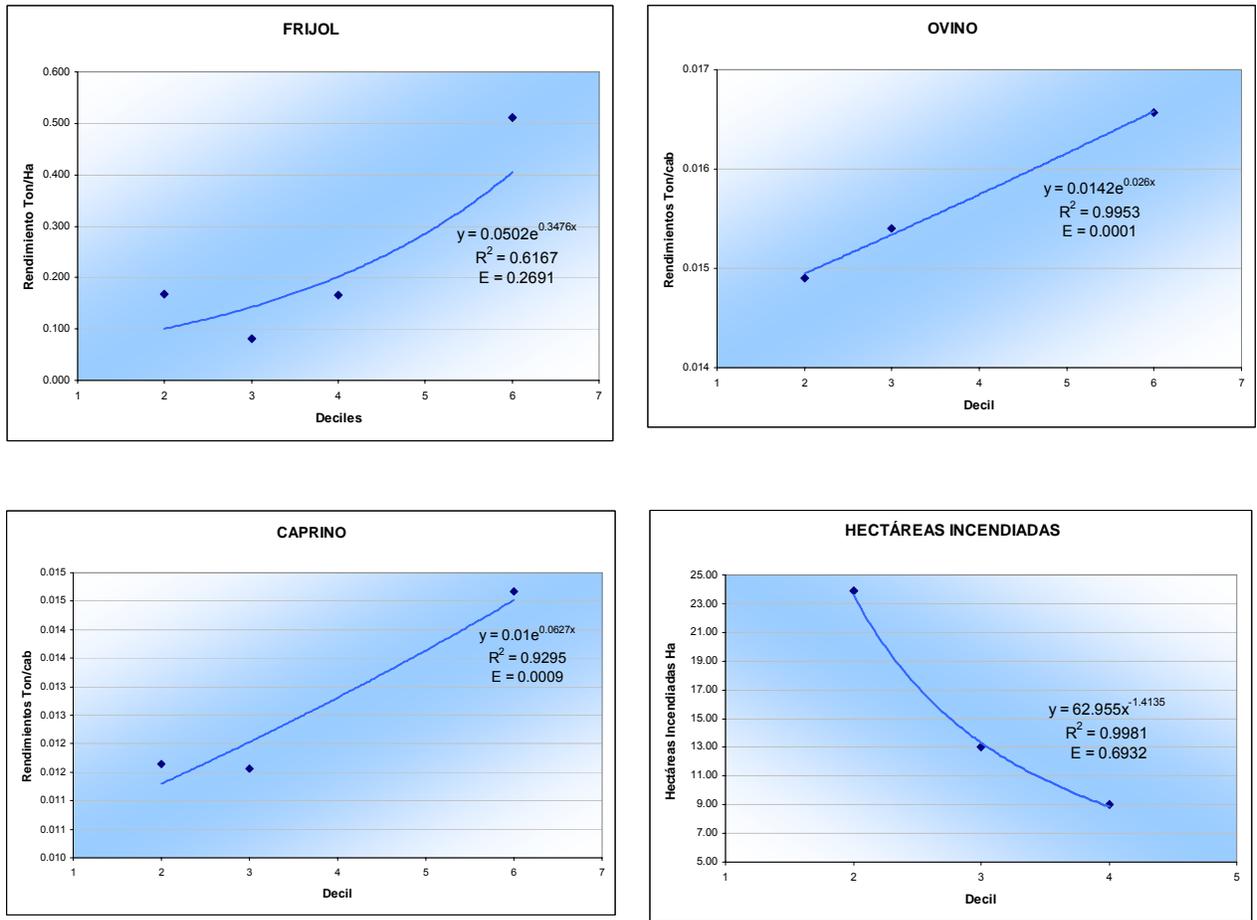
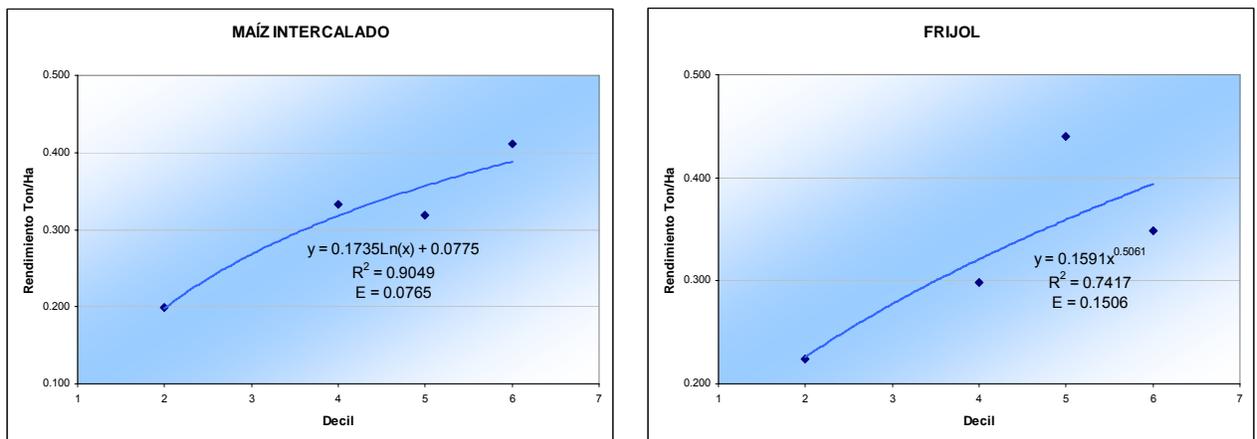


Figura 4. 13 Curvas de Ajuste para el Municipio de Colón.



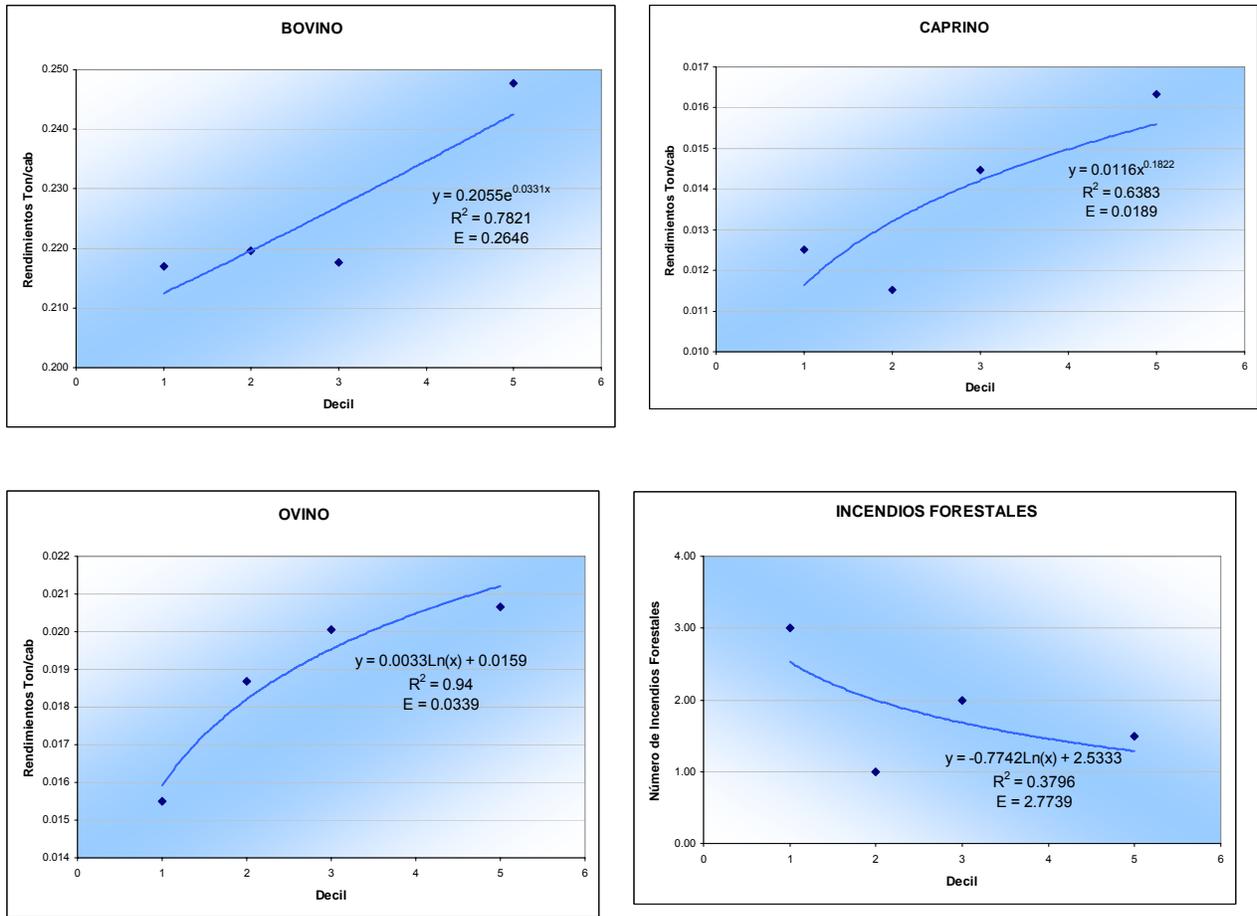
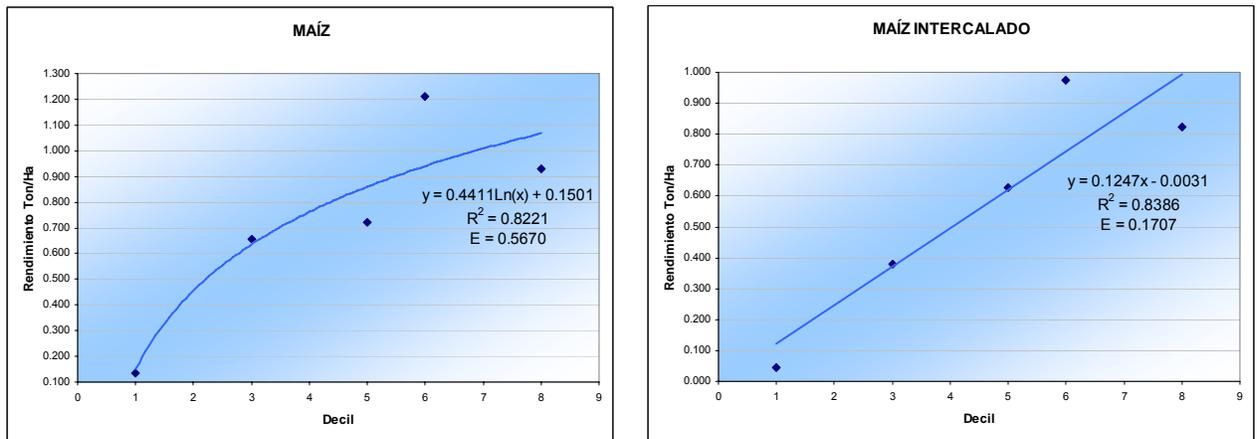


Figura 4. 14 Curvas de Ajuste para el Municipio de Corregidora.



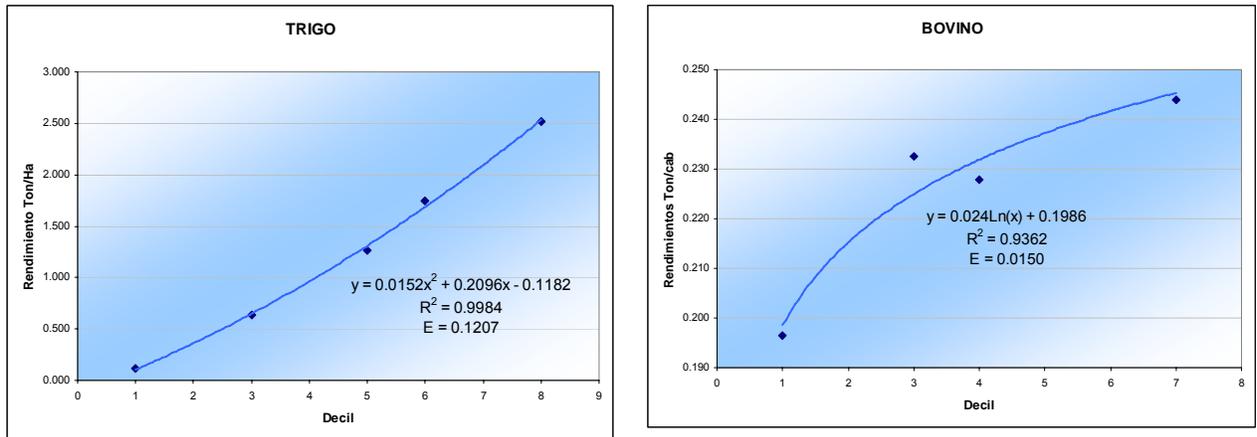


Figura 4. 15 Curvas de Ajustes para el Municipio de Ezequiel Montes

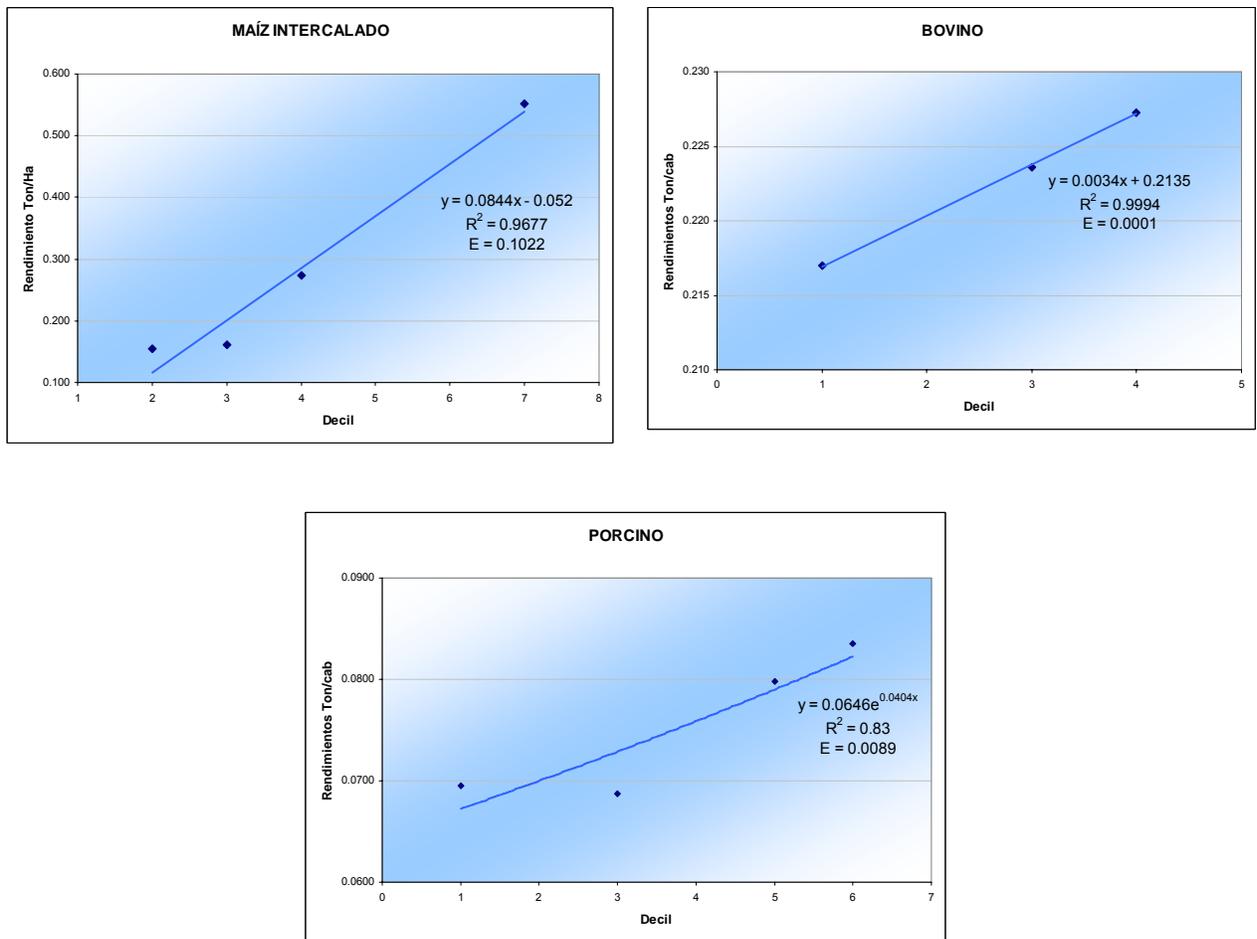


Figura 4. 16 Curvas de Ajustes para el Municipio de Huimilpan

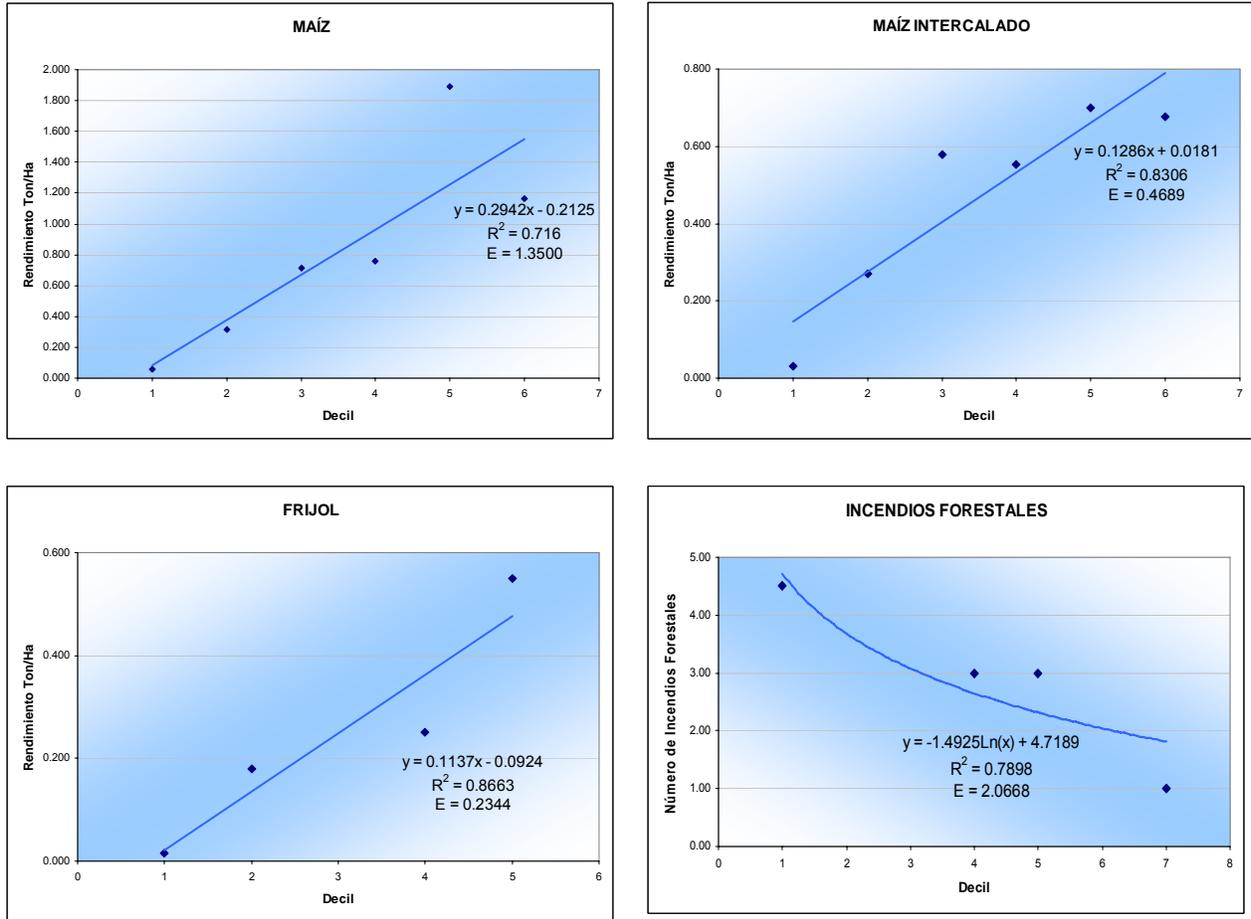
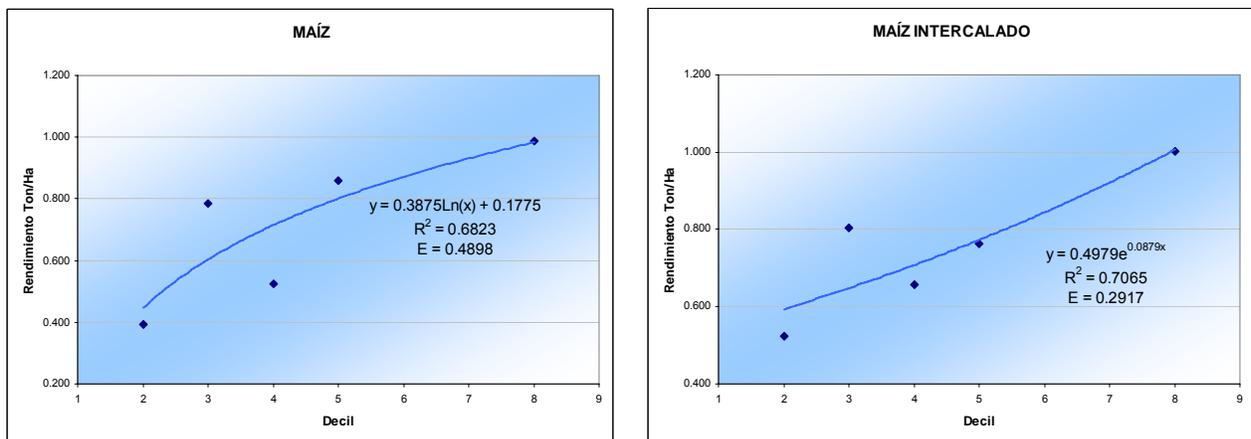


Figura 4. 17 Curvas de Ajuste para el Municipio de Jalpan de Serra.



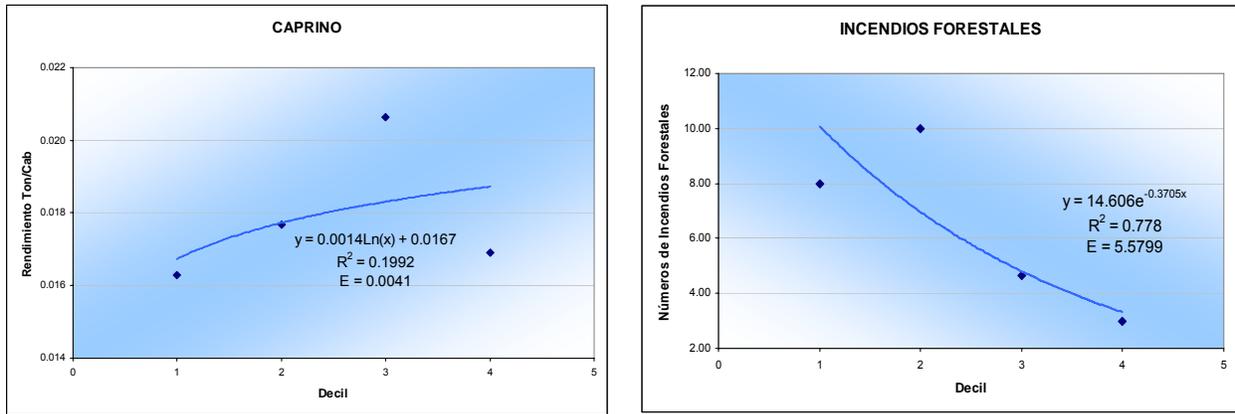


Figura 4. 18 Curvas de Ajuste para el Municipio de Landa de Matamoros

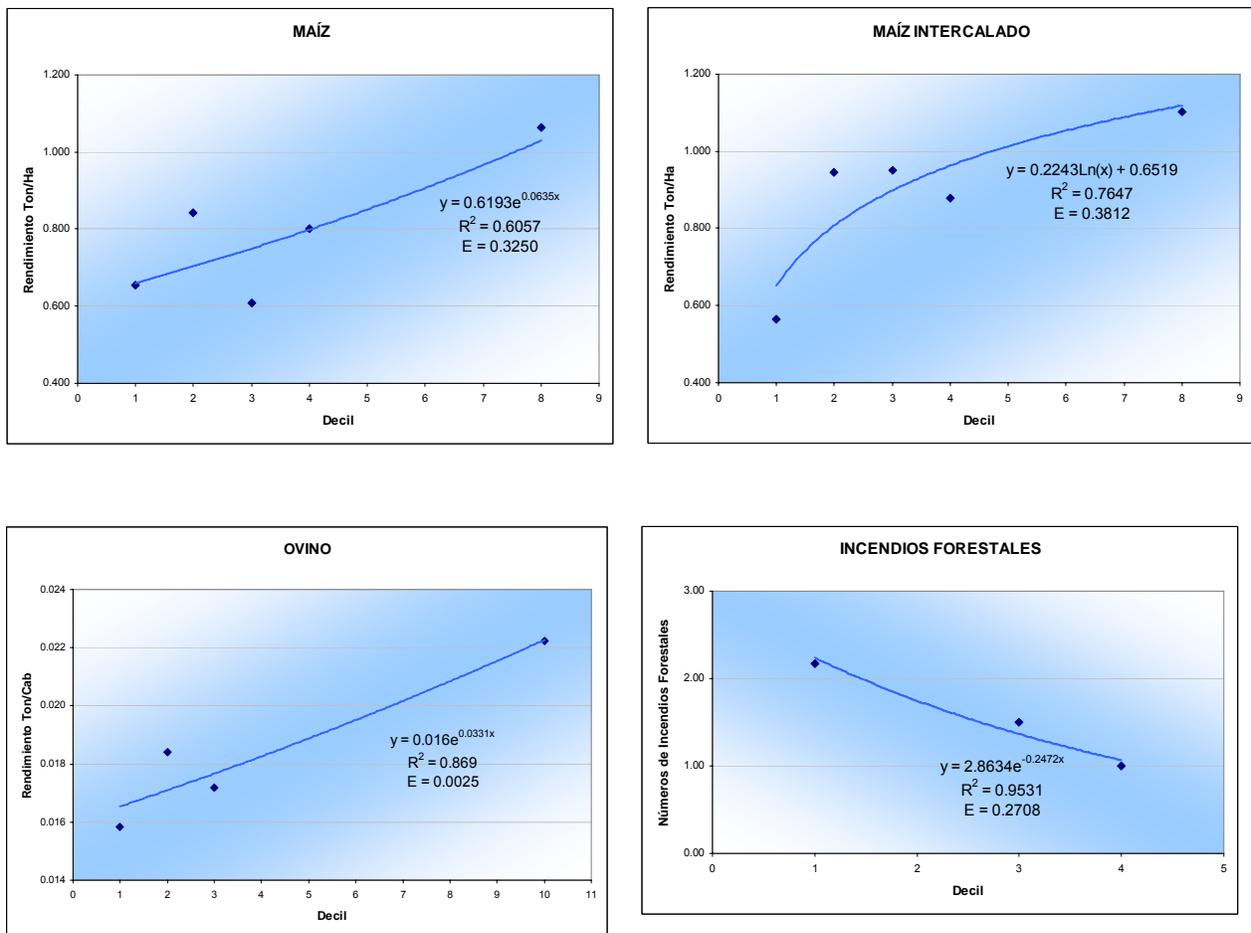


Figura 4. 19 Curvas de Ajuste para el Municipio de El Marqués.

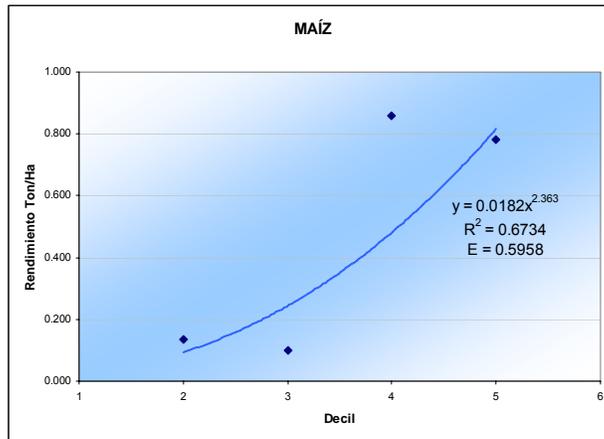


Figura 4. 20 Curvas de Ajuste para el Municipio de Pedro Escobedo.

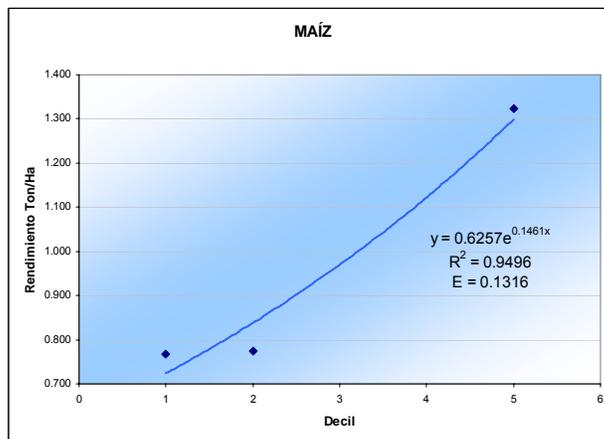


Figura 4. 21 Curva de Ajustes para el Municipio Peñamiller.

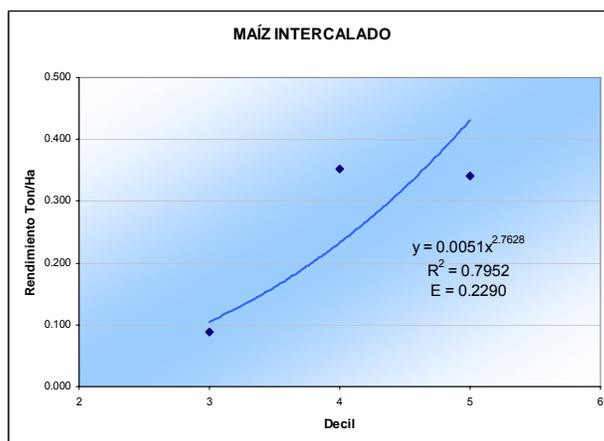
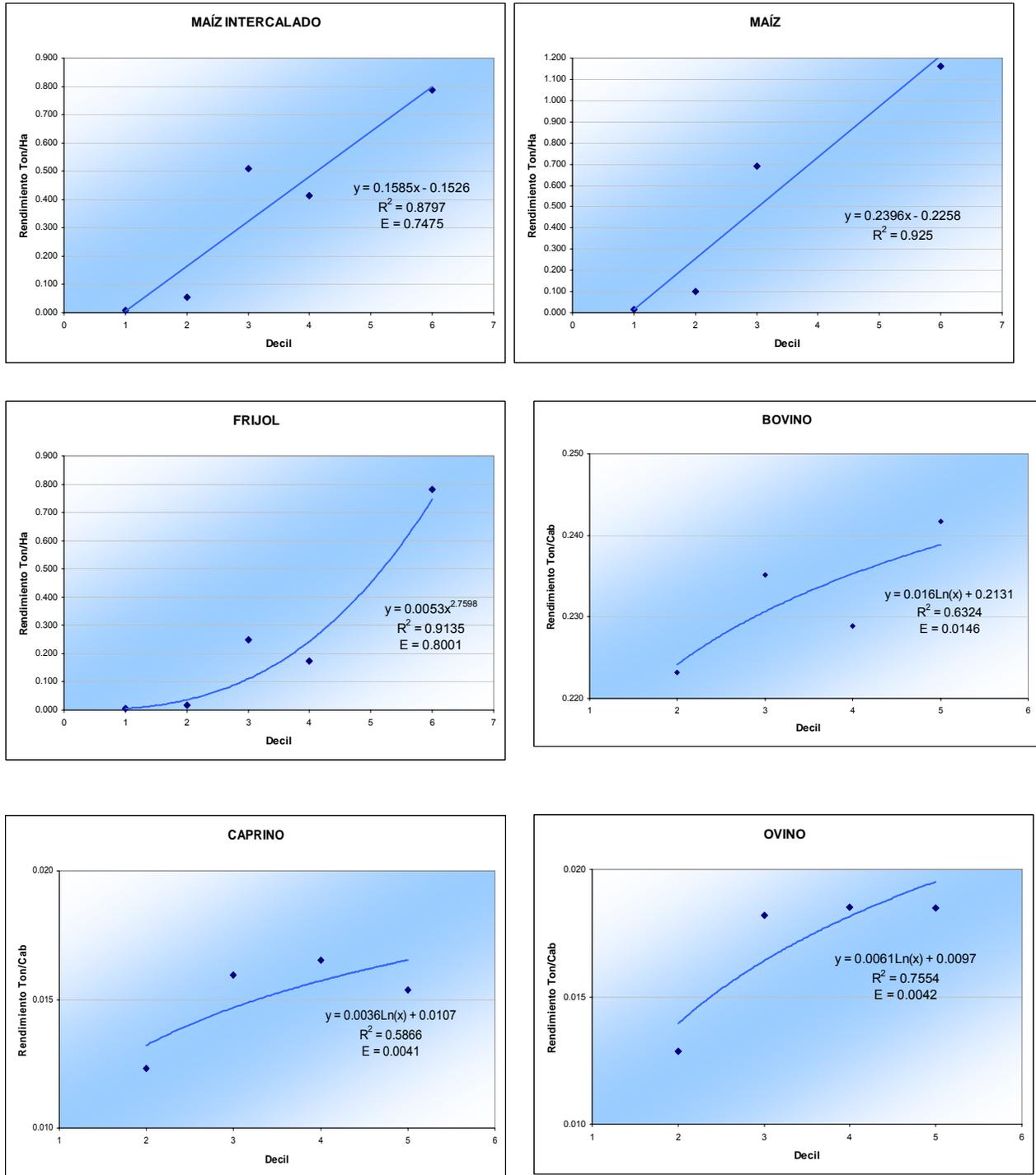


Figura 4. 22 Curva de Ajuste para el Municipio de Querétaro.



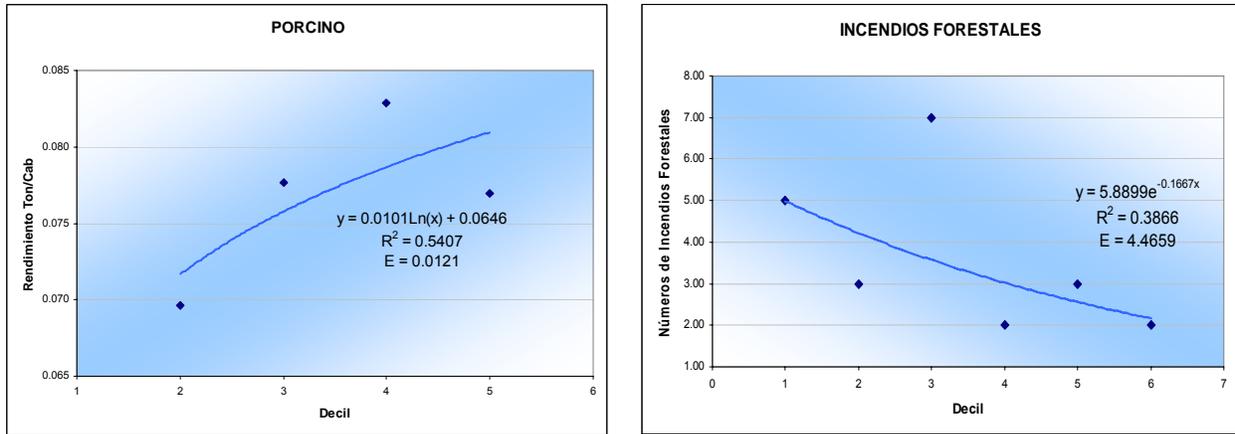


Figura 4. 23 Curvas de Ajuste para el Municipio de San Joaquín.

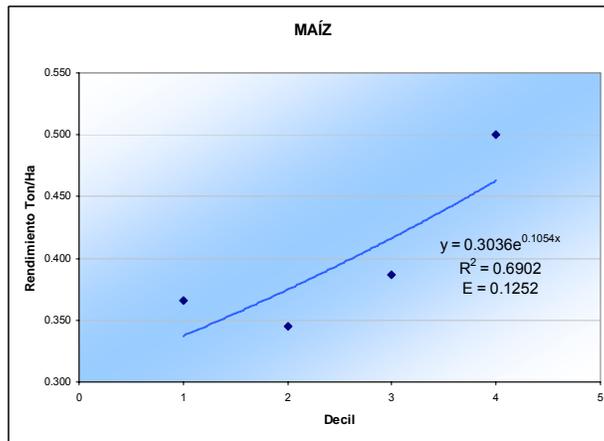
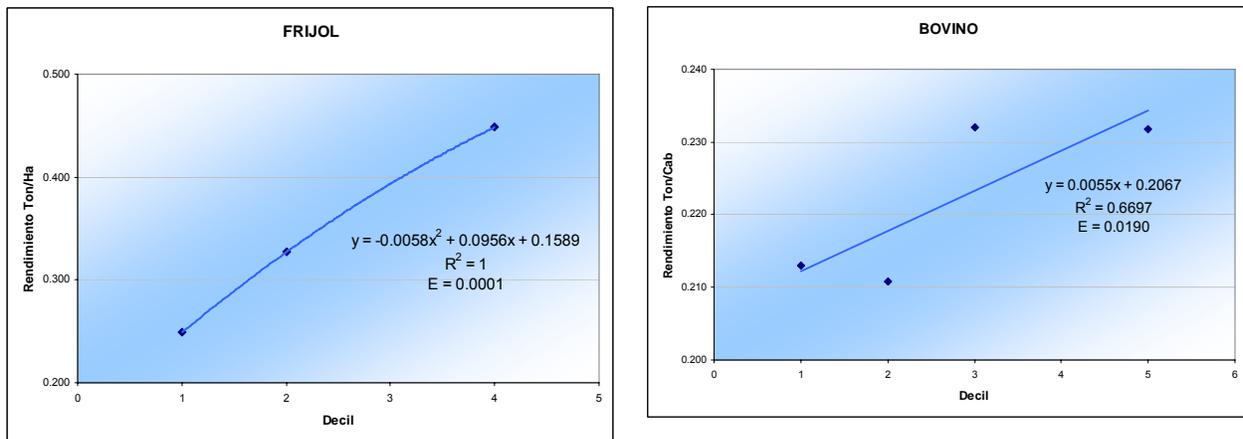


Figura 4. 24 Curvas de Ajuste para el Municipio de San Juan del Río.



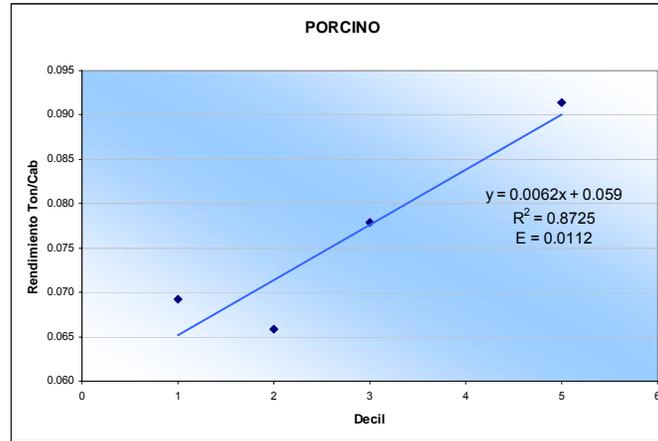
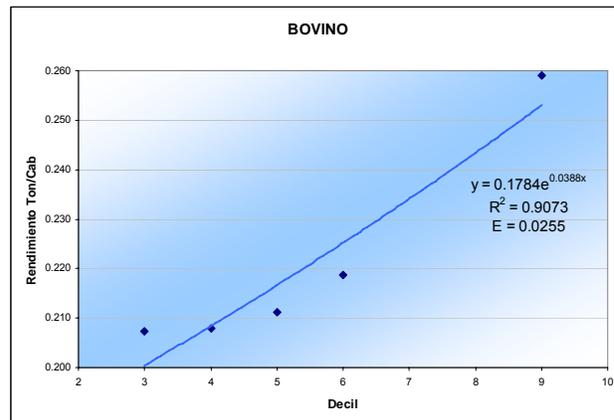
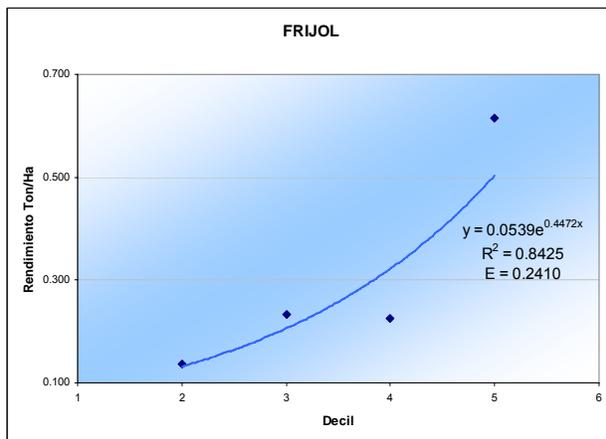
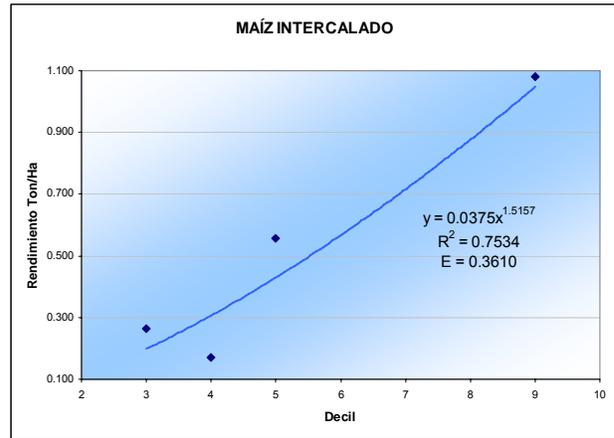
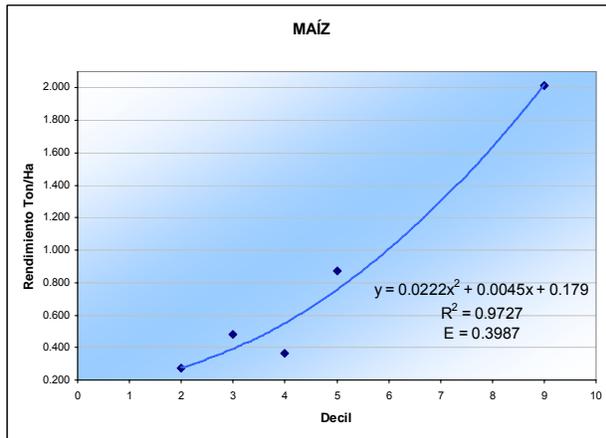


Figura 4. 25 Curvas de Ajuste para el Municipio de Tequisquiapan.



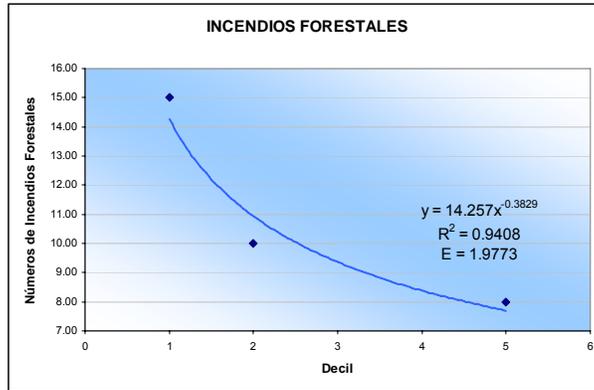
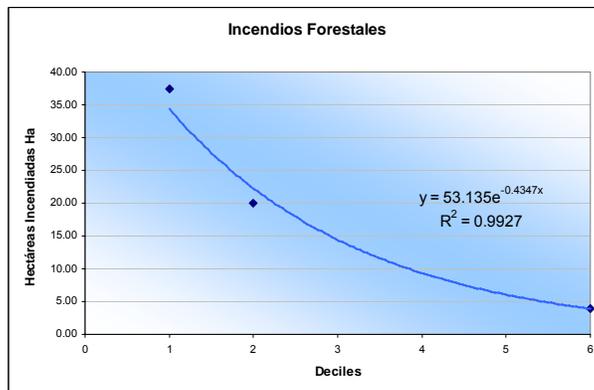
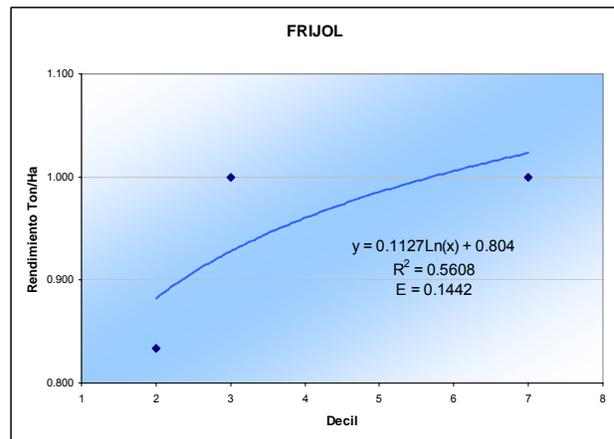
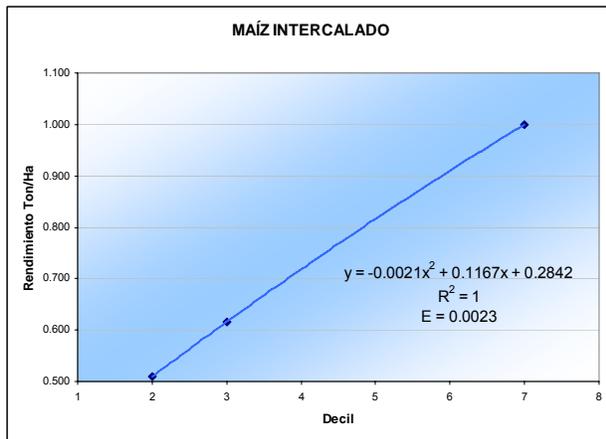


Figura 4. 26 Curvas de Ajuste para el Municipio de Tolimán.



Los rendimientos esperados para los Municipios del Estado de Querétaro, de acuerdo con las láminas disponibles son:

**Tabla 4. 36 Tablas de Rendimientos esperados**

Municipio de Amealco de Bonfil								
Láminas Disponibles mm	Año Agrícola		Año Ganadero				Año Calendario	
	Decil	Maíz Ton/Ha	Decil	Bovino Ton/Cab	Caprino Ton/Cab	Porcino Ton/Cab	Decil	Leche bovino Miles de Litros
819.7	4	1.781	6	0.242	0.019	0.090	5	1715.321
722.4	3	1.560	5	0.237	0.017	0.084	4	1505.462
700.3	3	1.560	5	0.237	0.017	0.084	4	1505.462
640.2	3	1.560	4	0.232	0.016	0.078	3	1321.279
681.8	3	1.560	4	0.232	0.016	0.078	4	1505.462

Municipio de Amoles del Pinal									
Láminas Disponibles mm	Año Agrícola			Año Ganadero			Año calendario		
	Decil	Maíz Ton/Ha	Maíz – frijol Ton/Ha	Decil	Bovino Ton/Cab	Porcino Ton/Cab	Decil	Miel Ton	Incendios Forestales No.
778.2	5	0.562	0.626	5	0.201	0.071	5	2.691	6.635
625.9	3	0.552	0.543	2	0.183	0.059	3	2.237	7.414
595.7	3	0.552	0.543	2	0.183	0.059	3	2.237	7.414
493.0	2	0.548	0.493	1	0.171	0.050	2	2.040	8.096
576.5	3	0.552	0.543	2	0.183	0.059	3	2.237	7.414

Municipio de Arroyo Seco										
Lámina disp. mm	Año Agrícola		Año Ganadero					Año Calendario		
	Decil	Maíz-frijol Ton/Ha	Decil	Bovino Ton/cab	Caprino Ton/Cab	Ovino Ton/Cab	Porcino Ton/Cab	Aves Kg/ca b	Decil	Área Incendiada Ha
678.9	5	0.526	5	0.207	0.018	0.021	0.062	1.793	5	10.593
529.3	4	0.476	2	0.176	0.016	0.018	0.056	1.646	3	63.139
520.6	3	0.412	2	0.176	0.016	0.018	0.056	1.646	3	63.139
407.4	2	0.323	1	0.166	0.015	0.016	0.052	1.597	2	261.147
492.4	3	0.412	2	0.176	0.016	0.018	0.056	1.646	3	63.139

Municipio de Cadereyta de Montes.									
Lámina Disponible mm	Año Agrícola				Año Ganadero			Año Calendario	
	Decil	Maíz Ton/Ha	Maíz-frijol Ton/Ha	Frijol Ton/Ha	Decil	Ovino Ton/cab	Caprino Ton/cab	Decil	Área Incendiada Ha
568.4	6	0.375	0.496	0.404	5	0.016	0.014	5	5.309
442.0	3	0.178	0.105	0.142	3	0.015	0.012	3	14.084
467.7	4	0.228	0.176	0.202	3	0.015	0.013	3	14.084
325.2	1	0.108	0.037	0.071	1	0.014	0.011	1	37.360
383.8	3	0.178	0.105	0.202	2	0.015	0.012	3	14.084

Municipio de Colón										
Lámina Disponible mm	Año Agrícola				Año Ganadero				Año Calendario	
	Decil	Maíz Ton/Ha	Maíz-Frijol Ton/Ha	Frijol Ton/Ha	Decil	Bovino Ton/cab	Caprino Ton/cab	Ovino Ton/cab	Decil	No. Incendios
481.8	5	0.393	0.351	0.359	5	0.242	0.016	0.021	5	1.287
405.9	3	0.308	0.268	0.277	3	0.227	0.014	0.020	3	1.683
400.7	3	0.308	0.268	0.277	3	0.227	0.014	0.020	3	1.683
337.9	2	0.241	0.198	0.226	1	0.212	0.012	0.016	2	1.997
383.8	3	0.308	0.268	0.277	2	0.220	0.013	0.018	3	1.683

Municipio de Corregidora							
Lámina Disponible mm	Año Agrícola				Año Ganadero		
	Decil	Maíz Ton/Ha	Maíz-Frijol Ton/Ha	Trigo Ton/Ha	Decil	Bovino Ton/cab	
611.4	5	0.860	0.620	1.310	5	0.237	
516.9	3	0.635	0.371	0.647	3	0.225	
514.9	3	0.635	0.371	0.647	3	0.225	
435.3	1	0.150	0.122	0.107	1	0.199	
489.5	2	0.456	0.246	0.362	2	0.215	

Municipio de Ezequiel Montes						
Lámina Disponible mm	Año Agrícola		Año Ganadero			
	Decil	Maíz-Frijol Ton/Ha	Decil	Bovino Ton/cab	Porcino Ton/cab	
463.7	5	0.370	5	0.231	0.079	
388.3	3	0.201	2	0.220	0.070	
388.5	3	0.201	2	0.220	0.070	
318.8	2	0.117	1	0.217	0.067	
368.3	3	0.201	2	0.220	0.070	

Municipio de Huimilpan						
Lámina Disponible mm	Año Agrícola				Año Calendario	
	Decil	Maíz Ton/Ha	Maíz-Frijol Ton/Ha	Frijol Ton/Ha	Decil	Número de Incendios
635.9	5	1.259	0.661	0.476	5	2.317
521.2	3	0.670	0.404	0.249	3	3.079
516.2	3	0.670	0.404	0.249	3	3.079
420.1	1	0.082	0.147	0.021	2	3.684
490.4	2	0.376	0.275	0.135	3	3.079

Municipio de Jalpan de Serra							
Lámina Disponible mm	Año Agrícola			Año Ganadero		Año Calendario	
	Decil	Maíz Ton/Ha	Maíz-Frijol Ton/Ha	Decil	Caprino Ton/cab	Decil	No. De Incendios
1185.2	5	0.801	0.773	4	0.019	5	2.291
950.2	3	0.603	0.648	2	0.018	3	4.806
903.6	3	0.603	0.648	1	0.017	3	4.806
771.4	2	0.446	0.594	1	0.017	2	6.692
863.9	3	0.603	0.648	1	0.017	3	4.806

Municipio de Landa de Matamoros							
Lámina Disponible mm	Año Agrícola			Año Ganadero		Año Calendario	
	Decil	Maíz Ton/Ha	Maíz-Frijol Ton/Ha	Decil	Ovino Ton/cab	Decil	No. De Incendios
1073.9	4	0.798	0.963	3	0.018	3	1.364
809.6	2	0.703	0.807	2	0.017	2	1.746
734.3	2	0.703	0.807	1	0.017	2	1.746
633.4	1	0.660	0.652	1	0.017	1	2.236
708.4	2	0.703	0.807	1	0.017	1	2.236

Municipio de El Marqués		
Lámina Disponible mm	Año Agrícola	
	Decil	Maíz Ton/Ha
530.8	5	0.816
451.9	4	0.244
441.1	3	0.244
384.4	2	0.094
424.8	3	0.244

Municipio de Pedro Escobedo		
Lámina Disponible mm	Año Agrícola	
	Decil	Maíz Ton/Ha
579.6	5	1.299
483.1	3	0.970
469.6	3	0.970
401.7	1	0.724
450.9	2	0.838

Municipio de Peñamiller		
Lámina Disponible mm	Año Agrícola	
	Decil	Maíz-Frijol Ton/Ha
458.3	5	0.435
380.2	3	0.106
366.8	3	0.106
316.3	2	0.035
351.4	3	0.106

Municipio de Querétaro											
Lámina Disp. mm	Año Agrícola				Año Ganadero					Año Calendario	
	Decil	Maíz Ton/Ha	Maíz-Frijol Ton/Ha	Frijol Ton/Ha	Decil	Bovino Ton/Cab	Caprino Ton/Cab	Ovino Ton/Cab	Porcino Ton/Cab	Decil	No. De Incendios
549.8	5	0.972	0.640	0.450	6	0.242	0.017	0.021	0.083	4	3.024
465.9	3	0.493	0.323	0.110	3	0.231	0.015	0.016	0.076	3	3.572
454.4	3	0.493	0.323	0.110	3	0.231	0.015	0.016	0.076	2	4.220
396.3	1	0.014	0.006	0.005	1	0.213	0.011	0.010	0.065	1	4.986
437.5	2	0.253	0.164	0.036	2	0.224	0.013	0.014	0.072	2	4.220

Municipio de San Joaquín		
Lámina Disponible mm	Año Agrícola	
	Decil	Maíz Ton/Ha
853.1	5	0.514
653.4	3	0.417
607.5	2	0.375
510.8	2	0.375
581.1	2	0.375

Municipio de San Juan del Río					
Lámina Disponible mm	Año Agrícola		Año Ganadero		
	Decil	Frijol Ton/Ha	Decil	Bovino Ton/cab	Porcino Ton/cab
624.9	3	0.394	3	0.223	0.078
524.2	2	0.327	2	0.218	0.071
517.9	2	0.327	2	0.218	0.071
444.1	1	0.249	1	0.212	0.065
490.8	1	0.249	1	0.212	0.065

Municipio de Tequisquiapan								
Lámina disponible mm	Año Agrícola				Año Ganadero		Año calendario	
	Decil	Maíz Ton/Ha	Maíz-Frijol Ton/Ha	Frijol	Decil	Bovino Ton/cab	Decil	No. De Incendios
484.7	5	0.757	0.430	0.504	5	0.217	5	7.698
406.4	3	0.392	0.198	0.206	3	0.200	3	9.361
404.7	3	0.392	0.198	0.206	3	0.200	3	9.361
334.0	2	0.277	0.107	0.132	1	0.185	1	14.257
385.3	3	0.392	0.198	0.206	2	0.193	3	9.361

Municipio de Tolimán						
Lámina Disponible mm	Año Agrícola				Año Calendario	
	Decil	Maíz Ton/Ha	Maíz-Frijol Ton/Ha	Frijol Ton/Ha	Decil	Hectáreas Incendiadas
445.5	4	0.776	0.717	0.960	4	9.337
371.6	3	0.668	0.615	0.928	2	22.274
357.4	2	0.542	0.509	0.882	2	22.274
313.0	1	0.399	0.399	0.804	1	34.403
342.5	2	0.542	0.509	0.882	2	22.274

Con estas tablas se conoce el rendimiento esperado para las diferentes láminas disponibles.

#### 4.6 Análisis de Aridez por el método de la CONAGUA.

Como se menciona en el capítulo 3, este método solo hace uso de la precipitación media anual por lo que lo hace el método más sencillo. No se usó otro método por la falta de datos que requieren los modelos. En este método solo se aprecian dos tipos de clima, el semiárido y semihúmedo, a diferencia del mapa del capítulo uno en el que aparecen tres tipos de clima según INEGI.

De la Tabla 4. 24 se toman los valores de la precipitación media como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4. 37 Precipitación Media Anual por municipio.**

Municipio	Precipitación Media Anual	Municipio	Precipitación Media Anual	Municipio	Precipitación Media Anual
Amealco de Bonfil	819.7	Ezequiel Montes	463.7	Peñamiller	458.3
Amoles del Pinal	778.2	Huimilpan	635.9	Querétaro	549.8
Arroyo Seco	678.9	Jalpan de Serra	1185.2	San Joaquín	853.1
Cadereyta de Montes	568.4	Landa de Matamoros	1073.9	San Juan del Río	624.9
Colón	481.8	El Marqués	530.8	Tequisquiapan	484.7
Corregidora	611.4	Pedro Escobedo	579.6	Tolimán	445.5

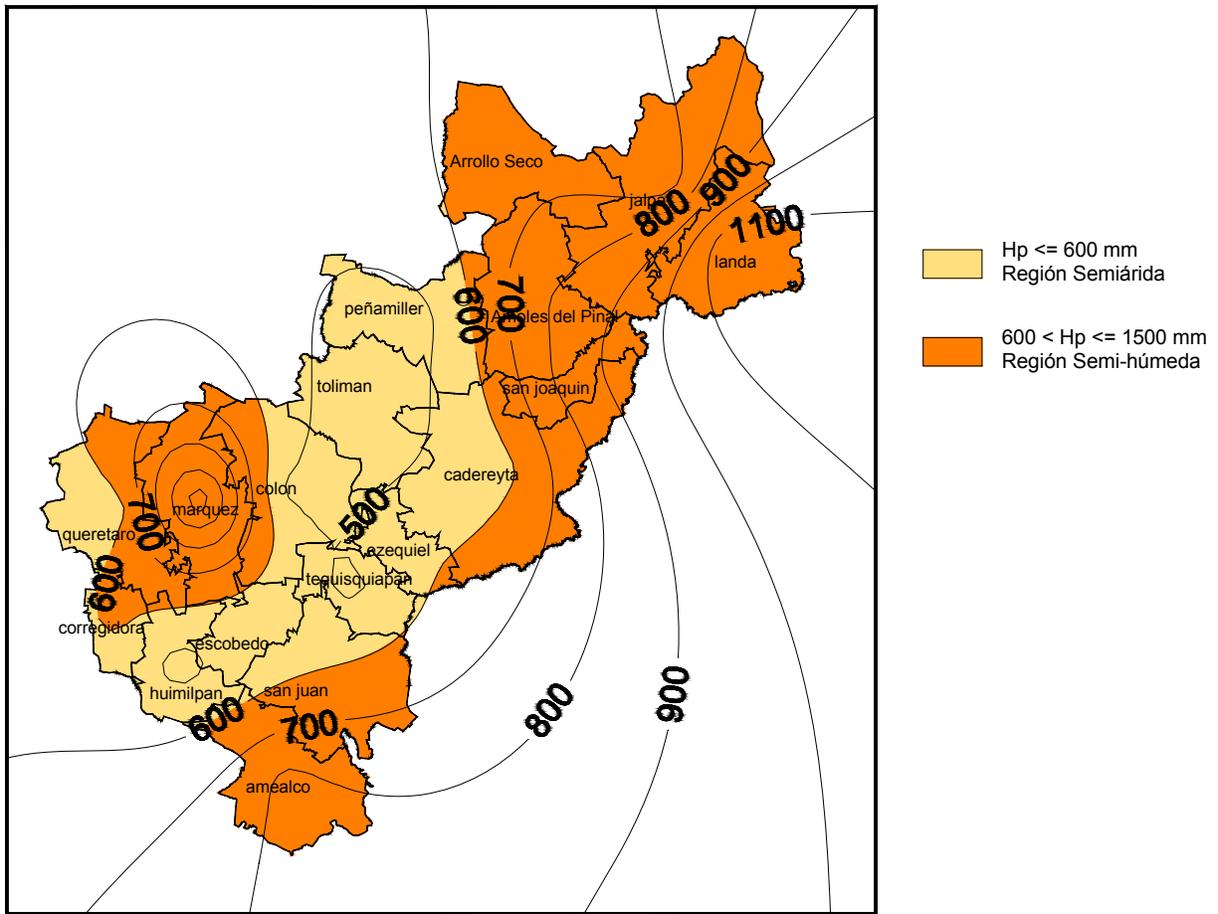


Figura 4. 27 Plano de Lluvias Medias Anuales en mm e Identificación de Regiones de Aridez



## Conclusiones.

En este trabajo, se consideró que la precipitación impacta directamente a los rendimientos del sector agropecuario, y no se consideraron otros aspectos por falta de información como puede ser el tipo de suelo, si se utiliza o no semilla mejorada, técnicas de labrado, la raza del ganado, etc. En el caso de la agricultura, solo se tomaron los datos del cultivo por temporal.

La precipitación media anual a nivel Estatal es de 656.9 mm (media Aritmética) siendo Tolimán el Municipio con la precipitación más baja de 445.5 mm lo cual representa el 67.81% con respecto a la media anual estatal y el Municipio de Jalpan de Serra con la precipitación más alta de 1185.2 mm lo cual representa un incremento del 80% respecto a la precipitación media anual estatal. Doce de los dieciocho Municipios que conforman el Estado presentan una precipitación media anual por debajo de la media Estatal.

La población económicamente activa en el sector agropecuario representa el 26.85 % del total del estado, sin embargo en los municipios de Arroyo Seco, Amoles del Pinal y Landa de Matamoros el porcentaje es de casi el 50% en comparación con el municipio de Querétaro con el 0.5%. El producto interno bruto en este sector es del 3.8% estatal.

Para cuestiones de mitigación es importante conocer los valores promedios tanto de la serie registrada como a largo plazo, ya que en base a estos datos se toman todas las medidas necesarias para minimizar los daños.

La lámina promedio disponible en déficit a nivel estatal de acuerdo con la serie registrada es de 537.5 mm lo cual representa el 81.6% de la precipitación media anual estatal, variando de 372.3 mm para el municipio de Tolimán y 934.4 mm en el municipio de Jalpan de Serra. Si se comparan los valores de la producción en el ganado bovino, caprino, porcino y en el maíz a nivel municipal con precios del 2005 se tiene una pérdida de 29 millones de pesos en el ganado bovino, 29 millones de pesos para el ganado porcino, 500 mil pesos en el ganado caprino y 37 millones de pesos para el maíz.

La lámina promedio disponible a largo plazo en déficit a nivel estatal, de acuerdo con el análisis de las series sintéticas es de 536.0 mm, la cual es similar a la registrada, así mismo los intervalos el valor mínimo se presenta en el municipio de Tolimán con 371.6 mm y el máximo en el municipio de Jalpan de Serra con 950.2 mm.

Para los datos extremos o máximos se tienen varias situaciones, ya que se presentan los datos máximos para la duración, la severidad o la intensidad y estos a su vez, presentan diferentes láminas disponibles.

La serie registrada presenta los siguientes valores extremos en déficit (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**):

La severidad máxima estatal es de 1193.8 mm lo que representa una lámina de 504.5 mm que equivale al 76.8% de la lluvia media anual, variando de 4957.9 mm en el municipio de San Joaquín a 336.9 mm en el municipio de Ezequiel Montes.

La duración máxima estatal es de 6.7 años, variando los intervalos a nivel municipal en el municipio de San Joaquín con 21 años, y de 3 años en el municipio de Amealco de Bonfil.

La intensidad máxima en el estado es de 202.4 mm/año, con intervalo de 603.7 mm/año en el municipio de Landa de Matamoros y de 98.8 mm/año en el municipio de Colón.

Los valores extremos en déficit a largo plazo, de acuerdo con el análisis de series sintéticas son:

A nivel estatal, la severidad máxima es de 910.9 mm, presentando el mayor valor en el municipio de Landa de Matamoros con 2993.4 mm lo cual genera una lámina disponible de 708.4 mm que es el 66% de la lamina media anual para ese municipio. Su duración es de 8.3 años. Esta lámina disponible cae en el segundo decil para el año agrícola, en el primer decil para el año ganadero y calendario.

En el estado de Querétaro se presenta una intensidad máxima de 159.9 mm/año, la máxima municipal se presenta en el municipio de Landa de Matamoros con una intensidad de 365.5 mm/año la cual tiene asociada una duración de 8.29 años y una lámina disponible de 708.4 mm.

Se observa que a largo plazo el municipio de Landa de Matamoros presenta las condiciones más desfavorables.



---

---

## Bibliografía.

1. Periódico La Jornada, 3 de mayo del 2006, disponible en <http://www.jornada.unam.mx/2006/05/03/045n3est.php>
  2. SEDESOL, Nota informativa no. 75, 19 de Abril de 2005, disponible en [http://www.sedesol.gob.mx/delegaciones/queretaro/doc/s\\_inf\\_75.htm](http://www.sedesol.gob.mx/delegaciones/queretaro/doc/s_inf_75.htm)
  3. SAGARPA, Nota informativa de Noviembre, 9 de noviembre de 2005, disponible en:  
[http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/queretaro/comunicacion/notas/noviembre2005/noviembre\\_9.htm](http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/queretaro/comunicacion/notas/noviembre2005/noviembre_9.htm)
  4. TRANINV, proyección de coordenadas, INEGI, Programa disponible en <http://antares.inegi.gob.mx/traninv/>
  5. SEGOB, Enciclopedia de los Municipios, Querétaro, México, Disponible en <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/queretaro/>
  6. CENAPRED (2002), *Sequías*, Serie Fascículos, México D. F., México. 40 pp.
  7. Escalante C. y Reyes L. (2005), *Técnicas Estadísticas en Hidrología*, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F., 298 pp.
  8. Escalante C. y Reyes L. (2004), *Análisis de Sequías, Volumen I*, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F., 472 pp.
  9. Spiegel M. (1995, 2º edición), *Estadística*, Serie Schaum, Mc. Graw Hill, México D. F., 555 pp.
  10. Collado J. (1988), *Estimación óptima de la precipitación media con el Método de Kriging*, Ingeniería Hidráulica en México, México, 34-45 pp.
  11. Dracup J. et al. (1980), *On the Definition of Droughts*, Water Resources Research, vol. 16, No. 12, 297-302 pp.
  12. Dracup J. et al (1980), *On the Statistical Characteristics of Drought Events*, Water Resources Research, vol. 16, No. 12, 289-296 pp.
  13. Mohan S., and Rangacharya C. (1991), *A Modified method for Drought Identification*, Journal Hydrological Sciences, vol. 36, No. 1, 11-21 pp.
  14. INEGI, *Anuarios Estadísticos del Estado de Querétaro*, Ediciones 1991 a 2003, INEGI, México.
- 
-