

Actividad_Integradora1: Reporte

Rodolfo Jesús Cruz Rebollar

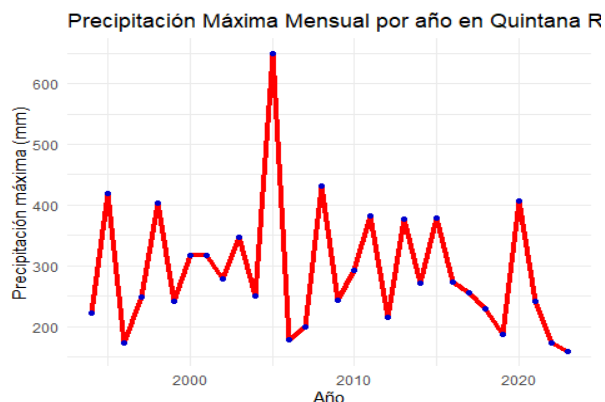
2024-10-27

Introducción

Actualmente, las obras hidrológicas se ven fuertemente afectadas en cuanto a su infraestructura debido a determinados factores climatológicos como las precipitaciones e inundaciones, las cuales pueden ser de variada magnitud, además de que la región geográfica donde se encuentren ubicadas las obras afecta en gran medida a la probabilidad de que se presente una mayor o menor cantidad de precipitaciones durante un año y a la frecuencia con la que éstas hacen su aparición, además el cambio climático ha provocado que en los últimos años, las lluvias sean cada vez más frecuentes y su patrón haya cambiado notablemente (IDEAM, n.d.). Adicionalmente para construir obras hidráulicas cada vez más resistentes a eventos hidrológicos extremos, es sumamente relevante analizar a detalle los datos de precipitaciones máximas en aquellos estados donde las lluvias son más abundantes y frecuentes como Quintana Roo, que se analizará en este trabajo, y el análisis se centrará en 2 factores principales para mejorar la resistencia de las obras a precipitaciones extremas: el periodo de retorno (Fundación Nueva Cultura del Agua, 2024) y la probabilidad de excedencia (Aguamarket.com, 2024) de dichas precipitaciones, mismos que son bastante útiles para estimar el posible volumen máximo de las precipitaciones mensuales en cierto periodo de retorno, sabiendo el tipo de distribución que mejor se ajusta a los datos históricos de precipitaciones máximas mensuales de Quintana Roo, lo cual se llevará a cabo en este trabajo.

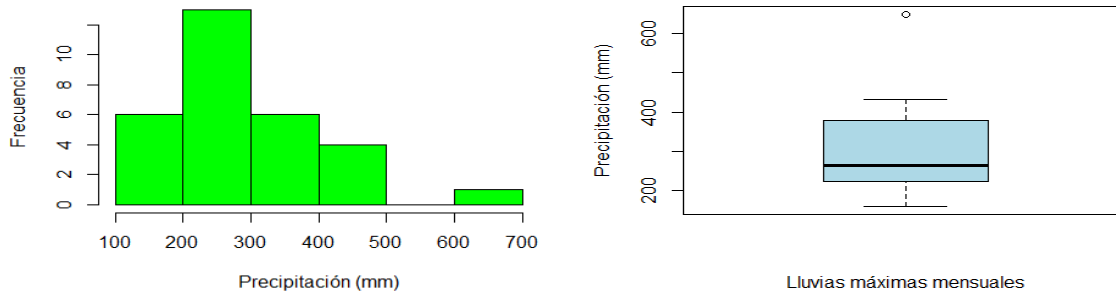
Metodología

1. Análisis estadístico descriptivo de las precipitaciones históricas máximas mensuales de Quintana Roo



| promedio | mediana | std_dev | variance | range | maximum | minimum |
|----------|---------|----------|----------|-------|---------|---------|
| 292.17 | 263.45 | 105.4595 | 11121.7 | 490.1 | 649.2 | 159.1 |

stograma de Lluvias máximas mensuales en Quintana RooBoxplot de lluvias máximas mensuales en Quintana

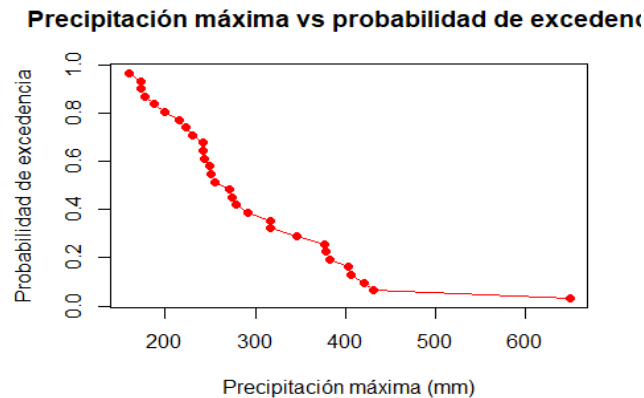


En términos generales, tomando en cuenta el boxplot, histograma y las medidas de centralización y variación, se aprecia que la distribución de las precipitaciones máximas mensuales tiene un sesgo positivo, es decir que el promedio de precipitaciones máximas se ubica a la derecha de la mediana de precipitaciones, además de que los datos varían significativamente, dado que la caja del boxplot es mayormente grande, confirmando el alto nivel de variación elevado que presentan los datos, lo que justifica la alta varianza, desviación estándar, y rango de los datos. Además, el sesgo positivo de la distribución de los datos en el histograma, indica que gran mayoría de las precipitaciones fueron de entre 100 y 500 mm, mientras que solamente una minoría de ellas fueron de entre 600 y 700 mm, sin embargo, en el histograma, la mayoría de precipitaciones máximas mensuales en Quintana Roo, fueron de entre 200 y 300 mm, por lo que la mayoría de los datos se desplazan para la izquierda del histograma y minoría de ellos queda a la derecha.

Finalmente, en la gráfica de precipitaciones máximas mensuales en Quintana Roo, se observa que el volumen de las precipitaciones se mantiene en su mayoría fluctuando entre los 150 y los 450 mm, por lo que las precipitaciones máximas se mantienen mayormente estables alrededor de dicho rango, provocando que los datos no presenten ninguna tendencia específica (creciente o decreciente), además de que el volumen de las precipitaciones disminuye cada 2 o 3 años, por lo que es muy útil analizar ésta clase de gráficas para identificar visualmente los patrones y/o tendencias que siguen los datos y a partir de ellos, identificar si cierto comportamiento de los datos es periódico, es decir, que los datos se comporten de cierta forma cada cierto periodo de tiempo, lo que nos lleva a concluir que en Quintana Roo, la mayoría de las precipitaciones alcanzan un volumen máximo significativo, mismo que cada 2 o 3 años, disminuye, conduciendo a que ciertos sectores como la agricultura se vean afectados por la disminución de lluvias, por lo que cada 2 o 3 años será necesario implementar medidas adicionales para regar los cultivos y garantizar la mayor producción posible de alimentos durante esa temporada.

2. Análisis de frecuencias método gráfico

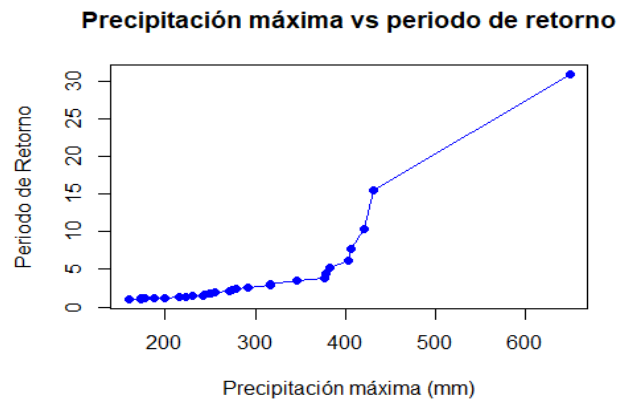
Gráfico de precipitaciones máximas vs probabilidad de excedencia



En cuanto a las gráficas obtenidas anteriormente, en la gráfica de precipitación máxima vs probabilidad de excedencia, se observa que la gráfica presenta en general un comportamiento decreciente, dado que se aprecia que conforme incrementa el volumen máximo de las precipitaciones, la probabilidad de excedencia experimenta una disminución gradual, además, también es posible apreciar en dicha gráfica que cuando la precipitación máxima tiene un volumen menor a 200 mm de lluvia, la probabilidad de excedencia es mayormente cercana a 1, mientras que cuando la precipitación posee un volumen superior a los 600 mm de lluvia, la probabilidad de excedencia desciende hasta ser casi nula, por lo cual, de ésta primera gráfica, es posible afirmar que a menor volumen de precipitación, la probabilidad de que dicho volumen de lluvia sea superado posteriormente es mayor, mientras que en caso contrario, si el volumen de precipitación es elevado, entonces la probabilidad de que se presenten posteriormente otras precipitaciones con un volumen aún mayor de lluvia es menor.

Además, la información del gráfico previo, puede ser útil para elegir los materiales de construcción para las obras hidráulicas, debido a que para tomar la decisión de cuáles son los materiales idóneos, se podrá estimar la probabilidad de que una precipitación de cierto volumen dañe la infraestructura de cada uno de los posibles materiales a emplear en la construcción y luego elegir aquellos materiales que tengan la menor probabilidad de ser dañados en caso de presentarse el volumen de precipitación analizado, además será recomendable calcular dichas probabilidades a partir de volúmenes de precipitación altos, ya que al ser eventos poco frecuentes pero que sí es posible que ocurran, ayudará a prever el peor escenario posible de daños estructurales y en consecuencia, adaptar los cálculos probabilísticos a dicho escenario para finalmente escoger los materiales cuya estructura tenga la menor probabilidad de ser dañada bajo el escenario más caótico posible.

Gráfico de precipitaciones máximas vs periodo de retorno



Por otro lado, en la gráfica de precipitaciones máximas vs periodo de retorno, se presenta en general un comportamiento creciente, dado que se aprecia que conforme aumenta el volumen máximo de las precipitaciones, el periodo de retorno también incrementa de forma gradual, por lo cual, para precipitaciones con un volumen relativamente bajo de lluvia, el periodo de retorno es menor, indicando que debe transcurrir un lapso de tiempo corto entre 2 precipitaciones de bajo volumen y por el contrario, el intervalo de tiempo que tiene que transcurrir entre 2 precipitaciones de alto volumen es considerablemente más largo que aquel entre 2 precipitaciones de bajo volumen, lo cual significa que en general, las lluvias de bajo volumen tienden a ser mucho más frecuentes que aquellas de alto volumen.

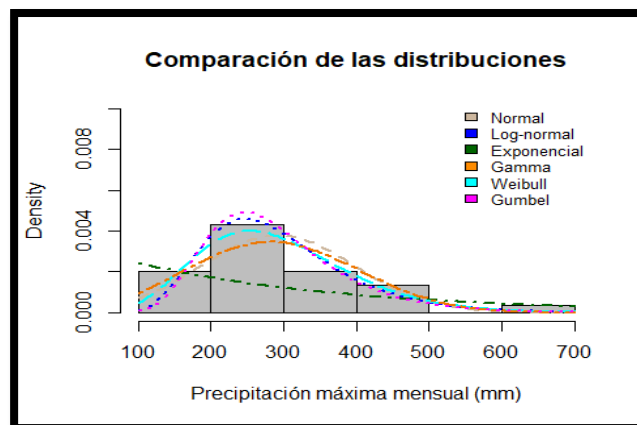
Adicionalmente, en hidrología, la probabilidad de excedencia es la probabilidad de que la magnitud o intensidad de un evento hidrológico supere cierto umbral en un periodo de tiempo específico. De manera similar, el periodo de retorno es el lapso promedio de tiempo que debe transcurrir para que ocurra un evento como una precipitación de una magnitud superior a cierto umbral. Por otro lado, el periodo de retorno y la probabilidad de excedencia son conceptos muy importantes en hidrología porque se usan para diseñar infraestructura hidráulica como presas, alcantarillado y puentes con capacidad de resistir eventos hidrológicos poco recurrentes pero con alto impacto como desbordamiento de ríos e inundaciones severas, además también ayudan a gestionar posibles riesgos de eventos extremos, porque se utilizan también para prever la ocurrencia de los mismos y con ello, planear anticipadamente medidas de prevención y erradicación para garantizar la seguridad de la población. Por otra parte, los valores deseables de probabilidad de excedencia para la precipitación de diseño de una obra dependen de la clase de infraestructura y de la vulnerabilidad de la obra ante eventos de extrema magnitud, por ejemplo, para aquellas infraestructuras de elevado riesgo y de importancia crítica (aeropuertos, plantas de energía, etc), se recomiendan probabilidades de excedencia bajas, entre 0.5% y 1%, mientras que para infraestructuras de menor riesgo (puentes pequeños, sistemas locales de drenaje, etc), se recomiendan probabilidades de excedencia entre 1% y 5%, y para aquellas

infraestructuras que sean temporales o de riesgo leve (por ejemplo senderos rurales), se recomiendan probabilidades de excedencia entre el 5% y 10%, en resumen, para aquella infraestructura que sea crítica para nuestras necesidades se recomienda una baja probabilidad de excedencia, mientras que para infraestructura menos vulnerable o crítica, es posible emplear probabilidades de excedencia mayores, y con ello aceptar un riesgo mayor de fallos en eventos de alta magnitud.

3. Análisis de frecuencias método analítico

Comparación de ajuste de distribuciones analizadas

| Prueba de ajuste | Estadístico_de_prueba | p-value |
|----------------------|-----------------------|-----------|
| Shapiro Wilk(normal) | 0.8871890 | 0.0041408 |
| KS Normal | 0.1523179 | 0.4456726 |
| KS Log-Normal | 0.0946200 | 0.9278554 |
| KS Exponencial | 1.0000000 | 0.0000000 |
| KS Gamma | 0.1139693 | 0.7894885 |
| KS Weibull | 0.1338560 | 0.6082352 |
| KS Gumbel | 0.1333333 | 0.9578463 |



Finalmente, después de realizar todo el análisis, se puede concluir que la distribución que mejor se ajusta a los datos de precipitaciones máximas mensuales en Quintana Roo es la distribución log-normal con parámetros $k = 7.675$ (parámetro de forma) y $\theta = 38.065$ (parámetro de escala), ya que en el gráfico comparativo de distribuciones, se aprecia que dicha distribución (en azul marino) es aquella que posee el menor grado de alejamiento con respecto a la distribución real de los datos en cuestión, representada por el histograma, esto principalmente debido a que la log-normal es aquella distribución que además sigue de mejor manera los patrones presentes en la forma de la distribución de los datos empíricos, además éste hecho es respaldado por el p valor de la prueba KS realizada a los datos ajustados a una distribución log-

normal, mismo que es igual a 0.9279, lo cual al ser un p-value alto, señala que los datos empíricos cumplen con bastante fuerza el supuesto de que provienen de una distribución log-normal, sin embargo, otra de las distribuciones analizadas que también resultó ajustarse de forma mayormente adecuada a los datos empíricos, aunque menor que la log-normal, fue la Gamma, dado que en el histograma comparativo de distribuciones, se observa que dicha distribución (Gamma) en color naranja, también sigue de forma mayormente adecuada la forma de la distribución de los datos empíricos, puesto que al igual que la distribución log-normal, la Gamma también tiene sesgo a la derecha que se observa también en la distribución de los datos empíricos, aunque también es posible apreciar en el gráfico comparativo que la forma de la distribución Gamma no se termina de acomodar completamente a la de los datos empíricos, por lo que a la Gamma le corresponde un p valor ligeramente menor, específicamente de 0.7895, al de la distribución log-normal, por lo cual la Gamma, es en conclusión, ligeramente menos adecuada para representar a los datos empíricos de las precipitaciones máximas mensuales en Quintana Roo.

Además de lo anterior, también se aprecia en el gráfico comparativo que la distribución normal (en color café claro) también se ajusta medianamente bien a la distribución de los datos empíricos, ya que se observa que dicha distribución también sigue de forma medianamente adecuada, la forma de la distribución de los datos reales, sin embargo, en el caso específico de la distribución normal, se aprecia que ésta no alcanza a cubrir una cantidad aún mayor de zonas de la distribución de los datos empíricos, lo cual significa que la distribución normal es aún menos eficaz para representar de una forma mayormente aceptable la distribución de los datos reales de precipitaciones máximas mensuales, lo cual a su vez se encuentra respaldado por el hecho de que al momento de aplicar la prueba de bondad de ajuste KS a los datos ajustados a una normal, es posible notar que aunque el p valor de dicha prueba fue de 0.4457 (p valor mayormente alto), el p valor de la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, fue de 0.0041, lo cual al ser sumamente bajo, se rechazó el supuesto de que los datos empíricos provengan de una distribución normal, por lo que en base a la comparación gráfica y al test de Shapiro Wilk, se concluyó que los datos reales no siguen una distribución normal.

Adicionalmente, la distribución exponencial no cubre demasiadas zonas de la distribución de los datos reales, además de que el p valor resultante de la prueba KS para esa distribución fue muy cercano a 0, por lo que el comportamiento de los datos reales de precipitaciones máximas mensuales en Quintana Roo definitivamente no siguen una distribución exponencial. Además, la distribución Gumbel se ajustó muy bien a las probabilidades de excedencia de las precipitaciones máximas mensuales, puesto que el p valor de la prueba KS para la Gumbel fue de 0.9578, sin embargo, dado que se busca la mejor distribución para las precipitaciones máximas mensuales en sí y no para sus probabilidades de excedencia, entonces la mejor distribución para las precipitaciones máximas mensuales es la log-normal y no la Gumbel.

Finalmente, la prueba de hipótesis para las pruebas de bondad de ajuste realizadas fue:

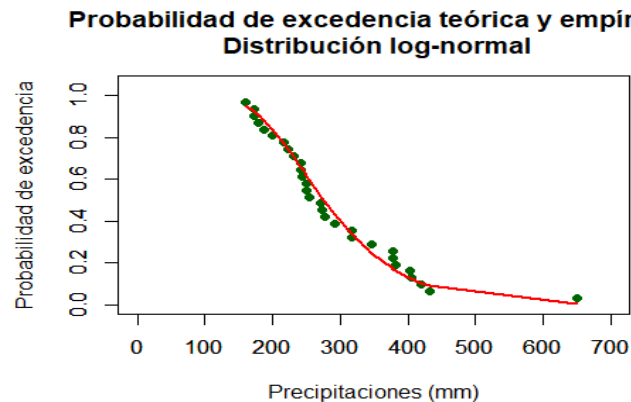
H_0 : los datos provienen de una distribución (indicar tipo de distribución).

H_1 : los datos no provienen de una distribución (indicar tipo de distribución).

Discusión y conclusiones

4. Precipitación de diseño de obras hidráulicas

Gráfico comparativo de probabilidad de excedencia teórica vs empírica



De manera general, el gráfico anterior indica que a medida que incrementa el volumen en mm de las precipitaciones máximas mensuales en el estado de Quintana Roo, la probabilidad de excedencia de dichas precipitaciones disminuye gradualmente, esto principalmente a causa de que las precipitaciones de un menor volumen tienden a ocurrir con una mayor frecuencia, en comparación con aquellas otras de alto volumen, cuya frecuencia de ocurrencia es menor, por lo que existe una relación inversamente proporcional entre el volumen de precipitación y su probabilidad de excedencia, es decir, que a mayor volumen de precipitación, es menos probable que en cierto periodo de tiempo, el volumen de las lluvias sea superior a cierta cantidad y viceversa.

Además, la distribución log-normal demuestra tener un grado mayormente elevado de certeza, porque en el gráfico se aprecia que las probabilidades de excedencia empíricas (puntos verdes) se encuentran bastante próximas a las teóricas estimadas con la distribución log-normal (curva roja), indicando que ajustando los datos de precipitaciones máximas mensuales a una log-normal, se obtienen probabilidades de excedencia altamente precisas y con bajo sesgo, que además se ajustan adecuadamente a las probabilidades empíricas.

```
## Probabilidad de excedencia para 100 años: 0.01
```

```
## Precipitación máxima mensual para 100 años: 599.1511 mm
```

```
## Precipitación máxima mensual para 50 años: 547.2132 mm
```

```
## Precipitación máxima mensual para 200 años: 650.9934 mm
```

Finalmente, en base a la distribución log-normal, se estima que la precipitación máxima mensual para un periodo de retorno de 100 años tendrá un volumen de 599.1511 mm, con su respectiva probabilidad de excedencia del 1%, lo que significa que en cualquiera de los próximos 100 años, en Quintana Roo existe un 1% de probabilidad de que ocurran precipitaciones de un máximo estimado de 599.1511mm. Además, al aumentar el valor del periodo de retorno, por ejemplo a 200 años, el volumen máximo estimado de precipitación también aumenta (650.9934mm), porque toma más tiempo para que se formen las condiciones climatológicas idóneas para producir precipitaciones de muy alto volumen, mientras que por el contrario, las precipitaciones de bajo volumen, tienden a ocurrir con mucha mayor frecuencia que las primeras, por lo que para un periodo de retorno de 50 años, el volumen estimado de precipitaciones máximas mensuales también será menor (547.2132mm).

Por otro lado, el volumen máximo de precipitación para el periodo de retorno elegido (100 años) cambiará al usar datos históricos de otro estado, porque al contar con una ubicación geográfica diferente, sus condiciones climatológicas también serán distintas, por lo que las precipitaciones en esos lugares seguirán diferentes patrones y distribuciones, por lo que el volumen máximo de precipitaciones mensuales sí cambiará para el periodo de retorno de 100 años antes utilizado. Por otra parte, las obras hidráulicas deben construirse a partir de periodos de retorno sugeridos, porque así se facilita decidir con qué materiales construirlas, considerando cuántos años puede resistir cada material sin dañarse y elegir aquellos materiales cuyo tiempo de resistencia sea de preferencia mayor al periodo de retorno que se desea utilizar, además, es muy relevante conocer la distribución que mejor se ajusta a las precipitaciones máximas de un estado, porque así se puede prever con alta precisión, el volumen máximo que tendrán las precipitaciones mensuales en Quintana Roo considerando un periodo de retorno específico y con ello, formular medidas para reforzar el material de las obras y por tanto, aumentar su resistencia durante más tiempo.

Referencias

- Aguamarket.com. (2024). *Probabilidad de excedencia hidrológica*. Aguamarket. <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=7555&termino=probabilidad+de+excedencia+hidrol%C3%B3gica>
- Fundación Nueva Cultura del Agua. (2024). *Período de retorno (Período de retorno)*. Guía Nueva Cultura Del Agua. <https://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/glosario/57->
- IDEAM. (n.d.). *CONCEPTOS BÁSICOS DE CAMBIO CLIMÁTICO*. IDEAM. Retrieved October 27, 2024, from <http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>