



Tecnológico de Monterrey

CAMPUS MONTERREY
INTELIGENCIA ARTIFICIAL AVANZADA PARA LA CIENCIA
DE DATOS II
TC3007C

ACTIVIDAD INTEGRADORA 1

Prof. Blanca R. Ruiz Hernández
Héctor Hibran Tapia Fernández - A01661114

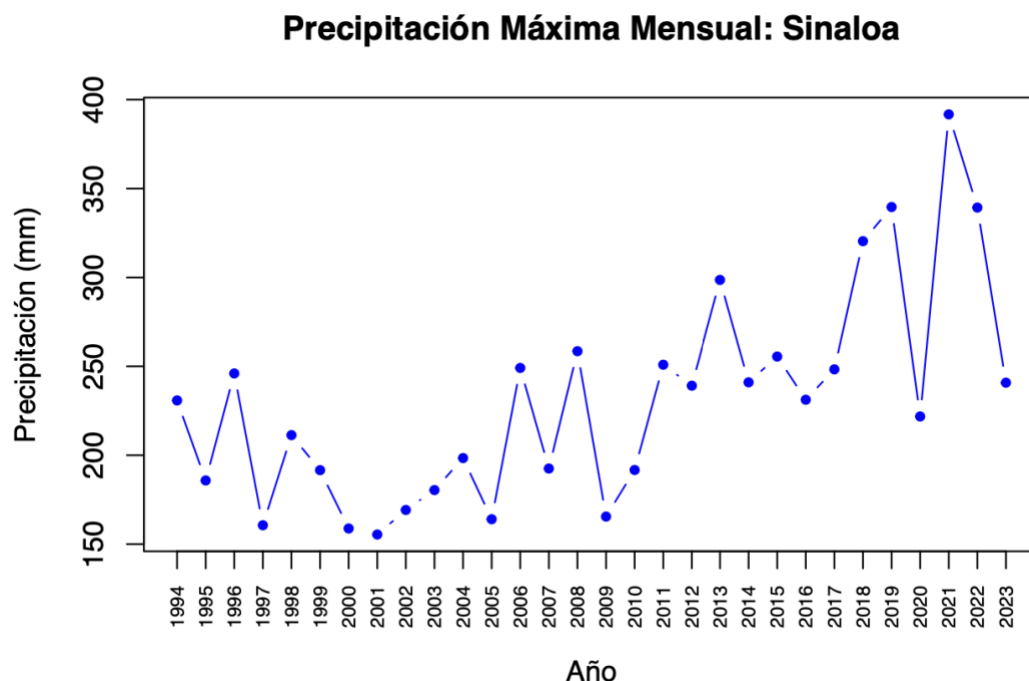
Introducción

La Ingeniería Civil depende completamente de la correcta evaluación de factores climatológicos, uno de estos es la precipitación, que dado su impacto directo en el diseño y la seguridad de las infraestructuras, se torna de gran importancia en hidrología, donde la estimación de la precipitación máxima esperada para un periodo de retorno específico es esencial para el cálculo y diseño de obras de conservación de agua, como presas, y otras estructuras civiles, incluidas carreteras, puentes y edificios. Un ejemplo, el dimensionamiento adecuado de los sistemas de drenaje es fundamental para asegurar la evacuación de grandes volúmenes de agua, lo que previene daños y garantiza la durabilidad de carreteras, aeropuertos y drenajes urbanos (Chow, Maidment & Mays, 1988).

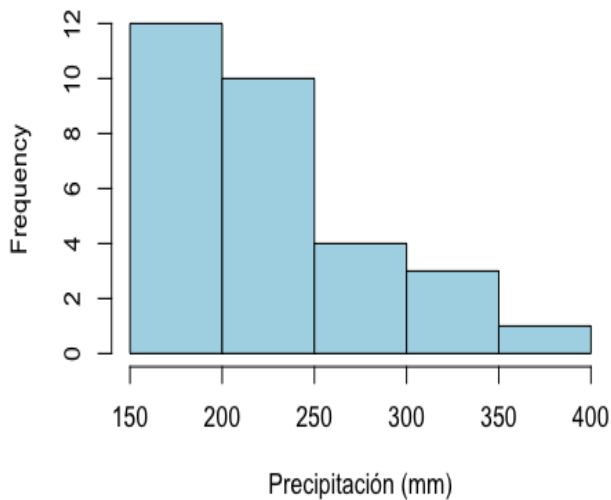
Este análisis se basa en datos históricos de precipitaciones máximas mensuales (1994-2023) de diferentes estados, aunque seleccionaremos uno en específico, con el objetivo de determinar la precipitación extrema probable para un periodo de retorno específico. Al seleccionar y analizar el estado de Sinaloa, se utilizarán distintas distribuciones estadísticas para evaluar el comportamiento de los datos de precipitación. Entre las distribuciones más utilizadas en este tipo de análisis se encuentran la normal, log-normal, exponencial, gamma, Weibull y Gumbel, cada una de las cuales proporciona un marco para modelar la variabilidad en la precipitación extrema.

La aplicación de estas distribuciones permite no solo predecir eventos extremos, sino también realizar un ajuste de bondad, comparando la densidad y las probabilidades acumuladas empíricas contra las teóricas, lo cual es esencial para la precisión en el diseño hidráulico e hidrológico en Ingeniería Civil.

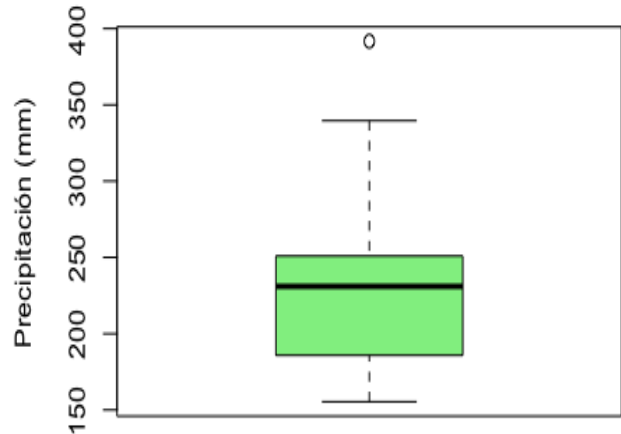
Metodología



Histograma de Precipitaciones Máximas Mensuales



Boxplot de Precipitaciones Máximas Mensuales



- Describe el comportamiento de la distribución: centralización, sesgo, variación,

Centralización: En el histograma, se observa que la mayoría de los valores de precipitación máxima mensual están en el rango de 150 a 250 mm, lo que nos dice que tiene una centralización hacia valores más bajos de precipitación.

Sesgo: Se muestra un sesgo hacia la derecha o un sesgo positivo, ya que tiene una cola extendida hacia valores más altos de precipitación (hacia los 400 mm).

Variación: La dispersión de los datos es evidente con un rango intercuartílico amplio, lo cual indica variabilidad en la precipitación, además de un valor atípico que resalta la variación extrema en algunos meses.

D) Contesta las siguientes preguntas:

- ¿Qué puedes concluir observando la gráfica de los máximos mensuales anuales para tu Estado?

Se puede ver una tendencia de ascendente de variabilidad en los niveles de precipitación máxima mensual a lo largo de los años. Aunque hay fluctuaciones, parece que en algunos períodos, especialmente en años recientes, ha habido picos más altos en comparación con años anteriores, lo cual puede sugerir cambios en los patrones climáticos, quizá esto es consecuencia del cambio climático.

- ¿Observas alguna tendencia?

Sí, se observa una tendencia ascendente en la precipitación máxima mensual a lo largo de los años.

- ¿Puedes concluir que cada determinado número de años la cantidad de precipitación sube o baja?

No parece haber un ciclo claro o una periodicidad fija en la que los niveles de precipitación suben o bajen cada cierto número de años.

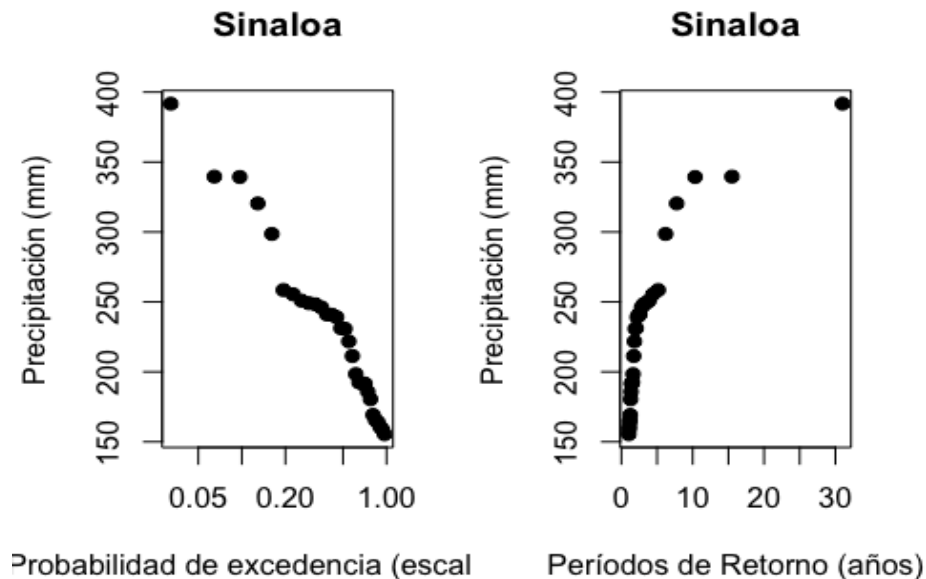
- ¿Para qué nos sirve analizar este tipo de gráficas?

Este tipo de gráficas nos es útil para entender los patrones y tendencias de precipitación en una región. También permite que los científicos y los responsables de políticas públicas puedan anticipar

eventos climáticos extremos, planificar infraestructuras adecuadas para soportar lluvias intensas, o desarrollar estrategias de adaptación al cambio climático.

2. Análisis de Frecuencias Método Gráfico

El Método gráfico consiste en realizar dos gráficas en la que se muestren las precipitaciones máximas comparadas con la probabilidad de excedencia y con su periodo de retorno.



F) Describe las gráficas obtenidas.

- ¿Qué significa la probabilidad de excedencia?

La probabilidad de excedencia representa la probabilidad de que un valor específico de precipitación sea igualado o superado en un año determinado.

- ¿Qué significa el periodo de retorno? ¿Por qué es importante en hidrología?

El periodo de retorno es el intervalo promedio de tiempo en el que se espera que ocurra un evento de precipitación de una magnitud específica al menos una vez. Por ejemplo, un periodo de retorno de 20 años significa que, en promedio, un evento de esa magnitud ocurrirá una vez cada 20 años.

Es fundamental en hidrología para diseñar infraestructuras como presas, canales y sistemas de drenaje, asegurando que puedan soportar eventos extremos de precipitación y reducir el riesgo de fallos catastróficos.

- ¿Qué valores son deseables en la probabilidad de excedencia para una precipitación de diseño de una obra?

Puedes consultar el siguiente video de apoyo: <https://www.youtube.com/watch?v=WXSIIFcSAFE>

Teniendo en cuenta el vídeo tenemos dos variables o columnas crudas que necesitamos:

1. Tiempo, puede ser en meses o años
2. Cantidad de precipitación, puede ser en mm

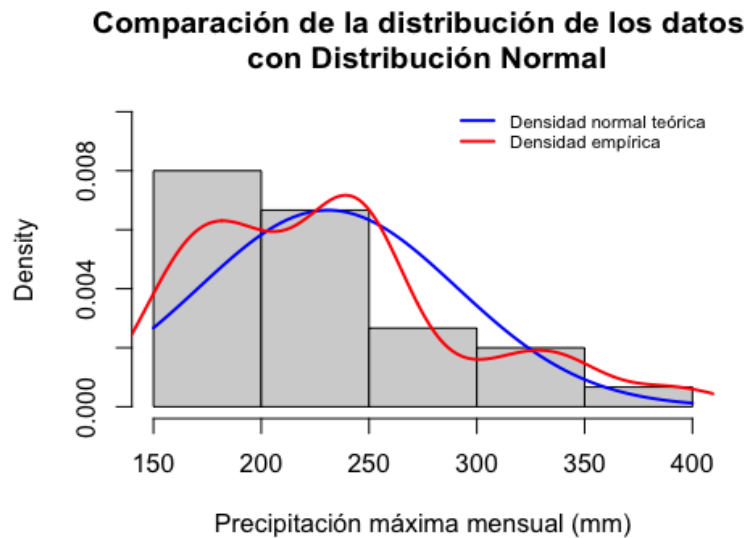
Teniendo estas dos columnas, podemos obtener una tercera columna que podemos crear nosotros y es arreglar, hacer un rank u ordenar de mayor a menor la cantidad de precipitación.

Con esto en mente nos interesa tener alrededor de un PE de 0.01 (1%) o 0.02 (2%), dependiendo de la importancia y el riesgo asociado a la infraestructura, con un PR alto, de más de 50 años es lo mejor. Con esto se garantiza que la obra sea capaz de resistir eventos extremos, asegurando su durabilidad y reduciendo el riesgo de fallos catastróficos.

3. Análisis de Frecuencias Método Analítico

El método analítico consiste en asumir que los datos pueden ser ajustados a través de una función de densidad de probabilidades (FDP) conocida la cual nos servirá para modelar y pronosticar precipitaciones y periodos de retorno. Para ello es necesario probar varias distribuciones y emplear pruebas de bondad de ajuste para ver decidir cuál distribución es la que mejor se ajusta. Para nuestro análisis verificaremos el ajuste de las precipitaciones máximas mensuales a diferentes distribuciones.

A) Ajuste a una Distribución Normal.



De manera visual...

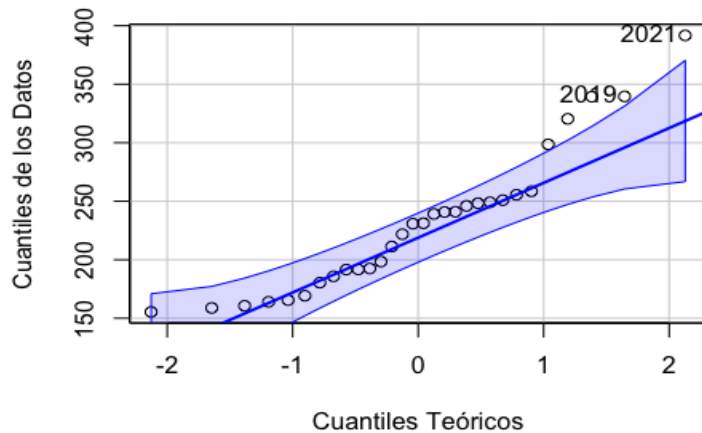
- ¿Te parece que los datos se ajustan bien a una distribución normal? Explica.

No del todo, las líneas no se parecen en lo absoluto, diría que son asimétricas en ciertas partes.

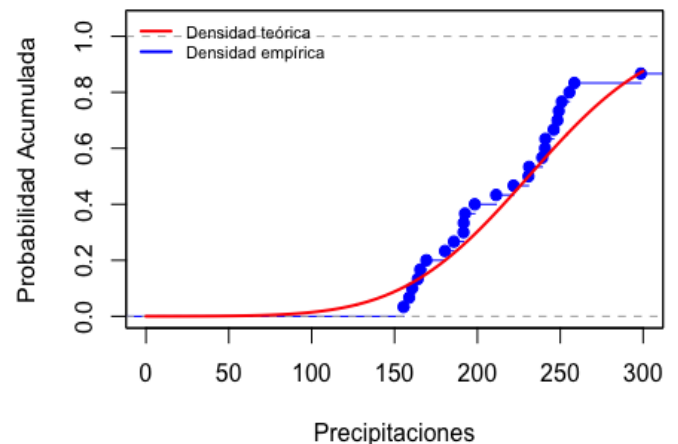
- ¿Cuántos parámetros tiene la distribución Normal? ¿Cuáles son?

1. Media (μ): indica el centro o promedio de la distribución.
2. Desviación estándar (σ): mide la dispersión o variabilidad de los datos alrededor de la media.

Q-Q Plot para Precipitación Máxima Mensual



Comparación con la Distribución Normal



- Explica qué son datos empíricos y datos teóricos.

Empíricos: aquellos que se obtienen a partir de observaciones o mediciones reales.

Teóricos: son valores calculados o esperados bajo un modelo matemático o estadístico específico.

- ¿Se parecen las distribuciones de probabilidad acumuladas?

Como se nota en el grafo de la derecha, en ciertas partes se parecen ambas curvas de probabilidad acumulada ya que ambas siguen un patrón similar subiendo de manera similar desde 0 hasta 1. Pero no en varias partes o intervalos.

Utiliza dos pruebas de bondad de ajuste: Shapiro-Wilks y Kolmogorov-smirnov (KS).

```
## Shapiro-Wilk normality test
## data: monthly_max
## W = 0.91498, p-value = 0.01991
```

```
## Exact one-sample Kolmogorov-Smirnov test
## data: monthly_max
## D = 0.15592, p-value = 0.4167
## alternative hypothesis: two-sided
```

- ¿Qué información nos dan las pruebas?

Nos permiten evaluar si los datos de las precipitaciones máximas mensuales siguen una distribución normal, sin necesidad de las gráficas.

- ¿Cuáles son los valores de los estadísticos?

- **Shapiro-Wilk**, el estadístico W es 0.91498.
- **Kolmogorov-Smirnov**, el estadístico D es 0.15592.

- ¿Cuál es el p-value de las pruebas?

- **Shapiro-Wilk**, el p-value es 0.01991.
- **Kolmogorov-Smirnov**, el p-value es 0.4167.

- ¿Se aceptan o se rechazan las hipótesis nulas?

- **Shapiro-Wilk**, se **rechaza la hipótesis nula** H_0 . Esto indica que los datos probablemente no provienen de una distribución normal.
- **Kolmogorov-Smirnov**, **no se rechaza la hipótesis nula** H_0 . Esto sugiere que no hay suficiente evidencia para concluir que los datos no son normales.

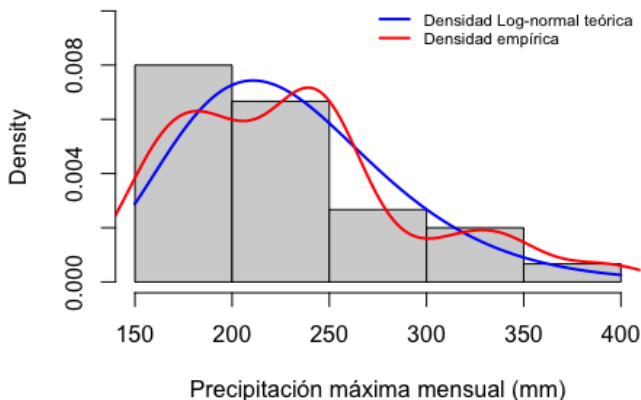
- ¿Podemos concluir que los datos de las precipitaciones máximas mensuales son normales? ¿Por qué?

Hay contradicciones dentro de las pruebas, además de que visualmente no se ven acordes, no se puede concluir que los datos son normales. La prueba de Shapiro-Wilk, que es especialmente sensible a la normalidad en muestras pequeñas y medianas, sugiere que los datos no siguen una distribución normal.

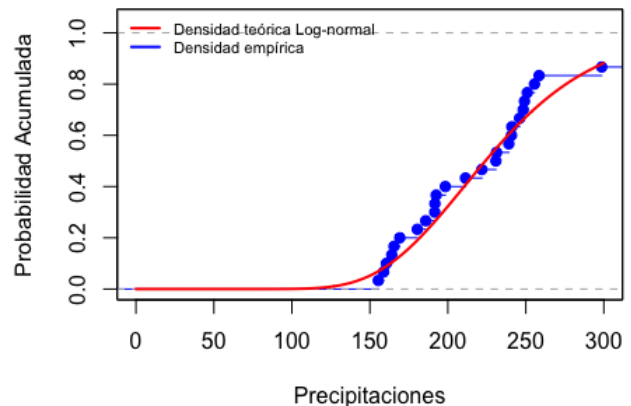
No te olvides de las hipótesis planteadas: H_0 : Los datos provienen de una distribución normal, H_1 : Los datos no provienen de una distribución normal

B) Distribución Log-normal.

Comparación de la distribución de los datos con Distribución Log-Normal



Comparación con la Distribución Log-Normal



- De manera visual, ¿te parece que los datos se ajustan bien a una distribución Log-normal? Explica.

Visualmente, parece que los datos se ajustan mejor a una distribución Log-normal en comparación con la distribución normal que observamos anteriormente. Aunque todavía hay pequeñas diferencias en algunas áreas, especialmente en el rango medio, el ajuste es razonablemente bueno.

- Explica qué son datos empíricos y datos teóricos. ¿Se parecen las distribuciones de probabilidad acumuladas?

Sí, en este caso, las distribuciones de probabilidad acumuladas se parecen bastante, en comparación con la de la Normal. La segunda gráfica muestra una buena correspondencia entre ambas curvas, lo que nos indica que la distribución Log-normal es un mejor modelo para nuestros datos.

Haz la prueba KS para determinar si los datos se ajustan a una Log-normal

```
##  
## Exact one-sample Kolmogorov-Smirnov test  
##  
## data: monthly_max  
## D = 0.1145, p-value = 0.7849  
## alternative hypothesis: two-sided
```

Responde...

¿Qué información nos da la prueba KS para una Log-normal?

Se ocupa para comparar los datos empíricos con una distribución teórica, en este caso, la de una Log-normal. Lo que nos permite evaluar si la distribución de los datos observados difiere significativamente de una distribución Log-normal.

¿Cuál es el valor del estadístico de prueba?

El valor del estadístico de prueba DD es 0.1145.

¿Cuál es el p-value de la prueba?

El p-value de la prueba KS es 0.7849.

¿Se acepta o se rechaza la hipótesis nula?

Tenemos un p-value de 0.7849 que es considerablemente mayor que el nivel de significancia común, por lo tanto, **no se rechaza la hipótesis nula**. Esto nos dice que no hay evidencia significativa para concluir que los datos de precipitación no siguen una distribución Log-normal.

¿Podemos concluir que los datos de las precipitaciones máximas mensuales siguen una distribución log-normal? ¿Por qué?

Sí, podemos concluir que los datos se ajustan razonablemente bien a una distribución Log-normal, ya que la prueba KS no encontró una diferencia significativa entre la distribución empírica y la teórica Log-normal. El alto p-value respalda la hipótesis de que los datos pueden provenir de una distribución Log-normal. Pero debemos tener cuidado, ya que visualmente no se veía tan tan ajustada como a veces es deseable, entonces seguiremos buscando y probando con otras distribuciones.

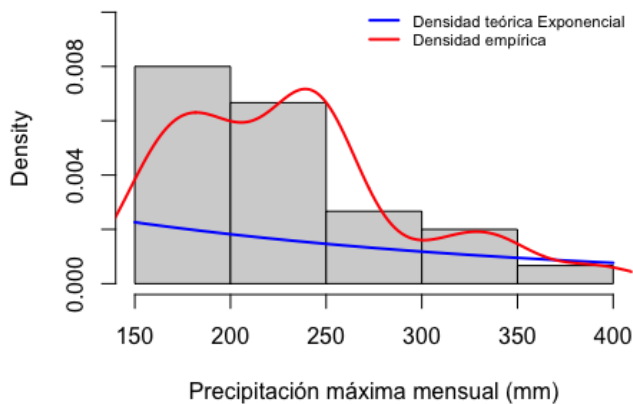
¿Cuántos parámetros tiene la distribución Log-normal? ¿Cuáles son?

Media de los logaritmos (μ) de los datos.

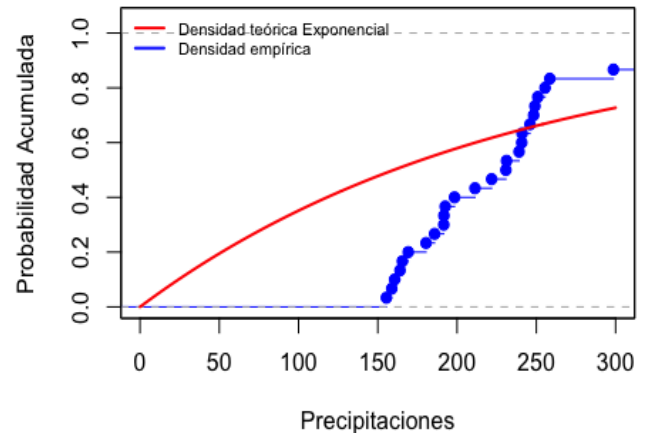
Desviación estándar de los logaritmos (σ) de los datos.

C) Ajuste a una Distribución Exponencial.

Comparación de la distribución de los datos con Distribución Exponencial



Comparación con la Distribución Exponencial



De manera visual, ¿te parece que los datos se ajustan bien a una distribución Exponencial? Explica.

Visualmente, no parece que los datos se ajusten bien a una distribución Exponencial, es de los peores ajustes, como se observa en el primer grafo.

Explica qué son datos empíricos y datos teóricos. ¿Se parecen las distribuciones de probabilidad acumuladas?

No, las distribuciones de probabilidad acumuladas no en nada. En la segunda gráfica, la densidad acumulada empírica y la teórica divergen notablemente, lo cual confirma que la distribución exponencial no es un buen ajuste para los datos.

Haz la prueba KS para determinar si los datos se ajustan a una Exponencial.

```
##  
## Exact one-sample Kolmogorov-Smirnov test  
##  
## data: monthly_max  
## D = 0.48979, p-value = 0.0000003686  
## alternative hypothesis: two-sided
```

¿Qué información nos da la prueba KS para una Exponencial?

La prueba KS para una distribución exponencial compara los datos empíricos con una distribución exponencial teórica para evaluar si los datos pudieran seguir esta distribución. La hipótesis nula (H_0) es que los datos provienen de una distribución exponencial.

¿Cuál es el valor del estadístico de prueba?

El valor del estadístico de prueba D es 0.48979.

¿Cuál es el p-value de la prueba?

El p-value de la prueba es 0.0000003686.

¿Se acepta o se rechaza la hipótesis nula?

Dado que el p-value es extremadamente bajo (muy inferior a 0.05), se **rechaza la hipótesis nula**. Esto indica que los datos no se ajustan a una distribución exponencial.

¿Podemos concluir que los datos de las precipitaciones máximas mensuales siguen una distribución exponencial? ¿Por qué?

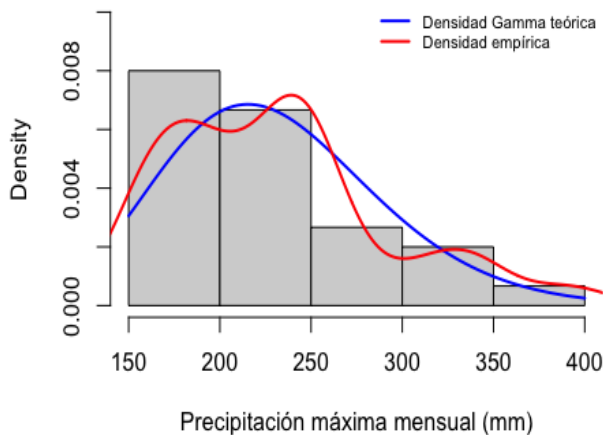
Si, si podemos concluir que los datos siguen una distribución exponencial. La prueba KS muestra una diferencia significativa entre los datos y la distribución exponencial, lo que, junto con el bajo p-value, indica que los datos no se ajustan a esta distribución, y visualmente podemos notar que definitivamente no provienen de una distribución exponencial.

¿Cuántos parámetros tiene la distribución Exponencial? ¿Cuáles son?

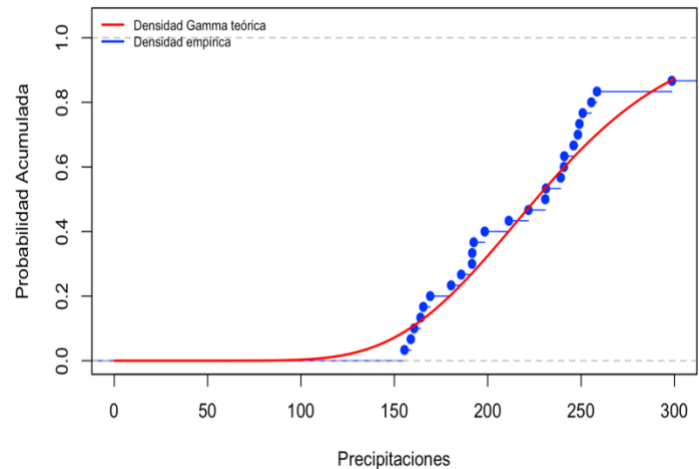
- λ (la tasa de decaimiento)

D) Ajuste a una Distribución Gamma.

Comparación de la distribución de los datos con Distribución Gamma



Comparación con la Distribución Gamma



De manera visual, ¿te parece que los datos se ajustan bien a una distribución Gamma? Explica.

Visualmente diría que los datos parecen ajustarse razonablemente bien a una distribución Gamma, aunque hay pequeñas discrepancias.

Explica qué son datos empíricos y datos teóricos. ¿Se parecen las distribuciones de probabilidad acumuladas?

Ambas distribuciones de probabilidad acumuladas (teórica y empírica) parecen similares, lo cual nos indica de un buen ajuste entre los datos empíricos y el modelo teórico.

Haz la prueba KS para determinar si los datos se ajustan a una Gamma.

```
## Exact one-sample Kolmogorov-Smirnov test
## data: monthly_max
## D = 0.13171, p-value = 0.6282
## alternative hypothesis: two-sided
```

¿Qué información nos da la prueba KS para una Gamma?

Se utiliza para comparar la distribución empírica de un conjunto de datos con una distribución teórica. En este caso, se está usando para verificar si los datos de precipitación siguen una distribución Gamma.

¿Cuál es el valor del estadístico de prueba? $D = 0.13171$

¿Cuál es el p-value de la prueba? , $p\text{-value} = 0.6282$

¿Se acepta o se rechaza la hipótesis nula?

Dado que el valor p es mayor a 0.05, **no se rechaza la hipótesis nula**. Esto significa que no hay evidencia estadística para afirmar que los datos no siguen una distribución Gamma.

¿Podemos concluir que los datos de las precipitaciones máximas mensuales siguen una distribución gamma? ¿Por qué?

Podemos concluir que los datos podrían seguir una distribución Gamma, ya que la prueba KS no proporciona evidencia suficiente para rechazar este ajuste.

¿Cuántos parámetros tiene la distribución Gamma? ¿Cuáles son?

Forma (α): Controla la asimetría y dispersión de la distribución.

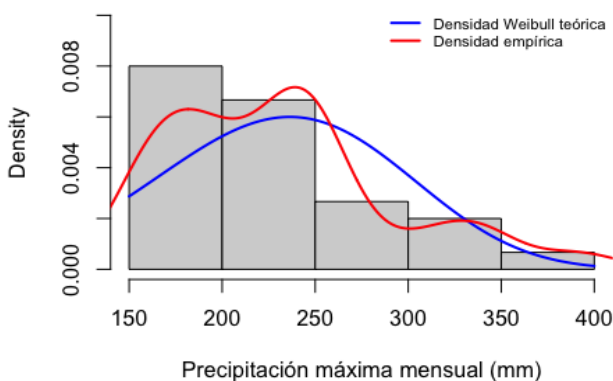
Escala (β): Define el rango de los valores de la distribución.

E) Ajuste a una Distribución Weibull.

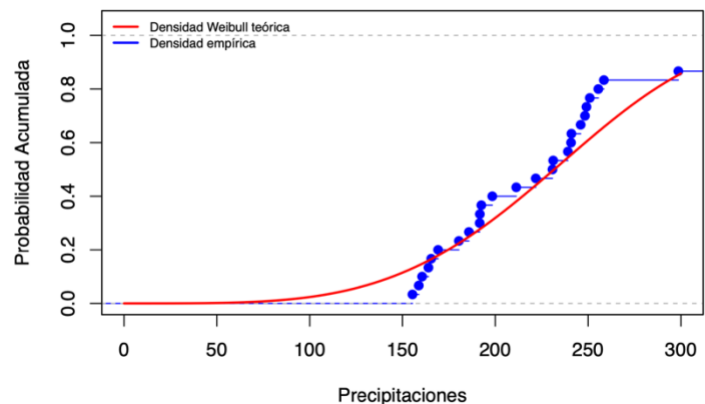
El cálculo de los parámetros a partir de los datos es un poco más difícil en la distribución Weibull de lo que fue en las anteriores distribuciones, así que recurriremos a que R los estime con el comando `fitdistr`. Úsalo para estimar los parámetros de la Weibull.

```
## shape scale
## 4.0020327 253.9539803
## ( 0.5268905) ( 12.3109667)
```

Comparación de la distribución de los datos con Distribución Weibull



Comparación con la Distribución Weibull



De manera visual, ¿te parece que los datos se ajustan bien a una distribución Weibull? Explica.

Visualmente el ajuste de los datos a la distribución Weibull es moderado, no ideal. Parece ajustarse mejor que otras distribuciones en algunos tramos, diría que la Gamma ha sido la más justa.

Explica qué son datos empíricos y datos teóricos. ¿Se parecen las distribuciones de probabilidad acumuladas?

Estas suelen parecerse mucho, tienen un patrón similar, lo cual es una buena indicación de que la Weibull podría aproximarse razonablemente a los datos empíricos, aunque no de manera perfecta.

Haz la prueba KS para determinar si los datos se ajustan a una Weibull.

```
##
## Exact one-sample Kolmogorov-Smirnov test
##
## data: monthly_max
## D = 0.17511, p-value = 0.2821
## alternative hypothesis: two-sided
```

¿Qué información nos da la prueba KS para una Weibull?

Nos permite determinar si la distribución Weibull representa bien los datos de precipitación máxima mensual.

¿Cuál es el valor del estadístico de prueba? $D = 0.17511$

¿Cuál es el p-value de la prueba? $p\text{-value} = 0.2821$

¿Se acepta o se rechaza la hipótesis nula?

Dado que el valor p es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Esto significa que no hay evidencia estadística suficiente para descartar la distribución Weibull como un ajuste para los datos

¿Podemos concluir que los datos de las precipitaciones máximas mensuales siguen una distribución Weibull? ¿Por qué?

Podemos concluir que los datos de las precipitaciones máximas mensuales podrían seguir una distribución Weibull, aunque el ajuste no es perfecto.

¿Cuántos parámetros tiene la distribución Weibull? ¿Cuáles son?

Forma (k): Controla la forma de la distribución.

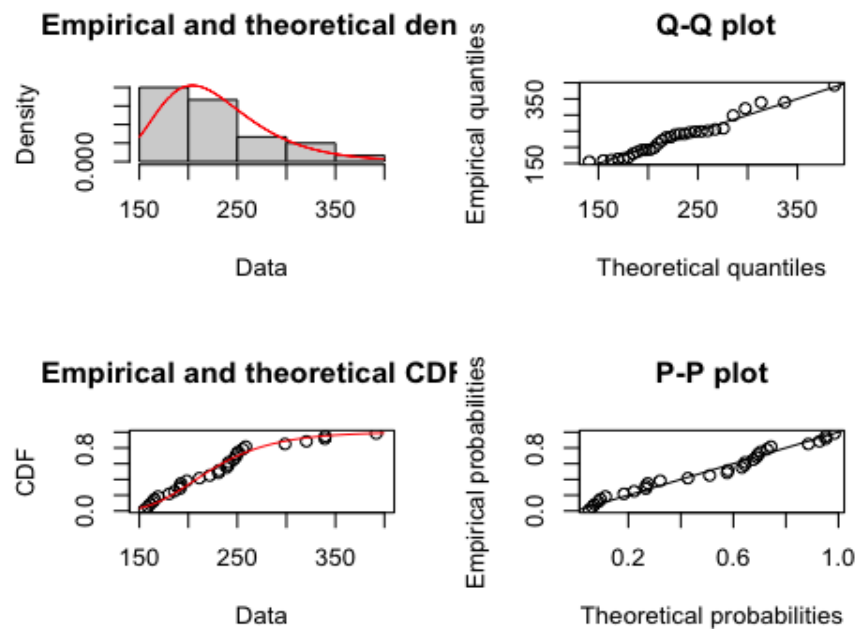
Escala (λ): Define la extensión o rango de la distribución.

F) Ajuste a una Distribución Gumbel.

Para estimar los parámetros y hacer el ajuste de la Distribución Gumbel con la biblioteca "fitdistrplus". Haz las gráficas de histograma de densidad empírica y teórica, la probabilidad de acumulada empírica y teórica y el QQplot.

```
## Loading required package: survival

## Fitting of the distribution 'gumbel' by maximum likelihood
## Parameters:
## estimate Std. Error
## a 204.07290 8.604252
## b 44.81446 6.609605
```



Haz la prueba KS para determinar si los datos se ajustan a una Gumbel.

```
## Exact two-sample Kolmogorov-Smirnov test
## data: rain_analysis$Pexe and gumbel_exe
## D = 0.1, p-value = 0.9988
## alternative hypothesis: two-sidee
```

¿Qué información nos da la prueba KS para una Gumbel?

Se utiliza para comparar si una muestra de datos sigue una distribución teórica, en este caso, la distribución Gumbel.

¿Cuál es el valor del estadístico de prueba? $D = 0.1$ lo cual indica una diferencia muy pequeña entre ambas distribuciones.

¿Cuál es el p-value de la prueba? , p-value = 0.9988

¿Se acepta o se rechaza la hipótesis nula?

Dado que el valor p es mucho mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Esto implica que no hay evidencia estadística para descartar que las probabilidades de excedencia de las precipitaciones máximas mensuales sigan una distribución Gumbel.

¿Podemos concluir que las probabilidades de excedencia de las precipitaciones máximas mensuales siguen una distribución Gumbel? ¿Por qué?

Tenemos 2 principales factores:

Visualmente es la mejor distribución que se ajusta, sobretodo en la comparación de densidades. Después tenemos el test, donde el valor de estadístico nos dio $D = 0.1$ lo cual indica una diferencia muy pequeña entre ambas distribuciones.

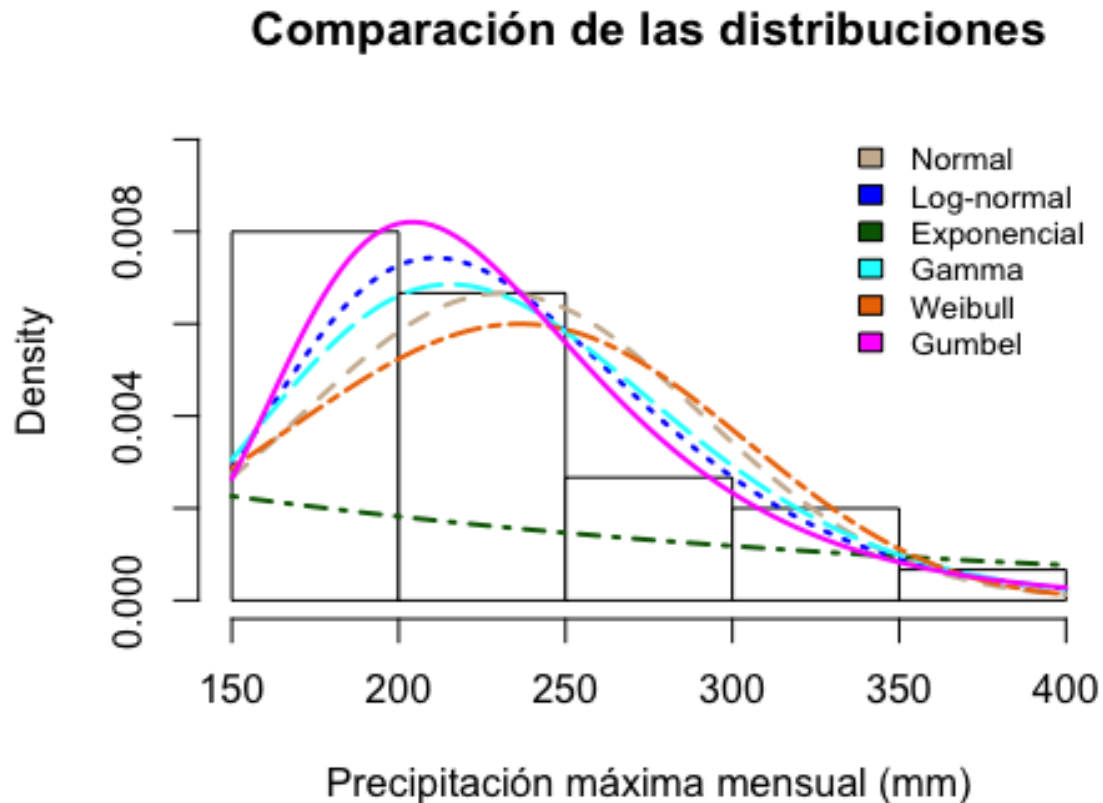
¿Cuántos parámetros tiene la distribución Gumbel? ¿Cuáles son?

Ubicación (μ): Determina el valor central de la distribución.

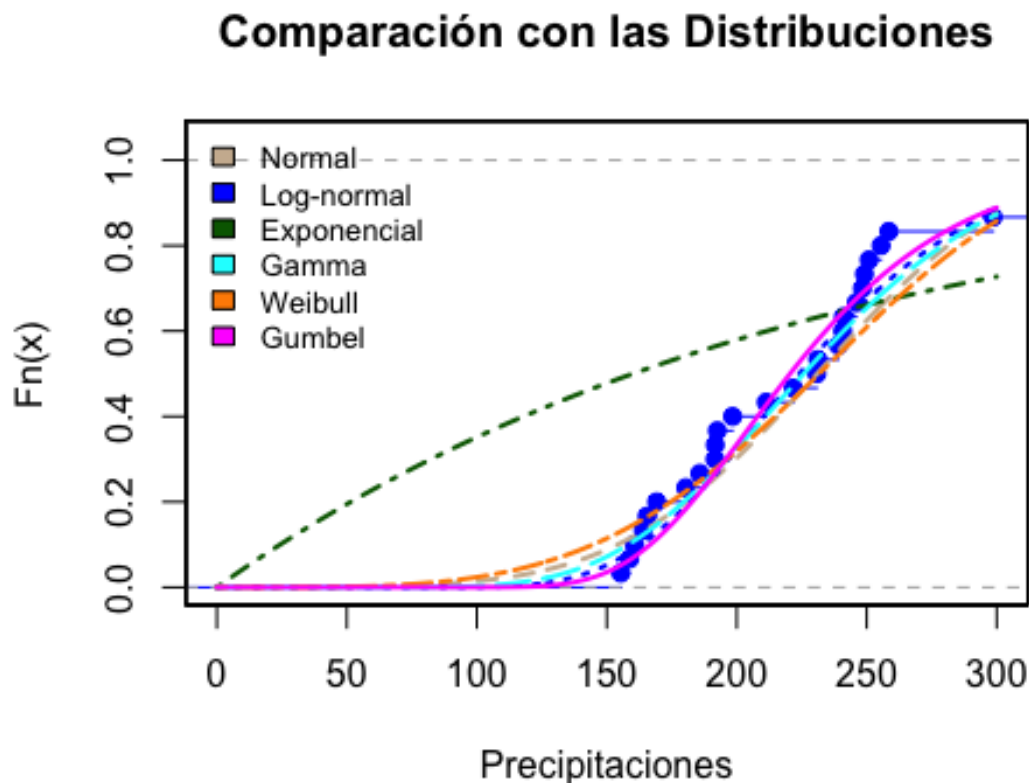
Escala (β): Define la dispersión o extensión de la distribución.

G. Compara los ajustes de las distribuciones que analizas.

Haz un gráfico comparativo de los histogramas de densidad empírica vs densidad teórica de todas las distribuciones que analizaste (todas las distribuciones en un solo gráfico).



Haz un gráfico comparativo de las probabilidades acumuladas empírica vs teóricas de todas las distribuciones que analizaste (todas las distribuciones en un solo gráfico).



Define cuál es la mejor distribución que se ajusta a tus datos. Argumenta interpretando la comparación entre los gráficos y analizando las pruebas de ajuste de curva.

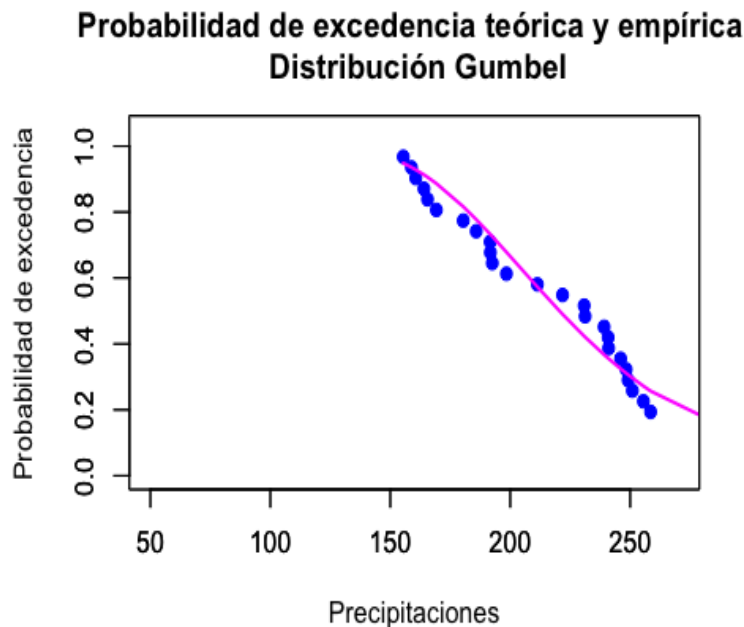
En base a la comparación visual de los gráficos de densidad y acumulada y los resultados de la prueba KS, la **distribución Gumbel** parece ser la mejor opción para ajustar los datos de precipitación máxima mensual. La Gumbel no solo ofrece un excelente ajuste en el rango intermedio y en las colas, sino que también tiene un valor p en la prueba KS (0.998) que indica una alta probabilidad de que los datos sigan esta distribución. Además de que visualmente es la línea más apegada a la distribución empírica.

4. Precipitación de diseño de obras hidráulicas

Se desea diseñar una presa derivadora para una zona de riego mediana. Investiga el periodo de retorno recomendado para esta obra hidráulica, puedes consultarlo en: https://pon.sdsu.edu/periodos_de_retorno_cna.html.

Para el diseño de una presa derivadora en una zona de riego mediana (es decir, de 1,000 a 10,000 hectáreas), el periodo de retorno recomendado se encuentra entre 100 y 500 años, según la tabla proporcionada en el link.

A) Haz el gráfico comparativo de la probabilidad de excedencia teórica vs empírica. ¿Qué te indica ese gráfico? interpreta y argumenta la certeza de la selección de la distribución elegida.



C) Conociendo la probabilidad de excedencia, calcula su complemento ($1 - P_{ex}$) y utiliza esta probabilidad para encontrar el valor de la precipitación máxima mensual que tendrá ese periodo de retorno. En el código se te da un ejemplo si la distribución de probabilidad a la que mejor se ajustaron los datos fue la Gumbel y deseamos calcular el caudal máximo para un periodo de retorno de 200 años.

La precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años es: 410.2261 mm

D) El resultado de este ejemplo será una aproximación del caudal máximo que se tendría en Aguascalientes con un periodo de retorno de 200 años.

- ¿Qué significa este valor?

Este valor nos dice el caudal máximo estimado que podría ocurrir en Aguascalientes una vez cada 200 años, en promedio. En otras palabras, hay una probabilidad anual del 0.5% ($1/200$) de que ocurra un evento de esta magnitud o mayor.

- ¿Qué pasa si incrementamos el periodo de retorno?

Si incrementamos el periodo de retorno, el caudal máximo estimado también aumentará. Esto se debe a que eventos con periodos de retorno más largos son más raros pero generalmente más intensos.

- ¿El caudal máximo para este periodo de retorno será el mismo si utilizamos datos históricos de otro estado? ¿Por qué crees que las obras hidráulicas deben diseñarse en base a periodos de retorno sugeridos?

No, el caudal máximo para un periodo de retorno específico no será el mismo si utilizamos datos históricos de otro estado. Esto se debe a que las condiciones climáticas, geográficas y de uso del suelo varían entre regiones.

- *¿Por qué es importante conocer la distribución de probabilidad a la que mejor se aproximan los datos históricos?*

Conocer la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los datos históricos es fundamental para realizar estimaciones precisas de eventos extremos. Una distribución adecuada refleja con mayor exactitud la frecuencia y magnitud de eventos pasados, lo que mejora la confiabilidad de las predicciones futuras.

Explora otros periodos de retorno diferentes a los que se proporcionan en los periodos sugeridos para contestar esta pregunta.

La precipitación de diseño para un periodo de retorno de 50 años (Distribución Weibull) es: 357.092 mm

La precipitación de diseño para un periodo de retorno de 150 años (Distribución Weibull) es: 379.8738 mm

La precipitación de diseño para un periodo de retorno de 300 años (Distribución Weibull) es: 392.3736 mm

Referencia: United States Water Resources Council (USWRC) (1981) Guidelines for Determining Flood Flow Frequency. Bulletin No. 17B, 15-19.

Conclusión

Como conclusión, recapitulemos... Se examinaron los datos históricos de precipitaciones máximas mensuales en el estado de Sinaloa (1994-2023) para *determinar la precipitación extrema asociada a un periodo de retorno específico*, crucial para el diseño de una presa derivadora. Se evaluaron varias distribuciones estadísticas: Normal, Log-normal, Exponencial, Gamma, Weibull y Gumbel, con el fin de identificar cuál se ajustaba mejor a los datos observados.

A través de pruebas de bondad de ajuste como Kolmogorov-Smirnov y análisis visuales de histogramas y curvas de probabilidad acumulada, se concluyó que la distribución Gumbel es el mejor ajuste para los datos de precipitación máxima. Esta distribución es especialmente adecuada para modelar eventos extremos, lo que la hace ideal para este tipo de análisis.

Basándonos en recomendaciones dadas en el último punto, se seleccionó un periodo de retorno de 100 años para el diseño de la presa. Usamos la distribución Gumbel, calculamos una precipitación de diseño de aproximadamente 410.23 mm, representando la precipitación máxima mensual que se espera igualar o superar, en promedio, una vez cada 100 años en Sinaloa. Así con la correcta selección de la distribución de probabilidad y del periodo de retorno, podemos garantizar que las obras hidráulicas sean seguras y eficientes.

Referencias Bibliográficas

- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- *Probabilidad de excedencia*. (s. f.). Probabilidad de Excedencia.
<https://www.osman.es/diccionario/definicion.php?id=13700#:~:text=Definici%C3%B3n%3A%20Probabilidad%20de%20que%20una,evento%20sea%20igual%20o%20excedid.>
- Instituto Nacional de Meteorología. (1999). *Método de Gumbel para la evaluación de valores extremos en distintos períodos de retorno*. Recuperado de la Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/172/mod_label/intro/METODO-DE-GUMBEL.pdf
- Redalyc. (s.f.). *Estudio comparativo de los diferentes métodos utilizados para la predicción de intensidades máximas de precipitación para el diseño adecuado de estructuras hidráulicas*. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10774/Estima%20de%20precipitaciones%20máximas%20%20Método%20de%20Gumbell.pdf?sequence=1>
- Universidad Politécnica de Valencia. (s.f.). *Relación Intensidad-Duración-Frecuencia de las precipitaciones y su aplicación en el diseño de infraestructuras*. Recuperado de Riunet, Repositorio Institucional de la UPV. Disponible <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739430012.pdf>