



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

Estudio de la ocurrencia de lluvia en Cuautitlán
Izcalli, México

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÍCOLA

P R E S E N T A:

SAORI FIGUEROA OCHOA

ASESOR: Dr. GUSTAVO MERCADO MANCERA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**



ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

ATN: DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis.**

Estudio de la ocurrencia de lluvia en Cuautitlán Izcalli, México.

Que presenta la pasante: **Saori Figueroa Ochoa.**
Con número de cuenta: **417052810** para obtener el título de: **Ingeniera Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 22 de agosto de 2023.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en C. Vicente Silva Carrillo	
VOCAL	Dr. Gustavo Mercado Mancera	
SECRETARIO	Dr. Julio Cesar Corzo Sosa	
1er. SUPLENTE	Dra. Gloria Herrera Vázquez	
2do. SUPLENTE	M. en C. Nancy Berenice Martínez Valles	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

MCVB/ntm*

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a mis padres: *Verónica Ochoa Jiménez* y *Juan José Figueroa González*, por su gran apoyo que me han brindado toda la vida, por su gran amor y creer en mí en todo momento, por su motivación y comprensión. Porque han sido un gran ejemplo para seguir y les agradezco por estar siempre para mí.

A mi hija: *Catherine Yunuen Espinoza Figueroa*, porque este trabajo también es tuyo hija mía; por ser el motor de cada día para lograr culminar esta meta, y por ser esa fuente de inspiración; gracias por no soltarte nunca de mi mano y seguir caminando a mi lado.

A mis hermanos: *Karen Figueroa Ochoa* y *José Fernando Figueroa Ochoa* por todo su amor y cariño, por estar en los buenos y no tan buenos momentos, y porque a pesar de que cada uno tiene caminos diferentes, sé que siempre contaré con ustedes.

A mi sobrina: *Isís Jazel Mondragón Figueroa* por su cariño único y especial, por acompañarme largas madrugadas haciéndome compañía cuando debía presentar proyectos y tareas. Por tus buenos consejos que siempre recibí y por alentarme a seguir dando lo mejor de mí.

A mi asesor: *Dr. Gustavo Mercado Mancera* por haberme brindado la oportunidad y confianza de poder realizar este proyecto a su lado. Por todo el conocimiento, paciencia y apoyo recibido y por ser un gran asesor desde el principio hasta el final.

A: *Ingeniería Agrícola* por todo lo aprendido, porque gracias a ella conocí personas maravillosas que hoy en día forman parte importante de mi vida. Por enseñarme que eres una carrera muy noble en todos los sentidos, bonita, respetuosa y que no cualquiera se atreve a desafiar. Sigue sembrando semillas de conciencia para cosechar nuevas sociedades.

A: *mís amigos* que siempre estuvieron haciéndome este viaje más ameno, con los que puedo decir que viví las experiencias más geniales y maravillosas. Por siempre estar conmigo y por regalarme las mejores sonrisas y bonitos momentos que jamás voy a olvidar.

Y a: mi *Alma Mater*, por ser mi mentora, por enseñarme mucho no solo académicamente durante mi estancia. Por enseñarme a superarme y a seguir luchando por mis sueños, ya que hoy puedo decir que en realidad sí se cumplen. ¡Gracias por todo mi bonita Universidad!

DEDICATORIA

A mi hija Catherine Yunuen, a mis padres Verónica Ochoa Jiménez y Juan José Figueroa González, hoy puedo decir que todo el esfuerzo valió la pena, aunque el camino no fue fácil hoy culminamos un logro más.

Por ese apoyo y confianza, por todo su amor, consejos y dedicación hacia mí. Toda la vida estaré eternamente agradecida por haberme regalado esta oportunidad de superarme. De seguir creciendo como persona y por alentarme a seguir adelante.

Por lo que fue, por lo que viene y por lo que será. Con todo mi amor para ustedes.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>i</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>ii</i>
RESUMEN	<i>iii</i>
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	2
1.1.1. Objetivos particulares	2
II. ANTECEDENTES	3
2.1. Definición de precipitación	3
2.1.1. Tipos de precipitación	4
2.1.2. Instrumentos para medir la lluvia	6
2.2. Importancia del estudio de la probabilidad de ocurrencia de lluvia	8
2.2.1. Métodos de cálculo de probabilidad de ocurrencia de lluvia	9
2.2.1.1. Método de Distribución acumulada	9
2.2.1.2. Método de Distribución normal	10
2.3. Importancia de la precipitación en la agricultura	11
2.4. Localización geográfica del área de estudio	14
2.5. Descripción edafoclimática del área de estudio	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. Metodología	16
3.1.1. Variables evaluadas	16

	Página
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1. Tendencia de la lluvia, promedio mensual y anual	17
4.2. Probabilidad de ocurrencia de lluvia	22
4.3. Anomalías de la precipitación en el área de estudio	26
V. CONCLUSIONES	30
VI. LITERATURA CITADA	31
ANEXOS	36

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Precipitaciones convectivas (Ciencias Sociales La Vera, 2016).	5
Figura 2. Precipitaciones orográficas (Moreno, 2015).	5
Figura 3. Precipitaciones ciclónicas (Masmarr, 2013).	6
Figura 4. Pluviómetro (Carrero, 2008).	7
Figura 5. Pluviógrafo (Archivo personal).	8
Figura 6. Ubicación del municipio de Cuautitlán Izcalli. México (Gobierno del Estado de México, 2021).	14
Figura 7. Vista de la estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM (Archivo personal).	15
Figura 8. Precipitación promedio mensual (mm) de julio de 1987 a diciembre de 2022, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.	17
Figura 9. Precipitación total anual (mm) de 1987 a 2022, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.	18
Figura 10. Días con precipitación apreciable e inapreciable, promedio mensual de 1987 a 2022, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.	20
Figura 11. Días con precipitación apreciable e inapreciable, promedio anual de 1987 a 2022, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.	20
Figura 12. Probabilidad de ocurrencia de lluvia anual al 70% de ocurrencia, por el método de Distribución acumulada, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.	22
Figura 13. Probabilidad de ocurrencia de lluvia anual al 70% de ocurrencia, por el método de Distribución normal, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.	23
Figura 14. Precipitación mensual al 70 % de ocurrencia, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.	25
Figura 15. Precipitación anual vs anomalía anual, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.	27
Figura 16. Precipitación (mm) mensual normal y del año 2023 vs anomalía mensual del 2023, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.	29

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Precipitación promedio mensual, y precipitación mensual al 70% de probabilidad de ocurrencia, 1987 a 2022 estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.	24
Tabla 2. Precipitación anual vs anomalía anual de la precipitación de 1988-2022, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.	26
Tabla 3. Precipitación (mm) mensual normal, del año 2023 y la anomalía mensual de enero a julio del 2023, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.	28

RESUMEN

La precipitación es uno de los elementos del clima que mayor influencia ejercen en el rendimiento de los cultivos agrícolas, y el estudio de su probabilidad de ocurrencia permite planificar las actividades en campo en la búsqueda de obtener mejores rendimientos. El objetivo de este trabajo fue analizar la tendencia de la ocurrencia de lluvia, en el área de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Se emplearon los datos de julio de 1987 a diciembre de 2022, de la estación meteorológica de la FES Cuautitlán. Se calcularon las tendencias de la lluvia promedio mensual y total anual, la probabilidad de ocurrencia con los métodos de Distribución acumulada y Distribución normal, así como, las anomalías presentes de forma anual y en el año 2023. Los resultados mostraron que en el mes de julio ocurre la mayor precipitación con 127.1 mm, mientras que diciembre es el mes más seco con 5.1 mm. Durante el mes de mayo comienzan las lluvias y en junio es cuando se establece el temporal, época en que inicia el ciclo agrícola primavera-verano. La precipitación promedio anual es de 649.8 mm, sin embargo, esta varía de un año a otro; además se presentaron años secos como en el año de 1988 cuando se registró el valor más bajo con 347.1 mm, mientras que hubo otros húmedos, como fue en el año de 2015 cuando se registró el valor más alto con 1,066.1 mm. Mientras que los datos promedio anual de los días con precipitación apreciable e inapreciable, el total anual es de 110 y 17 días con lluvia, respectivamente. La precipitación ha presentado anomalías negativas y positivas, que están relacionadas con la presencia o ausencia de fenómenos globales, como es el fenómeno de El Niño y La Niña, y durante el año 2023 se ha presentado una anomalía negativa en la ocurrencia de lluvias. El éxito de la producción agrícola tiene una fuerte dependencia de las condiciones de los recursos agua y suelo, así como de las tendencias de las variables climáticas, por lo cual el análisis permanente de la información climática es fundamental para mitigar los efectos que la ausencia o exceso de lluvia puede generar en los sistemas agrícolas.

I. INTRODUCCIÓN

México es un país tradicionalmente agrícola que cuenta potencialmente con 30 millones de hectáreas con esta vocación, que constituye 15% del territorio nacional (INEGI, 2009). Anualmente se cultivan en promedio, cerca de 20 millones de hectáreas que representa un promedio de 70% de la superficie agrícola potencial, con un rango de variación anual de 60% a 85% de esta. La mayor parte de la agricultura se practica bajo condiciones de temporal, totalizando 75% la superficie anualmente establecida (Íñiguez *et al.*, 2014).

Lluvia es la precipitación de partículas líquidas de agua, mayores a 0.5 mm de diámetro o de gotas menores pero muy dispersas, que se presenta como un fenómeno hidrometeorológico, que se genera en la atmósfera a partir de la condensación del vapor de agua contenido en las nubes.

El agua de lluvia cae en forma irregular tanto en cantidad como en tiempo y espacio para formar ríos, mediante las escorrentías provenientes de las montañas que delimitan una cuenca hidrológica; alimentar y, en su caso, aumentar las reservas de pantanos y de embalses antes de desembocar en el mar. Otra parte se infiltrará a través del suelo para formar corrientes subterráneas que devendrán en acuíferos (IMTA, 2019).

La lluvia como componente clave del ciclo hidrológico, varía su comportamiento dependiendo de la localización y del tiempo, su variabilidad en la escala de años a días e incluso en la escala regional puede ser irregular y muy alta (Terán, 2010).

Las alteraciones en el régimen de lluvias son importantes en varios sectores del país, en especial en la agricultura, ya que su uso y manejo se ven afectados por la variabilidad interanual.

La identificación de tendencias en el patrón de lluvias requiere de contar con información relacionada con la climatología diaria, mensual y anual de la lluvia, dado que constituyen elementos básicos para la planeación de desarrollo y en el diseño de estrategias de adaptación (Méndez *et al.*, 2008).

En el presente trabajo se plantearon los objetivos siguientes:

1.1. Objetivo general

- Analizar la tendencia de la ocurrencia de lluvia, en el área de Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

1.1.1. Objetivos particulares

- Determinar la probabilidad de ocurrencia de lluvia, en el área de influencia de la estación meteorológica Almaraz, con datos climáticos de julio de 1987 a diciembre de 2022, en Cuautitlán Izcalli, Estado de México.
- Comparar los resultados de dos métodos del cálculo de probabilidad de ocurrencia de lluvia.
- Estudiar las anomalías de la precipitación anual presentes durante el periodo de estudio.
- Razonar el impacto de la presencia y/o ausencia de lluvia en las actividades agrícolas.

1.2. Hipótesis

- La precipitación presenta una irregularidad de un año a otro, lo cual representa un riesgo muy alto en la agricultura.

II. ANTECEDENTES

2.1. Definición de precipitación

Se denomina precipitación o lluvia al agua que cae en forma líquida, sólida, o líquida y sólida desde las nubes hasta la superficie de la tierra. También se denomina precipitación a la caída del agua en estado líquido y/o sólido que alcanza la superficie, provenientes de las nubes que están formadas de pequeñas gotas de agua y cristales de hielo que se han formado sobre los núcleos de condensación y núcleos de congelación (CONAGUA, 2010).

Debido a su calentamiento cerca de la superficie, motivado por diferencias de radiación, las masas de aire ascienden hasta alturas de enfriamiento suficientes para llegar a la saturación. Pero esto no conlleva precipitación. Suponiendo que el aire está saturado, o casi saturado, para que se forme neblina o gotas de agua o cristales de hielo, se requiere la presencia de núcleos de condensación (en los dos primeros casos) o de congelamiento (en el tercero). Los núcleos de condensación son productos de la combustión, óxidos de nitrógeno y minúsculas partículas de sal; los núcleos de congelamiento consisten en minerales arcillosos, siendo el caolín el más frecuente (Martínez y Garbi, 2020).

Después de la nucleación se forman finísimas gotitas con diámetro medio de aproximadamente 0.02 mm, significa que se produce un aumento del orden de un millón de veces en el volumen de las gotitas. Este enorme aumento de tamaño se produce por la unión entre sí de numerosas gotitas y esta unión se explica por:

- La atracción electrostática entre las gotitas que conforman las nubes;
- Las micro turbulencias dentro de la masa de la nube;
- El barrido de las gotitas más finas por las gotas mayores;
- La diferencia de temperaturas: las gotas más frías aumentan de tamaño a expensas de las más calientes (PUCP, 2002).

El agua que se precipita en forma de lluvia puede tomar los siguientes caminos:

- Quedar depositada en la superficie vegetal. Esto ocurre en caso de lluvias muy cortas y/o de bajo volumen de precipitación y en situaciones en que la vegetación es muy densa. El

agua se evapora desde la superficie vegetal y retorna a la atmósfera, sin haber llegado al suelo.

- Alcanzar la superficie del suelo e infiltrarse. El suelo es un medio poroso y, por lo tanto, permeable, que presenta diferentes velocidades de infiltración del agua en el perfil. Cuanto más agua se infiltra durante una lluvia, tanto mejor para su aprovechamiento, ya que los caminos que puede seguir son útiles: producción vegetal y recarga de la capa freática.
- Alcanzar la superficie del suelo y escurrir. Cuando la intensidad de la precipitación supera la velocidad de infiltración del suelo se produce la escorrentía superficial. La escorrentía puede causar erosión y es negativa porque, además de representar un volumen de agua no aprovechado, causa daños en el área y aguas abajo (crecidas, sedimentación, contaminación).
- Las características más importantes del régimen de lluvia relacionadas con el tema de aprovechamiento de agua son las siguientes:
 - Frecuencia de las lluvias y volumen.
 - Intensidad (las lluvias muy intensas tienden a perderse por escorrentía, mientras que las menos intensas tienden a infiltrarse y se aprovechan más) (FAO, 2013).

2.1.1. Tipos de precipitación

Existen varios tipos de precipitación, entre las que se tienen las siguientes (Masmar, 2013).

- Precipitaciones convectivas. La elevación convectiva del aire debido al calentamiento de éste por radiación solar produce la condensación del vapor al alcanzar zonas más frías. Este tipo de precipitación puede ir acompañada por efectos de descarga eléctrica; se suelen presentar en zonas ecuatoriales y templadas (Figura 1).

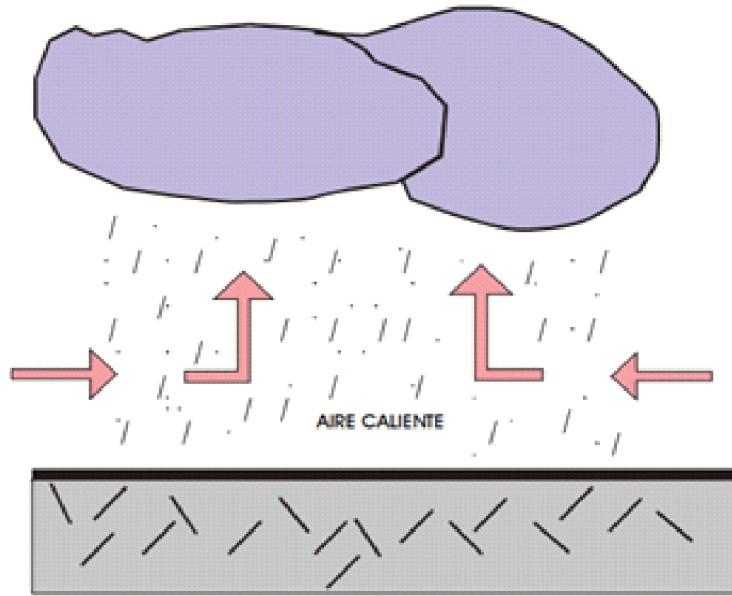


Figura 1. Precipitaciones convectivas (Ciencias Sociales La Vera, 2016).

- Precipitaciones orográficas. La elevación del aire es producida por la existencia de una cadena montañosa. Los vientos procedentes del océano y cargados con aire húmedo se encuentran con una cadena montañosa que eleva a capas más frías el aire, condensándose el vapor y constituyendo nubes y, por tanto, posibles precipitaciones (Figura 2).

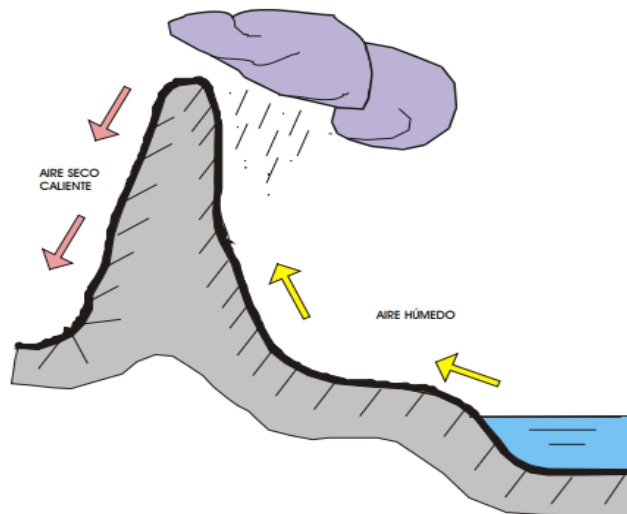


Figura 2. Precipitaciones orográficas (Moreno, 2015).

- Precipitaciones frontales. En este caso la elevación de masas de aire se produce sobre una masa de aire frío por un pasaje frontal o superficie de contacto. Las masas más húmedas y cálidas se elevan hasta zonas frías, donde se condensan y originan las precipitaciones (Figura 3). (Ordoñez, 2011).

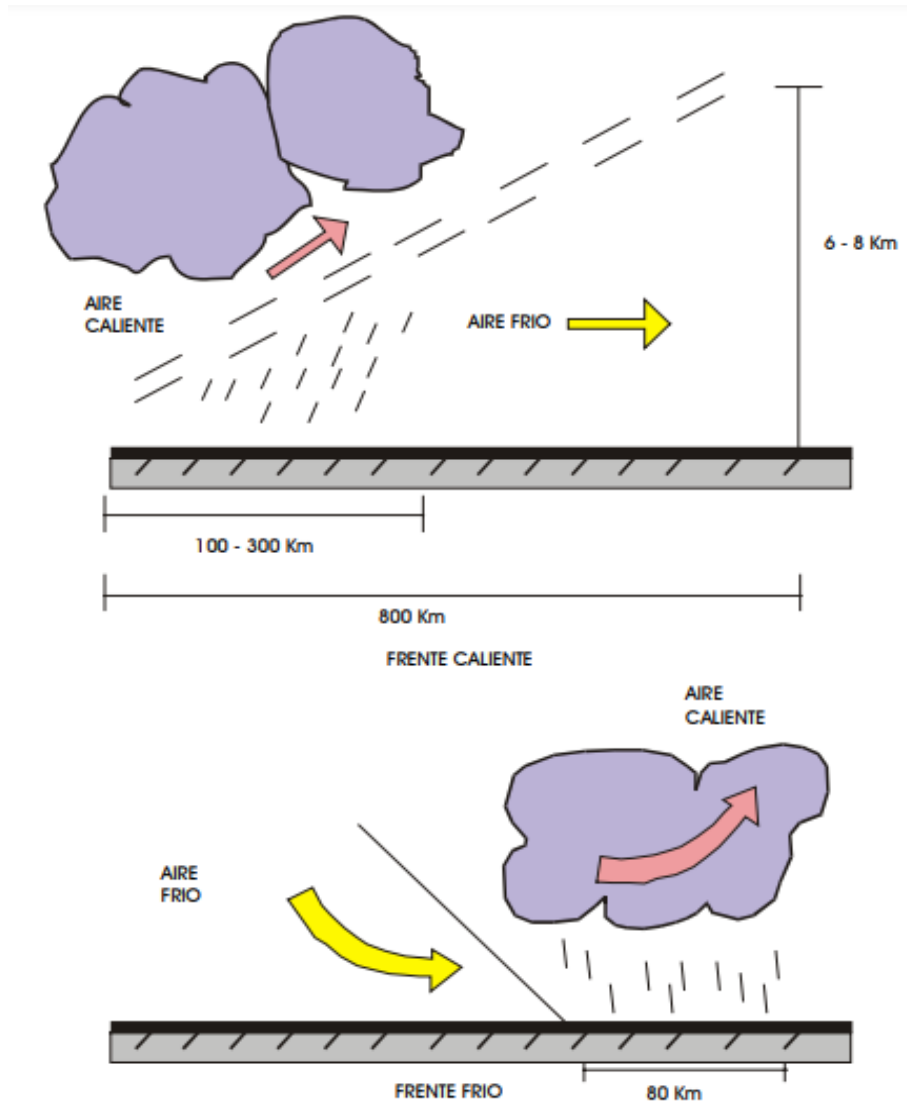


Figura 3. Precipitaciones ciclónicas (Masmarr, 2013).

2.1.2. Instrumentos para medir la lluvia

El pluviómetro sirve para medir la cantidad de lluvia caída en un intervalo de tiempo determinado. Para ello se dispone de una probeta graduada donde se efectúan las lecturas directamente en

milímetros o en litros por metro cuadrado. Está formado por un vaso cilíndrico que recoge el agua que le aporta el embudo o probeta graduada (Figura 4).



Figura 4. Pluviómetro (Carrero, 2008).

El pluviógrafo es un aparato que permite registrar la precipitación. Proporciona información acerca del inicio, duración e intensidad de la lluvia. Existen distintos tipos de pluviógrafos, siendo el más corriente el de sifón (Carrero, 2008). En este, el agua recogida pasa a un depósito con una boya. El movimiento ascendente de la boya al llenarse es transmitido a una plumilla que va dejando el registro en una banda. La pendiente de la gráfica en su subida indica la intensidad de la lluvia. El pluviógrafo es un equipo sumamente interesante pues aparte de registrar el total de precipitación, indica su intensidad (Figura 5).



Figura 5. Pluviógrafo (Archivo personal).

2.2. Importancia del estudio de la probabilidad de ocurrencia de lluvia

El cálculo de probabilidades de lluvia tiene diferentes aplicaciones, entre las que se pueden mencionar las siguientes: estimación de fechas de siembra, basadas en una cantidad mínima de lluvia que asegure la germinación y establecimiento del cultivo; cálculo de la cantidad mínima de lluvia que podría recibirse durante la etapa de desarrollo más crítica de un cultivo (etapa reproductiva); para estimar la mejor fecha de cosecha de un cultivo en zonas lluviosas; para estimar el éxito de una práctica de producción (dosis de fertilización, tipo de labranza, etc.); estudiar la relación entre la cantidad de lluvia y rendimiento, con fines de predecir el rendimiento con anticipación a la cosecha; puede utilizarse el dato de precipitación para calcular índices de sequía y/o exceso de humedad ya sea en forma individual o bien, en combinación con factores de suelo y planta (Mercado *et al.*, 2014).

El estudio de las precipitaciones es de vital importancia en la evaluación y predicción de la amenaza natural, ya que es uno de los principales factores desencadenantes de procesos de erosión, desbordamiento e inundaciones que afectan. Para ello, es necesaria información sobre la magnitud

de las precipitaciones ocurridas en el pasado y sobre los fenómenos meteorológicos que las producen (SNET, 2001).

En los problemas de drenaje de las zonas húmedas, la lluvia constituye el factor climático principal que, unido a las condiciones de suelo y topografía, provocan el encharcamiento de los terrenos agrícolas y, en muchos casos, la pérdida de las cosechas. El análisis de la lluvia es de vital importancia para el diseño de los sistemas de drenaje (Coras *et al.*, 2005)

2.2.1. Métodos de cálculo de probabilidad de ocurrencia de lluvia

Con el conjunto adecuado de herramientas y ecuaciones matemáticas se puede calcular la probabilidad de precipitaciones (Cantrell, 2018). A continuación, se describen las dos metodologías empleadas en este trabajo.

2.2.1.1. Método de Distribución acumulada

La función de distribución acumulativa, función de distribución acumulada, o simplemente función de distribución de una variable aleatoria (discreta o continua) X se define como: $F(x) = P(X \leq x)$.

De manera más explícita:

- Caso discreto: $F(x) = P(X \leq x) = \sum_{t \leq x} f(t)$, para $-\infty < x < \infty$,

Donde $f(x)$ es la función de probabilidad de la variable aleatoria discreta X .

La suma toma todos los valores $t \in RX$ que satisfacen la relación $t \leq x$.

Dada una variable discreta X , se define su función de distribución acumulada como:

El dominio de esta función es todo el conjunto de los números reales y hace corresponder a toda la probabilidad de que la variable aleatoria tome un valor menor o igual que x .

Una variable discreta, también, queda caracterizada por su función de distribución (Bilbao, 2002).

- Caso continuo: $F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t)dt$, para $-\infty < x < \infty$,

Donde $f(x)$ es la función de densidad de la variable aleatoria continua X (Ceballos, 2019).

2.2.1.2. Método de Distribución normal

La distribución normal, también conocida como distribución de Gauss, es la distribución estadística más utilizada debido a los muchos procesos físicos, biológicos y sociales que puede modelar. La distribución normal es simétrica, la media, moda y mediana coinciden, y es descrita completamente por sus dos parámetros mu (μ) y sigma (σ) (Dagnino, 2014).

La distribución normal es una distribución de variable continua que queda especificada por dos parámetros de los que depende su función de densidad y que resultan ser la media y la desviación típica de la distribución. Su estudio teórico suele introducirse directamente a partir de su función de densidad (Contento, 2019).

Algunas de las características más representativas de la distribución normal son las siguientes:

- A la distribución normal le corresponde un media cero y una desviación típica o estándar de 1. La desviación típica o estándar indica la separación que existe entre un valor cualquiera de la muestra y la media.
- En una distribución normal, se puede determinar con exactitud qué porcentaje de los valores estará dentro de cualquier rango específico (Martínez y Marí, 2010).

Propiedades de la distribución normal:

- Tiene una única moda, que coincide con su media y su mediana.
- La curva normal es asintótica al eje de abscisas. Por ello, cualquier valor entre $-\infty$ y ∞ es teóricamente posible. El área total bajo la curva es, por tanto, igual a 1.
- Es simétrica con respecto a su media μ . Según esto, para este tipo de variables existe una probabilidad de un 50% de observar un dato mayor que la media, y un 50% de observar un dato menor (Brunett, 2019).

Una variable aleatoria continua X tiene distribución normal si para dos números reales μ y σ , con $\sigma > 0$, su función de densidad puede expresarse como

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty \text{ (Ceballos, 2019).}$$

2.3. Importancia de la precipitación en la agricultura

Se considera que la precipitación pluvial es la fuente más importante que abastece el agua subterránea en el mundo, de hecho, el aporte hídrico que se determina a partir de datos generados en estaciones climatológicas es el de la precipitación pluvial o directa, determinada comúnmente en el pluviómetro o en el pluviógrafo. Este aporte hídrico vía precipitación pluvial en algunas regiones del mundo es la única fuente de agua que existe (Barradas, 2000).

En México, la precipitación pluvial, generalmente se recibe en 85% de la superficie agrícola nacional de mayo a octubre, la cual se aprovecha para el desarrollo de los cultivos de temporal. Por muchos años la estacionalidad de las lluvias en la mayor parte del territorio nacional eran casi constantes, se presentaban en la época veraniega o caliente. Sin embargo, actualmente el agricultor está esperanzado que el ciclo de lluvias sea normal, pero no en todos los años se presentan en la época que tradicionalmente lo hacían y menos aún con la distribución adecuada. Así que, la presencia de precipitaciones tempranas, tardías e interrupción en esta época, pueden afectar gravemente el desarrollo de los cultivos (Granados y Longar, 2008). Además, las superficies cultivadas enfrentan problemas extremos de cambios paulatinos de este elemento climático, que van desde fluctuaciones en la presencia de éstas (tempranas o tardías), inundaciones o sequías prolongadas que se traducen en decrementos en la producción (Granados *et al.*, 2017).

La agricultura mexicana tendrá que adaptarse a una tendencia predominante de mayor temperatura y menos lluvia. De aquí que los sistemas de producción agrícola deberán tomar en cuenta este aspecto para modificar la tecnología con la que se producen los cultivos. Dependiendo de la magnitud de estos cambios climáticos en las diferentes regiones, las opciones que el agricultor tendrá para adaptarse son: a) cambiar el patrón de cultivos, cuando el cultivo en uso ya no sea una opción productiva y rentable; b) cambiar el genotipo o variedad de siembra, cuando ésta ya no resulte adecuada a las nuevas condiciones climáticas; y c) adoptar prácticas de manejo tendientes a ahorrar agua y a conservar o mejorar el microclima o clima local de la parcela de producción, enfocar los esfuerzos a la generación de variedades con un mayor grado de tolerancia a altas temperaturas y condiciones de humedad más deficiente que las actuales en los campos de cultivo (Ruiz, 2012).

Para la subsistencia del sector agrícola, que se enfrenta a crecientes riesgos climáticos, es fundamental la información oportuna y precisa sobre el tiempo atmosférico y el agua. Las

observaciones, las predicciones y los análisis realizados en investigaciones permiten a las comunidades agrícolas aumentar la producción pecuaria y el rendimiento de cultivos, planificar las temporadas de siembra y cosecha, y reducir las plagas o enfermedades (Olivares, 2018).

Además, desarrollándose el período vegetativo de los cultivos agrícolas a la intemperie, es natural que las condiciones meteorológicas tengan que afectarlos de forma sensible. Entre los elementos del clima que mayor influencia ejercen en el rendimiento agrícola es la lluvia (García, 1962).

Con el registro de las precipitaciones ocurridas, se podrá conocer su incidencia sobre la planta en cada momento, ya que, para que un cultivo se desarrolle óptimamente, se requiere que permanentemente se conozcan sus carencias y sus necesidades. La medida de las precipitaciones permite determinar la distribución de éstas en el tiempo y en el espacio (Gálvez, 2015).

En el campo de la agricultura las precipitaciones afectan la humedad del suelo donde crecen y se desarrollan los cultivos y es de suma importancia tener registro de ésta, puesto que las mediciones permiten realizar de forma más acertada diversas planificaciones. Cabe destacar que las planificaciones van desde programar una siembra hasta la cosecha del cultivo.

Medir la precipitación es una labor sencilla que aporta un sinnúmero de información verdaderamente valiosa, información que nos permite tomar el camino hacia la agricultura de precisión que sienta sus bases en la observación, la medida y la implementación de tecnología (Olivares, 2009).

Las características climáticas, expresadas a través de la temperatura, precipitaciones y los días de lluvia, en unión de las correspondientes al relieve y las propiedades de los suelos, interaccionan e influyen decisivamente sobre el crecimiento y rendimiento de la plantación, por ende, sobre los requerimientos nutricionales de la misma (Bustamante *et al.*, 2015).

Las condiciones ambientales han estado cambiando en las tres últimas décadas; la agricultura es una actividad dependiente del clima y, por lo tanto, es muy sensible a los cambios climáticos y a la variabilidad del clima, principalmente de secano, es un sector económico importante y la más vulnerable al cambio climático. Este puede afectar a la agricultura en diversas formas, por ejemplo, tiende a reducir el rendimiento, debido a que se acelera el proceso de las cosechas, con lo cual se reduce la producción de granos. Por otra parte, la agricultura de secano es uno de los sectores más vulnerables al cambio climático cada vez más, está disminuyendo en algunas regiones la

producción de cultivos, donde los ingresos de los productores están en mayor reducción y los impactos del cambio climático varían a lo largo del periodo de proyección (Caira *et al.*, 2021).

- Los impactos del cambio climático en la agricultura y el bienestar humano incluyen:
- Los efectos biológicos en el rendimiento de los cultivos,
- Las consecuencias del impacto sobre los resultados, incluyendo precios, producción y consumo,
- Los impactos sobre el consumo per cápita de calorías y la malnutrición infantil.

Los efectos biofísicos del cambio climático sobre la agricultura inducen cambios en la producción y precios, que se manifiestan en el sistema económico a medida que los agricultores y otros participantes del mercado realizan ajustes de forma autónoma, modificando sus combinaciones de cultivos, uso de insumos, nivel de producción, demanda de alimentos, consumo de alimentos y comercio (Nelson *et al.*, 2009).

Algunos cambios en la precipitación pueden aumentar la ocurrencia de sequías e inundaciones y, con ello, destruir cultivos (en especial de temporal), poniendo en riesgo la estabilidad económica de los agricultores y la seguridad alimentaria de México. La degradación del suelo y el agotamiento de las fuentes del vital líquido están afectando la productividad agrícola. Se espera que la demanda de agua con fines agrícolas aumente por el cambio climático; este sector es el principal usuario con un consumo de 77% del volumen total abastecido a nivel nacional (Sosa, 2015).

La precipitación es básicamente el elemento climático de mayor importancia, por lo general el crecimiento de los cultivos, no se ve limitado de manera importante por la radiación solar disponible o por la temperatura del aire. Habitualmente cualquier especie vegetal puede desarrollarse sin ningún problema en cualquier época del año, sólo si dispone de humedad suficiente para satisfacer sus necesidades hídricas y asimismo, de temperaturas óptimas. Las lluvias representan la fuente esencial y principal de esta humedad, y su estudio es la clave para la comprensión de la agricultura en todas las condiciones (Olivares, 2009).

El entendimiento histórico de la variabilidad hidroclimática es de gran importancia para el manejo y planificación de los recursos hídricos a corto, mediano y largo plazo; diseño de estructuras hidrológicas, determinación de posibles escenarios climáticos y disponibilidad de agua para diversas actividades económicas y para consumo humano (Villanueva *et al.*, 2006).

2.4. Localización geográfica del área de estudio

El estudio se realizó en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-C) UNAM, en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, que se localiza en la parte noroeste de la cuenca de México. Tiene una extensión territorial de 109.9 km² que representa el 0.5 % de la superficie del Estado de México, con una altitud de 2,256 msnm, el municipio de Cuautitlán Izcalli, se encuentra ubicado dentro del eje Neovolcánico, con las elevaciones al Suroeste y Oeste del municipio, que forman parte de las estribaciones de las sierras de Monte Alto y Monte Bajo, y colinda al Norte con los municipios de Tepotzotlán y Cuautitlán México, al Este con Cuautitlán México y Tultitlán, al Sur con Tlalnepantla de Baz y Atizapán de Zaragoza, al Oeste con Villa Nicolás Romero y Tepotzotlán (Figura 6).

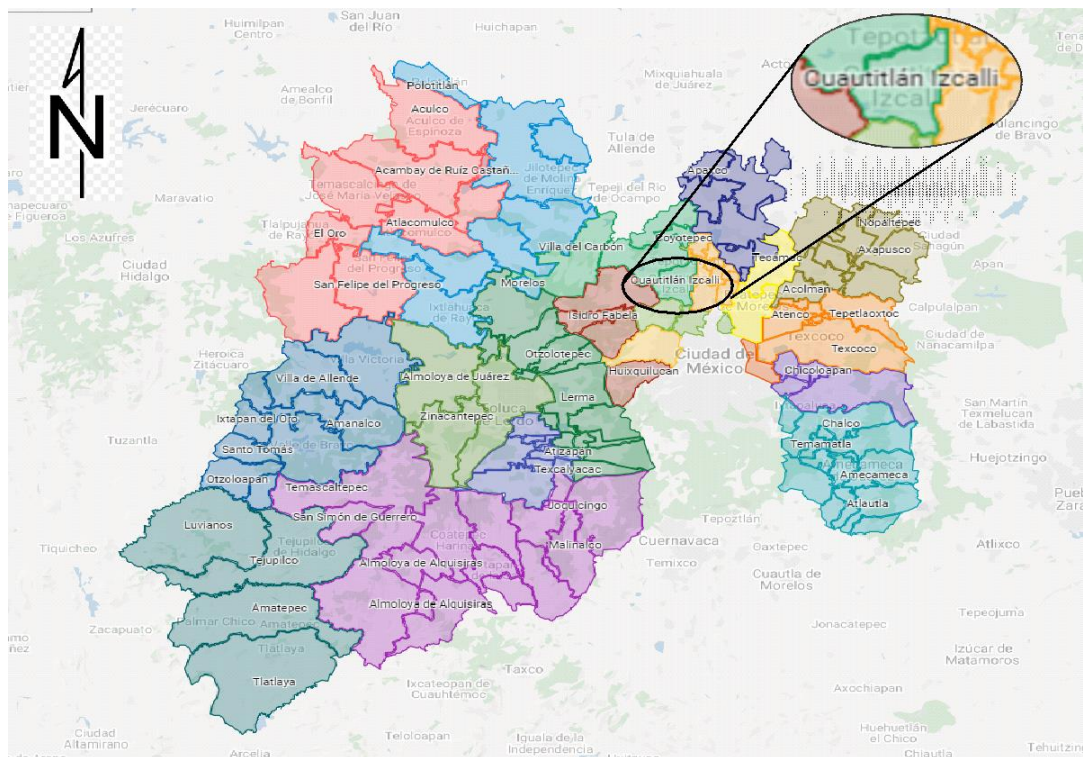


Figura 6. Ubicación del municipio de Cuautitlán Izcalli, México (Gobierno del Estado de México, 2021).

2.5. Descripción edafoclimática del área de estudio

La estación meteorológica Almaraz (Figura 7), se localiza en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, en la Longitud Oeste de $99^{\circ}11'42''$ y en la Latitud Norte de $19^{\circ}41'35''$; a una altura de 2,256 msnm.

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificado por García (1973) y de la información climática descrita por Angeles (2022), del clima de la zona es $C(w_0) b(i')$, esto es, un clima templado subhúmedo con lluvias de verano, el más seco de los subhúmedos, con verano fresco, porcentaje de lluvia invernal de 4.71%, poca oscilación de temperatura, siendo junio el mes más caliente, y sin sequía intraestival.



Figura 7. Vista de la estación meteorológica Almaraz, FES-C, UNAM (Archivo personal).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Metodología

Los datos utilizados fueron capturados durante el periodo de julio de 1987 a diciembre de 2022 en la estación meteorológica Almaraz y se consideraron los datos promedio mensual y total anual por año de lluvia. Se emplearon los métodos de Distribución acumulada y Distribución normal para los cálculos correspondientes. Además, se analizaron los datos de enero a julio de 2023.

3.1.1. Variables evaluadas

Se determinó lo siguiente:

- La tendencia de la lluvia promedio mensual y total anual: se consideró el valor de precipitación registrado de julio de 1987 a diciembre de 2022.
- Probabilidad de ocurrencia de lluvia: se determinó la probabilidad de lluvia anual mediante el empleo de los métodos de distribución acumulada y distribución normal. Asimismo, se determinó la probabilidad de ocurrencia de lluvia a nivel mensual por el método de distribución normal (Anexo 1).
- Anomalías de ocurrencia de lluvia anual: se realizó el análisis correspondiente para todo el periodo de estudio y para los meses de enero a julio de 2023.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Tendencia de la lluvia, promedio mensual y anual

En la Figura 8 se presenta la tendencia de la precipitación promedio mensual de Julio de 1987 a diciembre de 2022; se aprecia que en el mes de julio ocurre la mayor precipitación con 127.1 mm, mientras que diciembre es el mes más seco con 5.1 mm.

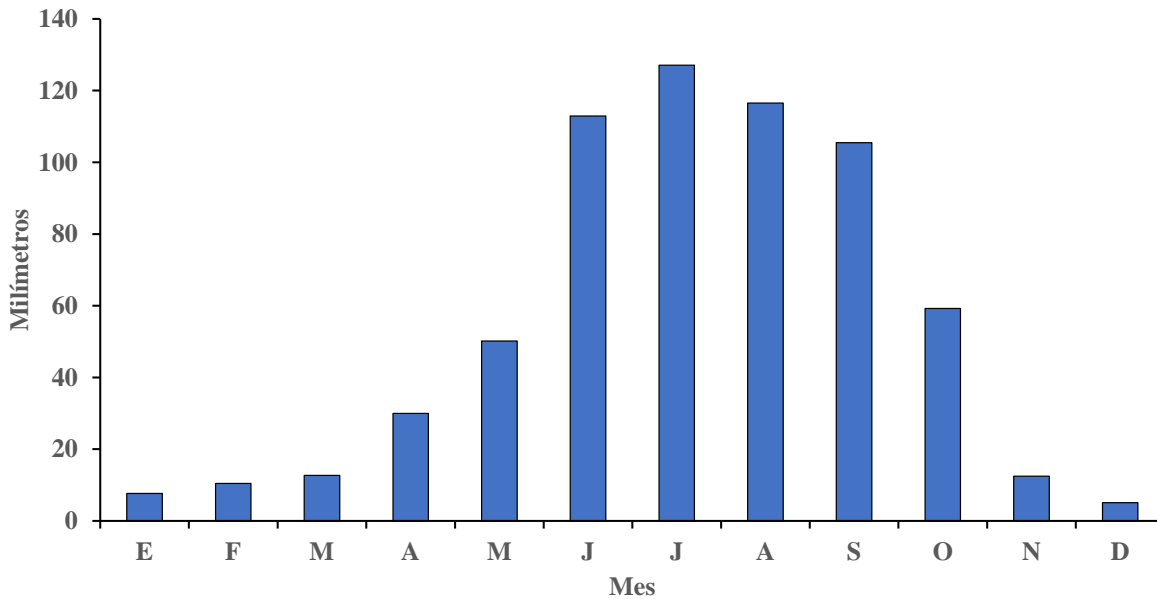


Figura 8. Precipitación promedio mensual (mm) de julio de 1987 a diciembre de 2022, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.

La zona de influencia de la estación meteorológica Almaraz se caracteriza por tener lluvias de verano, así como la mayor parte del territorio mexicano que presenta este régimen de lluvias, donde la precipitación se concentra en los meses de junio a octubre, mientras que en la temporada de invierno las lluvias disminuyen notablemente, como lo señaló García (2003).

Durante el mes de mayo comienzan las lluvias y en junio es cuando se establece el temporal en el área de estudio, época en que inicia el ciclo agrícola primavera-verano (P-V). La precipitación promedio anual en este periodo de estudio es de 649.8 mm, sin embargo, esta varía de un año a otro, como se observa en la Figura 9.

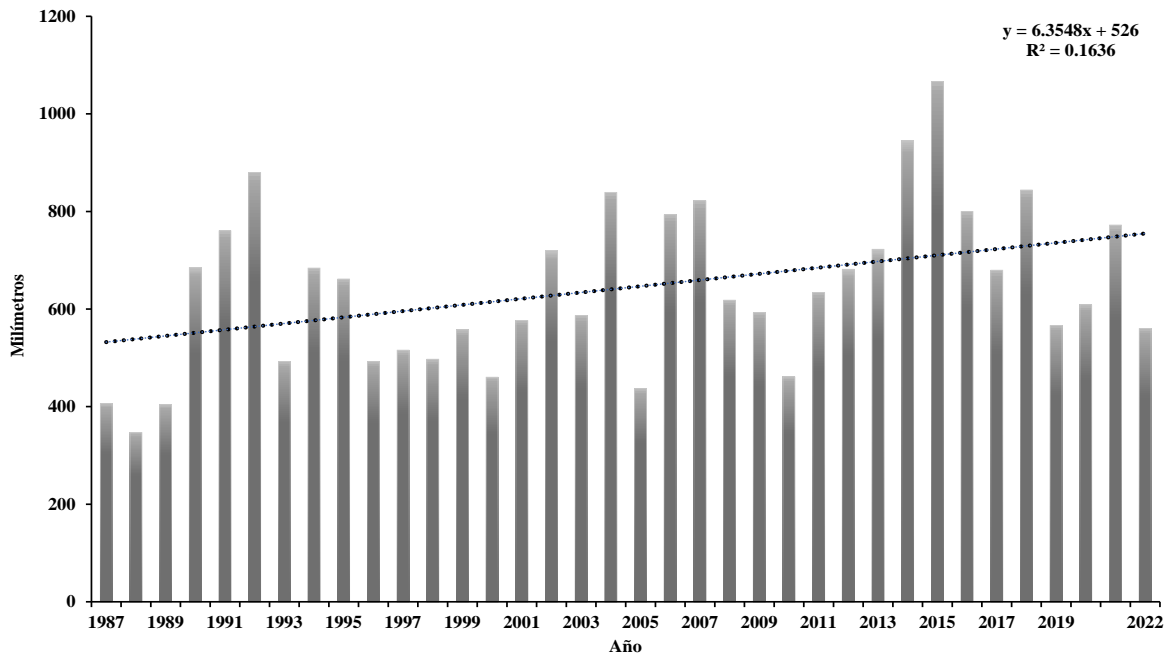


Figura 9. Precipitación total anual (mm) de 1987 a 2022, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.

La precipitación promedio anual en los 35 años de registro, presenta una variación, con años secos y otros húmedos; en el año de 1988 se registró el valor más bajo de ella con 347.1 mm y en el año de 2015 se registró el valor más alto con 1,066.1 mm. La tendencia de la precipitación en estos años ha sido un incremento en los valores totales anuales, sin embargo, la distribución de ésta en el espacio y tiempo durante el año ha causado daños importantes en la agricultura, en especial la agricultura de temporal, ya que es completamente dependiente de la precipitación y por tanto altamente vulnerable a la variabilidad interanual e interestacional de la misma. De acuerdo con Jáuregui (2000) y Pérez (2004), ha habido un incremento de precipitación en las últimas décadas.

Esto se debe a que el clima y el ciclo hidrológico están estrechamente vinculados; la variación climática se hace cada vez más notable, de tal suerte que el incremento de temperatura y la variación en la precipitación esperados en los escenarios más probables de cambio climático tienen un impacto importante en la disponibilidad de los recursos hídricos del mundo en general y de México en particular. El sistema climático y el ciclo hidrológico están vinculados estrechamente con los océanos, entre otros, el fenómeno de *El Niño*. Así, el incremento de temperatura esperado en los escenarios más probables de cambio climático tendrá importantes repercusiones en el ciclo

hidrológico, global y local, por consiguiente, en la disponibilidad de los recursos hídricos en las zonas más vulnerables de México (Terán, 2010).

Por ejemplo, el país recibe en promedio alrededor de 1.5 millones de hm^3 de agua al año en forma de precipitación, 67% ocurre entre junio y septiembre, en su mayoría en la región sur-sureste, donde tiene lugar 50% de las lluvias. La precipitación anual a nivel nacional ha aumentado a través del tiempo, potencialmente debido al cambio climático, sin embargo, éste fenómeno no se ha presentado en todas las entidades federativas con la misma intensidad. En la Ciudad de México y el Estado de México la precipitación se redujo entre 2000 y 2021, mientras que durante este mismo periodo aumentó en estados como Campeche, Quintana Roo, Veracruz y Guanajuato (IMCO, 2023).

México es un país vulnerable a sequías con 52% de su territorio ubicado en clima árido o semiárido, son 14 estados los que se encuentran en estas regiones. Aunque las sequías son fenómenos recurrentes, durante la última década éstas han ido en aumento en frecuencia, intensidad y duración. En 2021 se registraron sequías, de las cuales 71% fueron severas, con las que existe el riesgo de pérdidas de cultivos; 26% fueron extremas con pérdidas mayores en cultivos, y riesgo de incendios forestales, y 3% fueron sequías excepcionales, es decir con escasez total de agua en embalses, arroyos y pozos (*Ídem*).

En la Figura 10, se presentan los datos promedio mensual de los días con precipitación apreciable e inapreciable, mientras que en la Figura 11, están los datos anuales de estas dos variables. El total anual es de 109 y 17 días con lluvia apreciable e inapreciable, respectivamente. Los valores más altos de esta variable son: el mes de mayo con dos días con precipitación inapreciable, mientras que julio y agosto presentan 18 días con precipitación apreciable.

Los días con apreciable están ligados a la tendencia de ocurrencia de la lluvia, esto es, aumentan en los meses de junio a septiembre, y disminuyen en la época invernal, asimismo, la precipitación inapreciable es característica de la época de sequía entre los meses de marzo a mayo. Los valores anuales de días con precipitación apreciable e inapreciable presentan también una tendencia positiva, como ocurre con el valor total anual que se presenta en la Figura 9. La máxima precipitación registrada en 24 horas fue de 90.1 mm el día 10 de octubre de 1992 (Angeles, 2022),

la cual ocurrió en el lapso de una hora (Comunicación personal Dr. Gustavo Mercado Mancera, 5 de marzo de 2023), evento que ya no se ha vuelto a presentar con la intensidad de aquel día.

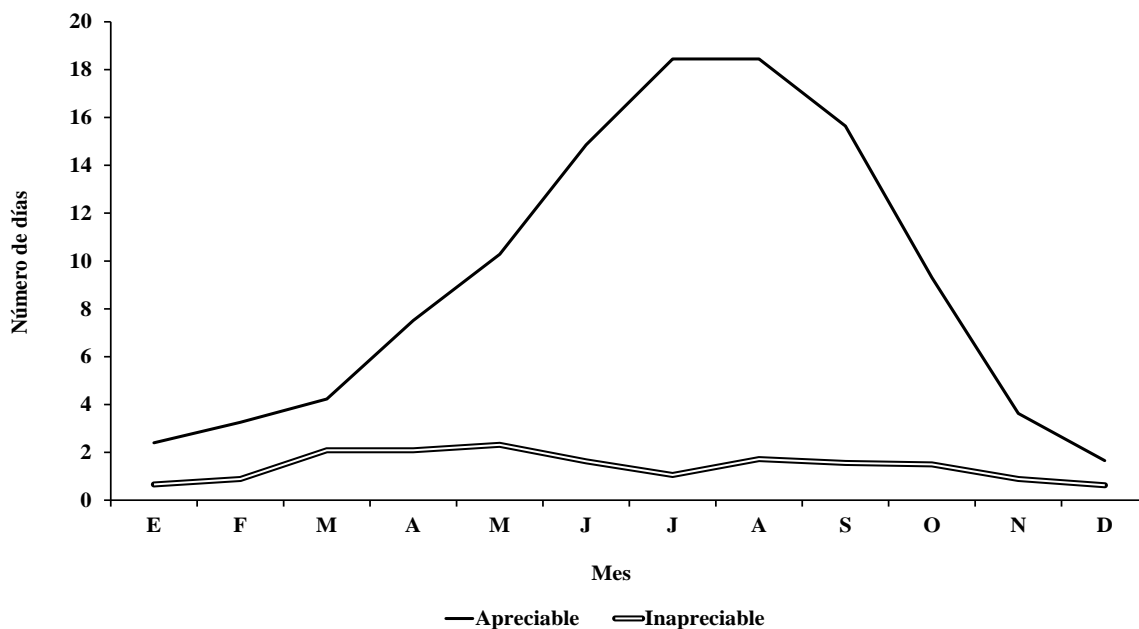


Figura 10. Días con precipitación apreciable e inapreciable, promedio mensual de 1987 a 2022, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.

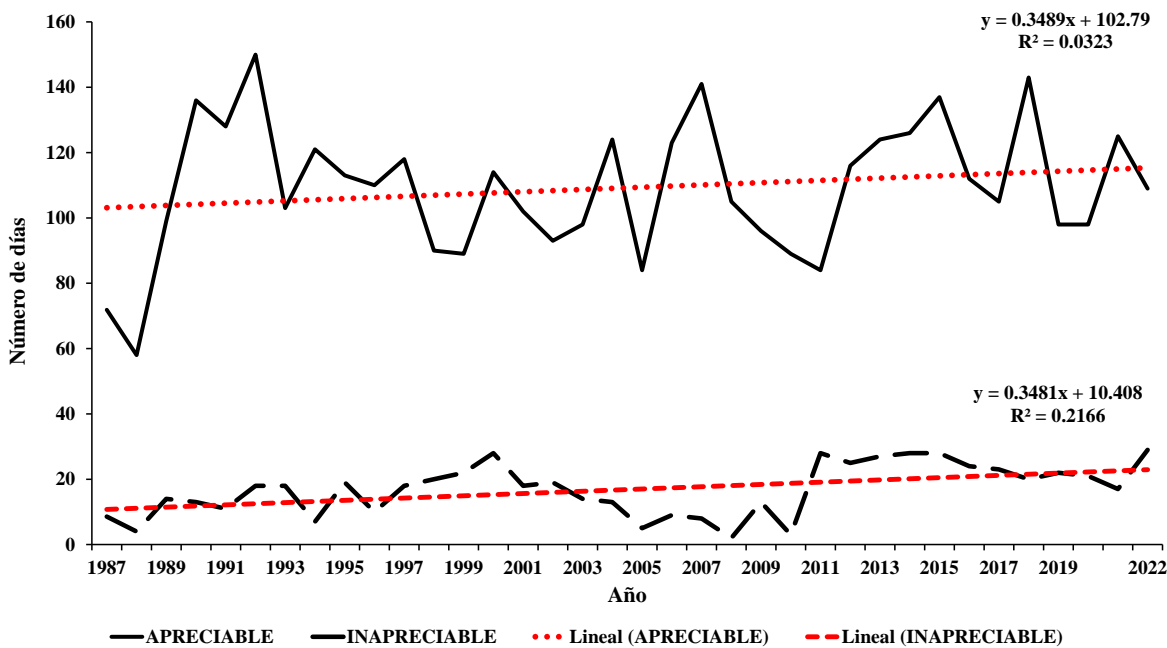


Figura 11. Días con precipitación apreciable e inapreciable, promedio anual de 1987 a 2022, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Wallén (1955) resumió los factores que afectan las condiciones de precipitación en la República Mexicana de la siguiente manera:

1) El desplazamiento hacia el norte o hacia el sur de la zona intertropical de convergencia que introduce variaciones anuales de la precipitación. En invierno, cuando esta zona se desplaza hacia el sur, los alisios actúan sólo en la parte sur, en cambio la parte norte tiene la influencia de los vientos del Oeste de las latitudes medias. En verano la zona de convergencia se desplaza al norte, por lo que domina un sistema de vientos del este o sureste que provienen del centro subtropical de alta presión del Atlántico y van hacia el de baja presión del continente.

2) La localización, extensión e intensidad de los centros de alta presión tanto del Atlántico como del Pacífico, de los que dependen los alisios en el área terrestre mexicana.

3) Las perturbaciones en el verano de los alisios del Este sobre México, en concordancia con la posición de la zona de convergencia que en esta época se desplaza hacia el norte.

4) La influencia de los ciclones que se originan en relación con las "ondas del Este" (easterly waves) y producen gran parte de la precipitación del verano y principios del otoño.

5) La influencia de las depresiones ciclónicas asociadas con los vientos del Oeste de las latitudes medias que atraviesan la parte norte del país en invierno.

La mayor parte del país tiene régimen de lluvias de verano, exceptuando:

a) El extremo noroeste que tiene régimen de lluvias de invierno.

b) Las porciones noreste y norte central, así como la parte norte de la península de Yucatán, que tienen lluvias uniformemente repetidas.

c) La porción de las montañas del Norte de Chiapas y partes de la Sierra Madre Oriental, que tiene abundante precipitación durante todo el año (García, 2003).

4.2. Probabilidad de ocurrencia de lluvia

La precipitación del verano en el Valle de México, incluyendo Cuautitlán Izcalli está modulada en gran medida por el paso de ondas del este, que aportan un flujo de humedad del Golfo de México. El efecto orográfico de las montañas del poniente refuerza los movimientos ascendentes y con ello, la intensidad de la precipitación hacia esa zona (Jáuregui, 2000). Sin embargo, la cantidad de precipitación que ocurre es variable.

En el Anexo 3 se presentan las probabilidades para cada valor de precipitación anual registrado en la estación meteorológica de la FES Cuautitlán. En la Figura 12 se muestra la probabilidad de ocurrencia de lluvia anual al 70% por el método de Distribución acumulada; el valor obtenido fue de 587.2 mm anuales.

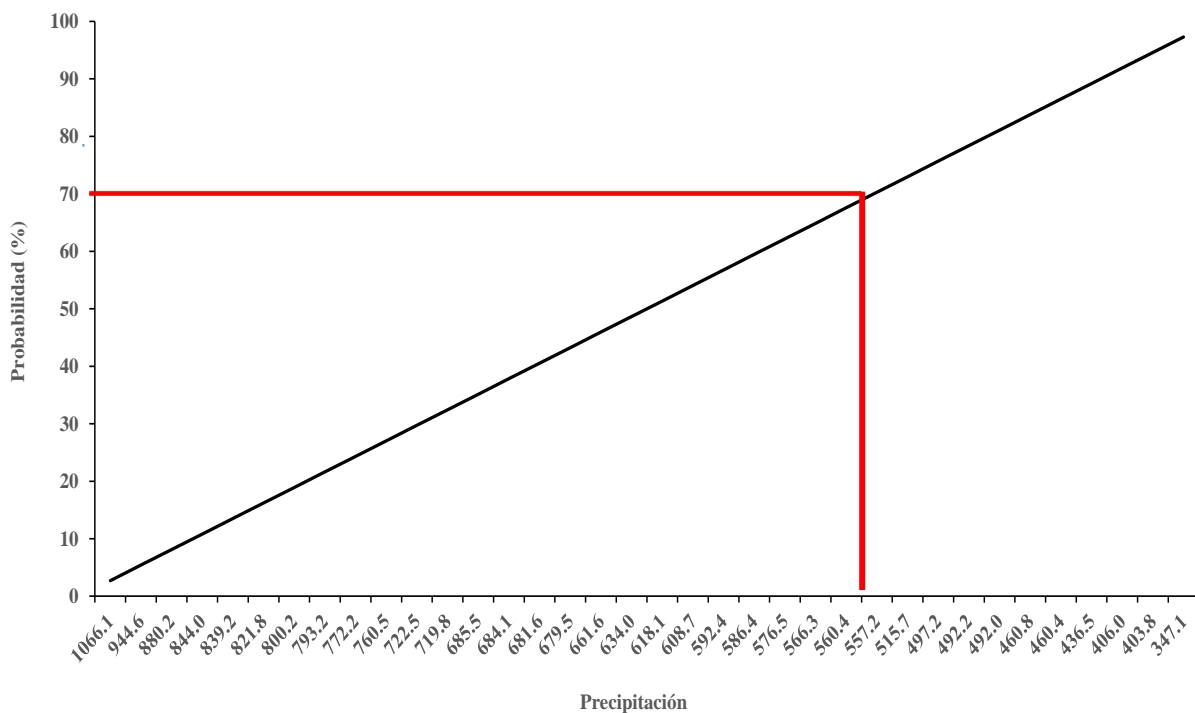


Figura 12. Probabilidad de ocurrencia de lluvia anual al 70% de ocurrencia, por el método de Distribución acumulada, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Por el método de Distribución normal, la probabilidad al 70% de ocurrencia de lluvia anual es de 557.2 mm.

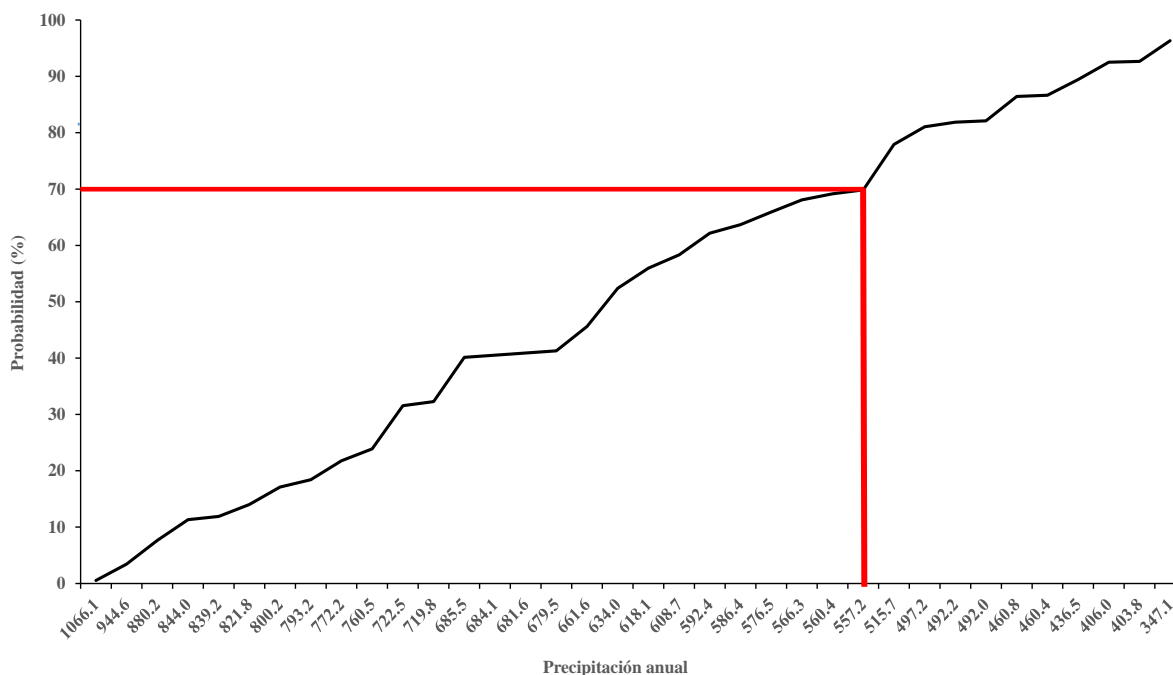


Figura 13. Probabilidad de ocurrencia de lluvia anual al 70% de ocurrencia, por el método de Distribución normal, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Se observa una diferencia de 30 mm de lluvia entre los dos métodos de cálculo de la probabilidad de ocurrencia de lluvia, esto es, un valor menor por el método de Distribución normal. En teoría, este valor de 557.2 mm es suficiente para establecer un cultivo de temporal, puesto que la mayor precipitación se concentra en la época de junio a octubre, que coincide con el ciclo agrícola primavera-verano, sin embargo, su distribución en el tiempo y espacio es irregular.

La producción agropecuaria depende fundamentalmente del conjunto de elementos y factores climáticos predominantes en cada región y de la variabilidad de estos; uno de los elementos de mayor incidencia en los rendimientos de los cultivos extensivos es la precipitación (Jozami *et al.*, 2015). El adecuado entendimiento de esta importante variable es fundamental en la toma de decisiones en diferentes campos. El aprovechamiento de las precipitaciones y la búsqueda de soluciones para atenuar el desequilibrio en su distribución es una estrategia que México debe atender de forma satisfactoria (Baldoquin *et al.*, 2020).

La presencia de lluvia durante el año es muy importante, ya que influye en cierta medida en el sector agrícola, en especial la agricultura de temporal, ya que es completamente dependiente de la precipitación y por tanto, altamente vulnerable a la variabilidad interanual e interestacional de la misma (Englehart y Douglas, 2000).

La evaluación de un posible cambio en el régimen pluviométrico es fundamental, ya que la precipitación tiene un papel importante en el manejo de los recursos naturales, debido a que controla las actividades agrícolas, pecuarias y forestales, así como a una gran variedad de actividades económicas e incluso al comportamiento y desarrollo social (Corte *et al.*, 1998).

En ese sentido, se calculó la probabilidad de ocurrencia de la lluvia a nivel mensual, sólo por el método de Distribución normal, con los datos promedio mensual de toda la serie de años considerados en esta investigación (Tabla 1). Los datos la probabilidad al 70% de ocurrencia mensual, se presentan en la Figura 14.

Tabla 1. Precipitación promedio mensual, y precipitación mensual al 70% de probabilidad de ocurrencia, 1987 a 2022 estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Mes	Precipitación media (mm)	Precipitación al 70% de probabilidad (mm)
E	7.6	2.7
F	10.5	1.4
M	12.7	4.6
A	30.0	18.0
M	50.2	23.5
J	112.9	79.2
J	127.1	96.4
A	116.6	98.9
S	105.5	81.8
O	59.2	31.4
N	12.5	3.8
D	5.1	0.6

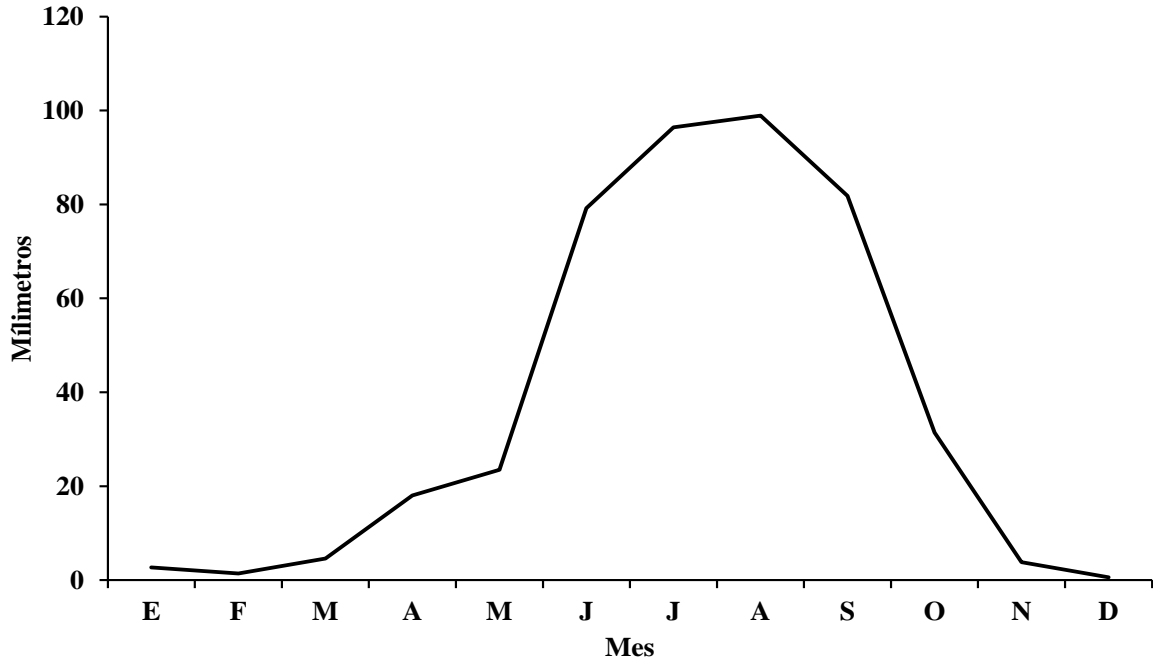


Figura 14. Precipitación mensual al 70% de ocurrencia, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Del mes de mayo a octubre se espera que precipiten 411.2 mm al 70% de probabilidad, volumen de agua que mínimamente satisface las necesidades hídricas de un cultivo de maíz. En esto se debe poner atención para programar las fechas de siembra de los diversos cultivos de temporal que se establecen en la zona aledaña a la Facultad.

4.3. Anomalías de la precipitación en el área de estudio

Se determinó el valor de la anomalía anual con base al valor de precipitación total anual y se restó a cada uno de éstos el dato de precipitación promedio (649.8 mm) de toda la serie de datos considerados (Tabla 2). Una anomalía de precipitación se refiere a una desviación con respecto a la precipitación promedio que se registra en un lugar (Guevara, 2020).

Tabla 2. Precipitación anual vs anomalía anual de la precipitación de 1988-2022, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Año	Pp anual (mm)	Anomalía (mm)	Año	Pp anual (mm)	Anomalía (mm)	Año	Pp anual (mm)	Anomalía (mm)
1988	347.1	-302.7	2000	460.4	-189.4	2012	681.6	31.8
1989	403.8	-246.0	2001	576.5	-73.3	2013	722.5	72.7
1990	685.5	35.7	2002	719.8	70.0	2014	944.6	294.8
1991	760.5	110.7	2003	586.4	-63.4	2015	1066.1	416.3
1992	880.2	230.4	2004	839.2	189.4	2016	800.2	150.4
1993	492.2	-157.6	2005	436.5	-213.3	2017	679.5	29.7
1994	684.1	34.3	2006	793.2	143.4	2018	844.0	194.2
1995	661.6	11.8	2007	821.8	172.0	2019	566.3	-83.5
1996	492.0	-157.8	2008	618.1	-31.7	2020	608.7	-41.1
1997	515.7	-134.1	2009	592.4	-57.4	2021	772.2	122.4
1998	497.2	-152.6	2010	460.8	-189.0	2022	560.4	-89.4
1999	557.2	-92.6	2011	634.0	-15.8			

Se observa que durante el periodo de análisis existieron años en que el déficit de precipitación ha sido muy evidente (valor negativo de anomalía), mientras que en otros años la anomalía es positiva, (ocurrió más precipitación que el valor normal), lo que muestra que esta variable climática presenta una gran variabilidad a través del tiempo. En la Figura 15 se presenta en forma gráfica estos datos.

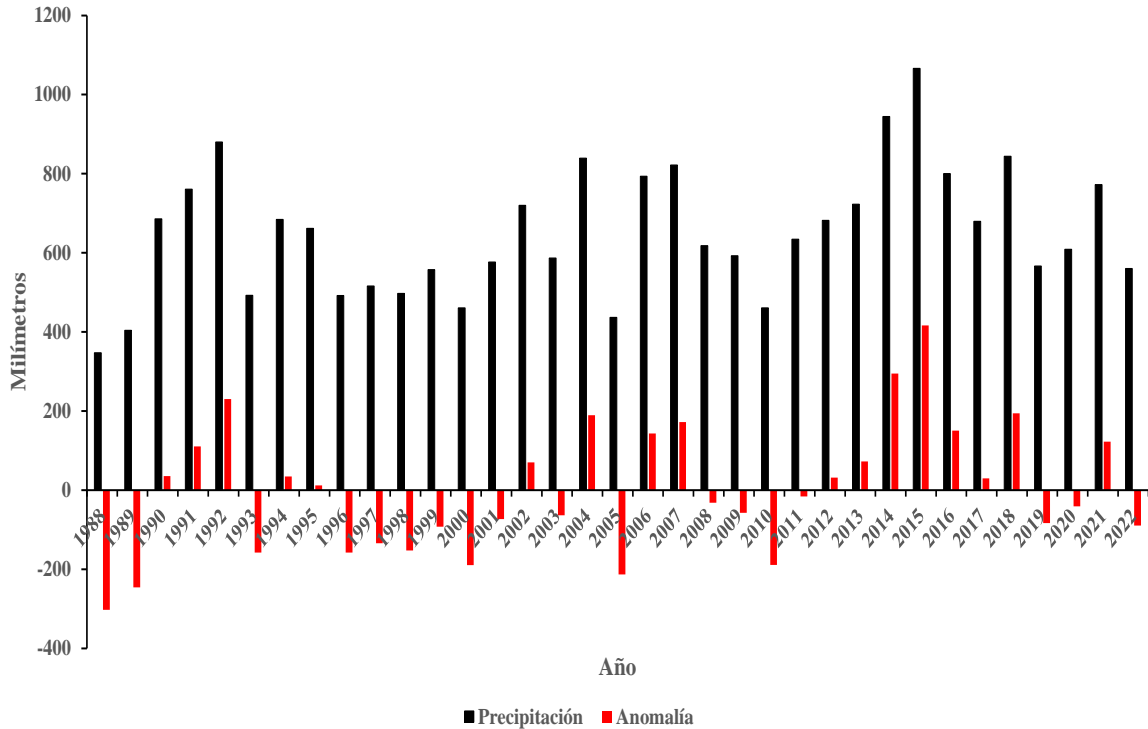


Figura 15. Precipitación anual vs anomalía anual, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Estas variaciones en la precipitación obedecen a efectos locales y, además, a sistemas climáticos globales. Herrera y Núñez (2023), publicó una entrevista con Alejandro Jaramillo Moreno, del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM, quien señaló que *“cada manifestación de El Niño es única, lo que complica la delimitación de un escenario específico para México. En ocasiones, sus consecuencias son notablemente visibles, mientras que otras veces resultan más sutiles. No obstante, se prevé una disminución de las precipitaciones en el centro y sur de México, lo cual podría propiciar condiciones de sequía. Esto contrasta con las zonas noroeste y noreste del país, donde las precipitaciones en la temporada seca podrían aumentar gracias a un posible incremento en la entrada de frentes fríos al país”*.

Así, El Niño y La Niña son los ejemplos más evidentes de la variabilidad climática global, siendo parte fundamental de un vasto y complejo sistema de fluctuaciones climáticas, con un intervalo medio de duración de cuatro años y un rango de 2 a 7 años. En México, la variabilidad que el clima presenta año con año está en gran medida determinada por la ocurrencia del fenómeno. El

fenómeno de El Niño es el resultado del calentamiento - enfriamiento recurrente de la superficie del océano en el Pacífico del Este. Asociados a esas variaciones en la temperatura del mar, se presentan cambios en la presión atmosférica, conocidos como Oscilación del Sur, de ahí el nombre de ENOS (INECC, 2023), sin embargo, el antes y después de este periodo puede durar incluso años; es decir, el fenómeno no se da de manera instantánea sino paulatina (Cárdenas, 2005).

Ahora bien, con base en las observaciones que se hacen en la estación meteorológica de la FES Cuautitlán, durante el año 2023, se ha presentado en el área de estudio, un atraso en las lluvias de temporal, por lo tanto, se realizó el análisis de las anomalías mensuales en la precipitación del mes de enero a julio del 2023, con respecto a la precipitación mensual normal obtenida en el periodo de estudio (Tabla 3).

Tabla 3. Precipitación (mm) mensual normal, del año 2023 y la anomalía mensual de enero a julio del 2023, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Mes	Precipitación 2023 (mm)	Precipitación normal (mm)	Anomalía 2023 (mm)
E	0.1	7.6	-7.5
F	0.0	10.5	-10.5
M	19.1	12.7	6.4
A	18.3	30.0	-11.7
M	49.4	50.2	-0.8
J	22.5	112.9	-90.4
J	86.4	127.1	-40.7
A	--	--	--
S	--	--	--
O	--	--	--
N	--	--	--
D	--	--	--

Nota: -- Sin dato

De acuerdo con Magaña *et al.* (1998) en México el fenómeno de El Niño tiene grandes repercusiones, esto es, las lluvias de invierno en años de Niño se intensifican, y se debilitan durante los correspondientes veranos. Lo opuesto ocurre aproximadamente durante los años de La Niña. A nivel nacional, los efectos son menos notorios en el verano, pero, destaca que, a diferencia del invierno, El Niño ocasiona una disminución en la precipitación en la mayoría de los estados

mientras que durante La Niña sucede lo contrario, en el verano hay incrementos en la precipitación y disminución en el invierno (Guevara, 2020).

En la Figura 16 se presentan los datos de forma gráfica para reconocer el déficit de precipitación existente en el área de estudio que en lo que va del año 2023.

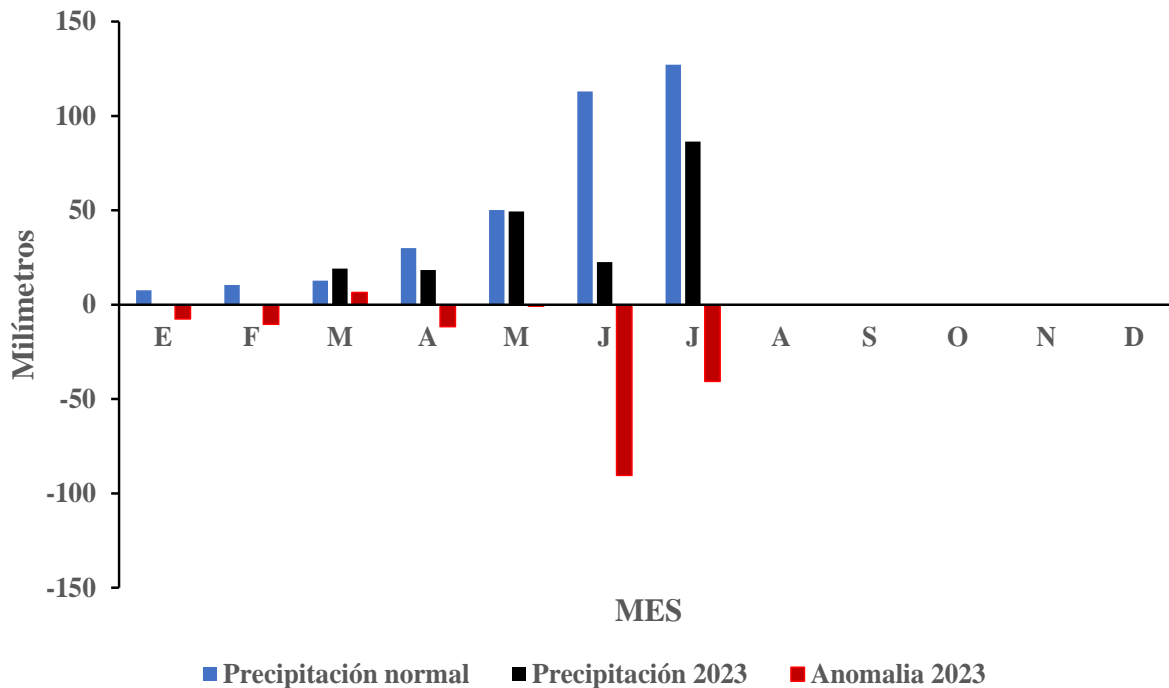


Figura 16. Precipitación (mm) mensual normal y del año 2023 vs anomalía mensual del 2023, estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Ahora bien, es importante recordar que existe variabilidad en la precipitación de México, es importante resaltar que la precipitación en México ocurre entre los meses de junio y septiembre, es decir, durante el verano. Por lo tanto, un mayor conocimiento de los impactos del fenómeno de El Niño en las lluvias y, en la disponibilidad de agua, permitiría un mejor manejo de este recurso, sobre todo con fines de riego agrícola.

V. CONCLUSIONES

1. Los objetivos de esta investigación se cumplieron, con base al análisis realizado de la información documentada de 1987 a 2022 la estación meteorológica de la FES C; asimismo, se comprobó la hipótesis de trabajo puesto que se observaron años con valores muy bajos de precipitación, así como años muy húmedos.
2. Esta información es de suma importancia a corto y mediano plazo, ya que permitirá planificar las actividades de siembra, cosecha, entre otras, del sector agrícola, y con ello minimizar los efectos negativos de la ausencia de lluvia.
3. Durante el año, la precipitación se concentra en la mitad caliente del año (junio, julio, agosto y septiembre), lo cual abastece de agua a los cultivos de primavera-verano.
4. La precipitación total anual presenta variación de un año a otro, lo que representa un reto para la agricultura la cual tiene que adaptarse a estas variaciones con el consecuente efecto en la variación del rendimiento de los cultivos.
5. En el análisis de la ocurrencia de lluvia al 70% de probabilidad, se obtuvo un valor de 557.2 mm al año, el cual representa un nivel de disponibilidad de agua bajo, que, aunado a la distribución errática de las lluvias durante el año, ponen de manifiesto la necesidad de generar tecnologías para el mejor aprovechamiento de la lluvia, generar obras de captación y efficientizar el agua que se dispone en la zona aledaña a la estación de la FES Cuautitlán.
6. La precipitación ha presentado anomalías negativas y positivas, que están relacionadas con la presencia o ausencia de fenómenos globales, como es el fenómeno del Niño y la Niña.
7. El éxito de la producción agrícola tiene una fuerte dependencia de las condiciones de los recursos agua y suelo, así como de las tendencias de las variables climáticas, por lo cual el análisis permanente de la información climática es fundamental para mitigar los efectos que la ausencia o exceso de lluvia puede generar en los sistemas agrícolas.

VI. LITERATURA CITADA

1. Álvarez, A., Herrera, R.S., Noda, A.C., Díaz, L. 2012. Comportamiento de las precipitaciones en el Instituto de Ciencia Animal en Cuba durante el período 1970-2009, como base para el manejo estratégico de los pastos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(3): 301-307.
2. AMP (Equipos Agroambientales AMP SAS). 2020. Tanque de evaporación Clase A. En: <https://www.amp-sas.net/portfolio-items/tanque-evaporimetro/>. Fecha de consulta el 3 de octubre de 2022.
3. Angeles, F.S.B. 2022. Determinación de la normal climática de 1987 a 2022 de la Estación Meteorológica Almaraz. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Agrícola. FES Cuautitlán, UNAM. México. 117 pp.
4. Baldoquin, P.A., Núñez, A.Y.A., Carracedo, V.A. 2020. Variaciones y tendencias de la lluvia en la provincia de Las Tunas. *Revista Científica Innovación Tecnológica*, 26(2): 1-7.
5. Barradas, V.L. 2000. La importancia de la niebla como fuente natural y artificial de agua en la región las grandes montañas del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 2(2): 43-48,
6. Bilbao, E. 2002. Métodos estadísticos de la ingeniería. En: <https://ocw.ehu.es/>. https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/44513/mod_resource/content/1/MaterialesEstudio/UT4/04VA_R_ALEATORIA_2013.pdf. Fecha de consulta el 21 de octubre de 2022.
7. Brunett, K. 2019. Distribución normal. En: <http://ri.uaemex.mx/>. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/106113/Distribuci%C3%B3n%20Normal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Fecha de consulta el 3 de septiembre de 2022.
8. Bustamante, C., Pérez, A., Rivera, R., Martín, G., Viñals, R. 2015. Influencia de las precipitaciones en el rendimiento de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner cultivado en suelos pardos de la región oriental de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 36(4): 21-27.
9. Caira, M.C.M., Lopez, L.C., Carhuarupay, M.Y.F. 2021. Efecto de la temperatura y precipitación sobre la agricultura en la cuenca Coata-Puno, Perú. *ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 5(14): 285-296.
10. Cantor, D., Ochoa, A. 2011. Señales de cambio climático en series de lluvia en Antioquia. *Memorias del IX Congreso Colombiano de Meteorología y Conferencia Internacional "200 años de la meteorología y de la climatología en América Latina"*. Bogotá, Colombia. 11 pp.
11. Cantrell, M. 2018. Cómo calcular la probabilidad de lluvia. En: <https://www.geniolandia.com/13075156/como-calcular-la-probabilidad-de-lluvia>. Fecha de consulta el 22 de octubre de 2022.

12. Cárdenas, G.J.R. 2005. México y El Niño. En http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/70_cienciorama.pdf. Fecha de consulta el 3 de agosto de 2023.
13. Carrero, N. 2008. El Pluviógrafo. En: <http://www.wimois09.blogspot.com/2008/05/>. Fecha de consulta el 29 de agosto de 2022.
14. Ceballos, R. 2019. Apuntes del Programa de Probabilidad y Estadística. En: https://www.escom.ipn.mx/docs/oferta/matDidacticoISC2009/PEstdstc/Apuntes_ProbEstadistica_o1.pdf. Fecha de consulta el 3 de septiembre de 2022.
15. Ciencias Sociales La Vera. 2016. El clima. En: <http://ccsslavera.blogspot.com/2016/10/el-clima.html>. Fecha de consulta el 10 de septiembre de 2022.
16. CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2010. Manual Teórico Práctico del Observador Meteorológico de Superficie. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. 284 pp.
17. Contenido, M.R. 2019. Estadística con aplicaciones en R. En: <https://www.utadeo.edu.co/>. https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/libro_estadistica_con_aplicaciones_en_r_def_ago_11.pdf. Fecha de consulta el 13 de noviembre de 2022.
18. Coras, M.P.M., Arteaga, R.R., Vázquez, P.M. 2005. Análisis de frecuencias de lluvias máximas con fines de drenaje superficial local, Tabasco, México. *Terra Latinoamericana*, 23(1): 113-120.
19. Corte, R.J., Qian, B., Xu, H. 1998. Regional climate change in Portugal: precipitation variability associated with large-scale atmospheric circulation. *Int. J. Climatol.*, 18: 619-635.
20. Dagnino, J. 2014. La Distribución normal. En: <https://revistachilenadeanestesia.cl/>. <https://revistachilenadeanestesia.cl/la-distribucion-normal/>. Fecha de consulta el 03 de octubre de 2022.
21. Englehart, P.J., Douglas, A.V. 2000. Dissecting the Macro-scale Variations in Mexican Maize Yields (1961-1997). *Geographical and Environmental Modelling*, 4(1): 65-81.
22. Equipamiento Científico SAC. S/f. Pluviómetro stratus. En: <https://equipamientocientifico.com/en/shop/product/pluviometro-stratus-1272#attr=>. Fecha de consulta el 3 de octubre de 2022.
23. FAO, 2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. En: <https://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>. Fecha de consulta: el 9 de diciembre de 2022.
24. Gálvez, A.M. 2015. Determinación de la relación precipitación/evapotranspiración como índice de vulnerabilidad de los suelos del distrito de riego RUT a los procesos de salinización. Tesis de Ingeniería Agrícola. Facultad de Ingeniería, Universidad Del Valle. Santiago de Cali, Colombia. 100 pp.

25. García, A.M.E. 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM*, 50: 67-76.
26. García, L. 1962. La Lluvia y los cultivos. En: <https://www.divulgameteo.es/uploads/Lluvia-cultivos-LGP.pdf>. Fecha de consulta el 10 de diciembre de 2022.
27. Granados, R.R., Longar, B.M.P. 2008. Variabilidad pluvial, agricultura y marginación en el estado de Michoacán. *Análisis Económico*, XXIII(54): 283-303.
28. Granados, R.R., Reyna, T.T., Aguilar, S.G. 2017. Variación de la precipitación, efectos en la agricultura y algunos problemas sociales en el estado de Michoacán, México. En: <https://www.researchgate.net/publication/318117065>. Fecha de consulta el 23 de enero de 2023.
29. Guevara, P.D.E. 2020. El niño y sus efectos en la precipitación en México. En: <https://blogcatedraunesco.udlap.mx/el-nino-y-sus-efectos-en-la-precipitacion-en-mexico/>. Fecha de consulta el de agosto de 2023.
30. Herrera, P., Núñez, M. 2023. “El Niño”: ¿qué efectos tendrá en México y el mundo? En: <https://www.atmosfera.unam.mx/el-nino-que-efectos-tendra-en-mexico-y-el-mundo/>. Fecha de consulta el 3 de agosto de 2023.
31. IMCO (Instituto Mexicano para la Competitividad). 2013. Situación del agua en México. En: <https://imco.org.mx/situacion-del-agua-en-mexico/>. Fecha de consulta el 13 de marzo de 2023.
32. IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2019. La importancia de la medición del agua de lluvia. En: <https://www.gob.mx/imta/articulos/la-importancia-de-la-medicion-del-agua-de-lluvia>. Fecha de consulta el 10 de septiembre de 2022.
33. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática). 2009. Censo Agropecuario 2007. VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Aguascalientes, México, D.F.
34. Íñiguez, C.M., Ojeda, B.W., Díaz, D.C., Sifuentes, I.E. 2014. Análisis de cuatro variables del período de lluvias asociadas al cultivo de maíz de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(1): 101-114.
35. INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). 2023. El Niño, la Niña y la oscilación del sur. En: <https://www.gob.mx/inecc/prensa/el-nino-la-nina-y-la-oscilacion-del-sur-57602>. Fecha de consulta el 14 de septiembre de 2023.
36. Jáuregui, O.E. 2000. El Clima de la Ciudad de México. *Temas selectos de Geografía de México Instituto de Geografía, UNAM. México*. p. 13.
37. Jozami, E., Costanzo, M.B., Coronel, S.A. 2015. Influencia de El Niño-Oscilación Sur sobre las precipitaciones en Paraná y Lucas González. *Revista de Climatología*, 15: 85-92.
38. López, J.F. 2020. Proceso estocástico. En: <https://economipedia.com/definiciones/proceso-estocastico.html>. Fecha de consulta el 15 de abril de 2023.

39. Magaña, R.V., Pérez, J.L., Conde, C. 1998. El fenómeno de El Niño y la oscilación del sur. Sus impactos en México. *Ciencias* 51: 14-18.
40. Martínez, G.M., Marí, B.M. 2010. La distribución normal. En: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7939/La%20distribucion%20Normal.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Fecha de consulta el 8 de diciembre de 2022.
41. Martínez, B.C. 2012. Estadística y muestreo. 13ava. edición. ECOE ediciones. Bogotá, Colombia. 878 pp.
42. Martínez, S., Garbi, M. 2020. Climatología y Fenología Agrícola. En: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/65064/mod_resource/content/1/Unidad%20tem%20C3%A1tica%20B%20-%20Temperatura%20del%20aire.pdf. Fecha de consulta el 09 de diciembre de 2022.
43. Masmar. 2013. Precipitaciones. Meteoros. Fotometeos. En: <https://www.masmar.net/index.php/esl/Apuntes-N%C3%A1uticos/Meteorolog%C3%ADa/Precipitaciones.-Meteoros.-Fotometeos>. Fecha de consulta el 3 de octubre de 2022.
44. Méndez, G.J., Návar, C.J.J., González, O.V. 2008. Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas*, (65): 38-55.
45. Mercado, M.G., Ramírez, R.M., Vizcarra, H.I.F., López, A.H., López, V.D.M., Granados, M.A.K., Reyes, L.D., Chaires, M.B.E. 2014. Distribución y probabilidad de la lluvia en Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Memorias del VIII Congreso Internacional de Meteorología y XXIII Congreso Mexicano de Meteorología, celebrado del 10 al 14 de noviembre del 2014, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
46. Moreno, S. 2015. Las lluvias orográficas. En: <https://silvinamoreno1532.wixsite.com/flasilmale/single-post/2015/11/10/las-lluvias-orogr%C3%A1ficas>. Fecha de consulta el 10 de septiembre de 2022.
47. Minitab.com. 2021. Uso de la función de distribución acumulada (CDF). En: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/probability-distributions-random-data-and-resampling-analyses/supporting-topics/basics/using-the-cumulative-distribution-function-cdf/>. Fecha de consulta el 3 de octubre de 2022.
48. Nelson, G.C., Rosegrant, M.W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msang, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte, S.R., Ewing, M., Lee, D. 2009. Cambio Climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias. IFPRI. Washington, D.C., USA. 30 pp.
49. Olivares, B. 2009. Características de interés agrícola de la precipitación en la agricultura de secano. *INIA Divulga*, (14): 25-27.

50. Olivares, B.O. 2018. Condiciones tropicales de la lluvia estacional en la agricultura de secano de Carabobo, Venezuela. LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida, 27(1): 86-103.
51. Ordoñez, J.J. 2011. Ciclo hidrológico. Cartilla técnica. En: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf. Fecha de consulta el 6 de diciembre de 2022.
52. Pérez, F.J.B. 2004 Pronóstico numérico del tiempo para el Valle de México. Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra. Instituto de Geofísica, UNAM. México. p. 69.
53. PUCP. 2002. Capítulo 2: La Precipitación. En: https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia_cap02.pdf?sequence=8&isAllowed=y. Fecha de consulta el 03 de octubre de 2022.
54. Ruiz, C.J.A. 2012. Adaptar la agricultura al cambio climático. Revista Ciencia, 63(4): 76-83.
55. SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 2001. Análisis probabilístico de ocurrencia de precipitaciones. En: <https://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00001/doc00001-seccion%20j%202.pdf>. Fecha de consulta el 9 de diciembre de 2022.
56. Sosa, F. 2015. Política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. https://rde.inegi.org.mx/rde_15/doctos/rde_15_art1.pdf. Fecha de consulta el 12 de enero de 2023.
57. Terán, J.F. 2010. La Cuenca como Unidad de Gestión y Planificación. En: <https://www.academia.edu/2517486>. Fecha de consulta el 11 de diciembre de 2022.
58. Villanueva, D.J., Cerano, P.J., Luckman, B.H., Estrada, A.J., Stahle, D.W., Sánchez, C.I., Therrell, M.D., Morán, M.R. 2006. Precipitación y Flujo Histórico de la Cuenca Nazas-Aguanaval e Impacto en la Agricultura. Folleto científico 19. INIFAP, CENID-RASPA. Gómez Palacios, Durango, México. 45 pp.
59. Wallén, C.C. 1955. Some Characteristics of Precipitation in Mexico, Geografiska Annaler, 37(1-2): 51-85. DOI: 10.1080/20014422.1955.11880870.

ANEXOS

Anexo 1. Probabilidad de hallar un valor al azar de $Z = (Y - \mu)$ (Martínez, 2012).

z	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
1	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
2	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
3	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
3.6	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
3.9	0.0000									

Anexo 2. Valores obtenidos de precipitación anual y su probabilidad de ocurrencia por los métodos utilizados.

Precipitación	Probabilidad (%)	
	Anual (mm)	Distribución normal
1066.1	0.5	2.7
944.6	3.4	5.4
880.2	7.6	8.1
844.0	11.3	10.8
839.2	11.9	13.5
821.8	14.0	16.2
800.2	17.1	18.9
793.2	18.4	21.6
772.2	21.8	24.3
760.5	23.9	27.0
722.5	31.6	29.7
719.8	32.3	32.4
685.5	40.1	35.1
684.1	40.5	37.8
681.6	40.9	40.5
679.5	41.3	43.2
661.6	45.6	45.9
634.0	52.4	48.6
618.1	56.0	51.4
608.7	58.3	54.1
592.4	62.2	56.8
586.4	63.7	59.5
576.5	65.9	62.2
566.3	68.1	64.9
560.4	69.2	67.6
557.2	69.9	70.3
515.7	77.9	73.0
497.2	81.1	75.7
492.2	81.9	78.4
492.0	82.1	81.1
460.8	86.4	83.8
460.4	86.7	86.5
436.5	89.4	89.2
406.0	92.5	91.9
403.8	92.7	94.6
347.1	96.3	97.3