

ENVOLVENTES DE CAUDALES MÁXIMOS MEDIANTE DATOS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA LA CUENCA DEL RÍO JAVITA

ENVELOPES OF MAXIMUN FLOWS USING MAXIMUM PRECIPITATION DATA FOR THE JAVITA RIVER BASIN

Nestor Orrala Vera ^{1*}

¹ Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas, Carrera de Ingeniería Civil, Guayaquil, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4476-1330>. Correo: nestor.orrallave@ug.edu.ec

* Autor para correspondencia: nestor.orrallave@ug.edu.ec

Resumen

Este estudio investiga las envolventes de caudales máximos generadas a partir de datos de precipitación máxima en la cuenca del Río Javita. El objetivo es proporcionar información relevante para el diseño y la gestión de recursos hídricos en la región. Se utilizó la metodología propuesta por Ohnishi que incluye el análisis de series históricas de precipitaciones máximas, la estimación de probabilidades de ocurrencia y la aplicación de una ecuación de caudal unitario basado en la fórmula racional. Los resultados muestran coeficientes de ajuste para periodos de retorno de 2 a 100 años, así como curvas envolventes para áreas de 0.1 a 1000 km². Se destaca la importancia de considerar las limitaciones de la metodología y la necesidad de investigación adicional para validar los resultados; proporciona una base sólida para futuros trabajos en el campo de la hidrología de la cuenca del Río Javita y contribuye a la comprensión de los eventos hidrológicos extremos en la región.

Palabras clave: análisis hidrológico; análisis de frecuencia; gestión de riesgos hídricos, estimación de probabilidad

Abstract

This study investigates the envelopes of maximum flows based on maximum precipitation data in the Javita River basin. The objective is to provide relevant information for the design and management of water resources in the region. A methodology was employed, including the analysis of historical series of maximum precipitation, the estimation of occurrence probabilities, and the application of the rational formula. The results show adjustment coefficients for return periods ranging from 2 to 100 years, as well as envelope curves for areas from 0.1 to 1000 km². The importance of considering the limitations of the methodology and the need for further research to validate the results are highlighted. This study provides a solid foundation

for future work in the field of Javita River basin hydrology and contributes to the understanding of extreme hydrological events in the region.

Keywords: *hydrological analysis; frequency analysis; water risk management, probability estimation*

Fecha de recibido: 02/05/2023

Fecha de aceptado: 30/06/2023

Fecha de publicado: 01/07/2023

Introducción

Los estudios hidrológicos desempeñan un papel crucial en el diseño, gestión y planificación de cualquier proyecto relacionado con el agua. Sin embargo, una de las principales dificultades a la hora de tomar decisiones es la falta de información adecuada para determinar parámetros y garantizar la seguridad de las obras frente a sequías e inundaciones (Musy *et al.*, 2014). Esto plantea un gran problema a la hora de seleccionar los métodos de análisis. Esta carencia o inconsistencia de datos, ya sea en precipitaciones o caudales, puede atribuirse a instrumentos de medición dañados, errores en las mediciones, cambios en la instrumentación o en los lugares de medición, modificaciones en los dispositivos de recolección de datos, irregularidades en las mediciones o cambios significativos en el clima de una región (McMillan *et al.*, 2018). A esto debe añadirse los límites de los enfoques hidrológicos tradicionales y los modelos basados en eventos hidrológicos estacionarios (Wagener *et al.*, 2010).

El dimensionamiento de las obras hidráulicas en general se realiza en base a datos de precipitaciones o caudales máximos probables. Estas variables hidrológicas de diseño están asociados a valores de probabilidad de excedencia, asociados de manera proporcional a periodos de retorno que permiten la delimitación del comportamiento hidrológico de la unidad hídrica de estudio, sin embargo muchas veces los trabajos de investigaciones hidrológicas se ven limitados por la ausencia de datos hidrométricos, frente a estos casos las proyecciones de las variables hidrológicas no pueden realizarse a través de análisis de frecuencias aplicando modelos probabilísticos (Campos-Aranda, 2011).

Ante estas limitaciones se han impulsado iniciativas para explorar métodos alternativos que aborden modelos hidrológicos que permitan estimar datos de caudales en lugares donde no ha sido posible recopilar datos hidrométricos consistentes a lo largo del tiempo (UNESCO, 2012) como es el caso de las curvas envolventes, de manera que puedan estimarse caudales que puedan transportarse como valores de referencia para estimaciones preliminares hacia lugares donde hay pocos o ningún dato (Wagener *et al.*, 2010, p. 8).

Las curvas envolventes tienen diversas aplicaciones en el campo de la hidrología y la ingeniería hidráulica; estas situaciones de uso, incluyen : proporcionar evidencia de la magnitud de las inundaciones extremos en cuenca monitoreadas y no monitoreadas, predecir caudales en zonas donde los datos de precipitación no están disponibles usando la curva envolvente adecuada para la región y el área de la cuenca no medida y utilizarse

en aplicaciones de ingeniería específicas como el diseño de obras de desviación y vertederos (Mimikou, 1984).

En cuanto a las curvas envolventes, una de las metodologías más reconocidas es la propuesta por Creager, Justin y Hinds (1945) que proporciona una estimación del caudal máximo en función del área de drenaje basada en eventos hidrológicos extremos en Estados Unidos y otros países, además de incluir datos del Río Amazonas. Otros trabajos son los realizados por Jarvis (1926) basado en datos de inundaciones en 888 estaciones en Estados Unidos; Francou y Rodier (1967) aplicaron el método de la curva envolvente a nivel mundial; Neil (1986) para cuencas en Canada; Herschy (2002) para diversas regiones del mundo; Ohnishi (2004) para diversas áreas de captación pequeñas mediante datos de precipitación diaria máxima mediante ecuaciones basadas en el método racional; Castellarin (2009) para una región en Italia; Abdullah y Muhammad (2019) basado en datos de precipitación de 2 a 100 años en Malasia y eventos de lluvia extremos del mundo; Ewea, Al Amri y Dawoud (2018) para 32 cuencas áridas en Arabia Saudita basados en registros de precipitación. También se utilizan para verificar el riesgo hidrológico de presas para evaluar el comportamiento de estas estructuras frente a caudales máximos y riesgos de inundación (Chaves *et al.*, 2017). Recientemente esta metodología se ha usado para el monitoreo y pronóstico de inundaciones en regiones áridas como Arabia Saudita y entornos similares (Ewea *et al.*, 2020).

El objetivo de este trabajo es explorar el uso de la ecuación envolvente de Ohnishi como una alternativa para estimar datos de caudal máximo, mediante datos de precipitación de manera que se puedan aplicar esta ecuación en zonas similares con ausencia de información, utilizando los datos de la cuenca del Río Javita, con información de 9 estaciones de precipitación.

Materiales y métodos

La ubicación del estudio toma como referencia la cuenca de drenaje del Río Javita que se muestra en la figura 1; atraviesa la provincia de Santa Elena desde el noroeste hasta el noreste abarca un área de 990 km² y está compuesta por 5 subcuencas hidrográficas; incluye la porción media del propio Río Javita que está regulada por el embalse San Vicente. Este territorio soporta un déficit hídrico entre 500 y 1300 mm/año, siendo una microrregión seca con remanentes de bosque seco, posee suelos erosivos, y pérdida de biodiversidad (Velasco y Tamayo, 2020).

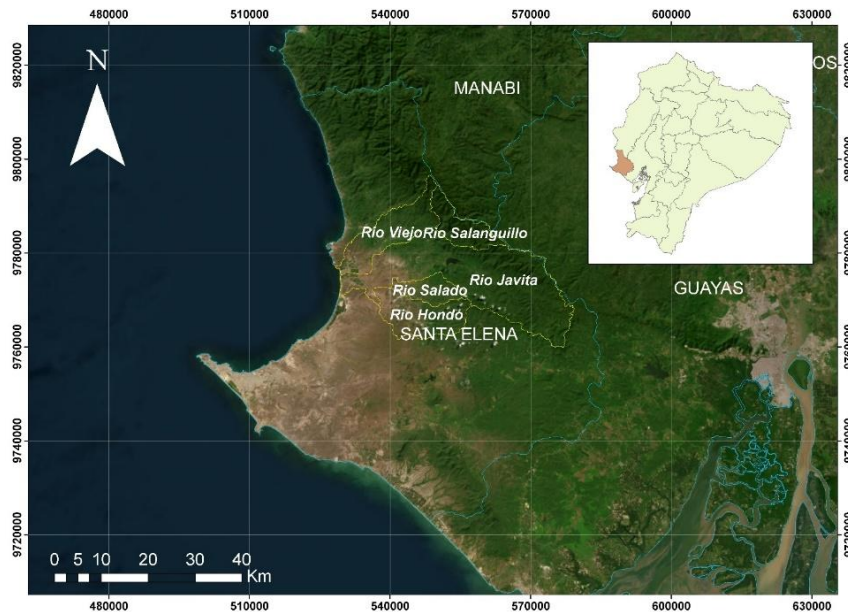


Figura 1. Cuenca del Río Javita.

Metodología

El estudio se basó en los siguientes pasos: Selección de ubicaciones con series históricas de precipitaciones máximas disponibles; definición de criterios para seleccionar las series de precipitación máxima; análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas con probabilidad de ocurrencia entre 2 a 100 años; envoltante de caudal específico a partir de los registros de precipitación máxima.

Selección de ubicaciones con series históricas de precipitación máxima

Para evaluar las precipitaciones de eventos hidrológicos extremos registrados en la cuenca del Río Javita y estimar las descargas de 2 a 100 años utilizadas en proyectos hidráulicos pequeños y medianos se basó en una probabilidad de superación de diseño estándar (Gupta, 2016) que utiliza una serie de precipitaciones máximas anuales reportadas por el Plan Hidráulico Acueducto de Santa Elena para la cuenca del Río Javita (Rivero, 2021) Estos datos se utilizaron según su disponibilidad, área de influencia y consistencia. Para este estudio se seleccionaron 9 estaciones hidroclimáticas con series de datos desde 1967 hasta 2015 y con áreas de drenaje de 19.92 a 345.63 km².

Definición de criterios para seleccionar las series de precipitación máxima

Para seleccionar las precipitaciones máximas observadas se adoptaron los siguientes criterios y procedimientos: i) Selección de ubicaciones con series históricas de al menos 30 años de observación; ii) Selección de las precipitaciones máximas anuales de cada estación; iii) Verificación estadística de las series históricas. Esta última etapa consiste en identificar y eliminar inconsistencias que han ocurrido en los registros, Para cada serie histórica de cada estación primero se realiza un análisis gráfico para la identificación de saltos en la serie hidrológica que afecten las características de los parámetros de la serie estadística, separando el registro por muestras representativas para el análisis, posteriormente se realiza el cálculo estadístico que incluya las

siguientes variables : media, desviación estándar , desviación estándar ponderada, análisis de consistencia de la media y consistencia de la desviación estándar

Análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas probables entre 2 y 100 años

Los siguientes procedimientos fueron adoptados para estimar las precipitaciones máximas probables (PMP) entre 2 y 100 años: i) Para cada una de las ubicaciones de medición , se seleccionaron las precipitaciones máximas de cada año de la serie histórica reconstituidas del análisis de consistencia, ii) Para cada serie histórica de precipitaciones máximas , se calculó un resumen estadístico que representa las variables a utilizar en el análisis de distribución de probabilidad continua para modelar y estimar la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones máximas : número de elementos, precipitación promedio, máximos y mínimos, desviación estándar, coeficientes de asimetría y curtosis; iii) Verificación de la serie de valores máximos en busca de valores atípicos (Teegavarapu *et al.*, 2019), iv) Análisis de distribución de probabilidad continua para modelar y estimar las probabilidades asociadas a un evento de precipitación máxima; v) Prueba de Bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov (Maity, 2022) vi) Establecida la distribución con mejor ajuste, se procede con el análisis de las PMP utilizando la ecuación general de frecuencia sugerida por (Chow *et al.*, 1988).

$$X_T = x_m + K_T \cdot S \quad (1)$$

Donde (X_T) es la PMP de una duración determinada, (x_m) la media de la serie de precipitaciones máximas anuales, (K_T) es la variante estándar de la precipitación máxima probable y (S) la desviación estándar de la serie de máximos anuales. El valor de K depende del tipo de distribución y del intervalo de recurrencia

Envolvente de caudal específico a partir de los registros de precipitación máxima

La metodología planteada por Ohnishi (Ohnishi *et al.*, 2004) para determinar el caudal específico a partir de registros de precipitación máxima, hace uso de la formula racional (Villon, 2006), en función de los análisis de altura de precipitación-duración (P_0) y altura de precipitación-área-duración (P_A).

La ecuación (P_0) está basada en la fórmula de intensidad de Sherman (Takeleb *et al.*, 2022):

$$P_0 = a \cdot t^m \quad (2)$$

A partir de la ecuación altura de precipitación-área de tipo Horton y de la ecuación (P_0), la ecuación (P_A) es:

$$P_A = P_0 \cdot e^{-k \cdot A^n} \quad (3)$$

La fórmula racional $Q=C.I.A/3,6$ (m^3/s), se basa en la relación de intensidad de precipitación (I) en ($mm \ h^{-1}$), un coeficiente (C) de escorrentía y superficie de drenaje (A) en (km^2). De esta fórmula y de las ecuaciones (2) y (3) Ohnishi (2004) plantea la relación entre el caudal unitario y la precipitación mediante la siguiente expresión:

$$q_o = \frac{C \cdot a \cdot t^{m-1}}{3.6} \cdot e^{-k \cdot A^n} \quad (4)$$

Donde a , m, k, y n, son coeficientes regionales, P_A es la profundidad media de las precipitaciones sobre un área (mm) , P_o precipitación máxima promedio (mm), (C) es el coeficiente de escorrentía de la región de estudio, t es la duración de la precipitación de diseño en horas y q_o el caudal unitario (m³ s⁻¹km⁻²)

Para la construcción de la envolvente los valores de (a) son los de mayor magnitud registrado de todas las estaciones, es decir se transforma la ecuación de intensidad tipo Sherman a una lámina de lluvia como es la ecuación 2, los valores de k y n se obtienen de la ecuación (3) a partir del análisis de isoyetas, El valor de (t) será el que permita cubrir la mayoría de los puntos de caudales específicos recopilados en la tabla 1.

Tabla 1. Caudal específico para diferentes periodos de retorno.

Cuencas	A (Km ²)	T _p (horas)	Caudal específico para diferentes periodos de retorno (m ³ s ⁻¹ km ⁻²)					
			2	5	10	25	50	100
Río Salado	19.92	16	0.60	1.23	1.71	2.36	2.78	3.34
Río USA	43.13	15	0.41	1.13	1.65	2.39	2.85	3.50
Río Grande	92.75	22	0.17	0.59	0.94	1.43	1.81	2.20
Río Nuevo (REG)	133.16	19	0.19	0.53	0.76	1.11	1.37	1.64
Río Hondo	142.07	20	0.26	0.74	1.08	1.56	1.87	2.27
Río Salanguillo	147.04	19	0.04	0.24	0.43	0.72	0.95	1.19
Río Nuevo (NAT)	345.63	23	0.24	0.53	0.72	0.97	1.15	1.33

Fuente: (Rivero, 2021)

Resultados y discusión

Los resultados del análisis de precipitaciones máximas para los parámetros de ajuste de las envolventes, en base a los registros de las 9 estaciones con influencia directa sobre la cuenca del Río Javita se muestran en la Tabla 2 , lo resaltados con negrita representan los valores de (a) para su respectivo periodo de retorno, los valores de k y n corresponden al análisis de la precipitación media sobre un área, reportándose un valor de k = 0.0008 y n = 0.990432 , el coeficiente de escorrentía de la región de estudio es de 0.35, el valor de m que corresponde también al análisis de las PMP, es de 0.3288. Sin embargo, para los periodos de retorno de 5 a 100 años se trabajó con valores de m=0.60, pues de acuerdo con (Ohnishi et al., 2004) representan un mejor ajuste en esta metodología.

Tabla 2. Parámetros de ajuste de la envolvente de caudal específico.

Periodo de retorno (Tr) Coeficiente de ajuste	Número de Estación								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tr = 2 años m=0.3288	f=0.35 t=23 hr k=-0.0018 n=0.8064								
a	29.06	35.31	30.92	20.16	20.91	39.38	28.71	25.15	24.02
Tr = 5 años m= 0.60	f=0.35 t=23 hr k=-0.0018 n=0.8064								
a	33.26	42.38	35.85	22.93	25.52	34.98	34.69	33.53	32.27
Tr = 10 años m= 0.60	f=0.35 t=23 hr k=-0.0018 n=0.8064								
a	36.83	48.65	40.1	25.28	29.68	39.92	40.02	41.69	40.34
Tr = 25 años m= 0.60	f=0.35 t=23 hr k=-0.0018 n=0.8064								
a	42.16	58.39	46.5	28.75	36.23	47.53	48.36	55.58	54.21
Tr = 50 años m= 0.60	f=0.35 t=23 hr k=-0.0018 n=0.8064								
a	46.69	67.03	52.01	31.71	42.13	54.24	55.79	69.09	67.77
Tr= 100años m= 0.60	f=0.35 t=23 hr k=-0.0018 n=0.8064								
a	51.71	76.95	58.18	34.96	48.99	61.9	64.38	85.88	84.74

Se observa que los valores de (a) cambian de 39.38 a 85.88, al pasar de un periodo de retorno de 2 a 100 años. Para este periodo de recurrencia la curva q_0 no cubre el caudal específico de 0.60 correspondiente a 19.92 km² como se observa en la figura 2. Para el periodo de recurrencia de 5 años, se observa que la envolvente q_0 no cubre los valores de caudal específico de 1.23 y 1.13, correspondientes a áreas de cuenca de 19.92 y 43.13 km² respectivamente. Se observa también que para el valor de 0.53 correspondiente a un área de 345.6 Km², hay una sobre estimación en el caudal específico; este comportamiento se repite para los demás intervalos de recurrencia.

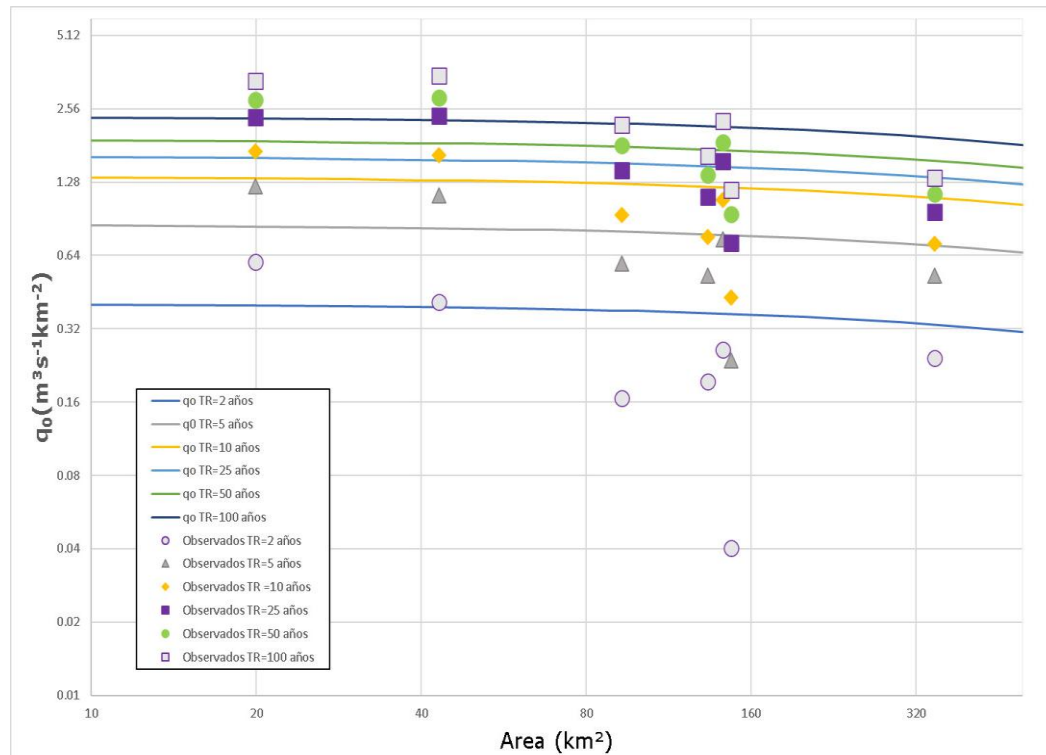


Figura 2. Curvas envolventes de caudal unitario.

A partir de los coeficientes de ajuste de la tabla 2 se pueden graficar las envolventes para caudales máximos a partir de 0.1 a 1000 km². En las figuras 3 a la 8, se observan en un contraste grafico los caudales registrados por Rivero (2021) y la envolvente realizada con la metodología de Ohnishi (2004).

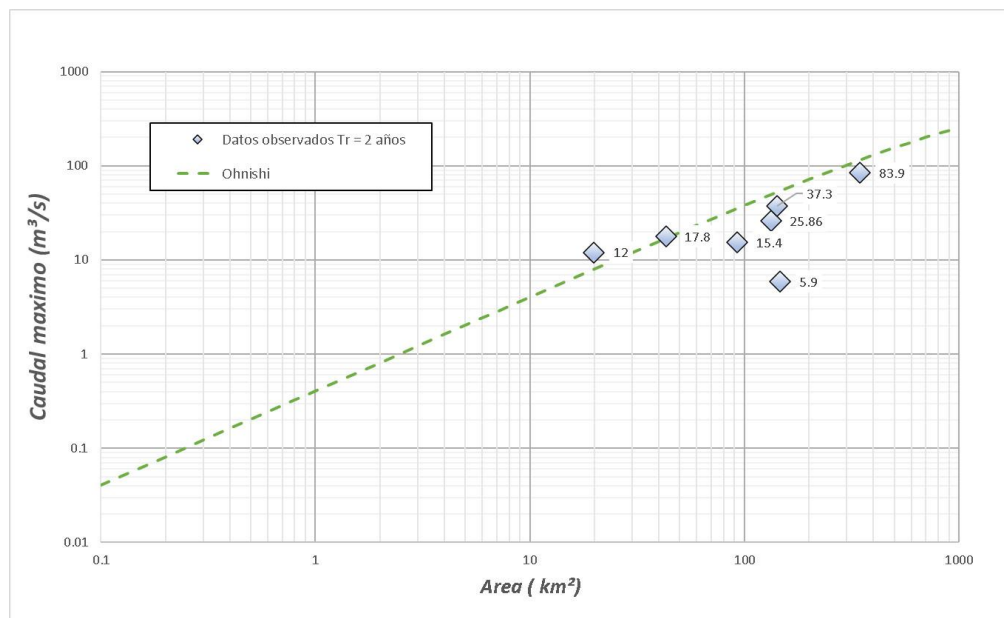


Figura 2. Envolvente de caudales para Tr=2 años de 0.1 a 1000 Km².

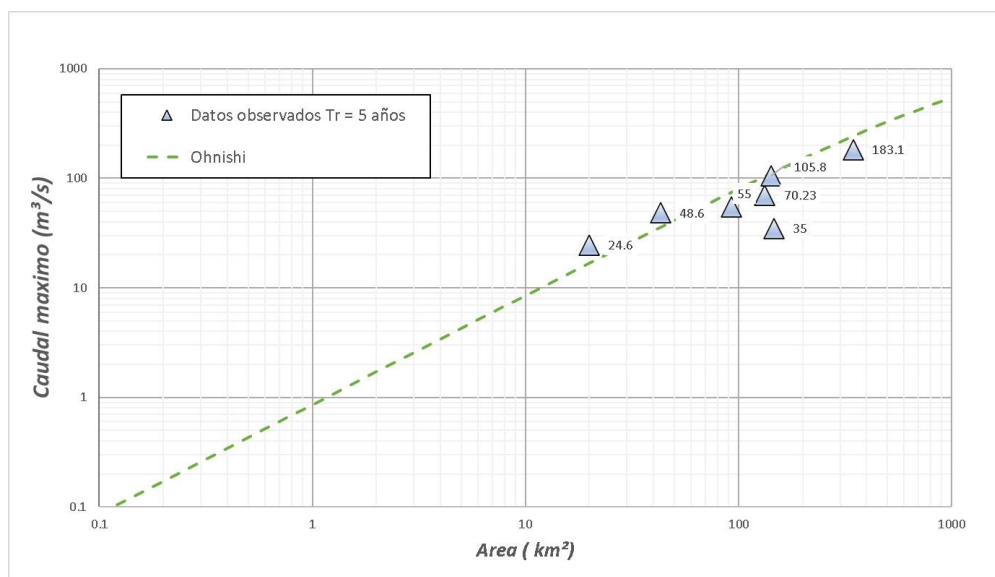


Figura 3. Envolvente de caudales para Tr=5 años de 0.1 a 1000 Km².

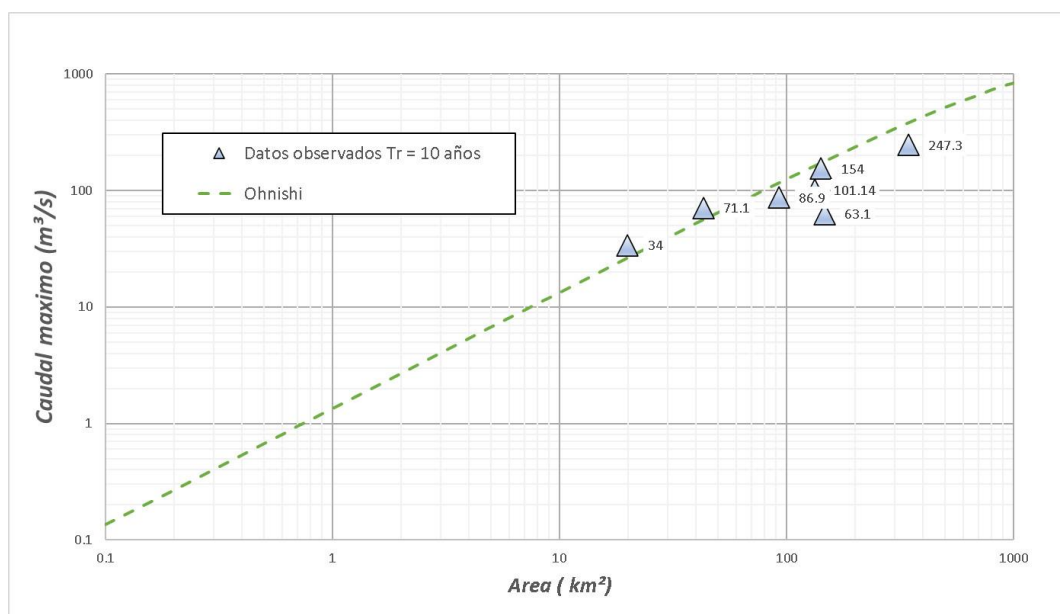


Figura 4. Envoltente de caudales para Tr=10 años de 0.1 a 1000 Km².

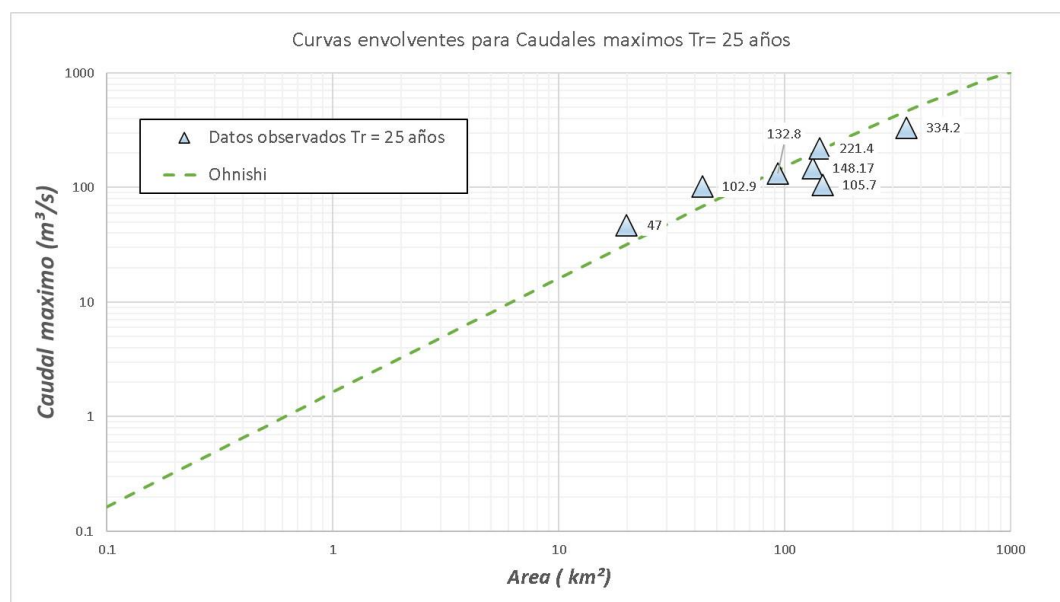


Figura 5. Envoltente de caudales para Tr=25 años de 0.1 a 1000 Km²

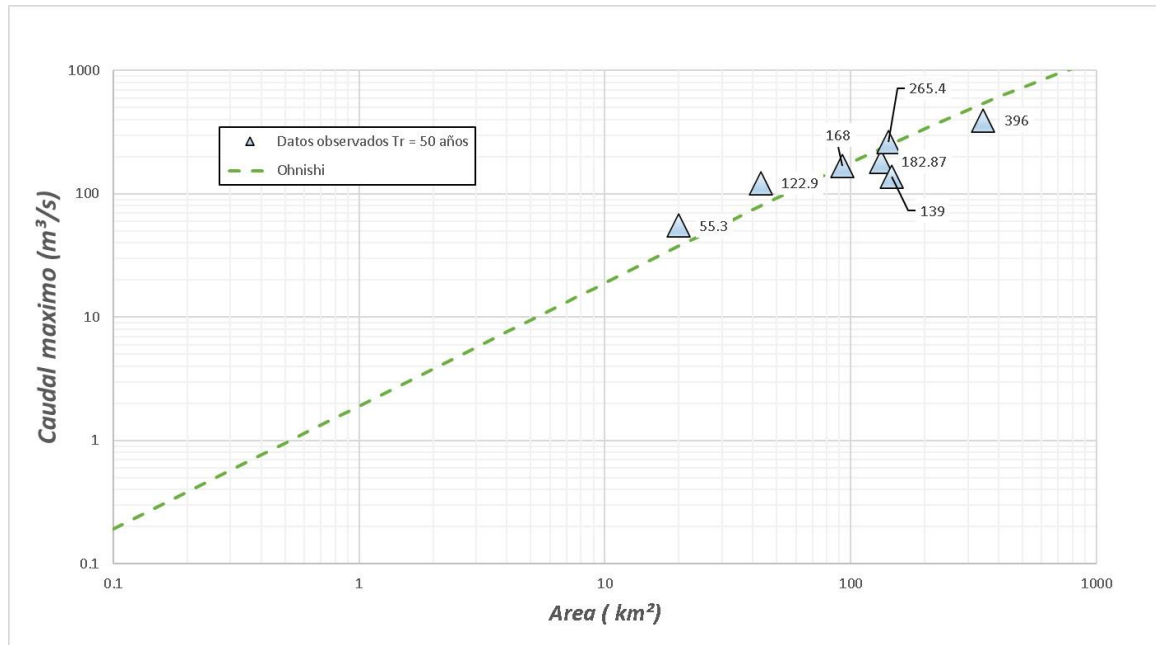


Figura 6. Envoltente de caudales para Tr=50 años de 0.1 a 1000 Km²

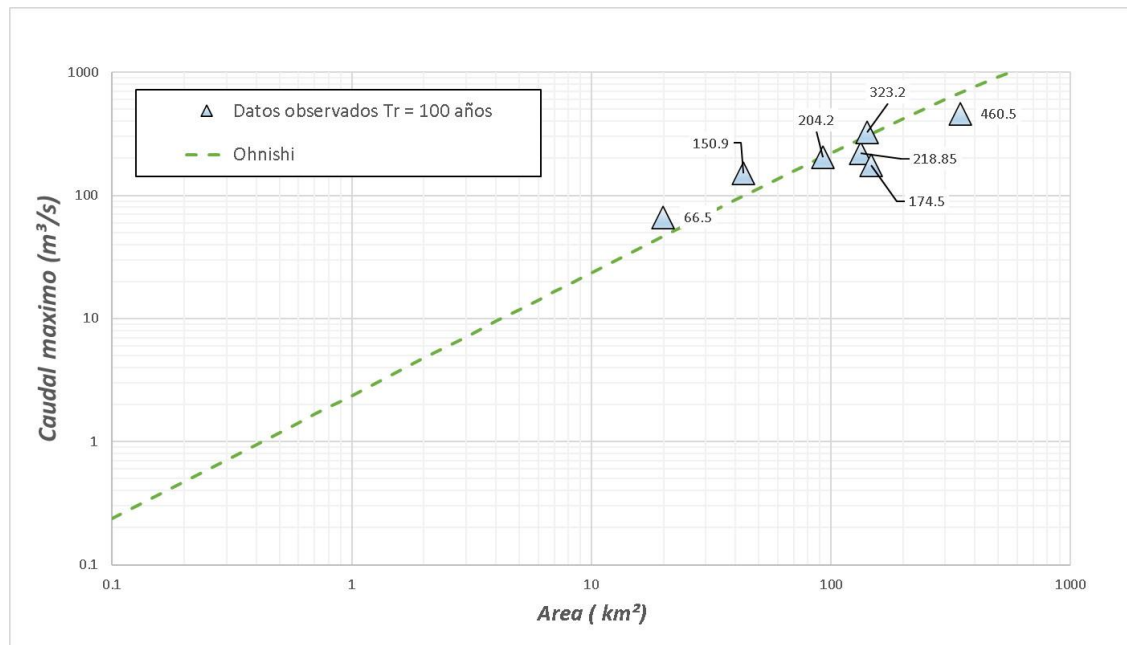


Figura 7. Envoltente para Tr=100 años de 0.1 a 1000 Km²

Para tener una interpretación numérica del ajuste de las curvas, se usó el criterio de error estándar de ajuste para cada intervalo de recurrencia desarrollado en la tabla 3.

Tabla 3: Error de ajuste de la envolvente de caudal máximo para distintos periodos de retorno.

Periodo de retorno (Tr)		Error estándar de ajuste	Número de cuenca según la tabla 1						
Caudales		m ³ /s	1	2	3	4	5	6	7
Tr=2 años									
Q	(Observados)	-	12	17.8	15.4	25.86	37.3	5.9	83.9
Q _o	(Ohnishi)	13.42	7.95	16.91	35.23	49.41	52.46	54.14	115.21
Tr = 5 años									
Q	(Observados)	-	24.6	48.6	55	70.23	105.8	35	183.1
Q _o	(Ohnishi)	21.61	16.78	35.7	74.36	104.29	110.72	114.28	243.17
Tr = 10 años									
Q	(Observados)	-	34	71.1	86.9	101.14	154	63.1	247.3
Q _o	(Ohnishi)	38.57	26.35	56.08	116.81	163.81	173.91	179.5	381.95
Tr = 25 años									
Q	(Observados)	-	47	102.9	132.8	148.17	221.4	105.7	334.2
Q _o	(Ohnishi)	36.52	31.95	68	141.64	198.65	210.89	217.67	463.17
Tr = 50 años									
Q	(Observados)	-	55.3	122.9	168	182.87	265.4	139	396
Q _o	(Ohnishi)	39.93	37.42	79.62	165.86	232.6	246.94	254.88	542.34
Tr = 100 años									
Q	(Observados)	-	66.5	150.9	204.2	218.85	323.2	174.5	460.5
Q _o	(Ohnishi)	54.48	46.51	98.98	206.17	289.14	306.96	316.83	674.17

En la tabla 3 existe una variación en la predicción con valores que oscilan entre 13.42 a 54.48 m³/s para los periodos de recurrencia entre 2 a 100 años.

Las curvas envolventes generadas a partir de los datos de precipitación y caudales máximas mostrados en la figura 3-8 muestran diversos ajustes para los datos existentes entre los 20 y 400 Km². La curva de Ohnishi no cubre los caudales entre los 20 y 50 km², también se observan sobrestimaciones para los caudales al extremo superior de la curva, siendo las magnitudes más extremas.

Conclusiones

Se generaron los coeficientes de ajuste, relacionados a periodos de retorno entre 2 y 100 años. Aunque los datos siguen siendo insuficientes para un mayor rigor científico, el modelo es funcional para áreas de 20 a 400 km². Los gráficos de las envolventes de caudales máximos se generaron para áreas entre 0.1 y 1000 km².

La falta de información local agrega incertidumbres al modelo, tendiendo a sobrestimar o minimizar en algunos casos los caudales. Las envolventes que se obtuvieron a partir de caudales máximos de diseño están

en función del estudio realizado por la Prefectura de Santa Elena que usó un método de relación lluvia-escorrentía, siendo el escenario ideal para este modelo de envolventes la proyección de caudales máximos probables mediante métodos estadísticos, a partir de registro de aforos. Es importante destacar que tanto el método de envolventes como los métodos de relación lluvia escorrentía, son modelos empíricos, por lo que, la selección de los insumos de estos métodos es importantes para evitar en lo posible incertidumbres hidrológicas.

Se recomienda, usar la envolvente del presente estudio, solo para áreas entre 20 y 400 Km². Dado que el modelo utilizado se basó en series de datos históricos desde 1967 hasta 2015, sería beneficioso extender el periodo de observación para obtener una perspectiva más completa de los eventos hidrológicos extremos en la cuenca del Río Javita.

Referencias

- Abdullah, J., Muhammad, N. S., Muhammad, S. A., & Julien, P. Y. (2019). Envelope curves for the specific discharge of extreme floods in Malaysia. *Journal of Hydro-Environment Research*, 25(February 2018), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2019.05.002>
- Campos-Aranda, F. (2011). Estimación de envolventes de diseño por subregiones hidrológicas. *Tecnologías y Ciencias Del Agua, II*, 175–194.
- Castellarin, A., Merz, R., & Blöschl, G. (2009). Probabilistic envelope curves for extreme rainfall events. *Journal of Hydrology*, 378(3–4), 263–271. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.09.030>
- Chaves, L. G., Studart, T. M. de C., Campos, J. N. B., & Filho, F. A. de S. (2017). Envoltórias regionais de cheias milenares e decamilenares para o estado do Ceará: Ferramenta para verificação da segurança hidrológica de barragens. *Revista Brasileira de Recursos Hidricos*, 22. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.021720160062>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology* (McGraw-Hill, Ed.).
- Creager, W., Justin, J., & Hinds, J. (1945). *Engineering for dams: Vol. Vol 1* (J. D. (Joel D. Justin 1881- & J. Hinds, Eds.). Wiley.
- Ewea, H. A., Al-Amri, N. S., Dawoud, M. A., & Elfeki, A. M. (2018). Developing models and envelope curves for extreme floods in the Saudi Arabia arid environment. *Natural Hazards*, 94(2), 801–817. <https://doi.org/10.1007/S11069-018-3421-X>
- Ewea, H. A., Al-Amri, N. S., & Elfeki, A. M. (2020). Analysis of maximum flood records in the arid environment of Saudi Arabia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 1743–1759. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1810783>
- Francou, J., & Rodier, J. (1967). Essai de classification des crues maximales observées dans le monde. *Cahiers ORSTOM.Série Hydrologie*, 4, 19–46. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:14846>
- Gupta, R. S. (2016). *Hydrology and Hydraulic Systems: Fourth Edition*. Waveland Press. <https://books.google.com.ec/books?id=x0MbDQAAQBAJ>

- Herschey, R. W. (2002). The world's maximum observed floods. In *Flow Measurement and Instrumentation* (Vol. 13). www.elsevier.com/locate/flowmeasinst
- Jarvis, C. S. (1926). Flood Flow Characteristics. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 89(1), 985–1032. <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0003607>
- Maity, R. (2022). *Statistical Methods in Hydrology and Hydroclimatology*. Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-5517-3>
- McMillan, H. K., Westerberg, I. K., & Krueger, T. (2018). Hydrological data uncertainty and its implications. *WIREs Water*, 5(6). <https://doi.org/10.1002/wat2.1319>
- Mimikou, M. (1984). Envelope curves for extreme flood events in northwestern and western Greece. *Journal of Hydrology*, 67(1–4), 55–66. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(84\)90232-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(84)90232-4)
- Musy, A., Hingray, B., & Picouet, C. (2014). *Hydrology: A Science for Engineers*. CRC Press. <https://books.google.com.ec/books?id=AHTSBQAAQBAJ>
- Neill, C. R. (1986). Unusual Canadian floods and the Creager diagram. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 13(2), 255–257. <https://doi.org/10.1139/l86-034>
- Ohnishi, R., Kato, T., Imaizumi, M., & Tanji, H. (2004). A study to determine an equation of enveloping curve for regional flood peaks by maximum rainfall data. *Paddy and Water Environment*, 2(2), 83–90. <https://doi.org/10.1007/s10333-004-0043-6>
- Rivero, J. (2021). Estudio de frecuencias de niveles de inundacion en el valle del Rio Javita y mecanismos de evacuacion de agua: Estudio de fase II.
- Takeleb, A., Fajriani, Q., & Ximenes, M. (2022). Determination of Rainfall Intensity Formula and Intensity Duration Frequency (IDF) Curve at the Quelicai Administrative Post, Timor-Leste. *Timor-Leste Journal of Engineering and Science*, 3, 1–11.
- Teegavarapu, R. S. V., Salas, J. D., & Stedinger, J. R. (2019). Statistical Analysis of Hydrologic Variables: Methods and Applications. In R. S. V. Teegavarapu, J. D. Salas, & J. R. Stedinger (Eds.), *Statistical Analysis of Hydrologic Variables: Methods and Applications*. American Society of Civil Engineers (ASCE). <https://doi.org/10.1061/9780784415177>
- UNESCO. (2012). Seguridad hídrica: respuestas a los desafíos locales, regionales, y mundiales plan estratégico.
- Velasco, P., & Tamayo, C. (2020). Agua en territorios comunales: gestión del riego en el valle del río Javita, provincia de Santa Elena. *Siembra*, 7(1), 027–042. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1865>
- Villon, M. (2006). Hidrología estadística (Instituto Tecnológico de Costa Rica, Ed.; 1st ed.).
- Wagener, T., Sivapalan, M., Troch, P. A., McGlynn, B. L., Harman, C. J., Gupta, H. V., Kumar, P., Rao, P. S. C., Basu, N. B., & Wilson, J. S. (2010). The future of hydrology: An evolving science for a changing world. *Water Resources Research*, 46(5). <https://doi.org/10.1029/2009WR008906>