



Tecnológico de Monterrey

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Campus Monterrey

Inteligencia Artificial Avanzada para la Ciencia de Datos II

**Actividad Integradora I - Precipitaciones máximas mensuales para el diseño de obras
hidráulicas**

Daniela Jiménez Téllez

A01654798

Octubre, 2024.

Actividad Integradora I - Precipitaciones máximas mensuales para el diseño de obras hidráulicas

I. Introducción

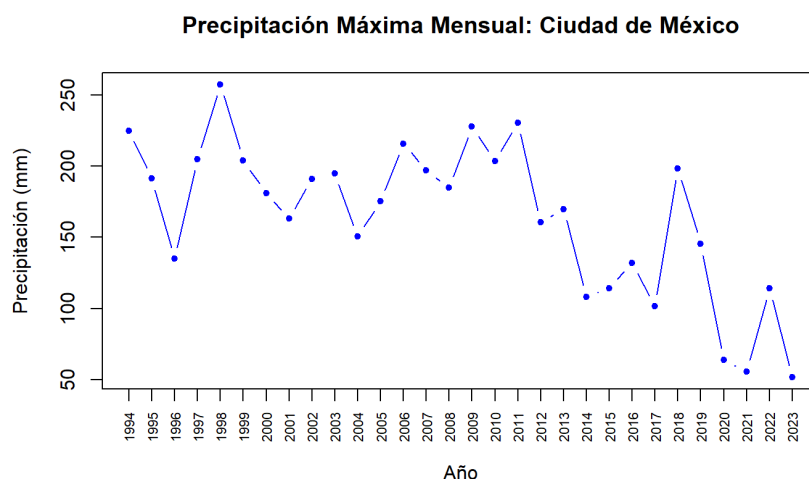
Varias obras de la Ingeniería Civil se ven altamente influenciadas por los factores climatológicos como la lluvia y la temperatura. En hidrología, por ejemplo, es necesario conocer el valor de la máxima precipitación probable registrada para un determinado período de retorno para realizar los cálculos y el diseño de las estructuras de conservación de agua como las presas y otras obras civiles como puentes, carreteras, y edificios. El cálculo adecuado de dimensiones para un drenaje, garantizan la correcta evacuación de volúmenes de agua asegurando la vida útil de carreteras, aeropuertos, y drenajes urbanos.

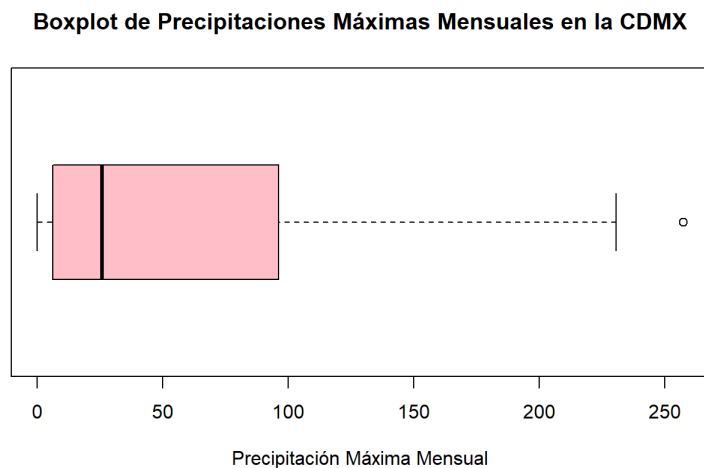
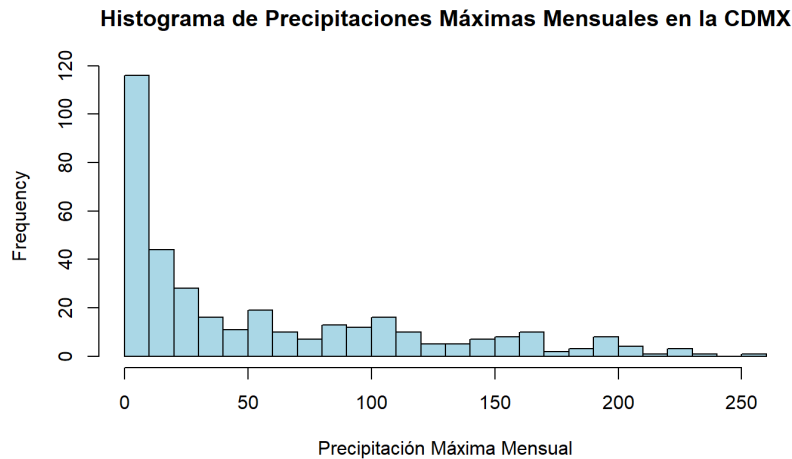
En este reporte, se analizarán los datos históricos (1994-2023) de las precipitaciones máximas mensuales de la Ciudad de México para cumplir el objetivo principal de este estudio, que consiste en calcular la precipitación más extrema que se logra con un periodo de retorno seleccionado. Igualmente, se mostrarán los resultados de un análisis descriptivo de los datos, así como un análisis de frecuencias por dos métodos: método gráfico y método analítico.

II. Metodología

A. Análisis descriptivo

Para empezar, se eligió trabajar con los datos de la Ciudad de México. Una vez filtrando estos, se hizo un análisis descriptivo, en el cual se realizaron diferentes tests, así como gráficas que permitieron ver cómo se comportan los datos de manera más visual y analítica. A continuación se muestran los resultados y gráficas que se obtuvieron, así como la interpretación de cada una:





Con base en las gráficas anteriores, se puede observar que las precipitaciones máximas mensuales muestran una distribución asimétrica hacia la derecha, donde se puede ver una concentración de datos en valores bajos y una cola extendida hacia valores más altos. También, se puede observar que no solo hay un valor atípico, lo que muestra que los datos están mayormente limpios. Igualmente, la variabilidad en los datos es alta. Se obtuvo una desviación estándar de 61.22 y una varianza de 3748.49, lo que indica que las lluvias en la CDMX son muy dispersas. Finalmente, en la prueba de normalidad se puede ver que el p-value es muy bajo, por lo tanto, los datos no siguen una distribución normal. Esto tiene sentido ya que la curtosis es de 3.20, lo que señala una mayor frecuencia de valores extremos en comparación con una distribución normal.

B. Análisis de frecuencias - Método gráfico

En el caso de este análisis, se puede decir que el método gráfico consiste en realizar dos gráficas que muestran las precipitaciones máximas comparadas con la probabilidad de excedencia y con su periodo de retorno.

En términos de hidrología, la probabilidad de excedencia se refiere a la probabilidad de que una precipitación máxima iguale o supere un valor específico en un año dado. Cuando hay valores altos, hay una baja probabilidad de excedencia, indicando que un evento pasa raramente. Por otro lado, a medida que la probabilidad de excedencia sube, la intensidad de la

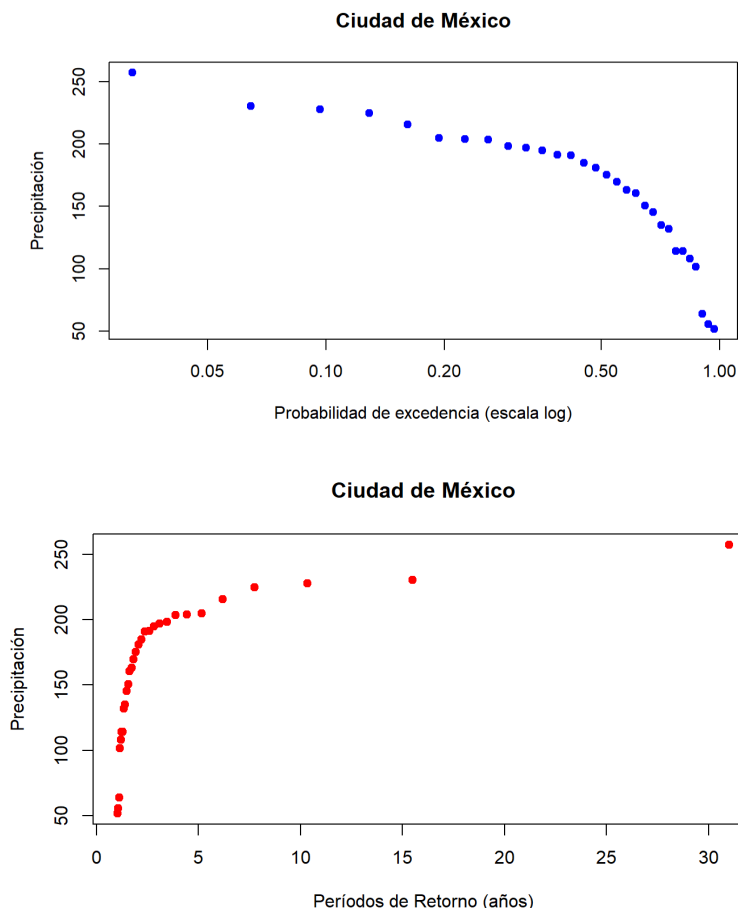
lluvia disminuye, lo que refleja eventos menos extremos y más comunes. Para calcularlo, se usa la siguiente fórmula:

$$P_{exe} = \frac{m}{N+1}$$

Igualmente, se tiene que el periodo de retorno es el intervalo de tiempo en años esperado en el que un evento de cierta magnitud ocurre o se excede una vez. Esto quiere decir que a medida que aumenta el tiempo, la intensidad de la precipitación también crece, mostrando eventos menos frecuentes pero más fuertes. Para calcularlo se ocupa la siguiente fórmula:

$$P_{no\ exe} = 1 - P_{exe}$$

Habiendo dicho eso, a continuación se muestran las gráficas resultantes del análisis de frecuencias por el método gráfico:



En la primera gráfica se puede observar que las precipitaciones más altas tienen una probabilidad de excedencia baja, lo que indica que estos eventos son raros. Por otro lado, en la segunda gráfica se tiene que la magnitud de la precipitación máxima mensual aumenta conforme se incrementa el periodo de retorno. Esto significa que la lluvia extrema, aunque es menos frecuente, es muy intensa.

C. Análisis de frecuencias - Método analítico

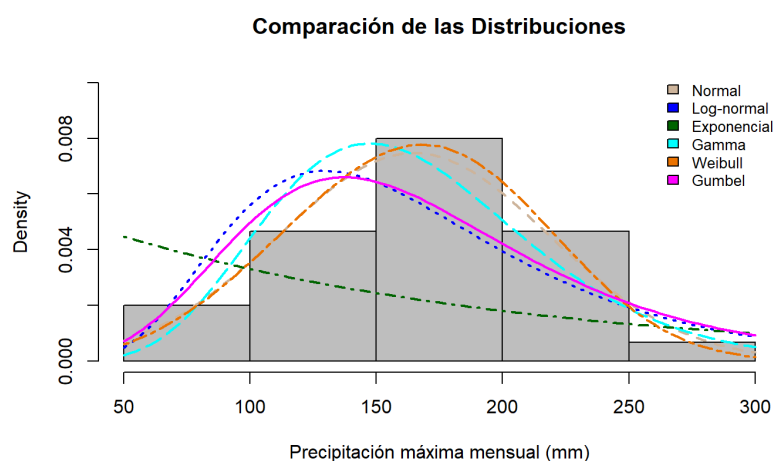
El análisis de frecuencias por el método analítico consiste en asumir que los datos pueden ser ajustados a través de una función de densidad de probabilidades (FDP), la cual servirá para modelar y pronosticar precipitaciones y períodos de retorno. Para poder emplearlo, es necesario probar varias distribuciones y emplear pruebas de bondad de ajuste para decidir cuál distribución es la que mejor se ajusta a los datos. En el caso de este análisis se utilizaron las siguientes FDPs:

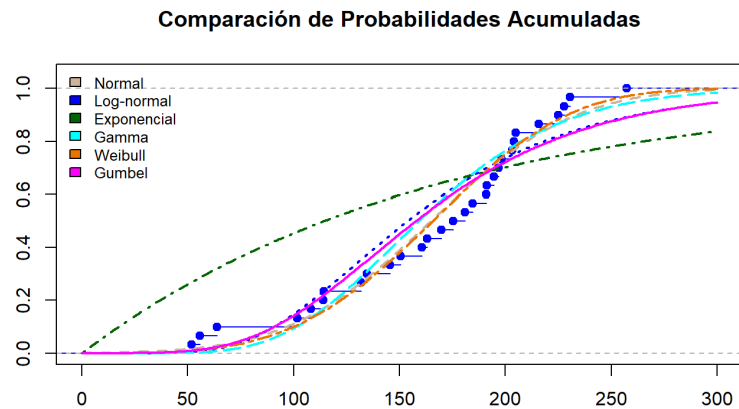
- Distribución Normal
- Distribución Log-Normal
- Distribución Exponencial
- Distribución Gamma
- Distribución Weibull
- Distribución Gumbel

A continuación se muestra un gráfico con los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov:

Distribución	P-valor
Distribución Normal	0.7285
Distribución Log-Normal	0.2902
Distribución. Exponencial	0.0005399
Distribución Gamma	0.4219
Distribución Weibull	0.6977
Distribución Gumbel	0.4619

Igualmente, se hicieron estos gráficos para poder ver el ajuste de manera más visual, lo que en conjunto con la tabla anterior, permitió concluir qué distribución es la mejor para los datos de la Ciudad de México:

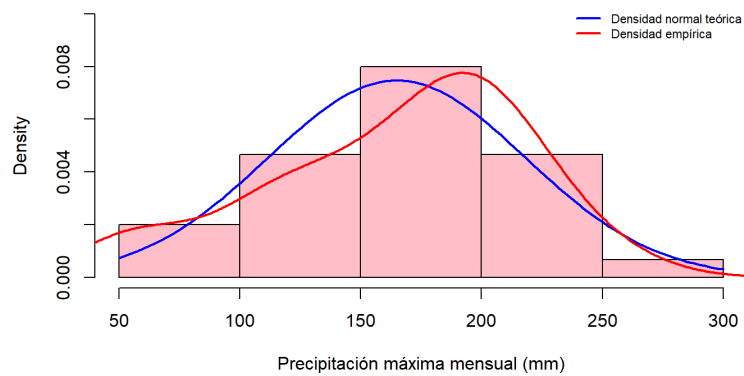




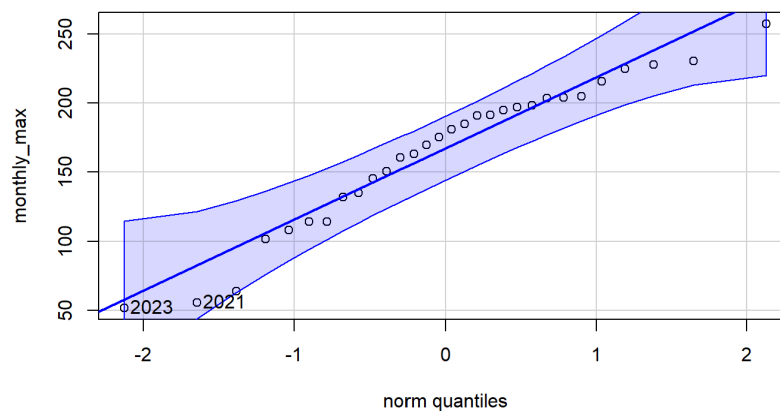
Con base en el análisis anterior, se puede decir que las distribuciones que mejor se ajustan son la normal y la Weibull, así que se mostrarán sus resultados más a profundidad para así poder tomar una decisión:

1. *Distribución Normal*

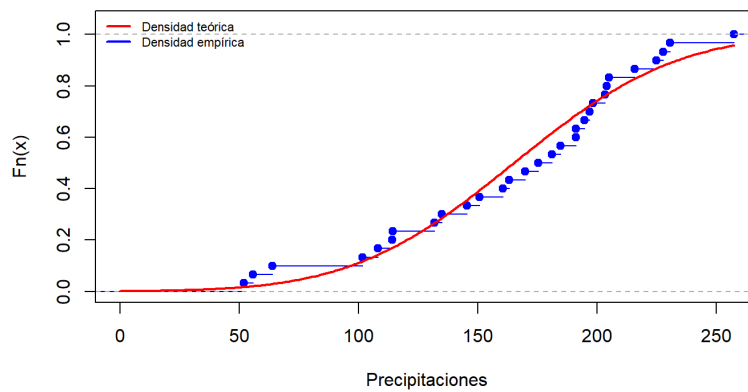
Comparación de la distribución de los datos con Distribución Normal



QQ plot para verificar normalidad



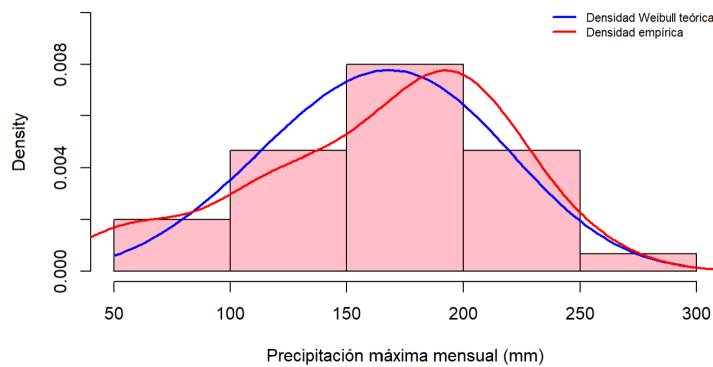
Comparación con la Distribución Normal



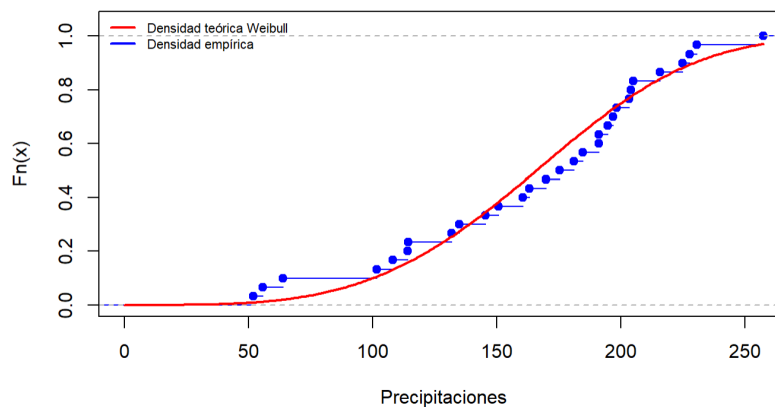
Observando las gráficas anteriores, se puede decir que los datos no se ajustan perfectamente a una distribución normal, sin embargo, no muestran resultados terribles. La curva de densidad empírica muestra asimetría hacia la derecha, lo cual señala que no hay un ajuste perfecto. La distribución normal tiene dos parámetros: la media (μ) y la desviación estándar (σ). Estos parámetros determinan la forma de la curva. La media centraliza la distribución en el eje horizontal, y la desviación estándar define qué tan ancha es la curva.

2. Distribución Weibull

Comparación de la distribución de los datos con Distribución Weibull



Comparación con la Distribución Weibull



Viendo lo anterior, los datos parecen ajustarse bien a una distribución Weibull, como se observa en las gráficas de densidad y probabilidad acumulada, donde las curvas teóricas siguen de cerca las curvas empíricas. La prueba de Kolmogorov-Smirnov también muestra buenos resultados, con un estadístico $D = 0.12421$ y un p-value de 0.6977, lo cual es un buen nivel de significancia. Esto indica que no hay evidencia significativa para rechazar la hipótesis nula, lo que sugiere que la distribución Weibull es adecuada para modelar estos datos. La distribución Weibull tiene dos parámetros: el de forma y el de escala, los cuales se estiman mediante métodos como el de máxima verosimilitud, lo que la hace más compleja de ajustar en comparación con distribuciones como la normal, cuyos parámetros se calculan directamente a partir de la media y la desviación estándar.

D. Diseño de obras hidráulicas

Para continuar el problema, se desea diseñar una presa derivadora para una zona de riego mediana. De acuerdo con San Diego State University, para una zona de riego mediana (1,000 a 10,000 Ha), el periodo de retorno es de 100 a 500 años.

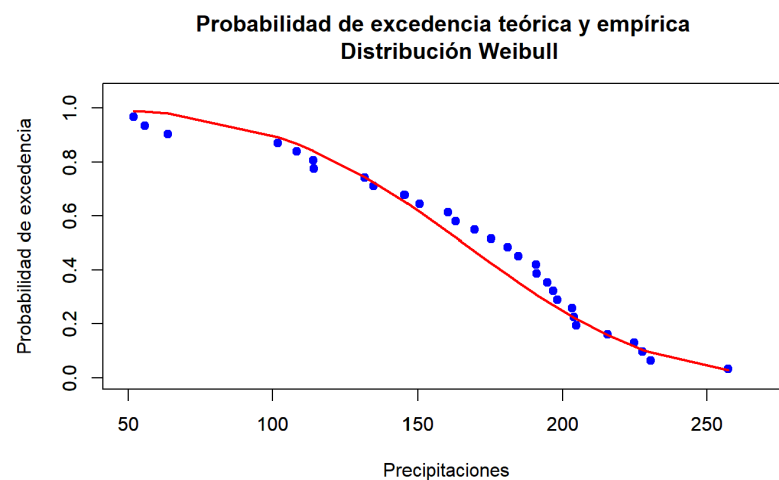
En este caso, se usará un procedimiento parecido a los anteriores. Se empezará por calcular la probabilidad de excedencia con la siguiente fórmula:

$$P_{ret} = \frac{1}{P_{exe}}$$

Igualmente, se calculó su complemento, el cual se utilizará para encontrar el valor de la precipitación máxima mensual que tendrá el periodo de retorno. Se usó la siguiente fórmula:

$$1 - P_{exe}$$

Con eso en mente, se obtuvieron los siguientes resultados:



Probabilidad de excedencia para un periodo de retorno de 100 años: 0.01
Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años: 275.9524 mm

De lo anterior se puede decir que para el diseño de una presa en una zona de riego mediana, se recomienda un periodo de retorno de 100 años. En la gráfica de probabilidad de excedencia teórica vs. empírica se observa que la curva teórica se ajusta bien a los datos empíricos, lo que valida el uso de la Weibull para modelar los eventos de precipitación extrema. Este ajuste es importante para estimar con precisión la probabilidad de eventos raros, como las precipitaciones intensas que afectan la capacidad de la infraestructura hidráulica. Igualmente, Con un periodo de retorno de 100 años, la probabilidad de excedencia es 0.01. El complemento de esta probabilidad (0.99) se utiliza para calcular la precipitación de diseño, resultando en 275.95 mm. Este valor representa la precipitación máxima esperada en promedio cada 100 años, proporcionando un umbral para el diseño de la presa. Al aumentar el periodo de retorno, la precipitación de diseño también sube, ya que se consideran eventos más raros y extremos.

III. Discusión y conclusiones

El análisis detallado de las precipitaciones máximas mensuales en la Ciudad de México proporciona información importante para poder hacer un diseño bueno y seguro de infraestructuras hidráulicas, como presas, en una región donde las lluvias intensas son raras, pero tienen un impacto significativo. Las características observadas en los datos de precipitación, con una distribución asimétrica y alta variabilidad, muestran que las lluvias extremas son difíciles de predecir, lo cual pide el uso de métodos estadísticos para estimar los niveles de precipitación que estas presas podrían enfrentar.

El estudio aplicó tanto métodos gráficos como analíticos para el análisis de frecuencias, con el fin de calcular la probabilidad de excedencia y los periodos de retorno de las precipitaciones extremas. Estos conceptos permiten comprender la frecuencia con la que se espera que ocurran eventos de lluvia máxima. En el método gráfico, los resultados muestran que las lluvias extremas tienen una baja probabilidad de excedencia, lo que indica que son poco frecuentes, pero muy intensas. Al relacionar los periodos de retorno con la magnitud de las lluvias, se observa que las precipitaciones de mayor intensidad, aunque son menos comunes, valen la pena de analizar más a fondo para llevar a cabo el problema.

Por otro lado, el análisis de frecuencias mediante el método analítico se realizó probando varias distribuciones probabilísticas, como la normal, log-normal, exponencial, gamma, Weibull y Gumbel. Entre estas, la distribución Weibull mostró el mejor ajuste estadístico, según la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Esto sugiere que la Weibull es adecuada para modelar eventos de precipitación extrema en la CDMX, permitiendo predecir de manera más segura la intensidad de las lluvias fuertes, y así facilitar el cálculo para hacer la presa hidráulica.

En términos prácticos, el estudio estableció que, para el diseño de una presa destinada a una zona de riego de tamaño medio, se necesita un periodo de retorno de 100 años. Este periodo permite estimar la precipitación máxima de diseño, calculada en 275.95 mm, que sería esperada en promedio cada 100 años. Este valor proporciona una referencia para dimensionar la presa de forma que resista lluvias extremas sin fallar, evitando así posibles problemas de desbordamiento o afectaciones en áreas urbanas o agrícolas cerca de ella. Además, al considerar periodos de retorno más largos, las precipitaciones de diseño aumentan, lo que muestra que eventos menos frecuentes tienden a ser más intensos, lo que remarca la importancia de planificar para los escenarios de mayor impacto en los diseños de infraestructura.

En conclusión, el análisis de precipitaciones extremas mediante el ajuste Weibull permite diseñar construcciones hidráulicas optimizadas para enfrentar eventos climáticos extremos, incrementando así la seguridad de estas estructuras en el contexto de lluvia fuerte

que requiera medidas más extremas. Este enfoque contribuye a la sostenibilidad y adaptabilidad de las obras de ingeniería civil ante escenarios de cambio climático, y garantiza la protección de zonas urbanas y rurales mediante un enfoque basado en datos que asegura un rendimiento duradero y eficaz de cualquier estructura.

IV. Referencias

Recomendación de periodos de retorno para la estimación del gasto máximo de diseño en las obras hidráulicas. (s.f.). Programa de Observación de la Naturaleza. San Diego State University. Recuperado de https://pon.sdsu.edu/periodos_de_retorno_cna.html

Fundación Nueva Cultura del Agua. (s.f.). *Período de retorno.* Guía Nueva Cultura del Agua. Recuperado de <https://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/glosario/57->

Coordinador Eléctrico Nacional. (s.f.). *Información de energía afluente y probabilidad de excedencia del SEN.* Recuperado de <https://www.coordinador.cl/operacion/graficos/operacion-real/informacion-condicion-hidrologica/>