

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey



**Tecnológico
de Monterrey**

Construyendo cuerpo y mente (Gpo 120)

Actividad Integradora 1 - Reporte

Facundo Colasurdo Caldironi

A01198015

Campus Monterrey

Fecha: 25/10/2024

La influencia de los factores climatológicos en la Ingeniería Civil es crucial para la planificación y diseño de diversas estructuras, especialmente en regiones expuestas a fenómenos meteorológicos extremos, esto se nos deja en claro en las palabras dadas por el Servicio Meteorológico de Guatemala, el cual dice:

“...Muchas obras de ingeniería civil son profundamente influenciadas por factores meteorológicos y climáticos, entre los que se destaca por su regularidad las precipitaciones pluviales. En efecto, un correcto dimensionamiento del drenaje garantiza la vida útil de una carretera, una vía férrea, un aeropuerto, etc...”

Lo anterior nos ayuda a confirmar como en particular, la lluvia es un factor importante para determinar los diseños de las estructuras, ya que no solo es esencial para poder gestionar grandes volúmenes de agua, como en carreteras, puentes y drenajes, sino que también, su mal diseño puede provocar fallos catastróficos, en donde no solo afectan a la construcción, sino también, a las personas.

En este estudio, se analizarán los datos históricos de precipitaciones máximas mensuales entre 1994 y 2023 de la ciudad de México, con el objetivo de calcular la precipitación extrema asociada a un período de retorno específico de diez años, este análisis es fundamental para garantizar que las infraestructuras diseñadas tengan una vida útil prolongada y que cumplan con los estándares de seguridad necesarios para enfrentar las condiciones climáticas de México.

Para poder analizar la frecuencia de las precipitaciones, se realizaron dos tipos de análisis; un análisis gráfico y otro analítico, con el fin de poder obtener los mejores resultados posibles.

El análisis gráfico nos ayudó a obtener de una manera visual la información de las precipitaciones, en donde fue posible visualizar la variación provocada por la precipitación y el periodo de retorno, por otra parte, en el análisis analítico se usaron distintas pruebas de ajuste para verificar las distribuciones teóricas (Normal, Log-Normal, Exponencial, Gamma, Weibull, y Gumbel) y como estas se ajustaban a los datos, para lo que se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) para evaluar la distribución teórica y empírica.

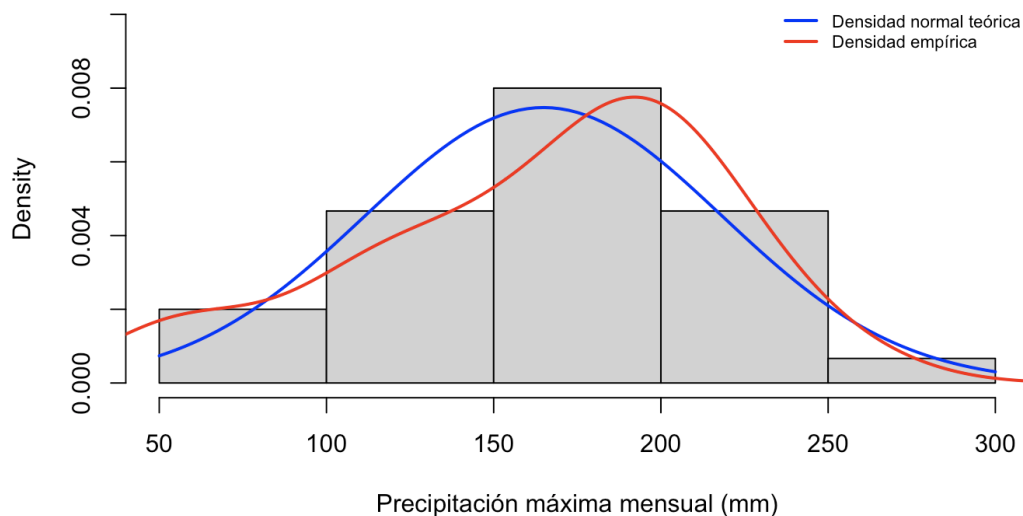
A continuación, se detallan los resultados obtenidos, organizados por cada una de las posibles distribuciones:

Distribución	Estadístico KS (D)	p-valor KS	Interpretación
Normal	0.12085	0.7285	No se rechaza H0, posible ajuste
Log-Normal	0.1738	0.2902	No se rechaza H0, ajuste marginal
Exponencial	0.36029	0.0005399	Se rechaza H0, mal ajuste
Gamma	0.15526	0.4219	No se rechaza H0, posible ajuste

Weibull	0.12421	0.6977	No se rechaza H0, ajuste aceptable
Gumbel	0.16667	0.808	No se rechaza H0, posible ajuste

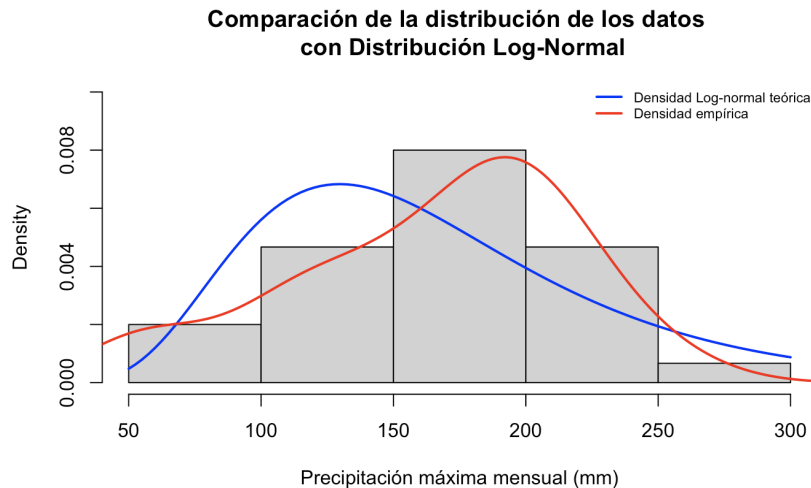
La tabla anterior nos ayuda a comprender cómo es que las distintas distribuciones teóricas se ajustan a los datos de precipitaciones pasadas. A continuación, se detallan los hallazgos de cada distribución evaluada en este estudio.

Comparación de la distribución de los datos con Distribución Normal



La distribución normal mostró que tiene un ajuste razonable con los datos, aunque no completamente, esto debido a que se observa que ambas curvas no son exactas, lo que nos dice que existe una limitación en la habilidad del modelo para capturar todos los valores, a su vez, si vemos los resultados de la prueba KS, la cual es una prueba que permite evaluar si las probabilidades de excedencia de las precipitaciones máximas siguen esta distribución teórica, podemos observar que no hay suficiente evidencia para la rechazar la hipótesis nula de normalidad, la cual es H0, los datos provienen de una distribución normal.

Lo anterior sugiere que, aunque los datos empíricos presentan algunas desviaciones en los extremos, la normalidad de los datos no puede descartarse estadísticamente, las distribuciones acumuladas empírica y teórica son similares, con pequeñas diferencias que refuerzan la idea de que, aunque los datos no siguen perfectamente una distribución normal, se aproximan a ella en general, lo cual apoya la consistencia del modelo.

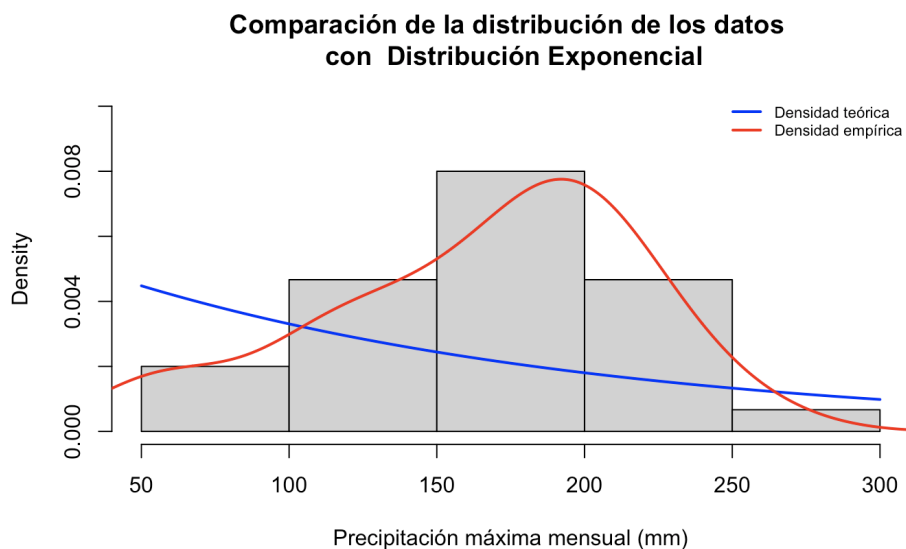


Al analizar la distribución log-normal frente a los datos empíricos, se pudo observar que ambas son presentadas de una forma similar, aunque con algunas diferencias clave, mientras que el pico de los datos empíricos se sitúa alrededor de 200 mm, el de la distribución log-normal teórica se encuentra en 140 mm.

Esta discrepancia sugiere que, aunque las formas generales de las distribuciones son parecidas, el ajuste no es exacto y existen desviaciones en los extremos.

Los datos empíricos representan las observaciones reales, como las precipitaciones máximas, mientras que los datos teóricos siguen un modelo matemático, estos resultados indican que no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal.

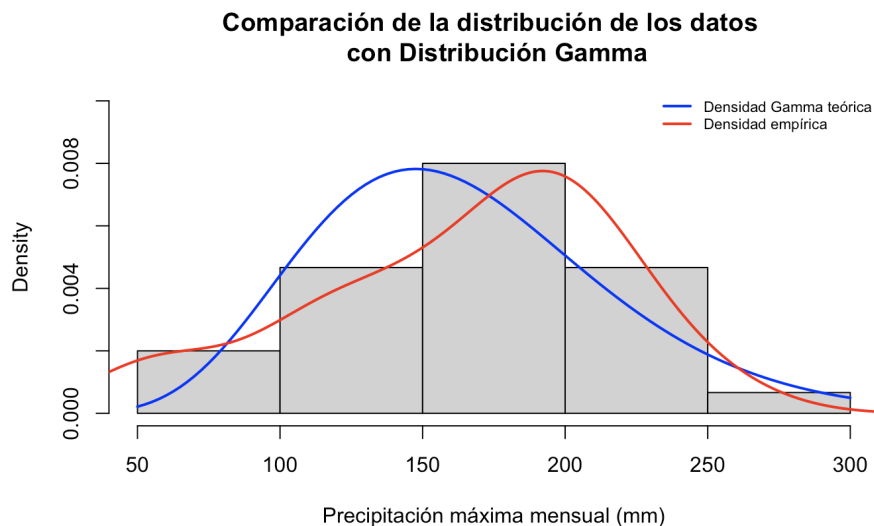
La distribución log-normal se caracteriza por dos parámetros fundamentales, μ (media del logaritmo natural de datos) y σ (Desviación estándar del logaritmo natural de los datos), estos parámetros se estiman mediante el método de máxima verosimilitud, que maximiza la probabilidad de que los datos observados provengan de la distribución teórica.



Al probar la distribución exponencial frente a los datos empíricos, se observó un ajuste deficiente, ya que los datos empíricos presentaron un pico claro en su distribución, mientras que la distribución exponencial teórica descende continuamente desde el inicio, esta discrepancia indica que la naturaleza de los datos empíricos, como las precipitaciones máximas, no es bien representada por la suavidad descendente de la distribución exponencial, que carece de los picos y variaciones que se observan en los datos reales.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov respalda el rechazo de la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución exponencial, en términos estadísticos, estos resultados indican una diferencia significativa entre los datos observados y la distribución teórica.

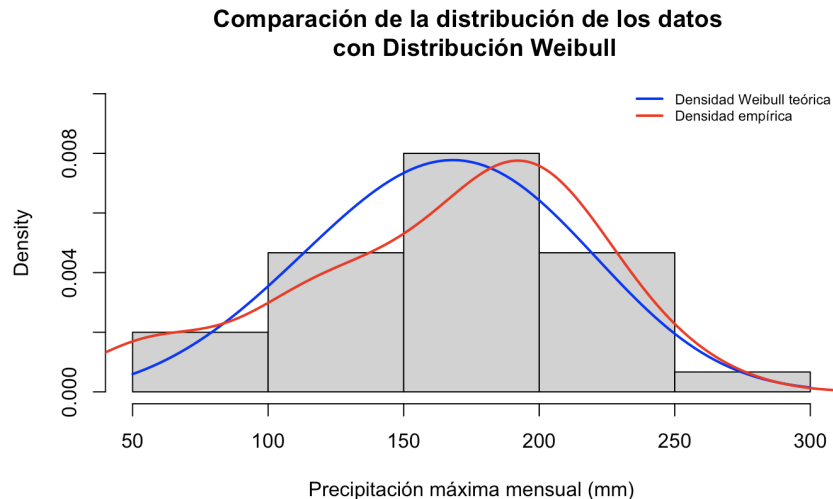
Para este análisis, se consideran dos parámetros clave de la familia de distribuciones relacionadas; alpha (que describe la forma de la distribución) y beta (que indica el rango de valores), estos parámetros se calculan generalmente mediante el método de momentos o de máxima verosimilitud, igualando las medidas muestrales con los valores teóricos esperados.



La distribución Gamma mostró un ajuste visual moderado con los datos empíricos, aunque ambas curvas tienen formas similares, se observan diferencias en los picos: el pico de la distribución empírica se sitúa alrededor de los 200 mm, mientras que el pico de la distribución Gamma teórica está en 150 mm.

La prueba de Kolmogorov indicó que no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución Gamma, el valor de P, sugiere que no hay diferencias significativas entre los datos observados y la distribución Gamma teórica al nivel de significancia elegido.

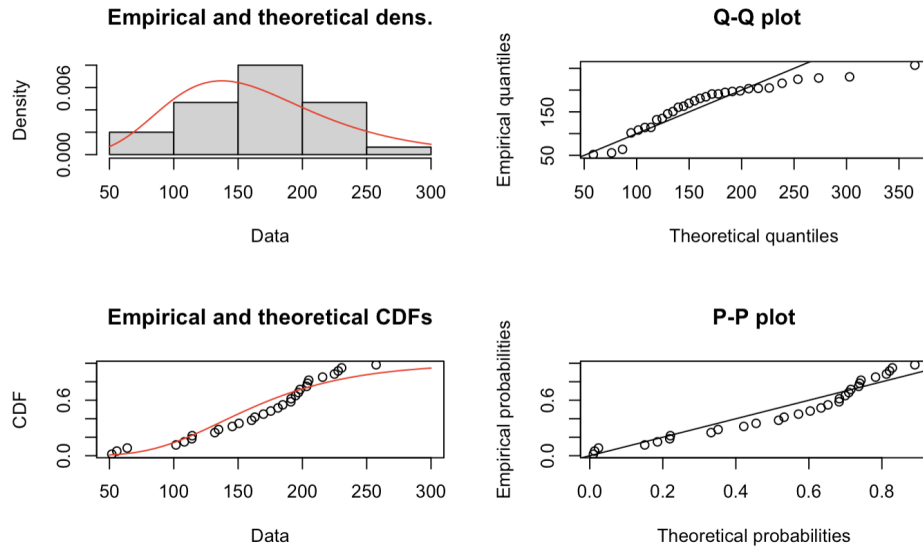
La distribución Gamma se caracteriza por dos parámetros principales: el parámetro de forma y el de escala, estos parámetros suelen estimarse mediante el método de momentos, que ajusta la distribución teórica a los momentos empíricos (media y varianza) de los datos, el parámetro de forma se obtiene al dividir la media al cuadrado entre la varianza, mientras que el parámetro de escala se calcula dividiendo la varianza entre la media.



La distribución Weibull mostró un ajuste razonable en relación con los datos empíricos, aunque las curvas de ambas distribuciones no se superponen completamente, sin embargo, los picos de la distribución empírica y la Weibull teórica están relativamente cerca, lo que sugiere una forma de la curva similar entre ambas.

La prueba de KS permite observar que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que los datos provienen de una distribución Weibull, en donde, la comparación de ambas distribuciones acumuladas evidencia que, si bien no hay una superposición exacta, los picos cercanos refuerzan la viabilidad de la Weibull para modelizar los datos empíricos.

La distribución Weibull se caracteriza por dos parámetros fundamentales: el de forma y el de escala, la estimación de estos parámetros es más compleja que en distribuciones como la Gamma o la Exponencial, ya que los momentos (media y varianza) no se relacionan de forma directa y sencilla con los parámetros de la Weibull, a su vez, la función de verosimilitud para la Weibull no tiene una solución analítica directa, lo que complica la estimación precisa de estos parámetros, esta complejidad contrasta con la distribución Gamma, en la que los parámetros pueden calcularse a partir de la media y la varianza de los datos mediante el método de momentos.



La distribución Gumbel, ampliamente utilizada en el análisis de valores extremos, se ajustó a los datos de precipitaciones máximas con un nivel de precisión aceptable.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov dio valores que sugieren que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, en esta, el valor alto de P refuerza la idea de que la Gumbel se ajusta bien a los datos, sugiriendo que las probabilidades de excedencia para las precipitaciones extremas podrían ser modeladas eficazmente con esta distribución.

La distribución Gumbel se caracteriza por dos parámetros principales: μ y β , estos parámetros ajustan la forma y el centro de la distribución, ya que influyen en la precisión del modelo para reflejar adecuadamente la frecuencia de eventos observados, en general, el ajuste de la Gumbel no presenta grandes diferencias visuales con la distribución empírica, lo cual puede estar relacionado con la naturaleza de los datos y el enfoque particular de la Gumbel en eventos extremos.

En conclusión, el análisis realizado para estimar la frecuencia y magnitud de las precipitaciones extremas en la Ciudad de México revela que, entre las diversas distribuciones evaluadas, la distribución de Weibull es la que mejor se ajusta a los datos históricos, aunque Gumbel también puede considerarse como una segunda buena opción, más los resultados de KS dejaron en claro que Weibull tuvo mejores resultados, este modelo se destaca por su capacidad para representar con precisión la distribución de precipitaciones extremas, lo cual es fundamental para calcular periodos de retorno y obtener estimaciones confiables.

La selección de un modelo adecuado permite estimar de manera confiable la precipitación y sus periodos de retorno, esto se puede ver en el periodo de retorno de 10 años considerado en este análisis, en la cual se estima una precipitación máxima de 415.36 mm, valor que resulta útil para prever la lluvia extrema esperada en dicho periodo de tiempo, esta información es crítica para el diseño de estructuras, pues permite planificar con base en las necesidades de protección y durabilidad, además de reducir riesgos durante la construcción.

A medida que el periodo de retorno aumenta, también lo hace la estimación del caudal máximo, lo que subraya la necesidad de diseños más robustos para enfrentar eventos de mayor magnitud, aunque menos frecuentes, gracias a esto, es particularmente importante en zonas urbanas, donde la probabilidad de inundaciones puede poner en riesgo a la población.

Es importante señalar que los valores obtenidos en este análisis son específicos para la Ciudad de México, ya que los patrones de lluvia y sequía varían considerablemente en otras regiones del país, cada área presenta características únicas, lo cual implica que los cálculos y modelos deben adaptarse según la ubicación geográfica para asegurar su precisión.

La elección cuidadosa del periodo de retorno es esencial en estos análisis, ya que impacta directamente en la planificación y toma de decisiones de diseño, debido que la selección de un periodo inadecuado puede llevar a subestimar la frecuencia y magnitud de las lluvias intensas, aumentando los riesgos de fallos estructurales, riesgos que podrían evitarse con una selección informada y ajustada.

En resumen, este análisis resalta la importancia de elegir y evaluar cuidadosamente las distribuciones de probabilidad que se ajusten a los objetivos específicos de diseño y manejo del agua en áreas urbanas dentro de un periodo de diez años, la distribución de Weibull, se muestra como una herramienta efectiva para analizar la frecuencia de lluvias extremas, brindando una estimación confiable de los caudales esperados, todo lo anterior permite a los ingenieros poder adelantarse y adaptar sus proyectos a los desafíos que plantea un entorno en constante cambio como lo es la ciudad de México.

Referencias bibliográficas:

Aimacaña Iza, J. C. (2017). Estudio comparativo del comportamiento a compresión de pavimentos asfálticos a base de polímeros y pavimentos flexibles tradicionales (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil).

Magaña, V., López, L. C., & Vázquez, G. (2013). El pronóstico de lluvias intensas para la Ciudad de México. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 16(1), 18-25.

Universidad. M. (2020). Aplicación en la ingeniería civil. Recuperado de <https://www.smg.gt/ing-civil/#:~:texto=Muchas%20obras%20de%20ingenier%C3%A9a%20civil,f%C3%A9rea%2C%20un%20aeropuerto%2C%20etc>.