

DISTRIBUCIÓN Y PROBABILIDAD DE LA LLUVIA EN CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

Mercado-Mancera, G.^{1*}; Ramírez-Rodríguez, M.²; Vizcarra-Hernández, I.F.²; López-Antonio, H.²;
López-Vargas, D.M.²; Granados-Mayorga, A.K.²; Reyes-Landa, D.²; Chaires-Montecinos, B.E.².

¹Departamento de Ciencias Agrícolas, FES-C, UNAM. Cuautitlán Izcalli, México.

²Licenciatura de Ingeniería Agrícola, FES-C, UNAM. Cuautitlán Izcalli, México

e-mail: *gmercado@unam.mx

Resumen

El estudio de la probabilidad de precipitación permite entre otras actividades, planear con mayor precisión las fechas de siembra y cosecha para cultivos que son sensibles a ellas, y esquivar el efecto pernicioso que genera la disminución y/o pérdida de las cosechas. El objetivo del presente trabajo fue el determinar la probabilidad de ocurrencia lluvia y su distribución, en la zona de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Para dicho cálculo se utilizaron dos métodos: Distribución Normal y Frecuencia Acumulada. Los datos utilizados fueron de la Estación Meteorológica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM, del periodo de enero de 1988 a diciembre de 2013, empleando los datos de precipitación promedio mensual y la total anual, además del número de días con lluvia apreciable e inapreciable. Los resultados obtenidos mostraron que por el Método de Distribución Normal se tiene una precipitación de 515.7 mm, y por Frecuencia Acumulada 492.1 mm. El número de días con lluvia apreciable al año es de 107 y con lluvia inapreciable 15 días. La tendencia de la precipitación en los últimos años es positiva, lo cual implica tomar medidas de protección para disminuir el riesgo por el exceso de lluvia. La probabilidad de lluvia obtenida también muestra la necesidad de contar con agua de riego para el ciclo agrícola otoño-invierno y con un riego de auxilio para la siembra del ciclo primavera-verano, puesto que el volumen de precipitación es bajo. Se recomienda, continuar con el registro de esta variable climática y estudiar la probabilidad de ocurrencia de volúmenes grandes de lluvia, para prevenir el riesgo de daños económicos en la zona, como los que han sucedido en años recientes.

Palabras clave

Probabilidad de ocurrencia, tendencia, distribución de lluvia.

Introducción

México es un país tradicionalmente agrícola que cuenta potencialmente con 30 millones de hectáreas con vocación agrícola, que constituye 15 % de su superficie total (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 dicha superficie. La mayor parte de la agricultura se practica bajo condiciones de temporal, totalizando 75 % la superficie anualmente establecida (Iñiguez *et al.*, 2014).

La agricultura representa una actividad esencial para el desarrollo del país y la seguridad alimentaria, por ello, es de interés nacional caracterizar su riesgo frente a la variabilidad climática con el propósito de contar con instrumentos cuantitativos de apoyo para definir políticas públicas que identifiquen las regiones agrícolas de alta vulnerabilidad climática (Iñiguez *et al.*, 2014) La estimación espacial y temporal de los recursos hídricos disponibles de una región agrícola es la base para una planificación sustentable. La necesidad de estudiar la variabilidad climática, en particular de la lluvia, es crucial en las ciencias agrícolas (Garduño, 1994).

La mayoría de los procesos fisiológicos que se realizan para el crecimiento y desarrollo de las plantas están fuertemente influenciados por la temperatura y por la precipitación (disponibilidad de agua en el suelo), las cuales controlan la proporción de reacciones químicas involucradas en varios procesos de crecimiento de la planta, asimismo, la solubilidad de minerales, la absorción de agua, nutrimentos y gases por la planta y varios procesos de difusión que ocurren dentro de la planta (Ortiz, 1987). Por lo tanto, los requerimientos hídricos de los cultivos varían, temporal y espacialmente en función de las condiciones ambientales, del manejo de la tierra y cultivo, así como de la fase de crecimiento y de la variedad del cultivo, por lo que su cálculo debe ser local (Doorenbos y Pruitt, 1977).

Las consecuencias de estos análisis son evidentes en las prácticas agrícolas, una vez que se conoce la demanda mínima de lluvia de determinado cultivo, se pueden evaluar rápidamente los riesgos de establecer dicho cultivo en una región. Esto constituye desde luego la primera medida que deberá adoptarse, para después, investigar la distribución de la lluvia durante el periodo de crecimiento del cultivo y otras como la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo.

Se ha señalado que para evidenciar la existencia de un cambio climático, es necesario analizar las tendencias de variables climáticas, considerando diferentes escalas de tiempo y espacio. Las tendencias son cambios graduales de incremento o decremento en el tiempo de las variables estudiadas, asociadas comúnmente a factores climáticos (Méndez, 2004). La forma más fácil de analizar e interpretar el clima promedio de una región es en términos de medias anuales o estacionales de temperatura y/o precipitación (Ayllón, 2003). La precipitación varía gradualmente de una región a otra, por consiguiente, la distribución de lluvia determina en gran magnitud el potencial climático de una región para la agricultura (FAO, 1978). En la mayor parte de la República Mexicana, la precipitación se presenta en la mitad del año en que se encuentra el verano, es decir, de mayo a octubre (García, 2003).

En México el clima exhibe fluctuaciones que difieren del pasado. 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-Real *et al.*, 1998). El interés actual por comprender las causas de la variabilidad climática, impone la necesidad de analizar tendencias de series de variables climatológicas (Méndez, 2008).

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.

La probabilidad de lluvia puede calcularse a través de los siguientes métodos (Ortiz, 1987):

a) Frecuencia Acumulada. En primer término es necesario ordenar los datos de mayor a menor.

Enseguida se le determina su número de orden y se aplican las siguientes fórmulas:

$$P = K / n+1$$

donde: P = Probabilidad de lluvia.
K = es el número de orden.
n = número de años estudiados.

Una vez obtenida la frecuencia acumulada se grafican y a partir de éstas se pueden calcular probabilidades de lluvia.

b) Distribución Normal. Es una de las funciones más sencillas que se utilizan para deducir las probabilidades de lluvia. Loma (1982) señaló que la probabilidad de que ocurra un suceso determinado es la relación entre el número de casos favorables al mismo y el número total de casos posibles, siempre que todos sean igualmente posibles. Queda expresado, por tanto, por una fracción cuyo numerador es el número de casos favorables y el denominador el número total de casos posibles.

A partir de las distribuciones de frecuencia, las probabilidades pueden calcularse para la ocurrencia de un elemento de cualquier tamaño o rango de tamaño especificado. La distribución de frecuencia más importante en la teoría y práctica de la estadística es la distribución normal. En este método los datos se ajustan o se asume que tienen una distribución normal y a partir del estadístico Z a una probabilidad (α), una probabilidad del 75 % es bastante razonable y comúnmente usada en estos cálculos (Ortiz, 1987). Un valor Z de cualquier valor de X se calcula mediante la sustracción de la media (μ) y la división del resultado entre la desviación estándar (S) (Little y Hills, 1991), como se expresa a continuación:

$$Z = \frac{X - \mu}{S}$$

donde: X = dato ordenado.
 μ = media aritmética.
S = desviación estándar.

Se ordenan los datos de mayor a menor y se calcula Z. Con este valor se entra a una Tabla de Probabilidades para calcular la probabilidad de hallar un valor al azar de Z. Cabe señalar que para valores negativos de Z tabulada, el valor encontrado en la tabla se expresa en porcentaje y se resta de 100 para así obtener la probabilidad de ocurrencia del valor en cuestión. Para valores positivos de Z tabulada, el valor de la tabla se expresa en porcentaje y es el valor directo de la probabilidad de lluvia.

El objetivo del estudio fue determinar la distribución y la probabilidad de ocurrencia de lluvia al 75 % de probabilidad, a través del empleo de los métodos de Frecuencia acumulada y el de Distribución normal, en la zona de Cuautitlán Izcalli, México.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM (FES-C), la cual se encuentra localizada a 2,256 msnm, a 19°11' de latitud norte y 99°41' de longitud oeste, en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Las características climáticas corresponden a un clima Templado Subhúmedo C(w₀), el más seco de los subhúmedos, con lluvias de verano; la temperatura media anual es de 15.2 °C y la precipitación media anual de 612.1 mm; las heladas se presentan principalmente durante el periodo invernal (Mercado, 2014). La zona cuenta con riego agrícola, lo cual permite desarrollar dos ciclos agrícolas.

El cálculo de la probabilidad de precipitación se realizó con datos promedio anuales registrados en la estación meteorológica de la FES-C, del periodo de enero de 1988 a diciembre del 2013, utilizando los métodos: Distribución Normal, de acuerdo al procedimiento signado por Pereyra *et al.* (2009); y Frecuencia Acumulada (Ortíz, 1987). Los datos fueron procesados en la hoja electrónica Excel.

Se determinó además, la distribución anual de la precipitación ocurrida durante el periodo de estudio considerado, los días con lluvia apreciable e inapreciable, y la tendencia de la precipitación durante el periodo de estudio.

Resultados y Discusión

En las Figuras 1 y 2 se muestran las probabilidades de que ocurra un volumen anual de lluvia para la zona de estudio, con base a los resultados obtenidos por los métodos de Frecuencia acumulada (FA) y Distribución normal (DN), y se considero un índice de probabilidad del 75 % de ocurrencia de lluvia para ambos métodos.

Se determinó por el método de FA un valor de 492.1 mm de precipitación anual; mientras que por el método de DN se obtuvo 515.7 mm, al 75 % de probabilidad, con una diferencia de 23.5 mm entre los dos métodos.

Se observó por lo tanto, que disminuye la probabilidad de tener un mayor volumen de precipitación en la zona de estudio.

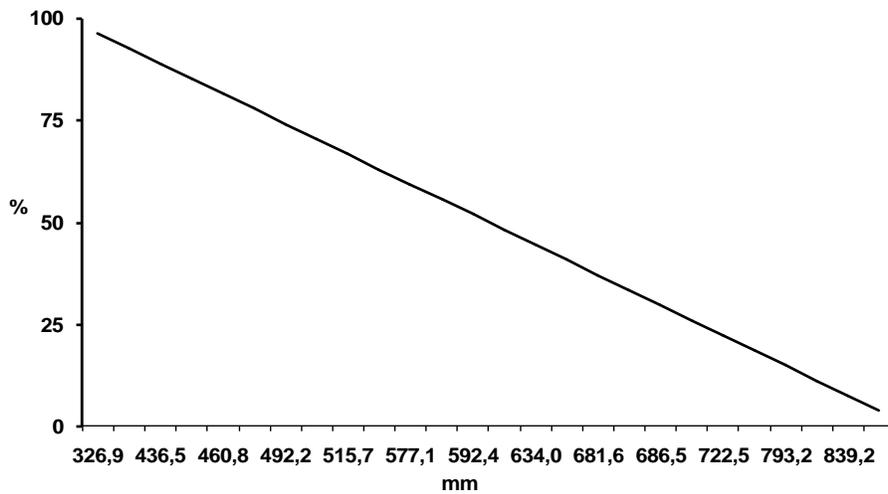


Figura 1. Probabilidad de lluvia por el Método de Frecuencia acumulada, Cuautitlán Izcalli, Méx.

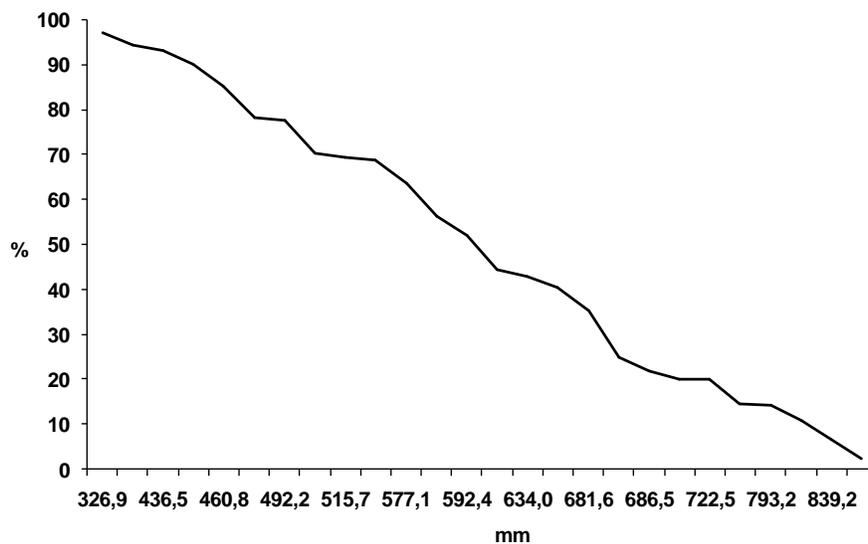


Figura 2. Probabilidad de lluvia por el Método de Distribución normal, Cuautitlán Izcalli, Méx.

En el método de DN los datos se ajustan a partir del estadístico Z a una probabilidad (α), del 75 % lo cual resulta ser razonable, por lo cual se considera que el valor determinado por este método representa mayor confiabilidad con respecto al método de FA.

En la Tabla 1, se presenta los datos ordenados y la probabilidad de cada valor de lluvia anual registrado en la zona de estudio, para cada método empleado en este trabajo.

Tabla 1. Probabilidad de ocurrencia de lluvia total anual, Cuautitlán Izcalli, Méx.

AÑO	Pp anual (mm)	Pp anual ordenada (mm)	Probabilidad F.A. (%)	Probabilidad D.N. (%)
1988	326.9	880.2	3.7	2.94
1989	398.8	839.2	7.4	5.48
1990	686.5	821.8	11.1	6.94
1991	760.6	793.2	14.8	10.03
1992	880.2	760.6	18.5	14.69
1993	492.2	722.5	22.2	21.77
1994	684.1	719.8	25.9	22.36
1995	661.5	686.5	29.6	29.81
1996	492.0	684.1	33.3	30.50
1997	515.7	681.6	37.0	31.21
1998	501.5	661.5	40.7	36.32
1999	557.2	634.0	44.4	43.64
2000	460.4	618.1	48.1	48.01
2001	577.1	592.4	51.9	55.57
2002	719.8	586.4	55.6	57.11
2003	586.4	577.1	59.3	59.48
2004	839.2	557.2	63.0	64.80
2005	436.5	515.7	66.7	<u>75.17</u>
2006	793.2	501.5	70.4	78.23
2007	821.8	492.2	<u>74.1</u>	80.00
2008	618.1	492.0	77.8	79.95
2009	592.4	460.8	81.5	85.54
2010	460.8	460.4	85.2	85.77
2011	634.0	436.5	88.9	89.07
2012	681.6	398.8	92.6	93.32
2013	722.5	326.9	96.3	97.78

F.A.= Frecuencia acumulada. D.N. Distribución normal.

En la Figura 3 se presenta la distribución de la lluvia durante el año, con los promedios mensuales obtenidos en el estudio (Tabla 2). Se puede observar, que esta se concentra en la mitad caliente del año como lo consignó García (2003). El mes más lluvioso es Julio con 124.3 mm y el más seco es Diciembre con 4.1 mm. El número de días al año con lluvia apreciable es de 107 y con lluvia inapreciable es de 15.

Tabla 2. Precipitación, número de días con lluvia apreciable e inapreciable, promedio mensual, Cuautitlán Izcalli, Méx.

MES	Pp (mm)	Número de días con lluvia apreciable	Número de días con lluvia inapreciable
E	8,1	3	0
F	12,5	3	1
M	11,0	4	2
A	26,9	7	2
M	40,6	10	2
J	103,9	14	2
J	124,3	19	1
A	111,0	18	2
S	96,9	15	1
O	61,0	9	1
N	11,8	4	1
D	4,1	2	1
Total	612.1	107	15

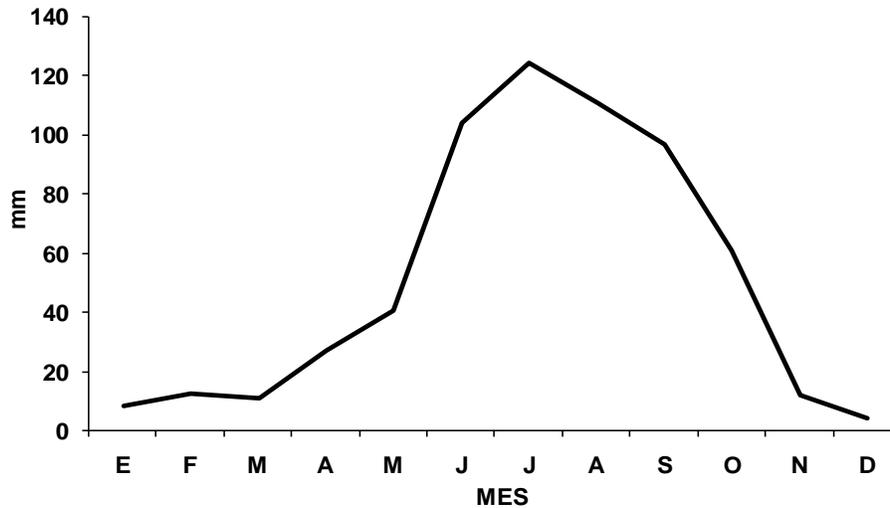


Figura 3. Distribución de la lluvia promedio mensual, Cuautitlán Izcalli, Méx.

La tendencia de la precipitación total anual presenta un incremento en los últimos años, aunque la R^2 obtenida es baja (0.086) (Figura 4). El año más seco fue 1988 con 329.5 mm y el año más húmedo ha sido 1992 con 880.2 mm. Asimismo, se ha registrado lluvia muy intensa, por ejemplo, el día 10 de octubre de 1992 se presentó un evento con 90.1 mm, en el lapso de una hora, lo cual generó problemas en la región.

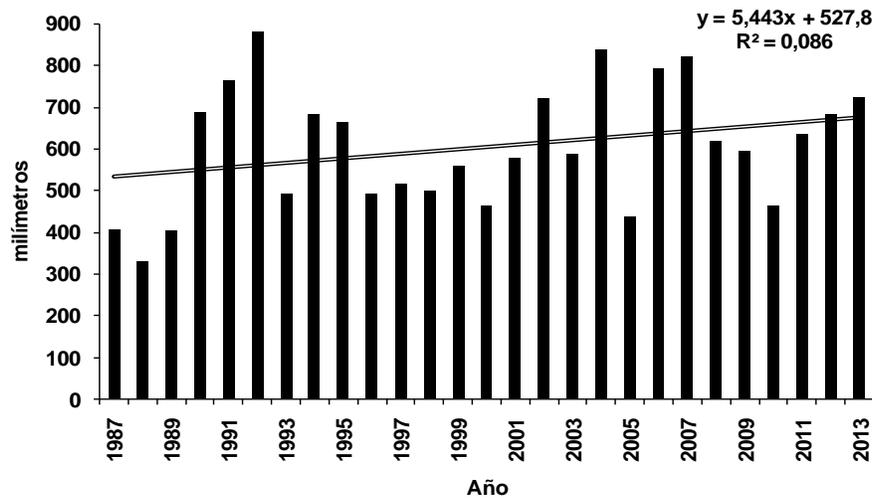


Figura 4. Tendencia de la lluvia promedio anual, Cuautitlán Izcalli, Méx.

Es importante señalar que la precipitación es el elemento del clima más variable, que dan muestra de la variabilidad climática, la cual se debe considerar en la creación de nuevos asentamientos humanos para disminuir el riesgo de daños y pérdidas económicas, como han sucedido en años recientes en la zona de estudio.

Conclusiones

Por el tratamiento de los datos y las variables de tendencia central y dispersión calculados en el método de Distribución normal, este procedimiento es el que mejor ajuste presenta y se recomienda aplicarlo en la determinación de la probabilidad de ocurrencia de lluvia. Por lo tanto, la probabilidad de lluvia obtenida por este método es de 515.7 mm o menos.

La tendencia de la lluvia en los últimos años del estudio es positiva, en mucho refleja el impacto del cambio de uso del suelo, que paso de uso agropecuario a zona habitacional e industrial, y que en la zona de influencia de la estación meteorológica de la FES-C se ha manifestado en la última década.

Se recomienda, continuar con el registro de esta variable climática y estudiar la probabilidad de ocurrencia de volúmenes grandes de lluvia, para prevenir el riesgo de daños económicos en la zona, como los que han sucedido en años recientes.

Agradecimientos

Se agradece al personal responsable de la Estación Meteorológica, del Departamento de Ciencias Agrícolas de la FES-C, por el apoyo recibido y disponibilidad de los datos climáticos aportados.

Bibliografía

1. Ayllon, T. 2003. Elementos de Meteorología y Climatología. 2ª edición. Editorial Trillas, México.
2. Corte, R.J., Qian, B., Xu, H. 1998. Regional climate change in Portugal: precipitation variability associated with large-scale atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*. 18: 619-635.
3. FAO. 1978. Report on the Agro-Ecological Zones. Project vol. 1. Methodology and results for Africa. Roma, Italia.
4. García, E. 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas* 50: 67-76.
5. Garduño, R. 1994. El veleidoso clima. Fondo de Cultura Económica SA. de C.V. México. D.F.
6. Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI). 2009. Censo Agropecuario 2007. VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Aguascalientes, México, D. F.
7. Iñiguez, C.M., Ojeda, B.W., Díaz, D.C., Sifuentes, I.E. 2014. Análisis de cuatro variables del período de lluvias asociadas al cultivo maíz de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(1): 101-114.
8. Loma, D.J. L. 1982. Experimentación agrícola. 2ª edición. México. Pág. 29.
9. Little, T. M.; Hills, F. J. 1991. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. 2ª edición. Editorial Trillas. México. Pág. 22-29.
10. Méndez, G.J., Návar, Ch.J.J., González, O.V. 2008. Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas* 65: 38-55.
11. Mercado, M.G. 2013. Base de datos climáticos de la Estación Meteorológica Almaraz. Datos de uso interno sin publicar. FES-C, UNAM. Cuautitlán Izcalli, Méx.
12. Ortiz, S.C.A. 1987. Elementos de Agrometeorología cuantitativa con aplicaciones en la República Mexicana. 3ª edición. Universidad Autónoma Chapingo, México. Pág. 54-57.