



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Estimación de caudales mensuales en una subcuenca no
aforada usando el método de regionalización IDW**

Tesis para optar el Grado de
Ingeniero Civil

Seluhany Jazlyn Gabriela Lozada Montenegro

Asesor:

Dra. Ing. Adriadna del Socorro Chávez Jiménez

Piura, junio de 2025



Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, Seluhany Jazlyn Gabriela Lozada Montenegro, egresado del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI: 72791902, declaro que:

Soy autor del trabajo final titulado:

“Estimación de caudales mensuales en una subcuenca no aforada usando el método de regionalización IDW.”

El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil.

El texto de mi trabajo final es original y no vulnera los derechos de terceros o, de ser el caso, derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para lo cual, he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas. Asimismo, el texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico; y que la investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

En caso de detectarse el incumplimiento de lo declarado asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

La asesoría del trabajo estuvo a cargo de los siguientes docentes de la Universidad de Piura:

- Dra. Ing. Adriadna del Socorro Chávez Jiménez, identificado con DNI: 40875736

Declaro (declaramos) que:

Luego de haber empleado el software de coincidencia Turnitin, revisado las fuentes de información señaladas por el autor, y en razón de mi (nuestra) experiencia como investigador(es), declaro (declaramos) que las ideas expuestas en el trabajo final alcanzan las condiciones de calidad, integridad y originalidad acorde a los objetivos institucionales y estándares en materia de investigación. Finalmente, no asumo (asumimos) responsabilidad por la posible vulneración de derechos de autor en el trabajo final referido, pues tal responsabilidad es exclusiva del autor.

Fecha: 11/06/2025.

Firma del autor¹

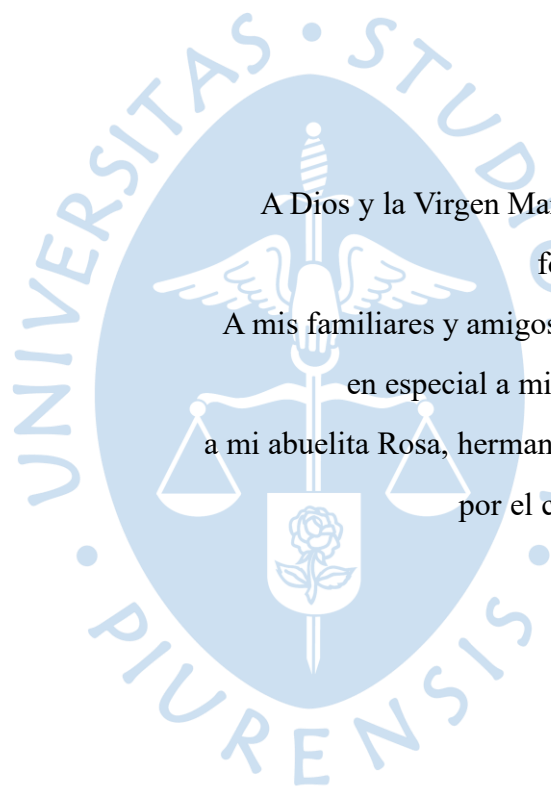
Firma del asesor¹

¹ Firma idéntica al DNI. No se admite digital, salvo certificado.

Dedicatoria

A Dios y la Virgen María por la vida, bendiciones y
fortaleza para seguir adelante.

A mis familiares y amigos por su motivación e interés,
en especial a mis padres Lourdes y Segundo,
a mi abuelita Rosa, hermana Jadhiany y mascota Dakari
por el cariño y apoyo incondicional.



Agradecimientos

A Dios por las oportunidades que me brinda.

A mi asesora, la Dra. Adriadna Chávez, por la dedicación,
los consejos, la paciencia y las enseñanzas brindadas.

También quiero agradecer al PRONABEC
por contribuir a mi formación profesional y a la
Universidad de Piura por brindarme la oportunidad
de crecer como persona y como profesional.

Finalmente se hace mención que este trabajo fue subvencionado por el CONCYTEC a través del programa PROCIENCIA en el marco del concurso “E041-2023-02 Proyectos de Investigación Aplicada 2023-02”, según contrato [PE501082415-2023-PROCIENCIA]. El proyecto bajo el cual se ha trabajado esta tesis es: “Determinación del impacto del cambio climático al 2050 y medidas de adaptación, en la agricultura, en función de los cambios en la oferta – demanda de agua, y la influencia del agua procedente de infraestructura de regulación para el mejoramiento de los niveles de atención de las demandas, en la subcuenca Carneros, ubicada en la cuenca del río Piura en la costa norte del Perú, como cuenca piloto”.

Resumen

La oferta hídrica de las cuencas es importante para una adecuada gestión de los recursos hídricos; sin embargo, no todas las unidades hidrológicas donde se requiere conocer el caudal cuentan con estaciones de medición que permitan realizar registros hidrológicos.

Para identificar caudales en lugares con escasa disponibilidad de datos se utiliza el método de regionalización de distancia inversa ponderada (IDW). Este enfoque tiene el propósito de facilitar la transferencia de información, en este caso hidrológica, entre cuencas aforadas y no aforadas que comparten características similares, conformando una región hidrológica homogénea. Para realizar el análisis se ha seleccionado la subcuenca Carneros, que es un aportante en la zona media de la cuenca del río Piura.

Previo a la aplicación del método IDW, se determina la región homogénea mediante un análisis clúster aplicando los métodos de Ward y K-mean, considerando las características fisiográficas, hidrológicas y climáticas de las subcuencas donantes. Con la finalidad de verificar que los caudales estimados con el método IDW sean adecuados, se trabajan dos modelos hidrológicos: GR2M y WEAP, confirmando a través de sus procesos de calibración y validación que la información hidrológica modelada con IDW presenta una tendencia real.

Para finalizar, se propone un procedimiento teórico con el propósito de verificar los caudales estimados con el método IDW. La técnica de regionalización seleccionada es ampliamente utilizada en hidrología; por ello, se espera que la metodología implementada en el presente trabajo pueda ser replicada en futuras investigaciones.

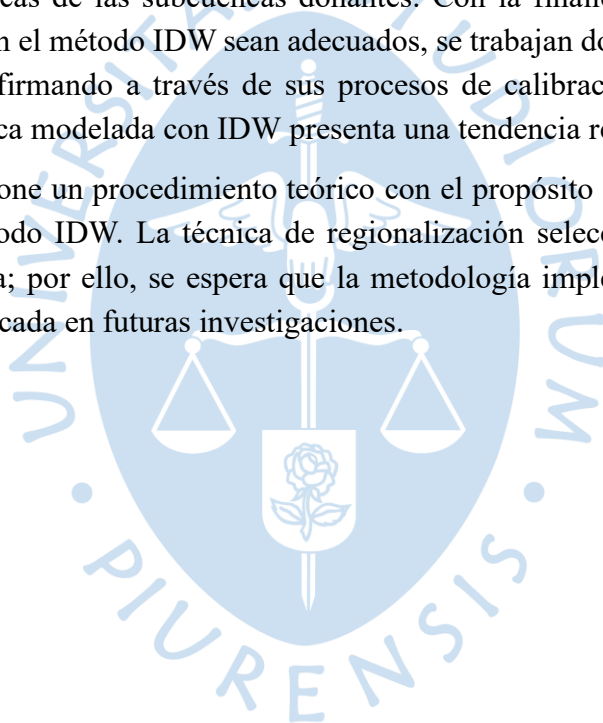


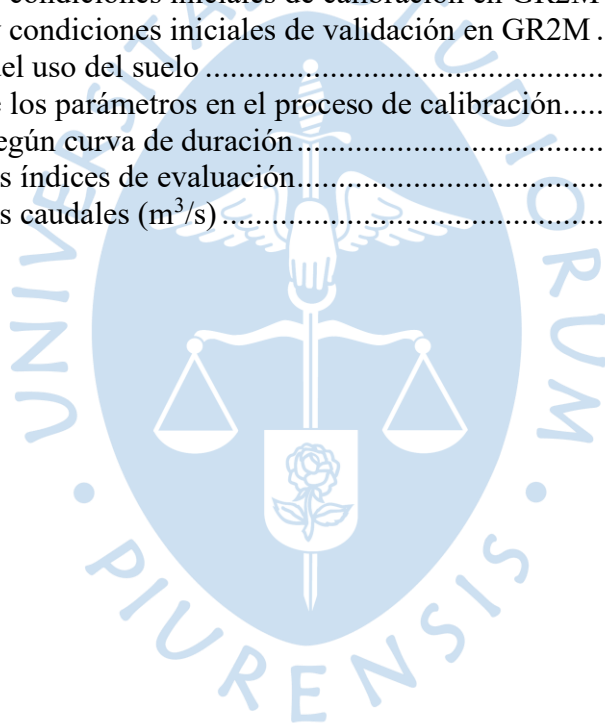
Tabla de contenido

Introducción.....	10
Capítulo 1	11
Marco Teórico.....	11
1.1 Hidrología.....	11
1.2 Cuenca hidrográfica.....	11
1.2.1 Definición.....	11
1.2.2 Características físicas de la cuenca.....	11
1.3 Parámetros meteorológicos.....	14
1.3.1 Precipitación.....	14
1.3.2 Temperatura.....	14
1.3.3 Evapotranspiración.....	14
1.3.4 Humedad relativa.....	15
1.3.5 Nubosidad.....	15
1.3.6 Viento.....	15
1.3.7 Metodología del análisis climático.....	15
1.4 Regionalización de caudales.....	16
1.5 Análisis clúster.....	17
1.5.1 Método jerárquico Ward.....	17
1.5.2 Método de partición K-means.....	18
1.5.3 Validación cluster.....	18
1.6 Modelos hidrológicos.....	19
1.6.1 Modelo GR2M.....	19
1.6.2 Water evaluation and planning system (WEAP).....	20
1.6.3 Calibración y validación de modelos hidrológicos.....	23
Capítulo 2	26
Zona de estudio.....	26
2.1 Ubicación geográfica.....	26
2.2 Características de la zona en estudio.....	27
2.2.1 Geología.....	27
2.2.2 Clima.....	28
2.2.3 Enfoque demográfico y socioeconómico.....	29
2.3 Cobertura vegetal.....	31
Capítulo 3	34
Análisis geomorfológico y climático de la subcuenca Carneros.....	34
3.1 Características geomorfológicas de la subcuenca Carneros.....	34
3.2 Análisis climático de la subcuenca Carneros.....	35
3.2.1 Estimación de datos faltantes.....	38
3.2.2 Determinación de los valores medios.....	38
Capítulo 4	44
Aplicación del método de regionalización IDW.....	44
4.1 Definición de regiones homogéneas.....	44
4.2 Aplicación del método de regionalización IDW.....	51
4.2.1 Validación cruzada con el método IDW.....	51
4.2.2 Estimación de caudales mensuales aplicando IDW.....	53
Capítulo 5	55
Modelos hidrológicos.....	55
5.1 Modelo GR2M.....	55
5.1.1 Calibración.....	55

5.1.2 Validación.....	56
5.2 Modelo WEAP	57
5.2.1 Parámetros del modelo hidrológico	57
5.2.2 Calibración	58
5.2.3 Validación.....	59
5.3 Generación de caudales mensuales	60
5.4 Análisis de resultados	62
Capítulo 6	63
Propuesta teórica de un método para calcular caudales en la subcuenca Carneros	63
Conclusiones.....	65
Recomendaciones	66
Anexos	72
Anexo A: Mapa de probabilidad de peligro por inundaciones del departamento de Piura ..	73
Apéndices	74
Apéndice A: Estimación de registros climáticos	75
Apéndice B: Variables climáticas de la subcuenca Carneros	79
Apéndice C: Caudales estimados con la interpolación IDW para la subcuenca Carneros..	82
Apéndice D: Caudales estimados a partir de los modelos hidrológicos GR2M Y WEAP..	83
Apéndice E: Ubicación de los levantamientos topográficos	85

Lista de tablas

Tabla 1 Rangos de valor para NSE	25
Tabla 2 Rangos de valor para R2	25
Tabla 3 Geología de la subcuenca Carneros	27
Tabla 4 Tipos de clima en la subcuenca Carneros	28
Tabla 5 Distribución territorial de la subcuenca Carneros	29
Tabla 6 Información socioeconómica	30
Tabla 7 Parámetros geomorfológicos de la subcuenca Carneros.....	34
Tabla 8 Estaciones meteorológicas consideradas para la subcuenca Carneros	35
Tabla 9 Información de las estaciones meteorológicas que pertenecen	37
Tabla 10 Parámetros fisiográficos de las subcuencas seleccionadas	45
Tabla 11 Codificación de variables individuales y combinadas	45
Tabla 12 Índices de silhouette y cofenética para cada combinación.....	48
Tabla 13 Clusters obtenidos según los métodos de Ward y K-means.....	49
Tabla 14 Resumen de la evaluación de desempeño	53
Tabla 15 Parámetros y condiciones iniciales de calibración en GR2M.....	55
Tabla 16 Parámetros y condiciones iniciales de validación en GR2M	56
Tabla 17 Parámetros del uso del suelo	58
Tabla 18 Tendencia de los parámetros en el proceso de calibración.....	59
Tabla 19 Percentiles según curva de duración.....	62
Tabla 20 Valores de los índices de evaluación.....	62
Tabla 21 Valores de los caudales (m ³ /s).....	62



Lista de figuras

Figura 1 Estructura del modelo GR2M.	20
Figura 2 Diagrama conceptual del método de humedad del suelo	21
Figura 3 Proceso de calibración manual de un modelo de simulación	23
Figura 4 Delimitación de la subcuenca Carneros	26
Figura 5 Mapa geológico climático de la subcuenca Carneros	28
Figura 6 Cobertura vegetal de la subcuenca Carneros	31
Figura 7 Perfil longitudinal del cauce del río Carneros	35
Figura 8 Ubicación de estaciones meteorológicas	36
Figura 9 La imagen derecha muestra las estaciones del estudio de precipitación y la imagen izquierda del estudio del estudio de temperatura.....	37
Figura 10 Regresión lineal para la estación Lancones	38
Figura 11 Precipitación media mensual de la subcuenca Carneros (01/1972 - 07/2024)	39
Figura 12 Gráfica radial de la precipitación en la subcuenca Carneros	39
Figura 13 Temperatura media mensual de la subcuenca Carneros (01/1972 - 07/2024)	40
Figura 14 Gráfica radial de temperatura en la subcuenca Carneros	40
Figura 15 Humedad relativa media mensual de la subcuenca Carneros (2017-2023).....	41
Figura 16 Gráfica de humedad relativa en la subcuenca Carneros.....	41
Figura 17 Velocidad del viento media mensual de la subcuenca Carneros (2019-2023).....	42
Figura 18 Velocidad del viento en la subcuenca Carneros	42
Figura 19 Fracción de la nubosidad media mensual de la subcuenca Carneros (1984-2023). 43	
Figura 20 Fracción de la nubosidad en la subcuenca Carneros	43
Figura 21 Resultados cluster del método K-means en RStudio.	46
Figura 22 Dendrograma del método Ward en RStudio.	47
Figura 23 Mapa con los resultados cluster para cada variable y combinación.....	50
Figura 24 Subcuencas que pertenecen a la misma región homogénea	51
Figura 25 Resultados de la validación cruzada.....	52
Figura 26 Caudales estimados con la interpolación IDW para un periodo de 1976-1990.....	54
Figura 27 Resultados e indicadores de eficiencia del proceso de calibración en GR2M.....	56
Figura 28 Resultados e indicadores de eficiencia del proceso de validación en GR2M.....	57
Figura 29 Resultados e indicadores de eficiencia del modelo validado (1976-1990)	57
Figura 30 Resultados e indicadores de eficiencia del modelo sin calibración	58
Figura 31 Resultados e indicadores de eficiencia del modelo calibrado.....	59
Figura 32 Resultados e indicadores de eficiencia del modelo validado.....	60
Figura 33 Resultados e indicadores de eficiencia del modelo validado (1976-1990)	60
Figura 34 Caudales estimados del río Carneros para el periodo 1972-2024.....	60
Figura 35 Curvas de persistencia de los caudales estimados	61
Figura 36 Medición de la velocidad del flujo.....	63

Introducción

El Perú presenta una gran diversidad hidrológica, pero debido a la geografía su distribución es heterogénea, afectando la disponibilidad de agua. Siendo las cuencas que conforman la vertiente del Pacífico aquellas con menor oferta hídrica y mayor demanda debido a la concentración poblacional, actividades agrícolas, industriales y energéticas. En este contexto, la evaluación y cuantificación de la oferta hídrica en una cuenca es relevante para la gestión integral de los recursos hídricos (SENAMHI, 2019).

Sin embargo, el monitoreo de caudales se ve afectado por la baja densidad de puntos de control hidrométrico que no siempre están disponibles en el lugar de interés, dificultando la determinación de la producción hídrica de la cuenca. Entre las diversas metodologías para estimar caudales en cuencas no aforadas o con registros cortos, se encuentra la regionalización, que consiste en transferir la información hidrológica desde las cuencas aforadas a la cuenca sin medición, de una misma región hidrológica (Franchini y Suppo, 1996).

Por esta razón, la presente tesis se enfoca en estimar los caudales mensuales de la subcuenca Carneros, no aforada, utilizando el método de regionalización de distancia inversa ponderada (IDW), cuyos resultados ayudan en la gestión del recurso hídrico de la subcuenca en estudio. La metodología aplicada se presenta en seis capítulos.

El primer capítulo presenta los conceptos teóricos necesarios que fundamentan la parte práctica de la investigación. En el segundo capítulo se comenta la ubicación, geología, climatología, demografía y la cobertura vegetal que conforman a la subcuenca Carneros. En el tercer capítulo se describe a la subcuenca en estudio según su geomorfología y se presenta el análisis climático conformado por las variables de precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y fracción de la nubosidad. El cuarto capítulo detalla la metodología para la aplicación del método de regionalización IDW.

En el quinto capítulo se describen y comentan los resultados de los modelos GR2M y WEAP. El sexto capítulo presenta una propuesta teórica de un método hidrométrico, que puede ser aplicado en la subcuenca en estudio. Para finalizar, se presentan las conclusiones y recomendaciones que muestran los resultados obtenidos y brindan sugerencias sobre las nuevas áreas que pueden ser consideradas en futuras investigaciones, con el propósito de mejorar la caracterización hidrológica de la subcuenca estudiada.

Capítulo 1

Marco Teórico

En este capítulo se explican los conceptos fundamentales, los métodos hidrológicos empleados y la interpretación de resultados, que constituyen la base conceptual para sustentar el presente estudio.

1.1 Hidrología

La palabra “hidrología” está conformada por dos raíces griegas: *hydor* y *logos*, que significan “estudio del agua” (Real Academia Española, 1887).

Es una ciencia que estudia el agua en la Tierra, su distribución, movimiento y propiedades. Se ocupa de analizar cómo el agua circula a través de la atmósfera, la superficie terrestre y el subsuelo, así como los procesos que influyen en su ciclo (Portillo, 2024).

1.2 Cuenca hidrográfica

1.2.1 Definición

“La cuenca es aquella superficie en la cual el agua precipitada se transfiere a las partes topográficas bajas por medio del sistema de drenaje, concentrándose generalmente en un colector que descarga a otras cuencas aledañas, o finalmente al océano” (Breña y Jacobo, 2006).

La cuenca hidrográfica está conformada por unidades de drenaje de menor superficie, que constituyen a los tributarios de la misma; es decir, una cuenca que sale o que drena a una cuenca más grande (Sing, 1989, como se citó en SENAMHI, 2004).

1.2.2 Características físicas de la cuenca

Los procesos hidrológicos están relacionados directamente con las características de la cuenca, porque ayudan a predecir su comportamiento al relacionar el relieve, la forma y la red hídrica de la cuenca.

- **Superficie de la cuenca (A):** se refiere a la proyección horizontal del área comprendida dentro de la divisoria de aguas. Este parámetro es importante porque se relaciona directamente con el caudal de descarga y define el tamaño de la cuenca.

Es importante mencionar que las cuencas hidrográficas con áreas similares no necesariamente presentan el mismo comportamiento hidrológico. Campos (1992) clasifica las cuencas según su dimensión (km²):

$A < 25$	Microcuenca
$A = 25 - 250$	Pequeña
$A = 250 - 500$	Intermedia – pequeña
$A = 500 - 2500$	Intermedia – grande
$A = 2500 - 5000$	Grande
$A > 5000$	Muy grande

- **Perímetro (P):** es la medida de la línea que limita a la cuenca hidrográfica, su valor se calcula cortando a las curvas de nivel de forma perpendicular en las coordenadas más elevadas que rodean a la red de drenaje.
- **Longitud mayor del río (L):** es la trayectoria del río más largo desde su nacimiento en la cabecera de la cuenca hasta finalizar su recorrido en el punto de desembocadura.
- **Ancho promedio (Ap):** es la relación inversamente proporcional entre la superficie de la cuenca y la longitud del cauce principal.

$$A_p = A / L \quad (1)$$

en donde:

A_p : Ancho promedio, en km

L : Longitud del cauce principal, en km

A : Área de la cuenca, en km^2

- **Pendiente de la cuenca (Sg):** “Este parámetro relativo al relieve, permite conocer el tiempo de concentración del agua en un determinado punto del cauce, da una idea de la velocidad media de la escorrentía, poder de arrastre y erosión sobre la cuenca” (Chávez, 2009).

La clasificación del parámetro se realizó según la propuesta de Ortiz (2004).

Sg = 0 - 3	Plano
Sg = 3 - 7	Suave
Sg = 7 - 12	Mediano
Sg = 12 - 20	Accidentado
Sg = 20 - 35	Fuerte
Sg = 35 - 50	Muy fuerte
Sg = 50 - 75	Escarpado
Sg > 75	Muy escarpado

- **Densidad de drenaje (D_d):** “Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua perennes, intermitentes y efímeros de una cuenca y su propia área” (Horton, 1932).

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (2)$$

en donde:

D_d : Densidad de drenaje, en km/km^2

$\sum L_i$: Longitud total de los cauces, en km

A : Área de la cuenca, en km^2

Este parámetro es relevante porque relaciona el flujo hídrico con las características del suelo. Una cuenca de alta densidad tendrá un menor tiempo de escorrentía, atributos asociados a un terreno poco permeable y con relieve montañoso (fuertes pendientes) que generan una mayor velocidad para evacuar el agua y, por lo tanto, un menor tiempo de concentración.

- **Factor de forma (Ff):** índice de forma adimensional que manifiesta cómo se regula la concentración del escurrimiento superficial. Se expresa como la relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud axial. Además, da una idea del comportamiento de la cuenca en relación con las crecidas (Camino *et al.*, 2018).

$$F_f = A_p/L \quad (3)$$

en donde:

F_f : Factor de forma

A_p : Ancho promedio, en km

L : Longitud del cauce principal, en km

Una cuenca alargada tendrá menor probabilidad de recibir lluvias intensas y simultáneas sobre la totalidad de su superficie; en consecuencia, estará sujeta a crecidas de menor magnitud que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor (Henaó Sarmiento, 1988).

Chávez (2009) presenta una clasificación de las cuencas de acuerdo con la magnitud del factor de forma:

Fr bajo Baja susceptibilidad a las inundaciones

Fr media Susceptibilidad media a las inundaciones.

Fr alta Alta susceptibilidad a las inundaciones.

- **Índice de compacidad o coeficiente de Gravelius (Kc):** es el cociente entre el perímetro de la cuenca y la longitud de la circunferencia de un círculo de área equivalente al de la cuenca. Para calcular este coeficiente adimensional de forma se utiliza la ecuación de Gravelius (1914):

$$K_c = 0.282 P/\sqrt{A} \quad (4)$$

en donde:

K_c : Índice de compacidad

P : Perímetro de la cuenca, en km

A : Área de la cuenca, en km²

Si el coeficiente es igual a la unidad, la cuenca tendrá mayor similitud a una forma redonda; por lo tanto, la cuenca tiene mayor posibilidad de presentar crecidas debido a la rápida concentración del flujo en el cauce principal, influenciado por el bajo tiempo de concentración. Gaspari *et al.* (2012) presentan cuatro rangos que se muestran a continuación:

$K_c = 1$ a 1.25 Casi redonda a oval – redonda

$K_c = 1.25$ a 1.5 Oval redonda a oval – oblonga

$K_c = 1.5$ a 1.75 Oval oblonga a rectangular oblonga

$K_c > 1.75$ Rectangular

1.3 Parámetros meteorológicos

Para comprender la complejidad de la atmósfera es necesario conocer las variables climáticas. Cada variable y la interacción entre estas desempeñan una función que define los patrones climáticos que permiten desarrollar predicciones meteorológicas y modelos hidrológicos más precisos que se ajusten a la realidad.

1.3.1 Precipitación

Se denomina precipitación a toda el agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (lluvia, etc.) como sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Provocadas por un cambio de temperatura o presión, constituyen la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Musy, 2001, como se citó en SENAMHI, 2004).

1.3.2 Temperatura

La temperatura es una variable climática fundamental que influye en los patrones climáticos. “Relacionada con la sensación térmica percibida en un lugar específico del globo terrestre sobre un cuerpo, y que puede ser medida a través de un termómetro, sensores y/o termistores. Se puede expresar en tres escalas: Fahrenheit, Kelvin y Celsius” (Sena *et al.*, 2013, como se citó en Heybert *et al.*, 2017). Los datos de esta investigación se presentan en la escala Celsius.

1.3.3 Evapotranspiración

Proceso mediante el cual el agua pasa de un estado líquido a un estado gaseoso a través de la transferencia de energía calorífica. Es el total de agua convertida en vapor por una cobertura vegetal; incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración de las hojas a través de los estomas (SENAMHI, 2004).

Se utilizó el método de Thornthwaite (1948) para calcular la evapotranspiración a partir de los registros mensuales de temperatura:

$$ET_o = 16 \left(\frac{10T_i}{I} \right)^\alpha \quad (5)$$

en donde:

ET_o : Evapotranspiración potencial, en mm/mes

T_i : Temperatura mensual, en °C

I : Índice de calor anual (ecuación (6))

α : Función compleja del índice de calor (ecuación (7))

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514} \quad (6)$$

$$\alpha = 6.75 \times 10^{-7}I^3 - 7.71 \times 10^{-5}I^2 + 1.7912 \times 10^{-2}I + 0.49239 \quad (7)$$

1.3.4 Humedad relativa

La humedad relativa caracteriza el contenido de humedad en la atmósfera, “definida como la relación de la densidad del vapor de agua en un volumen de aire dividido por la densidad de vapor de agua en condiciones de saturación” (Byers, 1974, como se citó en Breña y Jacobo, 2006).

Generalmente, se expresa en porcentaje y si la atmósfera presenta un alto contenido de humedad, la humedad relativa se aproximará al valor de 100%. Este elemento climatológico también muestra un comportamiento temporal, como la temperatura (Breña y Jacobo, 2006).

1.3.5 Nubosidad

Son producto de la evaporación y la evapotranspiración. Las nubosidades pueden tener dos fuentes de origen: la primera es el resultado de la invasión de masas de aire frías y secas del norte, la cual tiene poca importancia y ninguna relación con las lluvias; la segunda es la que se produce por el fenómeno de las masas de aire caliente y húmedo que provienen de los océanos vecinos, tiene gran importancia y está íntimamente relacionada con las lluvias (Breña y Jacobo, 2006).

1.3.6 Viento

El viento, que es el aire en movimiento, se origina por las diferencias de presión y temperatura y es un factor muy importante en el ciclo hidrológico porque influye en el transporte de calor y humedad, evaporación y evapotranspiración, y en la alimentación de las precipitaciones, etc. Las características fundamentales del viento son: dirección, velocidad o intensidad y perfil de distribución de velocidades (Mejía, s.f.).

1.3.7 Metodología del análisis climático

1.3.7.1 Método de estimación de datos

La continuidad temporal de los registros es importante porque permite identificar patrones estacionales que mejoran la implementación y el análisis de los procesos hidrológicos. A través del proceso de estimación de datos se pueden evitar sesgos y posibles inconsistencias en los datos.

Se utilizó el método de regresión lineal simple propuesto por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2011) para calcular los datos faltantes. Esta técnica “establece una regresión y compensación lineal entre una estación auxiliar y la estación en estudio con carencia de información” (Ayala *et al.*, 2018).

El coeficiente de correlación analiza la intensidad de la relación, tomando valores entre -1 y 1; cuando el valor es cero, indica una correlación nula. En hidrología se prefieren valores cercanos a uno para obtener una buena aproximación en la estimación de datos (Panta, 2022).

1.3.7.2 Determinación de valores medios de la cuenca

La información presentada hasta el momento corresponde a las características climáticas que se han registrado en las estaciones meteorológicas; es decir, valores puntuales. Sin embargo, para poder determinar los valores medios en una región o cuenca, se deben evaluar los datos climáticos de varias estaciones cercanas o que pertenecen a la cuenca (Chávez, 2009).

Los valores medios se determinaron empleando Kriging, un método de inferencia espacial, que posibilita la estimación lineal óptima e insesgada de una variable utilizando la información proporcionada por la muestra; es decir, calcula el promedio ponderado de los valores de las muestras con la mínima varianza posible (Porras, 2017, como se citó en Panta, 2022).

1.4 Regionalización de caudales

Para realizar una gestión de los recursos hídricos es necesario evaluar la oferta hídrica de la región y determinar sus caudales; sin embargo, hay varios casos donde la información hidrológica es insuficiente en calidad y cantidad, debido a la escasez y discontinuidad de datos hidrométricos.

Ante esta situación, se han desarrollado metodologías que permiten entender el comportamiento del recurso hídrico mediante el análisis de las diferentes variables hidrológicas de la región. “La técnica de regionalización es utilizada en hidrología para explorar al máximo la información hidrológica existente y permitir la transferencia de dicha información, de un punto a otro sin información suficiente, dentro de un área con comportamiento hidrológico semejante” (Chávez, 2009).

En la literatura hay varias técnicas de regionalización; una de ellas es la distancia inversa ponderada (IDW), método ampliamente utilizado en hidrología porque permite identificar los valores extremos del evento, no realiza hipótesis estadístico-espaciales y no requiere de datos complejos ni medidas computacionalmente intensivas para ser aplicado. Estas características hacen que el método IDW sea ideal en los escenarios de cuencas no aforadas, donde se disponen de datos limitados.

El método IDW, al ser sencillo, tiene la desventaja de no involucrar las características físicas y morfológicas de la cuenca. Samuel *et al.* (2011) realizan una comparación de algunos métodos de regionalización, donde concluyen que “el enfoque de proximidad espacial IDW muestra mejores rendimientos del modelo que los enfoques de proximidad, enfoques de regresión y similitud física”. También se aclara que “los resultados del análisis sugieren que los atributos de la cuenca son menos importantes que la proximidad espacial entre las cuencas calibradas y no aforadas”.

El IDW se basa en la ley de Tobler (cuyo principio es: “*Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things*”) y utiliza el espacio geográfico para la interpolación. Se ha implementado exitosamente en varios paquetes de software de sistemas de información geográfica (SIG). Su idea general se basa en la suposición

de que el flujo de corriente de un punto desconocido (sitio no aforado) es el promedio ponderado de los valores conocidos (Longley, 2005; Muhammad *et al.*, 2016).

En la ecuación (5) se enuncia la expresión matemática del método IDW, donde $D_{(x,x_k)}$ es la distancia entre la variable hidrológica a calcular $Q_{p(x)}$ y la variable hidrológica de las cuencas donantes vecinas $Q_{p(x_k)}$.

$$Q_{p(x)} = \frac{\sum_{k=1}^m \frac{Q_{p(x_k)}}{D_{(x,x_k)}^c}}{\sum_{k=1}^m \frac{1}{D_{(x-x_k)}^c}} \quad (8)$$

1.5 Análisis clúster

Es un método exploratorio estándar del análisis multivariado que permite reducir una compleja cantidad de información en pequeños grupos o *clusters*, donde los miembros de cada uno de ellos comparten características similares (Lin y Chen, 2006; Tan *et al.*, 2005). Se basa en el principio de maximizar la similitud *intracluster* y minimizar la similitud entre grupos, de manera que los objetos de un *cluster* tengan una gran similitud, pero sean muy diferentes de los objetos de otros *clusters*.

La elección de las estrategias para el tratamiento de datos depende de: “i) las interrelaciones entre las variables; ii) las preferencias del investigador y iii) la aplicación del principio de la parsimonia, donde la simplicidad de la interpretación es un aspecto primario” (Brown, 1998, como se citó en Paris *et al.*, 2015).

En esta investigación, se consideran dos técnicas de agrupamiento basadas en la distancia euclidiana: jerárquico (Ward) y de partición iterativa (K-means), siendo métodos populares en campos como la climatología e hidrología. El proceso inicia con la selección de las variables que representan el fenómeno en estudio y la transformación de datos mediante la estandarización para corregir la posible asimetría (Paris *et al.*, 2015).

1.5.1 Método jerárquico Ward

Los métodos jerárquicos aglomerativos consideran inicialmente cada punto del conjunto de datos como un *cluster* y en cada paso se unen los puntos más cercanos basados en una medida de proximidad (Giraldo *et al.*, 2013), hasta que al final del proceso todos los casos se engloban en un mismo conglomerado.

Ward (1963) propuso medir la pérdida de información que se produce al integrar diferentes individuos en *clusters* a través de la suma total de los cuadrados de las desviaciones entre cada punto y la media del *cluster* al que pertenece, con el objetivo de formar grupos óptimos que al fusionarse minimicen la suma de los cuadrados de las desviaciones (Universidad de Valencia, s.f.).

Los resultados se representan en un dendrograma que ayuda en la interpretación de los resultados y a tener una noción de cuántos grupos pueden formarse (Randriamihamison *et al.*, 2021). Este método ha mostrado en diversas investigaciones su capacidad óptima para clasificar, superando otros tipos de enlace jerárquico (Muhmud *et al.*, 2021; Universidad de Valencia, s.f.).

1.5.2 Método de partición *K-means*

Los métodos particionales dividen un conjunto de datos en “*k*” subconjuntos no superpuestos (Giraldo *et al.*, 2013). Entre los algoritmos principales se encuentra *K-means* (MacQueen, 1967); este algoritmo, sensible a los puntos de datos anómalos y valores atípicos, busca reducir la varianza total de los *clusters* hasta alcanzar un óptimo local.

En esta técnica, cada objeto se asigna a un *cluster* específico de tal manera que el centroide o la media del *cluster* tiene la distancia más baja de ese objeto correspondiente en comparación con los centroides de otros *clusters* y estos centroides representan los *clusters* (Muhmud *et al.*, 2021). Este método requiere conocer a priori el número de *clusters* “*k*” a obtener (Castro *et al.*, 2012), lo que implica que los resultados dependen de dicha asignación, ya que el algoritmo no evalúa todas las posibles distribuciones de las observaciones (Plazas, 2021).

Por ello, para calcular el número óptimo de *clusters* se implementa el método *Elbow*, que agrupa las observaciones de forma que se minimiza la varianza total *intracluster*, en función del número de *clusters*. Este método se basa en la idea de que, a medida que aumenta el número de grupos, la variación dentro de cada grupo disminuye (Amat, 2020; Kumar, 2014). El “codo” se representa gráficamente por el punto de inflexión de la curva, su valor indica el número adecuado de *clusters* que representan bien los datos sin que se produzca un sobreajuste.

1.5.3 Validación *cluster*

1.5.3.1 Coeficiente de correlación cofenética

Es una métrica de validez de la partición propuesta por Sokar y Rohlf (1962), utilizada solo para métodos jerárquicos aglomerativos. Representa una medida de ajuste entre los datos de partida y la estructura del dendrograma.

El coeficiente es la correlación entre los $n(n - 1)/2$ elementos de la parte superior de la matriz de partida y los elementos correspondientes de la matriz cofenética (*C*), cuyos elementos C_{ij} son aquellos que determinan la proximidad entre los elementos *i* y *j* cuando estos pertenecen al mismo *cluster* (Gallardo *et al.*, 1994).

Su valor se encuentra en un rango de [0 – 1]; cuando el coeficiente se aproxima a la unidad, indica que el dendrograma refleja bien las distancias originales, mientras que un valor cercano a cero señala una mala representación jerárquica del dendrograma.

1.5.3.2 Coeficiente de *silhouette*

El coeficiente de silueta (Rousseeuw, 1987) es una métrica que evalúa la calidad del agrupamiento. Su valor, calculado a partir de la distancia euclidiana, es una medida de qué tan

similar es un punto a su propio *cluster* (cohesión) en comparación con otros *clusters* (separación) (Spositto *et al.*, 2024).

El coeficiente de silueta tiene un rango entre $-1 \leq s_{(i)} \leq 1$. Si $s_{(i)}$ es cercano a 1, se puede inferir que la observación está bien emparejada a su propio *cluster*; si el valor es próximo a 0, la observación se encuentra entre dos *clusters* y, si el valor es negativo, la observación ha sido clasificada erróneamente. La calidad de la estructura de *clusters* se evalúa en conjunto a partir del promedio de todos los índices de *silhouette* (Plazas, 2021).

1.6 Modelos hidrológicos

Son herramientas fundamentales en la gestión de los recursos hídricos. Un modelo hidrológico es una representación simplificada del ciclo del agua que utiliza conceptos y aproximaciones de los procesos reales del sistema hidrológico, puede producir estimaciones cuantitativas de los beneficios hídricos de distintos cursos de acción (o inacción) en la infraestructura natural (USAID, 2022).

1.6.1 Modelo GR2M

GR2M fue desarrollado por Mouelhi (2003) y Mouelhi *et al.* (2006), inicialmente usado para modelación hidrológica en cuencas de la vertiente del Pacífico (Lavado, W. como se citó en SENAMHI, 2016). Su proceso involucra dos parámetros en un paso de tiempo mensual, basado en el modelo GR, implementado por CEMAGREF.

El modelo GR2M trabaja con los datos de precipitación (P) y evapotranspiración potencial (E) para generar caudales mensuales en la desembocadura de la cuenca (Q). A continuación, se describe el modelo según Lespinas *et al.* (2014) y SENAMHI (2016). GR2M considera que la cuenca está conformada por dos embalses, un embalse de suelo que controla la función de producción S y tiene una capacidad máxima x_1 (mm) y un embalse de enrutamiento R que controla la función de transferencia con una capacidad de 60 mm.

El primer embalse reproduce los procesos hidrológicos del suelo y sus interfaces, mientras que el segundo representa la transferencia de agua al río, en especial los intercambios hídricos subterráneos. El proceso mensual inicia con la canalización de la precipitación hacia el depósito del suelo por infiltración (Ec. (1) en la Fig. 1) o hacia el depósito de enrutamiento, representando al flujo superficial P_1 (mm) (Ec. (2) en la Fig. 1).

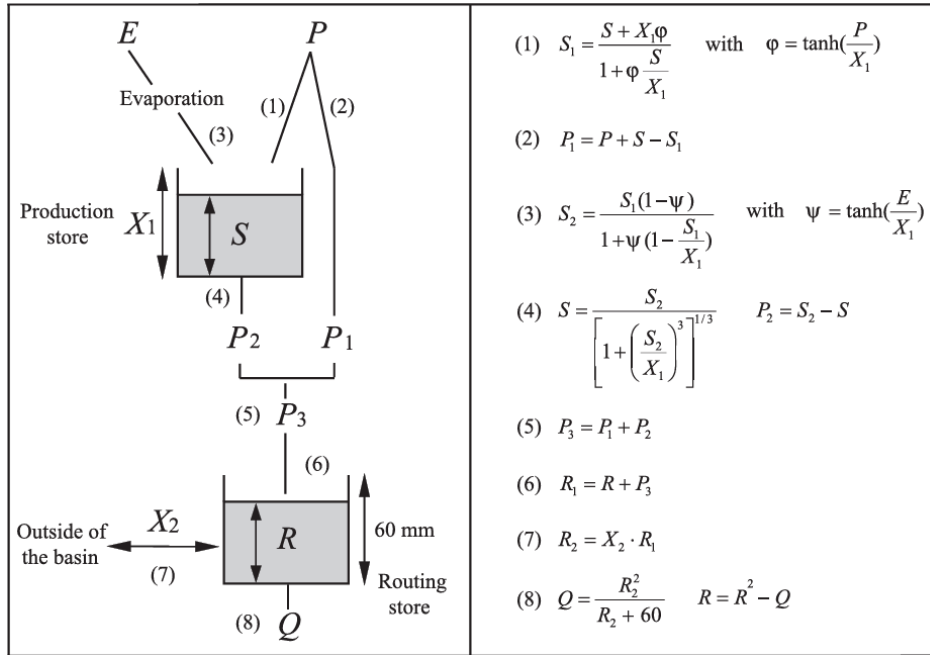
El depósito de suelo alcanza el nivel S_1 (mm) y luego por evapotranspiración pierde parte de su humedad (Ec. (3) en la Fig. 1); por ende, alcanza el nivel S_2 (mm). A través del proceso de percolación (Ec. (4) en la Fig. 1) parte de la humedad del suelo P_2 (mm) se transfiere al depósito de enrutamiento, la precipitación neta P_3 (mm) (Ec. (5) en la Fig. 1) ingresa al depósito de ruta que alcanza el nivel R_1 (Ec. (6) en la Fig. 1). Luego, parte del agua es ganada o perdida por el embalse de ruta como intercambios laterales de agua entre la parte subterránea de la cuenca fluvial y su entorno exterior (Ec. (7) en la Fig. 1).

La cuenca presenta un suministro de agua desde el exterior cuando x_2 es mayor a uno; caso contrario, hay una pérdida. Para terminar, el depósito de enrutamiento proporciona el

caudal de salida Q (mm) (Ec. (8) en la Fig. 1). Cabe mencionar que los únicos parámetros libres del modelo son x_1 y x_2 , esta última variable adimensional ayuda en la corrección de sesgos en los registros climáticos con el propósito de corregir errores en el balance hídrico (Lespinas *et al.*, 2014). Según Mouelhi *et al.* (2006):

El valor de x_2 permite una mejor representación de los intercambios laterales de agua entre la parte subterránea de cualquier cuenca y su entorno externo (a través de capas geológicas permeables). También se descubrió que los mejores rendimientos del modelo se obtienen cuando x_2 actúa a nivel del almacén de enrutamiento.

Figura 1. Estructura del modelo GR2M.



Nota. Tomado de Mouelhi *et al.* (2006)

1.6.2 Water evaluation and planning system (WEAP)

Es un software desarrollado por SEI (*Stockholm Environment Institute*) para la planificación integrada de los recursos hídricos que opera bajo el principio del balance hídrico. El método seleccionado para la estimación de caudales ha sido *Rainfall Runoff* (método de humedad del suelo) porque “proporciona una manera simple pero realista para modelar los procesos hidrológicos con una representación semi-física” (SEI, 2023), que permite la caracterización de los impactos del uso del suelo y de la vegetación en los procesos hidrológicos (Sieber, 2005).

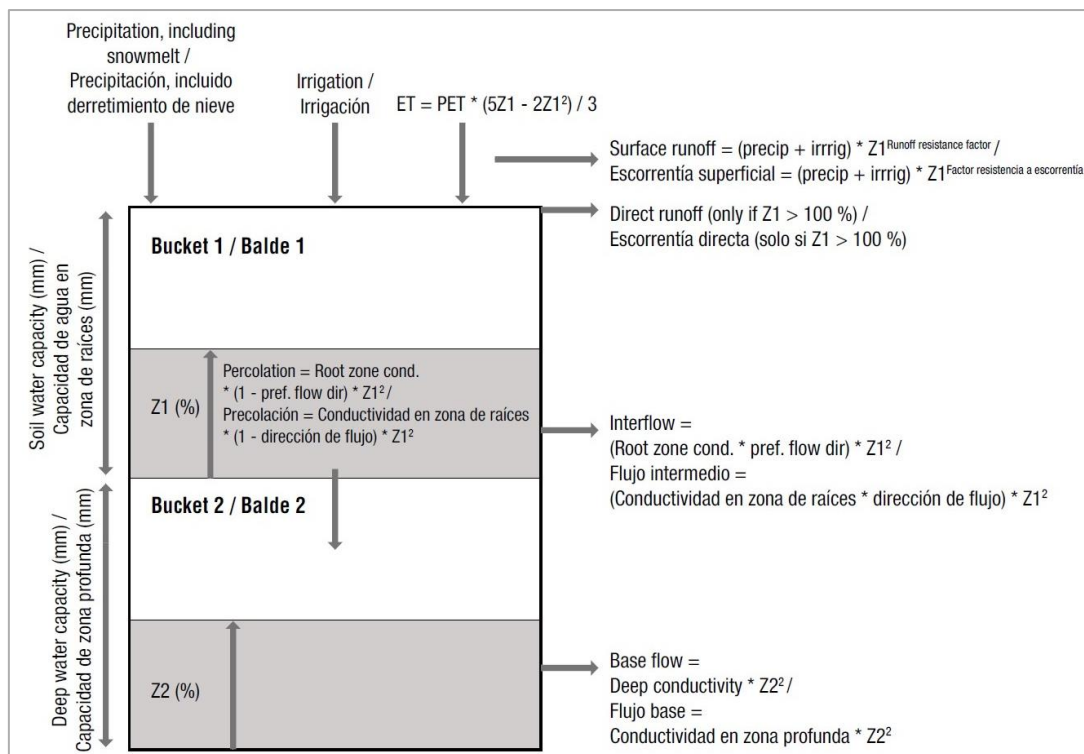
El modelo presenta un algoritmo unidimensional, compuesto por dos reservorios verticales que buscan reproducir los flujos superficiales (zona de raíces) y subterráneos (zona profunda), permitiendo cuantificar el flujo total mediante el análisis del flujo superficial, las pérdidas por evaporación, la infiltración, la percolación y el flujo base (SEI, 2011; MMayA y VRHR, 2016).

En la capa superior del suelo, se calcula la evapotranspiración considerando que simula la lluvia y el riego en tierras agrícolas y no agrícolas, escorrentía superficial y subsuperficial, y los cambios en la humedad del suelo. En la capa profunda se simula el caudal base para el río y los cambios de humedad del suelo (ANA, 2002). En el caso de la percolación profunda, el esquema del modelo lo transmite hacia un cuerpo de agua superficial o hacia el acuífero subterráneo (MMAyA y VRHR, 2016).

La respuesta física del modelo sugiere en una premisa que “los aportes de la precipitación en las subcuencas aguas abajo, en zonas con relieve suave, contribuyen a la recarga de los reservorios aluviales, aprovechables para fines de irrigación y directamente relacionados con el flujo de los ríos principales” (MMAyA y VRHR, 2016).

Para estimar los componentes del balance hidrológico, WEAP requiere información climatológica y la determinación de la cobertura vegetal, incluyendo la medida de la superficie que abarca, para cada cuenca modelada. Los datos climáticos para caracterizar la unidad hidrológica incluyen precipitación, temperatura, humedad relativa, viento y fracción de la nubosidad. Adicionalmente, los datos hidrológicos son necesarios para comparar los resultados del modelo y realizar calibraciones y validaciones (SEI, 2009).

Figura 2. Diagrama conceptual del método de humedad del suelo



Nota. ET: evapotranspiración, PET: evapotranspiración potencial, Z1: nivel de humedad inicial en zona de raíces, Z2: nivel de humedad inicial en zona profunda. Adaptado del Centro de Cambio Global [CCG], (2009).

El esquema conceptual del método de humedad del suelo (Figura 2) ayuda en la interpretación de la ecuación del balance de masa del modelo hidrológico, cuyas expresiones matemáticas se muestran a continuación (SEI, 2009):

Las ecuaciones 9 y 10 representan el balde superior e inferior, respectivamente. Cada término de los polinomios expresa una función, las cuales se describen en orden.

Ecuación del balde superior: cambio en la humedad del suelo, precipitación efectiva (incluye riego y derretimiento de nieve), evapotranspiración, escorrentía superficial, flujo intermedio y percolación.

$$CCA_PC_j \frac{d_{z1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{c,j}(t) \left(\frac{5Z_{1,j} - 2Z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t)Z_{1,j} \frac{FRE_j}{2} - DPF_j CZR Z_{1,j}^2 - (1 - DPF_j)CZR.Z_{1,j}^2 \quad (9)$$

Ecuación del balde inferior: cambio de humedad del balde inferior, flujo base y percolación

$$CCA_SC_j \frac{d_{z2,j}}{dt} = -C_{SC} Z_{1,j}^2 + (1 - DPF_j) CZR Z_{2,j}^2 \quad (10)$$

En ambos baldes se observa que cada término de las ecuaciones respectivas es afectado de forma diferente por los parámetros de uso del suelo, los cuales se mencionan a continuación:

El coeficiente de cultivo (kc) [-]: representa los efectos de la evapotranspiración vegetal y la evapotranspiración del suelo (Amato, 2006), se define según las características propias del cultivo y su variación estacional durante el periodo de crecimiento. En WEAP se asigna un valor de kc según la cobertura vegetal; en el caso de cultivos, se debe tener en cuenta la variabilidad estacional, mientras que la cobertura vegetal nativa puede considerarse invariable en el año (MMAyA y VRHR, 2016).

Capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces (CCA_PC) [mm]: es la capacidad de retener agua efectiva en la capa superior del suelo, se estima considerando la profundidad máxima de la zona de raíces. Dado que se considera el primer balde del método de humedad, los valores dependen de la cobertura vegetal (MMAyA y VRHR, 2016).

Capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda (CCA_SC) [mm]: es la capacidad de retener agua efectiva en el segundo balde del método de humedad del suelo, SEI (2015) comenta que este valor debe ser ignorado cuando el sitio de la demanda recarga el acuífero local. El CCA_SC en el modelo presenta un valor único para toda la cuenca, ya que se asume un único reservorio horizontal subterráneo. Además, este parámetro se infiere por calibración del modelo, debido a que su cálculo con información física es complejo (MMAyA y VRHR, 2016).

Factor de resistencia a la escorrentía (FRE) [-]: también conocido como índice de área foliar, se encarga de controlar la respuesta de la escorrentía superficial y depende del tipo de vegetación. Presenta una relación inversamente proporcional con la escorrentía, con valores en un rango de 0.1 a 10; es un parámetro sensible dentro del modelo WEAP (MMAyA y VRHR, 2016; Rojas, 2018).

Dirección preferencial del flujo (DPF) [-]: se utiliza para dividir el flujo de la zona de raíces entre el flujo subsuperficial y el flujo de aguas subterráneas (zona profunda). La cobertura vegetal influye en la dirección del flujo, variando entre 0 para flujo 100% vertical y

1 para un flujo 100% horizontal. Los valores al inicio de la simulación son estimados y se definen en la calibración (MMAyA y VRHR, 2016; Castro, 2014).

Conductividad en la zona radicular (CZR) [mm/mes]: es la conductividad de agua del suelo en el balde superior a saturación completa, representando el máximo flujo posible en dicha condición (MMAyA y VRHR, 2016). “Esta tasa de conductividad se dividirá según la dirección de flujo preferida entre el flujo superficial y el flujo de la capa inferior del suelo” (Castro, 2014), variando su valor entre diferentes coberturas del suelo.

Conductividad en la zona profunda (C_CS) [mm/mes]: hace referencia al índice de conductividad (longitud/tiempo) del balde inferior considerando una saturación completa, por lo que controla la transmisión del caudal base y en el modelo se aplica un solo valor que representa la cuenca (MMAyA y VRHR, 2016).

Contenido de humedad en la zona de raíces (Z1) y la zona profunda (Z2) [%]: es el almacenamiento relativo expresado como porcentaje del almacenamiento efectivo total de la capacidad de agua en la zona de raíces y en la zona profunda, para Z1 y Z2 respectivamente.

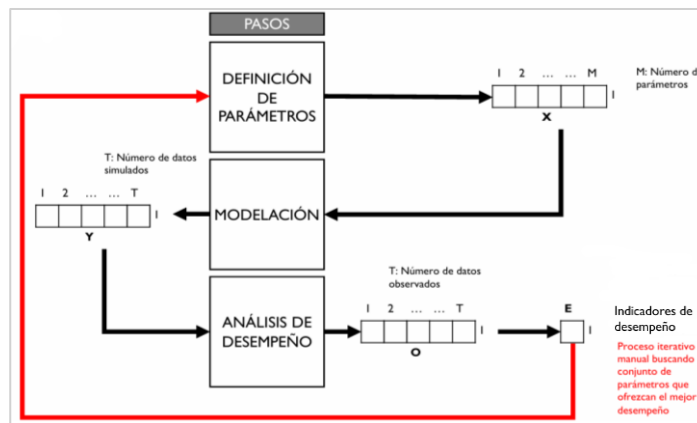
En el caso de la primera capa los valores dependen del uso del suelo, mientras que en la segunda capa es un único valor el que representa a la cuenca. Ambos parámetros son importantes en la calibración por su influencia en las ecuaciones del escurrimiento superficial, interflujo y caudal base (Castro, 2014; SEI, 2009).

1.6.3 Calibración y validación de modelos hidrológicos

Con el propósito de mejorar el desempeño de los modelos hidrológicos frente a los datos observados, los parámetros deben ser ajustados a través de la calibración del modelo. En este proceso se realizan simulaciones que son comparadas con las observaciones, en este caso, caudales. La evaluación del rendimiento de los nuevos datos establecidos en la calibración se denomina validación (Tocachi *et al.*, 2022).

La calibración es un proceso iterativo de ensayo y error donde se prueba una configuración de los parámetros de entrada del modelo y los resultados se contrastan con los datos reales (Figura 3).

Figura 3. Proceso de calibración manual de un modelo de simulación



Nota. Adaptado de Tocachi *et al.* (2020)

Dependiendo del sistema del modelo hidrológico la calibración puede ser de dos formas. En la calibración manual se van probando diferentes valores de los parámetros, según sus rangos, para encontrar el conjunto óptimo, procedimiento que permite identificar los parámetros más susceptibles, cabe mencionar que estos pueden variar dependiendo del modelo y la información analizada. En la calibración automática se muestrean varias combinaciones únicas de parámetros, esta estrategia estadística es eficiente porque concluye el proceso en menor tiempo (Tocachi *et al.*, 2022).

Para terminar, si bien la calibración realizó un ajuste de valores de los parámetros, la validación es una herramienta adicional que consiste en juzgar el desempeño del modelo y verificar la confiabilidad de los resultados; por lo general, estos procesos se desarrollan en diferentes periodos de años (Wagener *et al.*, 2004).

Para determinar si estas etapas tienen la capacidad de reproducir los procesos hidrológicos se utilizan los indicadores de desempeño, que cuantifican la bondad de ajuste de los métodos, permitiendo calificar las simulaciones como buenas, regulares o deficientes. A continuación, se describen las métricas seleccionadas para este estudio:

Coefficiente de eficiencia de Nash - Sutcliffe

Propuesto por Nash y Sutcliffe (1970), es la métrica más utilizada en hidrología para la evaluación de la eficiencia de los modelos simulado y observado cuantificando la variabilidad de las observaciones; es decir, mide cuánto de la variabilidad de las observaciones es explicada por la simulación (SENAMI, 2016), la expresión matemática se presenta en la Ecuación 11.

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{i,sim} - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \right] \quad (11)$$

donde:

$Q_{i,sim}$: caudales simulados, m³/s

Q_i : caudales observados, m³/s

\bar{Q} : caudales medios observados, m³/s

n : numero de datos observados

Este estudio adopta la propuesta de Moldar (2011) que indica el tipo de ajuste según los valores referenciales de la Tabla 1. La escala de este criterio varía entre menos infinito y uno, cuando el NSE es uno implica que el ajuste entre los datos observados y simulados es perfecto, un valor de cero indica que las simulaciones son comparables con el promedio de los datos observados y valores negativos representan un pésimo ajuste. Se considera que valores de NSE ≥ 0.50 señalan un modelo hidrológico satisfactorio (SENAMHI, 2016).

Tabla 1. Rangos de valor para NSE

Rango	Performance
< 0.2	Insuficiente
0.2 - 0.4	Satisfactorio
0.4 - 0.6	Bueno
0.6 - 0.8	Muy bueno
0.8	Excelente

Nota. Tomado de Molnar (2011)

Coefficiente de determinación (R^2)

Es una medida de la precisión general del modelo, calculada como el cuadrado del coeficiente de correlación producto-momento de Pearson (IBM, 2014; Microsoft, 2025). La representación algebraica se muestra en la Ecuación 12 (Gamero *et al.*, 2022) y la expresión matemática del coeficiente de Pearson en la Ecuación 13.

$$R^2 = \frac{Cov(Q_{obs}, Q_{sim})^2}{S_{obs,i} S_{sim,i}} \quad (12)$$

donde:

$Cov(Q_{obs}, Q_{sim})$: covarianza entre los valores observados y simulados

$S_{obs,i}$: desviación típica de los valores observados

$S_{sim,i}$: desviación típica de los valores simulados

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (13)$$

El parámetro R^2 expresa la correlación lineal entre series temporales observadas y simuladas (Rojas, 2018). Los valores de esta predicción estadística tienen una escala entre cero y uno, cuyo performance se muestra en la Tabla 2. Si el valor es la unidad, indica una óptima predicción en el campo destino; es decir, el modelo representa bien la relación entre valores evaluados. Mientras que valores cercanos a cero, señalan que el modelo no tiene valor predictivo (IBM, 2014; Universidad estatal de Carolina del Norte).

Tabla 2. Rangos de valor para R^2

Rango	Performance
< 0.5	Insuficiente
0.5 - 0.75	Aceptable
0.75 - 0.9	Bueno
0.9	Muy bueno

Nota. Tomado de Rojas *et al.* (2018)

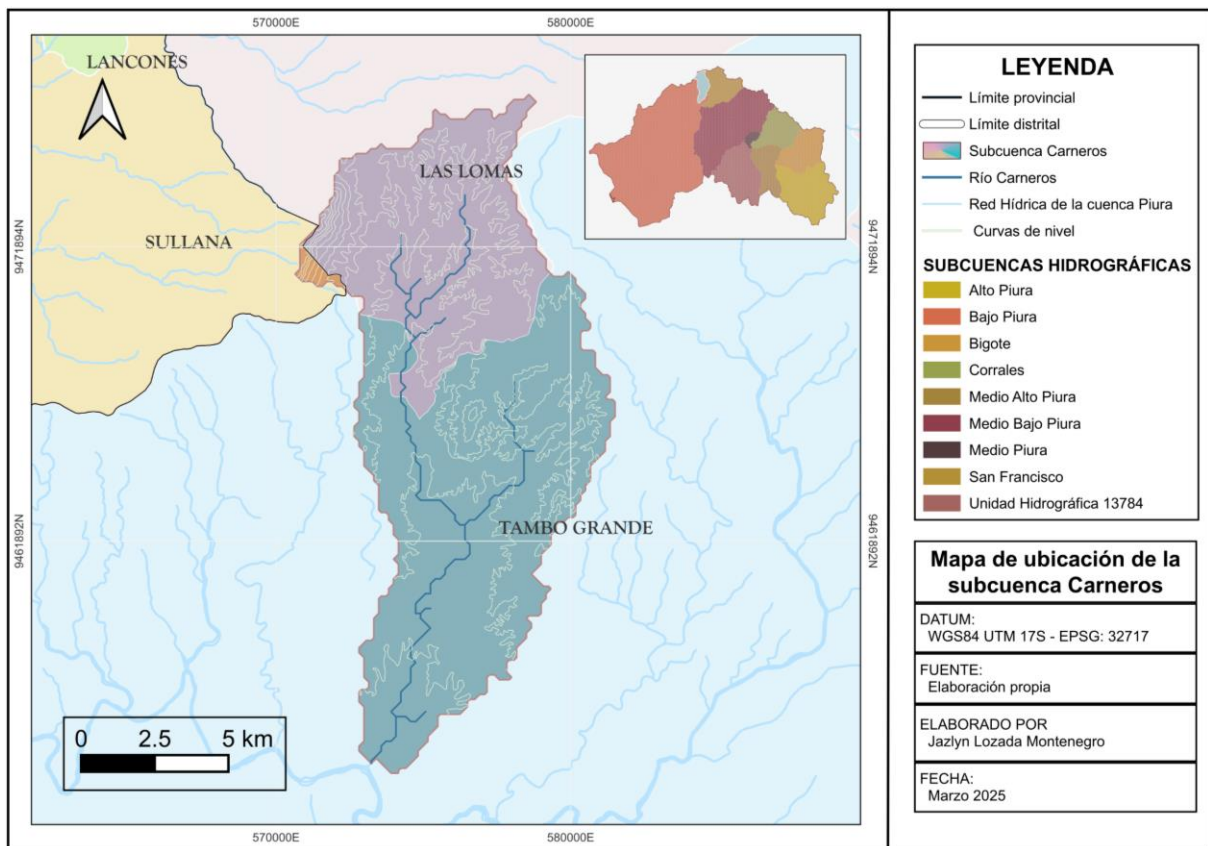
Capítulo 2

Zona de estudio

2.1 Ubicación geográfica

La subcuenca del río Carneros forma parte de la vertiente hidrográfica del Pacífico por ser un aportante en la zona media de la cuenca del río Piura, perteneciendo a la unidad hidrográfica del Bajo Piura. Presenta un área de 135.4 km² y abarca parte de los distritos de Las Lomas, Sullana y Tambogrande que pertenecen al departamento de Piura, al norte del Perú. Geográficamente, está situada entre los paralelos 4°43' y 4°56' de latitud sur, y entre los meridianos 80°15' y 80°21' de longitud oeste. Tiene una altitud que varía desde los 70 msnm al sur y 645 msnm en la parte noreste (Figura 4).

Figura 4. Delimitación de la subcuenca Carneros



Nota. Adaptado de Autoridades Administrativas del Agua (2015), Ministerio del ambiente -MINAM (2015), Instituto nacional de estadística e informática-INEI (2023)

2.2 Características de la zona en estudio

2.2.1 Geología

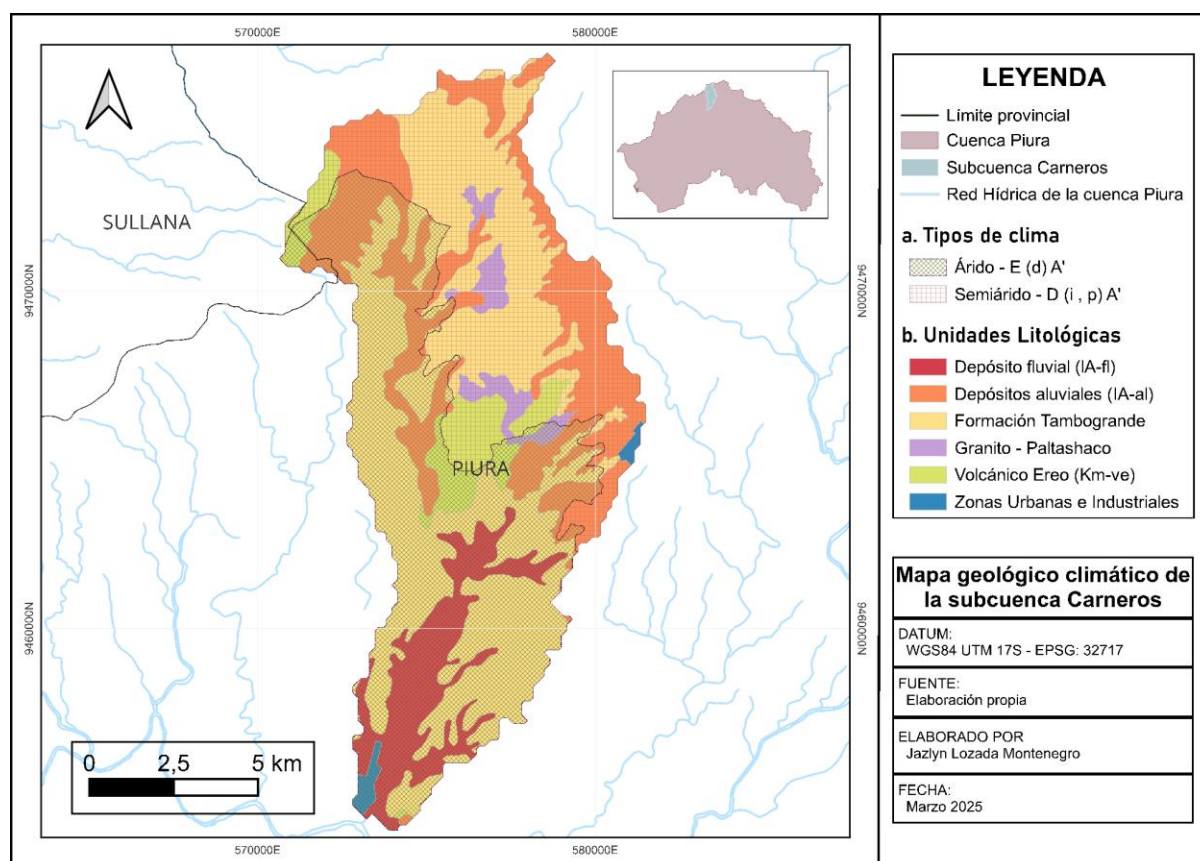
La subcuenca del río Carneros forma parte de la unidad de Estructuras del Frente Andino, que comprende las alturas entre los 200 y 400 msnm. “Presenta una topografía de colina y pequeños promontorios con ladera de pendiente suave a moderada entre 2 a 20%, sobrepasando estos valores en algunos casos. ... los suelos son áridos y están surcados por quebradas de corto recorrido” (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 1994). La subcuenca Carneros está conformada por cinco unidades litológicas (Figura 5), las cuales se describen en la Tabla 3.

Tabla 3. Geología de la subcuenca Carneros

UNIDAD	Sub - unidad	Litológica
Depósitos Cuaternarios	Deposito inconsolidado	Depósitos Aluviales (IA-al): se localizan en los flancos de los cursos fluviales. Presentan conglomerados poco consolidados y una matriz arenosa o limo-arcillosa.
		Depósitos Fluviales (IA-fl): constituidos por conglomerados inconsolidados, arenas sueltas y materiales limo-arcillosos, elementos transportados y depositados en los cauces y márgenes de los cursos de agua, teniendo mayor amplitud en los tramos de valle y llanura.
Volcánicos	Volcánico Ereo (Km-ve)	Presenta una secuencia de rocas volcánicas marinas. Conformada por lavas andesíticas porfíricas, brechas piroclásticas y lavas almohadilladas que se intercalan con tonalidades gris oscuro formando estratos gruesos. En la parte superior, está conformada por derrames basálticos y lavas félsicas riolíticas. Esta unidad está asociada a yacimientos vulcanogénicos de sulfuros masivos polimetálicos y oro de Tambogrande.
Sedimentarios	Areniscas, conglomerado y otros	Están reducidas en las áreas de los acantilados de los tablazos o formando pequeños promontorios redondeados de suaves laderas. En la Formación Tambogrande existen bancos gruesos de areniscas blanco-grisáceas, areniscas tobáceas, lodolitas grises y microconglomerados.
Intrusivos y filonianos	Granito Paltashaco	Adopta el nombre del pueblo de Paltashaco. Es una roca de textura granular porfírica constituida por cuarzo, ortosa, plagioclasas y biotita con epidota.

Nota. Adaptado del Estudio geodinámico de la cuenca del río Piura, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (1994) y de la Memoria descriptiva de Piura, MINAM (2009).

Figura 5. Mapa geológico climático de la subcuenca Carneros



Nota. La imagen muestra dos mapas independientes: a) climático, con dos tipos de climas diferenciados por el tipo de achurado y b) geológico, que muestra las seis unidades presentes. Fuente: Adaptado de MINAM (2009)

2.2.2 Clima

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMI) ha elaborado el “Mapa de clasificación climática del Perú” basado en el método de Thorntwaite, que considera los parámetros de precipitación efectiva, eficiencia de temperatura y humedad atmosférica para su elaboración. De acuerdo con este mapa, la subcuenca Carneros presenta un clima cálido, que tiene dos zonas climáticas marcadas (Figura 5), cuyas características se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Tipos de clima en la subcuenca Carneros

Tipos de climas cálido	Árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del años	Semiárido con invierno y primavera secos
Símbolo	E (d) A'	D (i, p) A'
Altitud	Por debajo de los 900 m.s.n.m	Por debajo de los 300 m.s.n.m
T máx	15°C a 33°C	31°C a 33°C
T mín	13°C a 23°C	19°C a 21°C
Precipitación efectiva	árido	semiárido
Eficiencia térmica	cálido	cálido
Concentración de humedad	diferencia según la estación	otoño y primavera seco

Nota. Adaptado del Mapa climático del Perú, SENAMI (2021).

La subcuenca Carneros tiene un clima típico de la costa norte peruana, influenciado por la topografía, la corriente de Humboldt, los vientos Alisos y los fenómenos climáticos.

Según la clasificación de Rojas & Ibañez (2003), la precipitación varía según la franja altitudinal y las lluvias son irregulares por estar fuertemente relacionadas con los fenómenos intensos El Niño. En el caso de la subcuenca Carneros, el periodo de lluvias comprende los meses de enero a abril.

El clima para el periodo de 1972 - 2023 presenta una precipitación promedio multianual acumulada de aproximadamente 480 mm. La mayor parte del año se registran temperaturas altas, alcanzando valores de temperatura máxima entre 29 °C y 37 °C y la temperatura mínima oscila entre 11 °C y 23 °C. Esta información ha sido obtenida en el presente estudio y se describe en el Capítulo .

2.2.3 Enfoque demográfico y socioeconómico

La subcuenca del río Carneros pertenece al departamento de Piura. El 99.25% de su área abarca la provincia de Piura y el 0.75% se encuentra en la provincia y distrito de Sullana. Su distribución territorial se observa en la Tabla 5.

Esta subcuenca ocupa aproximadamente 1 km² del centro poblado rural Canal Mocho Las Mercedes, en el distrito de Sullana. La mayor superficie de la subcuenca Carneros se encuentra en Tambogrande, distrito constituido por nueve caseríos, de los cuales cuatro forman parte de la subcuenca en estudio: Pedregal, San Martín, Cruceta y Curvan.

El distrito de Las Lomas no cuenta con un mapa político, por lo que se estima un aproximado de 16 centros poblados que pertenecen a la subcuenca en estudio, teniendo en cuenta el mapa vial elaborado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017).

Tabla 5. Distribución territorial de la subcuenca Carneros

Provincia	Distrito	Área (km ²)	Área (%)
Sullana	Sullana	1.020	0.75
Piura	Las Lomas	48.915	36.12
Piura	Tambogrande	85.485	63.13
Subcuenca Carneros		135.419	100

Nota. Elaborado a partir del mapa distrital de INEI (2023)

Los distritos de Las Lomas y Tambogrande presentan un nivel de desarrollo bajo, de acuerdo con los índices de desarrollo humano (IDH) expuestos en la Tabla 6. Estos índices, calculados por el Instituto Peruano de Economía (IPE), consideran tres dimensiones: la esperanza de vida al nacer, el logro educativo y el ingreso familiar per cápita.

En 2022, más del 78% de los hogares que pertenecen a los distritos de Sullana, Las Lomas y Tambogrande se encontraban en condiciones de pobreza y pobreza extrema, según la clasificación del Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social (MIDIS).

Tabla 6. Información socioeconómica

Distrito	Densidad poblacional (hab /km ²)	Índice de desarrollo humano IDH (2019)	Valores normalizados				Hogares con clasificación socioeconómica			
			Población (18 años) con Educ. secundaria	Logro educativo	Esperanza de vida al nacer	Ingreso familiar per cápita	N° Total	No pobre (%)	Pobre (%)	Pobre extremo (%)
Sullana	319.7	0.57	0.71	0.61	0.92	0.32	501260	18.69	44.60	36.71
Las Lomas	48.3	0.45	0.47	0.37	0.90	0.27	10065	13.01	42.34	44.65
Tambogrande	71.8	0.46	0.51	0.37	0.93	0.28	28912	21.74	36.98	41.28

Nota. Datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017), el Instituto Peruano de Economía - IPE (2019) y InfoMIDIS (2022).

La Población Económicamente Activa (PEA) se dedica principalmente a las actividades de agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. Según el Gobierno Regional de Piura (2015), en el centro poblado de Canal Mocho Las Mercedes estas actividades representan el 93.06% de la PEA y la Municipalidad Distrital de Tambogrande informa que la agricultura aporta el 82% de la PEA y la agroindustria exportadora el 18% de la PEA.

En Las Lomas los principales cultivos son el arroz, el maíz amarillo duro y la yuca. Mientras que en Tambogrande y Sullana se destacan los frutales de mango, limón, maracuyá y el palto (con menor producción en Tambogrande) (Municipalidad Provincial de Piura, 2021; CODISEC Tambogrande, 2023; BCR, 2008).

En el sector ambiental, según el Ministerio del Ambiente (2015), la probabilidad de inundaciones se encuentra en un rango de bajo a alto para la mayor parte de la subcuenca Carneros, a excepción de la zona ubicada en el distrito de Sullana, que no es susceptible a inundaciones. En el Anexo A, se adjunta el mapa de peligro por inundación en la provincia de Piura.

La Municipalidad de Tambogrande (2018) informa que los caseríos de Pedregal, San Martín, Cruceta y Curvan tienen similares factores de contaminación, como: la carencia de relleno sanitario, la explotación minera artesanal, la práctica de minería informal, la contaminación de las quebradas con material industrial en el centro poblado Santa Rosa, la contaminación de las aguas del canal de riego para consumo humano, la contaminación urbana y la deforestación indiscriminada de árboles para carbón.

El plan de desarrollo municipal de los distritos y caseríos mencionados comenta sobre el escaso acceso a los servicios básicos de agua potable, drenaje doméstico, pluvial y alcantarillado; estas carencias incrementan la posibilidad de transmisión de enfermedades. En el sector salud, estos distritos son considerados una zona endémica afectada por epidemias de zika, dengue y chikungunya. Además, se registran brechas en los recursos humanos de los centros de atención médica.

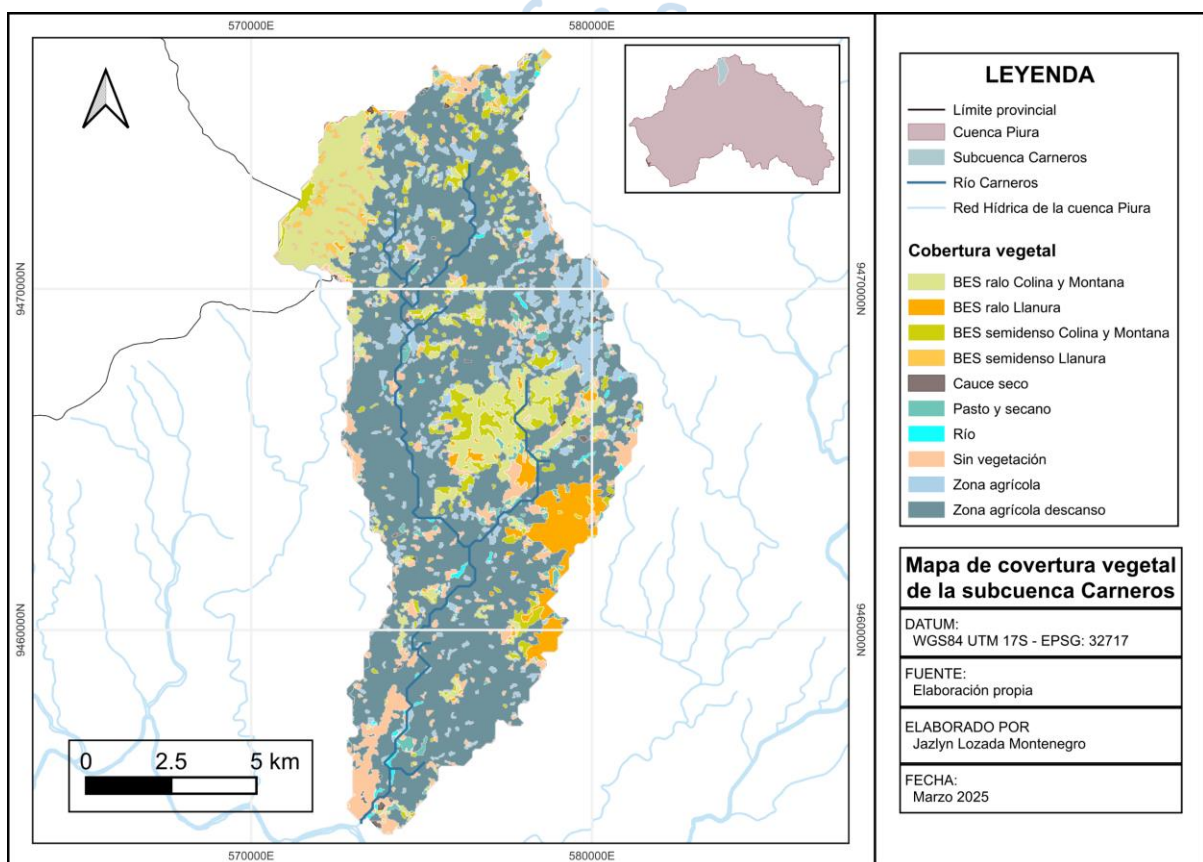
En el sector educación, el distrito de Sullana tiene la mayor población de 18 años con educación secundaria, en comparación con los otros dos distritos que presentan un logro educativo deficiente de 0.37. Según informes de la Municipalidad de Tambogrande, las instituciones de educación inicial y superior son escasas y la mayor parte de la población analfabeta son hombres (52%).

2.3 Cobertura vegetal

La cobertura vegetal brinda información general de las características biofísicas de la flora y vegetación existentes en los diversos ecosistemas. “La clasificación de la cobertura vegetal consiste en hacer una jerarquización de las unidades de cobertura vegetal, las cuales son definidas y clasificadas en base a criterios geográficos, fisonómicos, condiciones de humedad y florísticos” (Ministerio del Ambiente del Perú, 2015).

La clasificación de la cobertura vegetal para la subcuenca Carneros presenta diez variaciones (Figura 6). Esta información ha sido obtenida del proyecto PROAGA II (2021), en el cual “se realizó un análisis y clasificación de la cobertura vegetal para la cuenca del río Piura” (Panta, 2022).

Figura 6. Cobertura vegetal de la subcuenca Carneros



Nota. Adaptado de PROAGUA II (2021).

A continuación, se describen las coberturas de la subcuenca Carneros según la Guía de evaluación del estado de ecosistemas de bosque seco (2019), la Guía metodológica para la implementación, el manejo y el aprovechamiento de sistemas agroforestales (2006), el libro de Aportes para un manejo sostenible del ecosistema tropical seco de Piura (2015) y las Definiciones conceptuales de los ecosistemas del Perú (2018).

El bosque seco es un ecosistema con lluvias intempestivas e irregulares, las especies que lo conforman están adaptadas a condiciones áridas durante los periodos sin precipitaciones.

El escurrimiento superficial producido en los meses de lluvia regenera la vegetación del terreno.

Los bosques se clasifican según su densidad, considerando la cantidad de árboles por hectárea. La subcuenca Carneros presenta dos tipos:

- Bosque ralo: tiene una densidad mayor a 25 y menor a 70 árboles por hectárea.
- Bosque semidenso: tiene una densidad entre 70 y 150 árboles por hectárea.

“El bosque es ralo debido a la severa extracción forestal y sobrepastoreo, el cual no se ha recuperado, encontrándose en proceso de degradación” (Ministerio del Ambiente, 2018).

La subcuenca Carneros está conformada por bosques estacionalmente secos (BES), presentando dos tipos de ecosistemas:

Bosque estacionalmente seco de llanura: ecosistema subárido caducifolio, homogéneo y extenso, presente en la costa, está dominado por pocas especies de árboles espaciados de algarrobo, faique y sapote. El bosque tiene una fisonomía de 5 a 8 metros de altura con arbustos y herbazales efímeros. Se localiza desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 500 msnm y presenta una marcada estacionalidad (en periodos de 3 a 8 años) influenciada por el fenómeno de El Niño.

Bosque estacionalmente seco de colina y montaña: ecosistema costero de clima árido/semiárido. Su precipitación es estacional y escasa, con alta variación interanual. La fisonomía corresponde con árboles de altura de dosel o cúpula de árboles de hasta 8 a 12 metros, con sotobosque de herbazal efímero, arbustos y cactáceas, predominando las caducifolias.

Las colinas pueden tener una altura relativa máxima de entre 30 y 180 metros y pendientes entre 15 y 80 %, mientras que el terreno montañoso está caracterizado por cerros de más de 300 metros de altura relativa y pendientes pronunciadas (superiores al 50 %), donde destaca la cordillera de los Amotapes. Se ubica en las laderas de las vertientes occidentales de los Andes, entre 400 y 2 000 msnm.

Cauce seco: se producen por la desconexión de las aguas subterráneas y de las redes hídricas cercanas. En algunos casos, pueden llegar a transportar agua cuando hay fuertes lluvias esporádicas que generan una crecida.

Pasto y secano: los pastos están compuestos por especies de gramíneas nativas y/o cultivadas. La cantidad de pasto depende del agua del suelo, esta característica varía según la intensidad de la precipitación. Los diferentes tipos de pastos cultivados se utilizan para el pastoreo de ganado.

Los suelos de secano se abastecen solo de agua de lluvia, sin emplear sistemas de riego. El cultivo de secano es apto en suelos vertisoles de origen volcánico; estos suelos son fértiles, ya que están compuestos por arcillas de textura fina con niveles elevados de materia orgánica.

Río: “Sistemas de agua con movimiento constante unidireccional sobre la superficie terrestre. Se reabastecen de agua con la precipitación y los escurrimientos superficiales, los mantos freáticos y el deshielo de altas montañas” (Biodiversidad Mexicana, 2022).

Sin vegetación: áreas con pérdida de cubierta vegetal. En zonas urbanas, periurbanas y rurales, estas áreas son el resultado de construcciones, como: viviendas, escuelas, centros deportivos y de salud.

Zona agrícola: es un espacio agrario que se encuentra cultivado o es apto para ser cultivado. Se desarrollan cultivos perennes; es decir, presentan un ciclo agrícola mayor a dos años. El área es influenciada por los cambios climáticos y las condiciones hídricas.

Zona agrícola de descanso: resultado de una técnica de agricultura que mantiene el suelo sin trabajo agrícola con el fin de recuperar su fertilidad y en algunos casos se aprovecha nuevamente para cultivar. Durante el tiempo que dura el barbecho se produce una sucesión natural de especies; es decir, la flora desarrolla un ciclo de vida.



Capítulo 3

Análisis geomorfológico y climático de la subcuenca Carneros

3.1 Características geomorfológicas de la subcuenca Carneros

El análisis geomorfológico permite identificar las características físicas de la subcuenca que influyen en el comportamiento hidrológico. En la Tabla 7 se han determinado los parámetros geomorfológicos de la subcuenca Carneros, los cuales se mencionan en el Marco Teórico y han sido calculados con el apoyo de herramientas del software QGIS.

Tabla 7. *Parámetros geomorfológicos de la subcuenca Carneros*

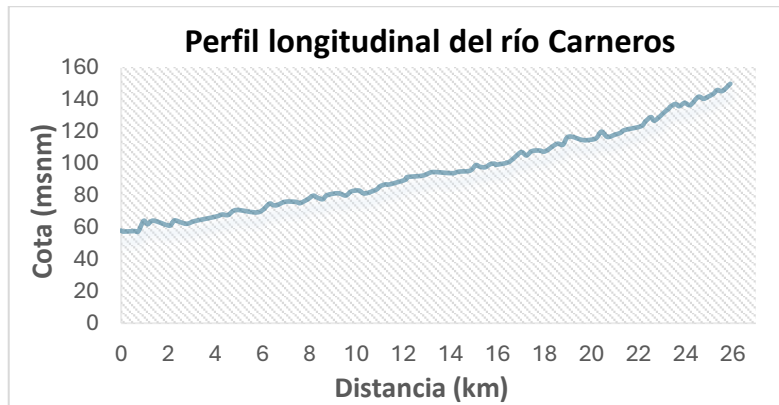
Parámetros	Unidad	Simbolo	Subcuenca Carneros
Área	km ²	A	135.42
Perímetro	km	P	68.23
Longitud mayor del río	km	Lm	25.88
Longitud total de drenaje	km	∑L	39.64
Ancho promedio	km	Ap	5.23
Densidad de drenaje	km/km ²	Dd	0.29
Índice de compacidad	-	Kc	1.65
Factor de forma	-	Ff	0.20
Pendiente media del cauce principal			
Método de un solo tramo	%	Sc	0.004
Pendiente de la cuenca	%	Sg	0.082
Hmáx - Hmín	m	-	575
Elevación media de la cuenca	m	E	151.66

La subcuenca Carneros tiene una superficie aproximada de 135 km² que la clasifica como pequeña. La forma de una cuenca ayuda a determinar su comportamiento hidrológico (ANA, s.f.). Los parámetros de forma, como el índice de compacidad y el factor de forma, describen a la subcuenca en estudio como oval oblonga a rectangular oblonga y estrecha, respectivamente. Por ende, la subcuenca es poco susceptible a inundaciones debido a la baja tendencia a concentrar el escurrimiento.

La topografía influye en la respuesta hidrológica de las cuencas. Para la subcuenca del río Carneros, el desnivel de 575 m sugiere pocos pisos altitudinales. Según el valor obtenido para la pendiente de la subcuenca (0.082%), el tipo de relieve que se presenta es “plano”. Cuando las pendientes son menos pronunciadas, la velocidad del flujo es menor, el tiempo de concentración aumenta y el riesgo de erosión disminuye.

En la Figura 7 se puede observar que las diferencias altimétricas no son abruptas a lo largo del río Carneros. El flujo del agua en el cauce comienza en el distrito de Las Lomas (aguas arriba) a los 150 msnm y termina en el caserío de Pedregal en el distrito de Tambogrande (aguas abajo) a los 58 msnm, hasta desembocar en la cuenca del río Piura.

“La densidad de drenajes es otra propiedad importante que controla la eficiencia del drenaje” (Jones, 1997). El valor obtenido fue de 0.29, lo que sugiere una superficie pobremente drenada y de respuesta hidrológica relativamente lenta; es decir, las precipitaciones no influyen de forma inmediata en la descarga de los ríos.

Figura 7. Perfil longitudinal del cauce del río Carneros

3.2 Análisis climático de la subcuenca Carneros

Para este análisis se requiere la información de los parámetros climáticos, como: precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y fracción de nubosidad. Se realizó una recopilación de información climática mensual que proviene de las estaciones meteorológicas administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrológica del Perú (SENAMHI) y del Proyecto de predicción de los recursos energéticos mundiales (POWER).

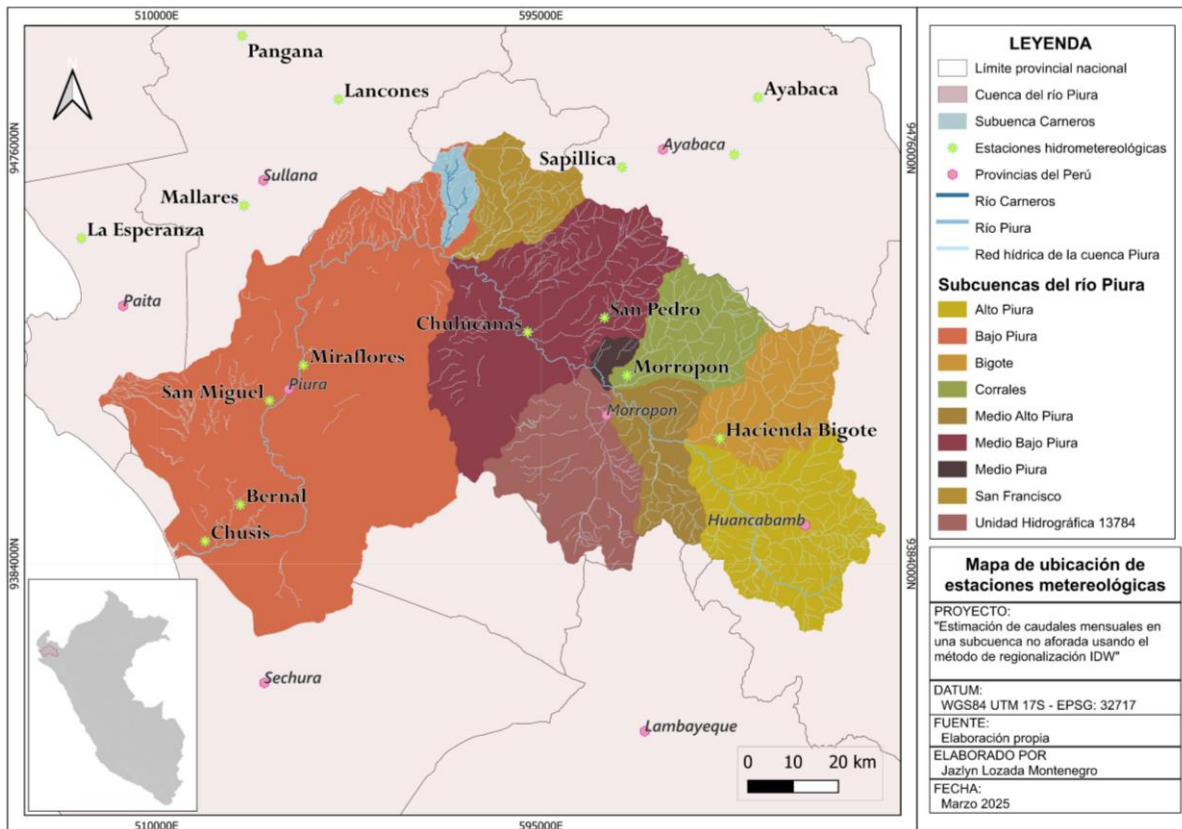
Se consideró de preferencia utilizar las estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca Carneros, localizando al menos 15 estaciones entre convencionales y automáticas, que se encuentran dentro de las cuencas Chira y Piura. El periodo de tiempo y el número de estaciones analizadas varían según el parámetro climático, ya que algunas estaciones solo son pluviométricas y en todas las estaciones los registros históricos tienen lagunas de datos.

Los valores medios de los parámetros hidrológicos y meteorológicos que representan a la subcuenca Carneros han sido estimados con ayuda del software Hydraces. Previo a este paso, se realizó la estimación de datos faltantes para cada estación meteorológica. En la Tabla 8 se mencionan las estaciones seleccionadas y en la Figura 8 se observa su ubicación.

Tabla 8. Estaciones meteorológicas consideradas para la subcuenca Carneros

Nº	Código	Estaciones Meteorológicas	Ubicación (provincia)	Latitud (S)	Longitud (W)	Altitud (m.s.n.m)	Distancia a la subcuenca Carneros
1	472FD6CE	Lancones	Sullana	4°38'	80°32'	136	33
2	104079	Mallares	Sullana	4°51'	80°44'	44	46.9
3	105100	Miraflores	Piura	5°10'	80°36'	34	51
4	472F6540	Chulucanas	Morropon	5°6'	80°10'	89	34.9
5	472FF022	Sapillica	Ayabaca	4°46'	79°58'	1451	37.2
6	472606FA	Ayabaca	Ayabaca	4°38'	79°42'	2648	70
7	104059	Sausal de Culucan	Ayabaca	4°45'	79°45'	997	62.2
8	47E08444	San pedro	Morropon	5°4'	80°0'	240	43.1
9	472F7636	Morropon	Morropon	5°11'	79°58'	128	55.5
10	472F95C4	Hacienda Bigote	Morropon	5°19'	79°47'	198	80
11	104014	Pangana	Sullana	4°30'	80°44'	360	58.6
12	104090	La Esperanza	Paita	4°55'	81°3'	7	83.4
13	105063	San Miguel	Piura	5°14'	80°41'	24	62
14	105012	Bernal	Sechura	5°27'	80°44'	11	84
15	105105	Chusis	Sechura	5°31'	80°48'	8	95.2

Figura 8. Ubicación de estaciones meteorológicas



Nota. Adaptado de MINAM (2015)

Las variables principales son la precipitación y la temperatura, debido a su influencia directa en el ciclo hidrológico, en comparación con las otras variables que tienen un efecto menos directo en el balance hídrico de una cuenca.

En el análisis climático, se debe considerar la ubicación y la cantidad de las estaciones meteorológicas que se utilizan, ya que influyen en la precisión y representatividad espacial de los datos. También se debe tener en cuenta un periodo de información representativo que permita desarrollar modelos hidrológicos confiables e identificar las tendencias reales de las variables.

Por ello, en el caso de la precipitación y temperatura, se recopiló información para un periodo aproximado de 51 años (01/1972 – 07/2024). Cabe recalcar que los datos recolectados y analizados en la presente investigación comprenden desde 2016 hasta julio de 2024.

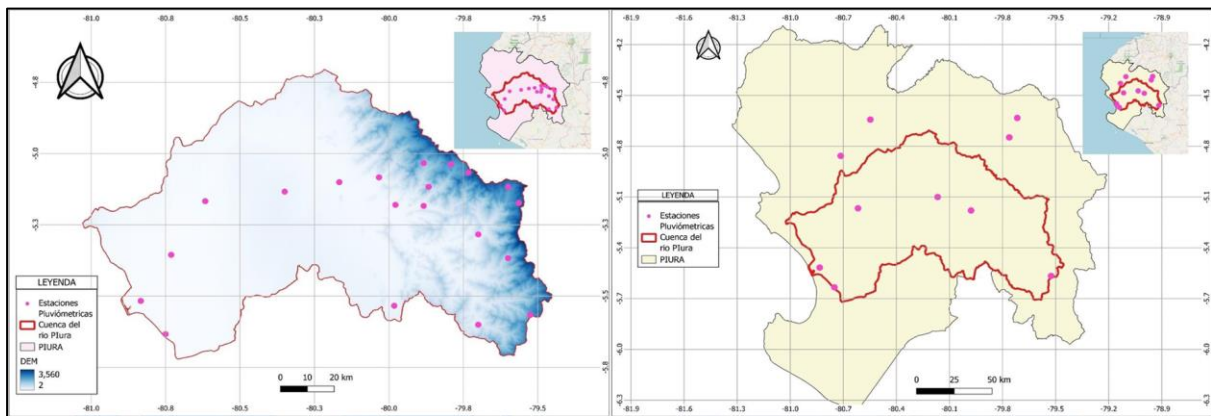
La información del periodo comprendido entre 1972 al 2015 se obtuvo a partir de la tesis titulada: "Variaciones en las regiones hidrológicamente homogéneas por cambio climático en la cuenca del río Piura mediante análisis clúster". En la cual, Bravo (2024) obtiene datos de veinte estaciones pluviométricas pertenecientes a la cuenca del río Piura. La información de estas estaciones se muestra en la Tabla 9 y su ubicación se presenta en la Figura 9.

Tabla 9. Información de las estaciones meteorológicas que pertenecen a la cuenca Piura

ID	Estación	Elevación (msnm)	Longitud	Latitud	Precipitación	Temperatura
1	Altamiza	2600	-79.73	-5.06	1973-1991	-
2	Avabaca	2700	-79.72	-4.63	-	1963-2020
3	Barrios	310	-79.7	-5.28	1974-1991	-
4	Bernal	30	-80.75	-5.63	1972-1993	2005-2014
5	Canchaque	1200	-79.6	-5.36	1972-1993	-
6	Chalaco	2276	-79.79	-5.04	1972-1993	-
7	Chignia	360	-79.7	-5.6	1973-1991	-
8	Chulucanas	87	-80.17	-5.1	1972-1989	1972-1990
9	Chusis	14	-80.83	-5.51	1972-1989	1964-2021
10	Corral del medio	193	-79.88	-5.18	1986-1992	-
11	Huarmaca	2178	-79.52	-5.566	1972-1992	1973-2022
12	Lancones	150	-80.55	-4.64	-	2003-2022
13	Mallares	47	-80.71	-4.86	-	1971-2019
14	Miraflores	30	-80.62	-5.17	1972-1992	1971-2019
15	Montenegro	27	-80.73	-5.35	1972-1990	-
16	Morropón	150	-79.98	-5.18	1972-1992	1964-2020
17	Palo Blanco	2800	-79.56	-5.17	1972-1989	-
18	Paltashaco	900	79.87	-5.12	1972-1990	-
19	Pasapampa	2410	-79.6	-5.12	1972-1991	-
20	San Joaquin	100	-80.35	-5.13	1973-1987	-
21	San Pedro	254	-80.03	-5.08	1975-1992	-
22	Santo Domingo	1607	-79.88	-5.03	1972-1993	-
23	Sausal de	980	-79.76	-4.75	-	1963-2013
24	El Virrey	211	-79.98	-5.53	1972-1989	-

Nota. Tomado de Variaciones en las regiones hidrológicamente homogéneas por cambio climático en la cuenca del río Piura mediante análisis clúster (pp. 45 y 48), por Bravo, 2024.

Figura 9. La imagen derecha muestra las estaciones del estudio de precipitación y la imagen izquierda del estudio de temperatura



Nota. Tomado de Variaciones en las regiones hidrológicamente homogéneas por cambio climático en la cuenca del río Piura mediante análisis clúster (pp. 46 y 49), por Bravo, 2024.

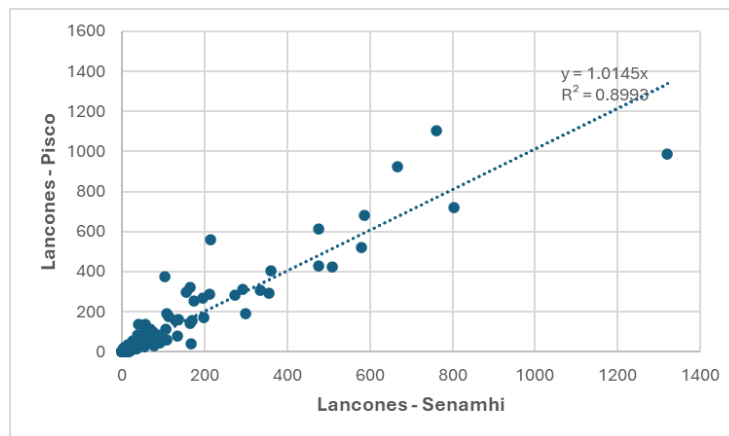
3.2.1 Estimación de datos faltantes

Este procedimiento se realiza para completar las lagunas de datos faltantes en el periodo obtenido de las variables de humedad relativa, velocidad del viento y, en el caso de la temperatura y precipitación, se trabaja para el periodo comprendido entre 01/2016 – 07/2024.

Es frecuente la falta de datos en los registros hidrológicos y meteorológicos, ocasionada por fallas instrumentales o la ausencia del operador en las estaciones meteorológicas convencionales. Hay varios métodos para calcular los datos faltantes; en este estudio se utiliza el método de la recta de regresión. Asimismo, se tuvo como herramienta auxiliar la base de datos PISCO.

Para aplicar el método de regresión, se necesita identificar la estación índice (registro completo) que tiene mejor correlación con la estación incompleta. A continuación, se realiza el relleno de datos de la estación Lancones para la variable de precipitación. El análisis detallado se encuentra en el Apéndice A.

Figura 10. Regresión lineal para la estación Lancones



Como se observa en el diagrama de dispersión (Figura 10), los datos muestran una alta correlación; por lo tanto, son compatibles para aplicar el método utilizando la ecuación de la recta de regresión. Habiendo registrado la herramienta Pisco un valor de 15.66 mm para el mes de enero de 2016 en la estación Lancones, se obtiene una precipitación de 15.9 mm para ese mes en la estación Lancones – Senamhi.

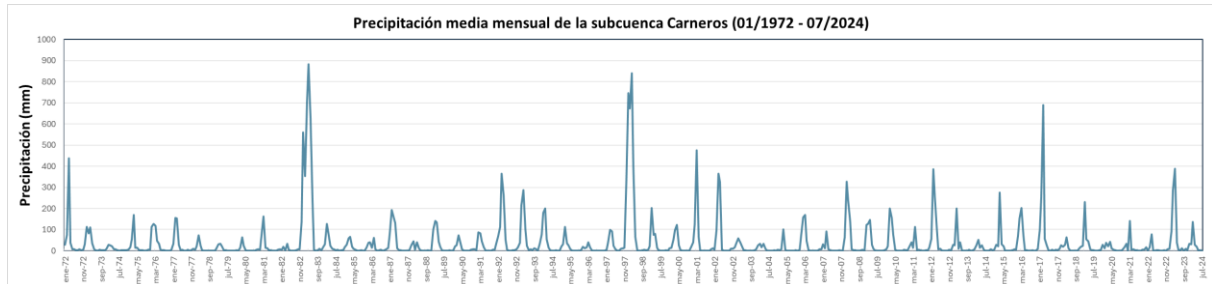
3.2.2 Determinación de los valores medios

Para obtener los valores medios de cada parámetro climático, se utilizó el método de Kriging, que está implementado en el software Hydraccess. “Este método es el mejor estimador lineal no sesgado con una varianza mínima” (Porrás, 2017). A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada parámetro climático para la subcuenca Carneros. Los detalles de la información están disponibles en el Apéndice B.

a) Precipitación media

La precipitación media mensual de la subcuenca Carneros se determinó utilizando trece estaciones meteorológicas en el periodo de enero de 1972 a julio de 2024.

Figura 11. *Precipitación media mensual de la subcuenca Carneros (01/1972 - 07/2024)*

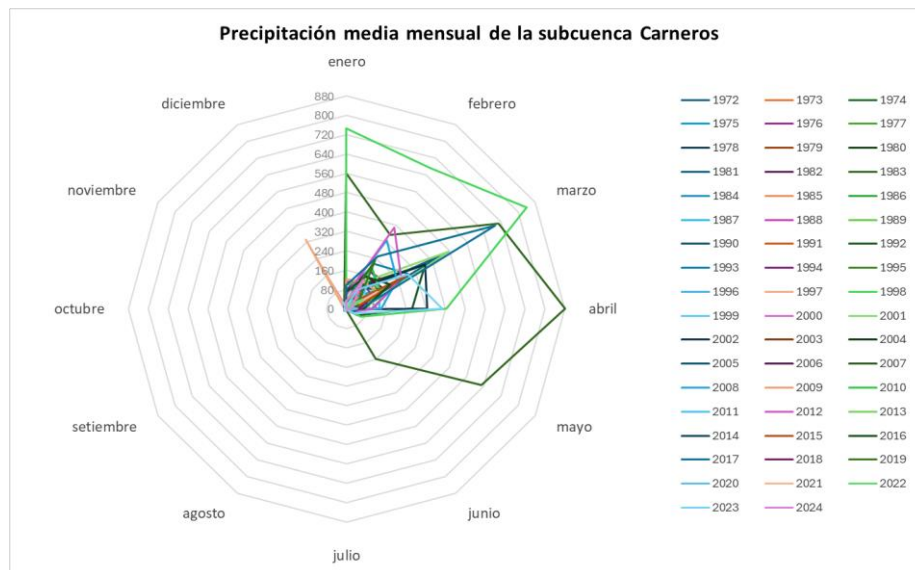


Como se observa en la Figura 11 y Figura 12, la mayor precipitación se presenta en los meses de enero - abril, aunque en los años con influencia de fenómenos climáticos se incluyen los meses de mayo y diciembre (solo para eventos intensos).

“Las lluvias de enero a marzo representan alrededor del 70% al 80% del acumulado anual” (Ministerio del Ambiente, 2023). Para la subcuenca Carneros, los meses más lluviosos son febrero y marzo. Los meses de invierno de junio a agosto son más secos, siendo de 0.95 mm el promedio de precipitación para junio.

En la siguiente gráfica radial, la cantidad de precipitación (mm) se observa en los ejes radiales equidistantes que parten del centro de la gráfica. Cada radio representa un mes (categoría), que al unirlos forman los lados de la red poligonal. Estos gráficos son útiles para identificar los valores similares o atípicos, por la forma que presentan la información.

Figura 12. *Gráfica radial de la precipitación en la subcuenca Carneros*



En la Figura 12 se observa el impacto asociado al fenómeno El Niño de 1982-1983, 1997-1998 y El Niño costero de 2017. Los meses más afectados (diciembre - abril) registran

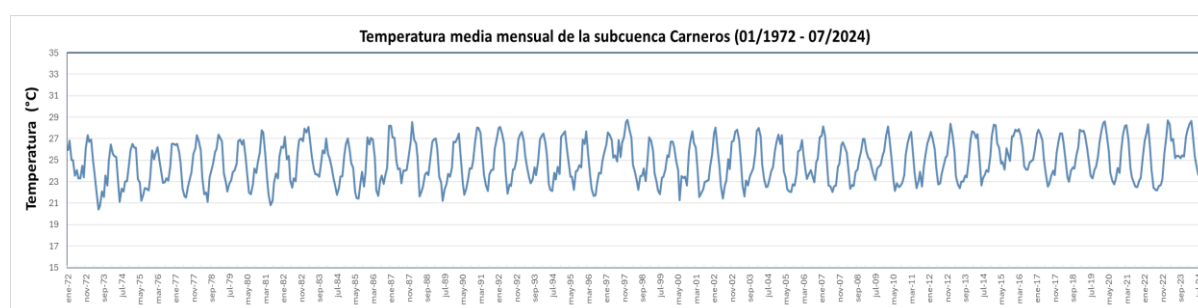
aproximadamente el doble de precipitación, en comparación con años normales. El año con mayor ausencia de lluvias es 1996, con una precipitación acumulada anual de 83.4 mm.

b) Temperatura media

La temperatura media mensual de la subcuenca Carneros se determinó para el periodo de enero de 1972 a julio de 2024.

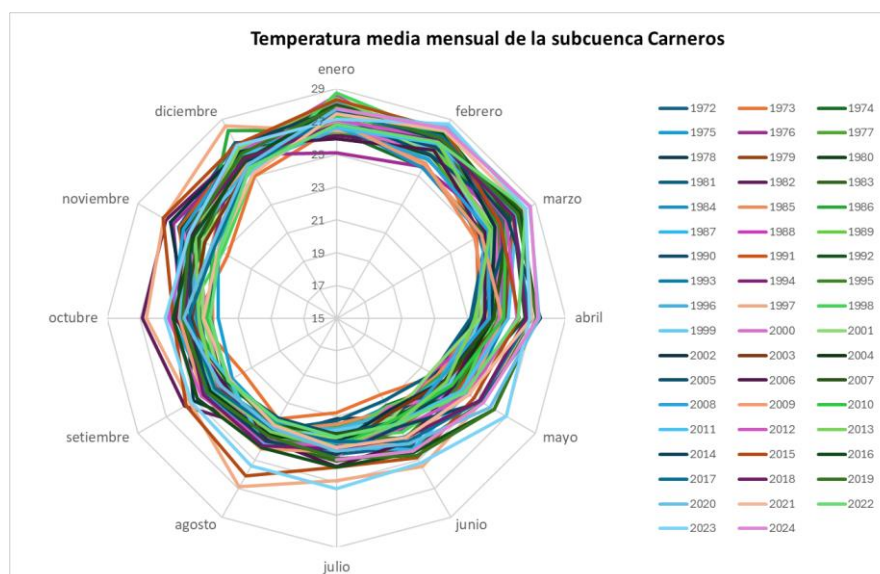
En la Figura 13 y Figura 14 se observa un patrón estacional, destacando dos épocas: con los meses más calurosos (enero a marzo), la época de verano tiene un rango de temperatura entre los 25 °C a 29 °C y los meses de invierno (junio a septiembre) presentan un descenso en la temperatura que fluctúa entre los 20 °C a 27 °C. También se visualizan los efectos del *Great Pacific Climate Shift*, llamado así al incremento en la temperatura global ocurrido entre los años 1976/1977 (SENAMHI, 2005).

Figura 13. *Temperatura media mensual de la subcuenca Carneros (01/1972 - 07/2024)*



En la gráfica radial se visualizan algunas anomalías en la temperatura ocasionadas por los fenómenos climáticos, los cuales se han producido por periodos entre los años 1973 a 1978, según informes del Instituto del Mar del Perú (IMAPRE). Estas anomalías son más notables en invierno, con incrementos de temperatura de hasta 3 °C en los años 1997, 1982, 2015 y 2023, y el descenso en la temperatura en 1973.

Figura 14. *Gráfica radial de temperatura en la subcuenca Carneros*

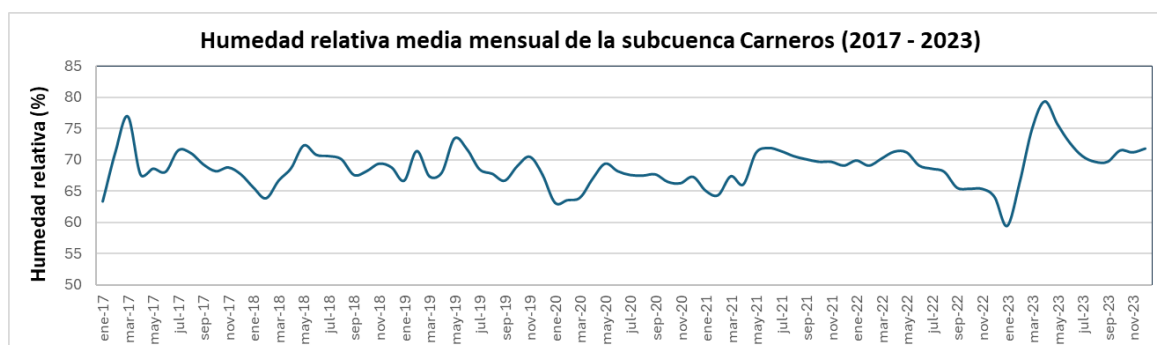


c) Humedad relativa media

La humedad relativa se determinó a partir de seis estaciones meteorológicas: Mallares, Miraflores, Sausal de Culucan, La Esperanza, Chusis y Bernal. Debido a la falta de registros históricos completos en la base de datos de SENAMHI, se obtuvo información para un periodo de siete años (2017 - 2023).

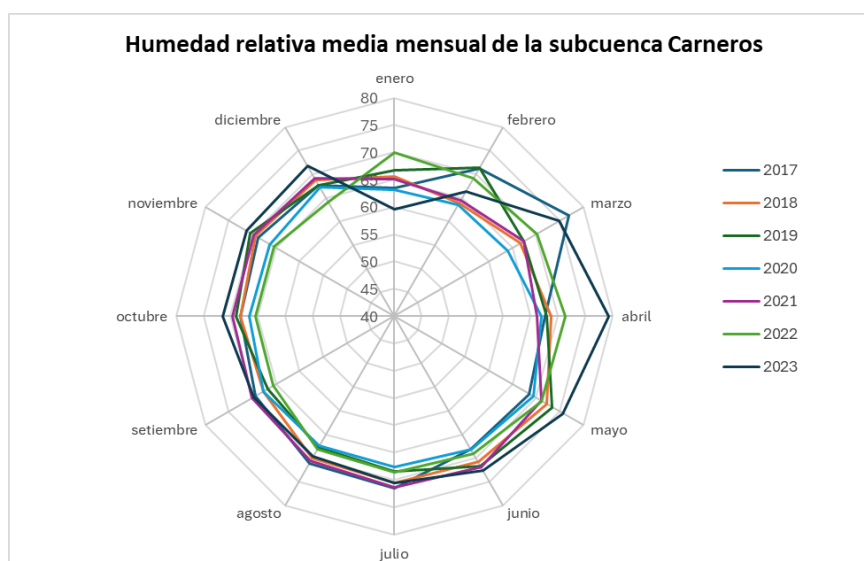
La subcuenca Carneros es un área agrícola y dentro de los requerimientos climáticos la humedad relativa es un factor importante, ya que está relacionada con la temperatura. Por ejemplo, la “humedad relativa apta para el mango es 60% - 80%” (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2021) y en el caso del maíz “se desarrolla bien en ambientes con humedad relativa de 60% - 95% entre septiembre y julio” (Ministerio del Ambiente, 2019). Por lo tanto, los valores de humedad relativa que presenta la subcuenca ayudan al cultivo agrícola.

Figura 15. Humedad relativa media mensual de la subcuenca Carneros (2017-2023)



En la Figura 15 y Figura 16 se observa que la humedad relativa es más uniforme en los meses de mayo a diciembre, mientras que en verano hay más variaciones. El valor máximo y mínimo extremos son 79.3% y 59.5%, ocurridos en el año 2023 en los meses de abril y enero, respectivamente. Este descenso en la humedad relativa se relaciona con la variación de la temperatura debido a los fenómenos meteorológicos.

Figura 16. Gráfica de humedad relativa en la subcuenca Carneros

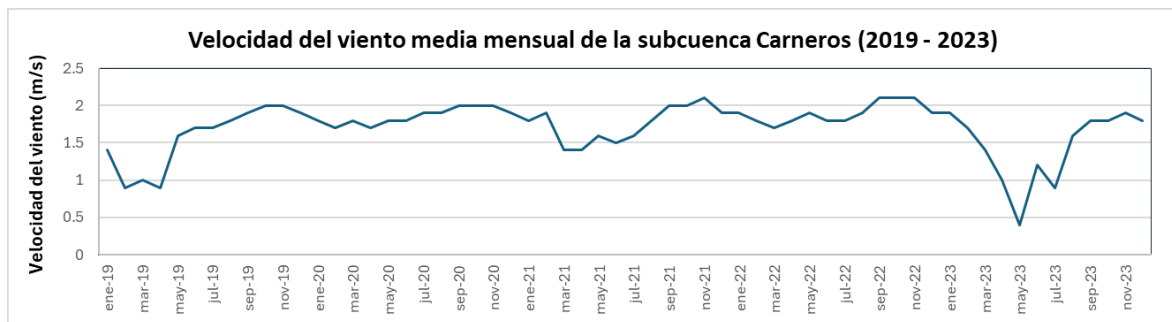


d) Velocidad del viento medio

En la Figura 18 se presenta la velocidad media mensual del viento para la subcuenca Carneros, para un periodo de cinco años (2017 - 2021), utilizando seis estaciones meteorológicas: Lancones, Chulucanas, Sapiylla, Ayabaca, Morropón y Hacienda Bigote.

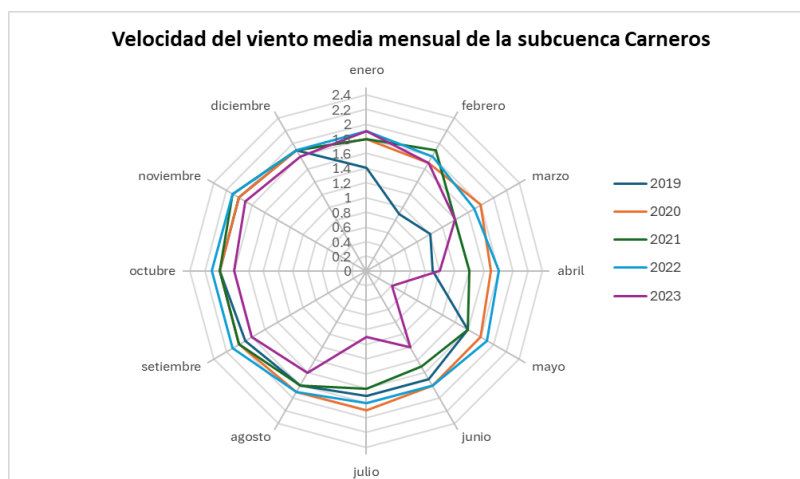
Este breve registro del parámetro climático se debe a que la mayoría de las estaciones seleccionadas cercanas a la subcuenca Carneros no cuentan con registros históricos o no realizan un registro de este parámetro.

Figura 17. Velocidad del viento media mensual de la subcuenca Carneros (2019-2023)



Como se observa en la Figura 17, la mayor velocidad del viento se presenta en el trimestre de septiembre, octubre y noviembre. La mayor parte del año 2023 y los meses de febrero a mayo de 2019 se registran las menores velocidades de viento, esto se debe a la influencia del fenómeno El Niño costero 2023 - 2024 y El Niño costero 2019, que aumentan la temperatura del mar y los vientos alisos se debilitan; por lo tanto, los vientos en la subcuenca Carneros tendrán menor intensidad.

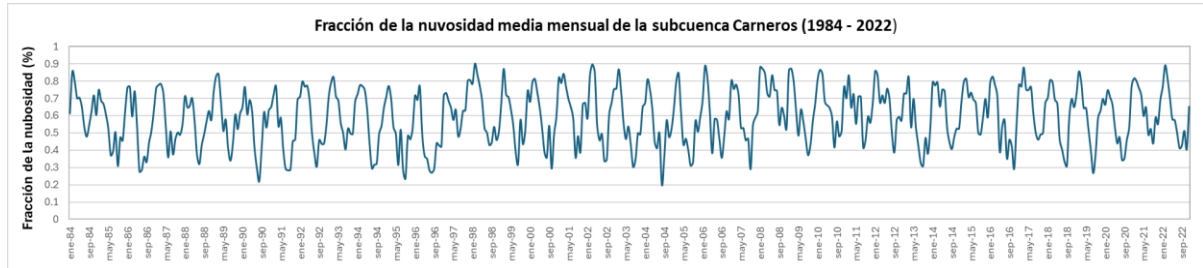
Figura 18. Velocidad del viento en la subcuenca Carneros



e) Fracción de la nubosidad

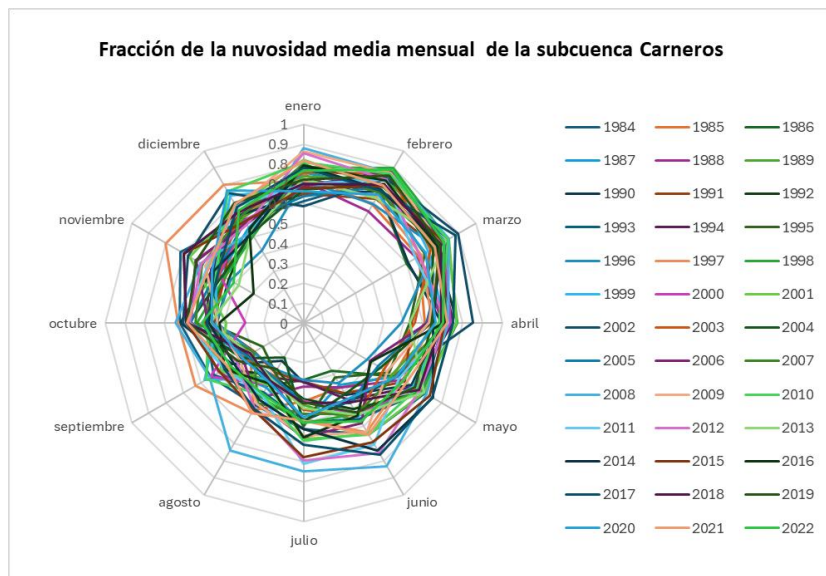
La fracción de la nubosidad no es un parámetro que se encuentre directamente en la base de datos de SENAMHI; por ello, el registro histórico (1984 - 2024) se obtuvo del Proyecto de predicción de los recursos energéticos mundiales (POWER).

Figura 19. *Fracción de la nubosidad media mensual de la subcuenca Carneros (1984-2023)*



Los meses de diciembre a abril tienen mayor nubosidad, con un rango promedio de 0.62% - 0.8%, mientras el resto del año presenta menor nubosidad con un rango promedio de 0.39% - 0.58%, como se observa en la Figura 19 y Figura 20.

Figura 20. *Fracción de la nubosidad en la subcuenca Carneros*



Capítulo 4

Aplicación del método de regionalización IDW

Para identificar caudales en lugares con poca disponibilidad de datos se utilizan métodos de regionalización, “con el propósito de facilitar la transferencia de información hidrológica de cuencas aforadas a las no aforadas, que pertenecen a una misma región hidrológica” (Franchini y Suppo, 1996).

“La metodología de regionalización involucra dos etapas principales: la identificación de cuencas homogéneas y la aplicación del método regional para cada región homogénea” (Ouarda *et al.*, 2008; Hafiz *et al.*, 2024).

4.1 Definición de regiones homogéneas

Este proceso se desarrolla con la finalidad de encontrar cuencas donantes o aforadas, para modelar la escorrentía en la cuenca no aforada. Varios estudios demuestran que la mejor cuenca donante es geográficamente más cercana a la cuenca en análisis (Zhang *et al.*, 2015). Considerando estas investigaciones, se recopila información hidrológica de las subcuencas cercanas a la subcuenca Carneros, seleccionando ocho subcuencas con un periodo de registro común de 15 años (1976 - 1990).

“La determinación de regiones con un mismo comportamiento hidrológico se encuentra usualmente influenciada por la combinación de diferentes parámetros fisiográficos y climáticos” (Tucci *et al.*, 1995). Por ello, se realiza un análisis *cluster* integral considerando las variables individuales y sus diferentes combinaciones para facilitar la identificación de los grupos análogos.

Los parámetros que conforman las combinaciones están relacionados con el relieve de la cuenca, las características del cauce y la precipitación, por ser las variables más influyentes en el comportamiento hidrológico (Álvarez *et al.*, 2009; Garzón y Potenciano de las Heras, 2005).

Los registros climáticos de las subcuencas seleccionadas son obtenidos de la investigación y análisis del proyecto: “Determinación del impacto climático al 2050 en la subcuenca Carneros”¹.

Con el fin de identificar los parámetros geomorfológicos que presentan mayor sensibilidad en el análisis, se seleccionan nueve parámetros (Tabla 10): área (A), perímetro (P), longitud del cauce mayor (Lm), ancho promedio (Ap), densidad de drenaje (Dd), coeficiente de Gravelius (Kc), factor de forma (Ff), desnivel de la cuenca (H) y elevación (E).

¹ Determinación del impacto del cambio climático al 2050 y medidas de adaptación, en la agricultura, en función de los cambios en la oferta-demanda de agua, y la influencia del agua procedente de infraestructura de regulación para el mejoramiento de los niveles de atención de las demandas, en la subcuenca Carneros, ubicada en la cuenca del río Piura en la costa norte del Perú, como cuenca piloto.

Tabla 10. *Parámetros fisiográficos de las subcuencas seleccionadas*

ID	Subcuenca	Cuencas (N4)	A (Km)	P (Km)	Lm (Km)	Ap (Km)	Dd (Km /Km)	Kc	Ff	H (m)	E (m)	Periodo
1	Chililique	Piura	158.6	100.9	25.0	6.4	0.29	2.26	0.25	3123	1648	1974-1990
2	San Pedro	Piura	152.4	80.7	20.2	7.5	0.26	1.84	0.37	2847	1630	1974-2015
3	La Gallega	Piura	136.2	76.4	17.0	8.0	0.24	1.85	0.47	2980	2081	1972-1991
4	Corral del Medio	Piura	332.5	112.1	29.6	11.2	0.26	1.73	0.38	3471	1500	1972-1992
5	Bigote	Piura	416.9	124.4	26.0	16.0	0.27	1.72	0.62	3282	1814	1967-1992
6	Malacasí	Piura	1868.1	235.9	70.6	26.5	0.37	1.54	0.37	3445	1485	1972-1992
7	Parage Grande	Quiroz - Chira	2342.1	247.4	105.8	22.2	0.37	1.44	0.21	3383	2436	1973-1993
8	Los Encuentros	Medio Alto Chira	3138.6	368.8	170.3	18.4	0.37	1.86	0.11	3800	1844	1976-2009

N4: indica el nivel de las cuencas

Para definir las regiones homogéneas se emplea el análisis *cluster* que “tiene por objeto formar grupos homogéneos en función de las similitudes o similaridades entre ellos” (Peña, 2002). En esta investigación, utilizando el programa RStudio se testearon dos métodos en función de la distancia euclidiana: K-means y Ward.

“Para aplicar el análisis *cluster*, algunos autores trabajan con la información original. Sin embargo, otros autores recomiendan estandarizar la información debido a las diferentes unidades que presentan los parámetros fisiográficos e hidrológicos” (Chavez, 2016). Por esta razón se trabaja con la información normalizada, dependiendo del caso.

En la Tabla 11 se codifican los parámetros usando letras y números que representan la variable y la combinación correspondiente.

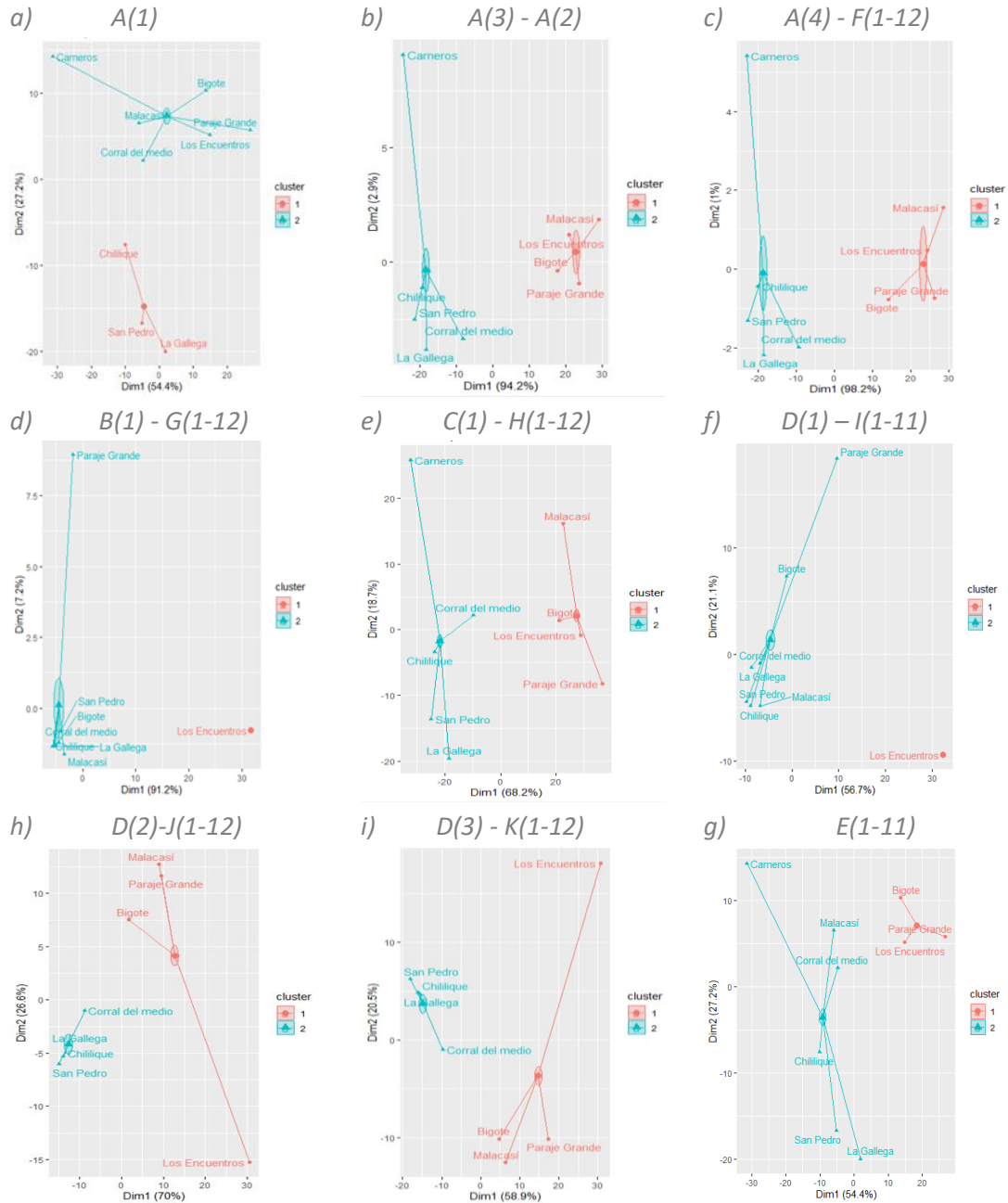
Tabla 11. *Codificación de variables individuales y combinadas*

Código	Variables	N°	Combinaciones
A	Climáticas	1	Precipitación
		2	Temperatura máxima
		3	Temperatura mínima
		4	Temperatura media
B	Hidrológica	1	Caudal
C	Climáticas	1	Precipitación y temperatura
D	Hidrológica y climáticas	1	Precipitación y caudal
		2	Temperatura y caudal
		3	Precipitación, temperatura y caudal
E	Precipitación y fisiográficas	1	perímetro, ancho promedio
F	Temperatura y fisiográficas	2	perímetro, desnivel de la cuenca
G	Hidrológicas y fisiográficas	3	perímetro, elevación de la cuenca
H	Precipitación, temperatura y fisiográficas	4	área, densidad de drenaje
I	Precipitación, hidrológicas y fisiográficas	5	densidad de drenaje, factor de forma, índice de compacidad
J	Temperatura, hidrológicas y fisiográficas	6	caudal, desnivel de la cuenca
K	Climáticas, hidrológicas y fisiográficas	7	elevación de la cuenca
		8	longitud del cauce
		9	longitud del cauce, área
		10	longitud del cauce, densidad de drenaje
		11	longitud del cauce, desnivel de la cuenca

A diferencia de los métodos jerárquicos como Ward, el algoritmo de K-means requiere como dato de entrada el número de grupos para formar los centroides iniciales. Con este propósito, se implementa el método del codo (*Elbow method*), que “evalúa la suma de distancias cuadradas dentro del *cluster* para determinar el número óptimo de *clusters* en un conjunto de datos” (Sposito *et al.*, 2024).

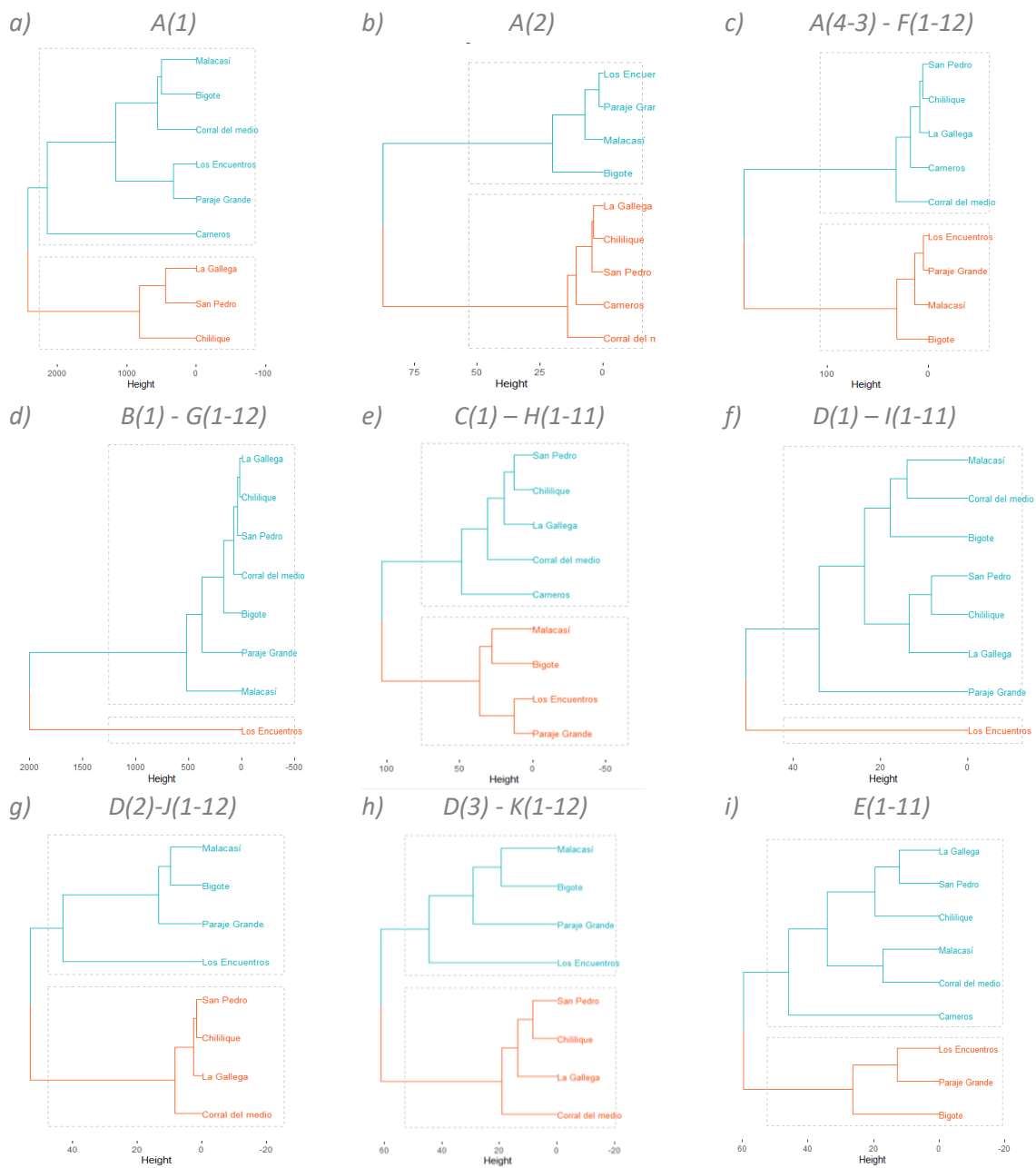
En la Figura 21 se visualiza la agrupación de datos en el espacio para el método de K-means, cada grupo está representado por una elipse euclidiana y sus centroides se simbolizan con figuras geométricas.

Figura 21. Resultados cluster del método K-means en RStudio.



Los resultados de la agrupación jerárquica del método Ward se muestran en los dendrogramas (Figura 22), que permiten visualizar el número óptimo de *clusters* y representan de forma jerárquica las relaciones de distancia entre los datos.

Figura 22. Dendrograma del método Ward en RStudio.



En la Figura 21 y la Figura 22 se muestran los resultados de los *clusters* de las principales combinaciones (A - D), porque al agregarles las variables fisiográficas a cada una, los *clusters* se mantienen. Aunque en algunos casos de las combinaciones (E - K) los grupos son iguales, la estructura interna es diferente debido a la sensibilidad de los datos, causada por el cambio de parámetros en cada combinación. Estas variaciones *intracluster* demuestran la sensibilidad de los modelos.

Las combinaciones de las variables hidrológicas y fisiográficas (G) son las que presentan mayores cambios en su estructura interna para ambos métodos *clusters*, esto quiere decir que los parámetros fisiográficos son más susceptibles al relacionarlos con los caudales. Cabe recalcar que en este estudio es más importante evaluar al conglomerado de forma general, sin considerar los datos de forma aislada.

Luego de haber aplicado los métodos *clusters* se debe comprobar la calidad del agrupamiento. Con esta finalidad se utilizan dos métricas: el coeficiente de *silhouette*, que cuantifica la relación entre la separación de los grupos y la cohesión interna, y el coeficiente de correlación cofenética, que mide la relación entre las distancias reales entre los datos y las distancias representadas en el dendrograma.

Tabla 12. Índices de *silhouette* y cofenética para cada combinación

Código	PP	Tmáx	Tmín	Tmed	Q	A	P	AP	Lm	DD	H	E	Kc	Ff	Corr. Cophen	Silhouette
A	1	x													0.8391	0.3847
	2		x												0.9317	0.7560
	3			x											0.9434	0.7401
	4				x										0.9465	0.7905
B	1				x										0.9931	0.7395
C	1	x													0.8728	0.4879
D	1	x				x									0.9634	0.4435
	2		x				x								0.8018	0.5155
	3			x				x							0.7696	0.3663
E	1	x					x	x							0.7059	0.3130
	2		x					x			x				0.7054	0.3131
	3			x					x			x			0.7050	0.3132
	4				x					x					0.7061	0.3130
	5		x							x			x	x	0.7049	0.3104
	6			x							x				0.7060	0.3130
	7				x							x			0.7056	0.3130
	8									x					0.7064	0.3134
	9						x				x				0.7064	0.3125
	10									x	x				0.7064	0.3130
	11										x	x			0.7063	0.3130
F	1				x		x	x							0.9468	0.7850
	2					x		x			x				0.9465	0.7833
	3						x					x			0.9465	0.7827
	4					x				x					0.9469	0.7846
	5						x				x		x	x	0.9466	0.7789
	6											x			0.9466	0.7845
	7												x		0.9466	0.7839
	8									x					0.9469	0.7848
	9						x				x				0.9468	0.7839
	10									x	x				0.9468	0.7838
	11										x	x			0.9465	0.7828
G	1					x		x	x						0.9991	0.7560
	2						x				x				0.9991	0.7556
	3							x					x		0.9992	0.7553
	4						x				x				0.9992	0.7572
	5									x			x	x	0.9991	0.7463
	6											x			0.9991	0.7573
	7												x		0.9993	0.7571
	8									x					0.9993	0.7627
	9						x	x			x				0.9992	0.7607
	10									x	x				0.9992	0.7582
	11										x	x			0.9991	0.7563
H	1	x					x	x							0.8730	0.4879
	2		x					x			x				0.8726	0.4875
	3			x					x				x		0.8725	0.4875
	4				x					x					0.8730	0.4877
	5					x					x			x	0.8729	0.4866
	6						x					x			0.8725	0.4876
	7												x		0.8724	0.4876
	8									x					0.8729	0.4876
	9						x				x				0.8730	0.4876
	10									x	x				0.8730	0.4875
	11										x	x			0.8726	0.4874
I	1	x				x		x	x						0.9670	0.4542
	2		x				x				x				0.9670	0.4542
	3			x				x					x		0.9672	0.4536
	4				x					x					0.9673	0.4536
	5					x					x			x	0.9674	0.4521
	6						x					x			0.9670	0.4541
	7												x		0.9672	0.4535
	8									x					0.9673	0.4547
	9						x	x			x				0.9674	0.4547
	10									x	x				0.9673	0.4540
	11										x	x			0.9671	0.4545
J	1				x	x		x	x						0.8016	0.5154
	2					x	x				x				0.8000	0.5129
	3						x					x			0.7999	0.5109
	4					x	x	x			x				0.8008	0.5139
	5						x				x		x	x	0.7987	0.5071
	6						x	x				x			0.8004	0.5132
	7							x					x		0.8003	0.5112
	8									x					0.8013	0.5151
	9						x	x			x				0.8009	0.5147
	10											x			0.8006	0.5137
	11										x	x			0.7999	0.5969
K	1	x				x	x		x	x					0.7698	0.3669
	2		x				x				x				0.7686	0.3659
	3			x				x					x		0.7688	0.3654
	4				x						x				0.7693	0.3663
	5					x	x					x		x	0.7692	0.3648
	6						x	x				x			0.7689	0.3659
	7							x					x		0.7691	0.3654
	8									x					0.7691	0.3662
	9						x	x	x			x			0.7689	0.3662
	10										x	x			0.7691	0.3662
	11										x	x			0.7685	0.3657

En la Tabla 12 se observa que los índices varían entre aceptable y óptimo. Teniendo en cuenta ambas métricas, los valores son más altos al considerar la variable hidrológica combinada con los parámetros (G), mientras que la precipitación combinada con los parámetros (E) tiene una clasificación menos robusta, con valores de 0.31 para el índice de *silhouette* y 0.71 para la correlación cofenética.

Las temperaturas (A2 - A4) muestran una mejor calidad del agrupamiento cuando se evalúan individualmente, ya que al combinarse con un mayor número de parámetros las métricas van disminuyendo. Por ejemplo, la temperatura media (A4) pasó de 0.79 a 0.36 para el índice de *silhouette*, al combinarla con caudales y precipitación (D3).

Se considera que los *clusters* generados por la combinación de variables climáticas, hidrológicas y fisiográficas (I) son más representativos, porque el proceso hidrológico es producto de la interacción de varias variables que definen y caracterizan su respuesta hídrica. Cabe enfatizar que este grupo tuvo buenos resultados al evaluar las métricas de calidad, obteniendo un índice *silhouette* moderado (0.45) y según la correlación cofenética tiene una muy buena representación de los datos y robustez del modelo (0.97).

Al evaluar las métricas de la combinación (I), destacan las variables de precipitación, caudal y longitud mayor del río (I8) y precipitación, caudal, área y longitud mayor del río (I9) para el índice *silhouette* y la correlación cofenética, respectivamente. Estos resultados confirman que los parámetros más influyentes son la longitud mayor del río y el área, concordando con diversas investigaciones.

Los resultados de la métrica del coeficiente de correlación cofenética destacan por sus valores superiores a 0.7, mostrando un buen agrupamiento jerárquico del método Ward. Se debe tener en cuenta que los *clusters* generados para cada combinación son los mismos en ambos métodos (Tabla 13 y Figura 23), ratificando que los *clusters* obtenidos son consistentes, estables y representan bien los datos.

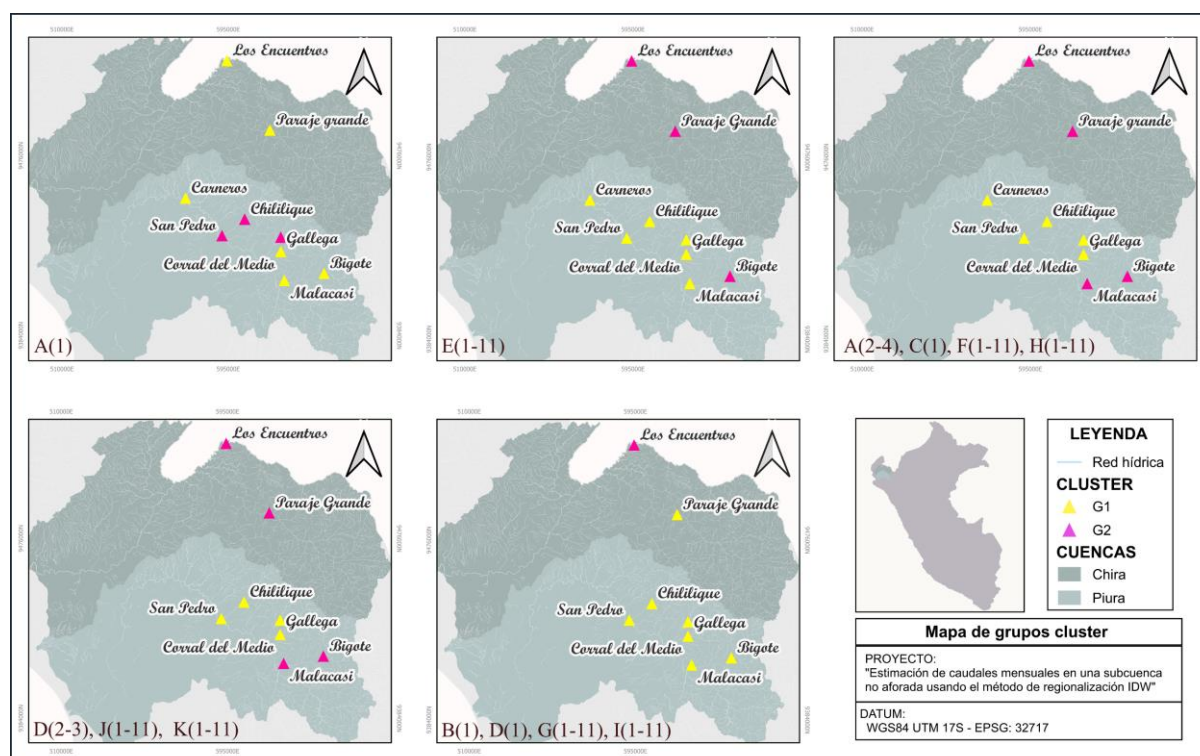
En la Tabla 13 se visualizan los grupos generados en cada combinación, los cuales se distinguen por los colores rosado y azul, mientras que el color plomo representa las subcuencas que no fueron evaluadas debido a la falta de información hidrológica.

Tabla 13. *Clusters* obtenidos según los métodos de Ward y K-means

Código	Carneros	Chililique	San Pedro	La Gallega	Corral del Medio	Bigote	Malacasi	Parage Grande	Los Encuentros
A1									
E(1-11)									
A(2-4), C(1), F(1-12), H(1-11)									
B(1), D(1), G(1-11), I(1-11)									
D(2-3), J(1-11), K(1-11)									

Evaluando los resultados de las combinaciones *cluster*, se puede afirmar que las variables predominantes son las climáticas y, principalmente las hidrológicas. Esto se debe, en parte, a la densidad de datos que forman parte de los registros históricos.

Figura 23. Mapa con los resultados cluster para cada variable y combinación

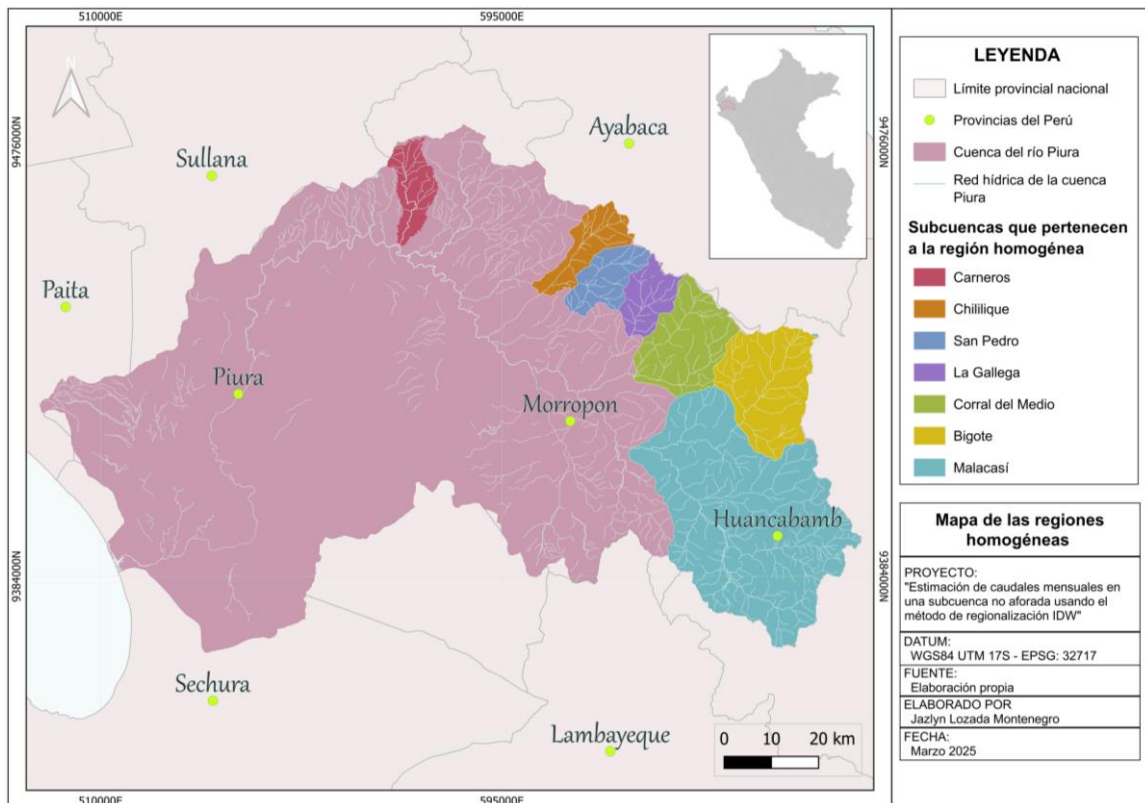


La subcuenca Los Encuentros no es compatible con la subcuenca Carneros en la mayoría de los casos, como se evidencia en la Figura 23. La subcuenca Paraje Grande comparte características climáticas con la subcuenca de interés; sin embargo, al trabajar con la variable hidrológica, esta subcuenca presenta una menor cohesión y homogeneidad con su clasificación, debido a que se encuentra más alejada con respecto de los otros datos de su grupo, como se observa en la Figura 21 y la Figura 22.

Además, los registros hidrológicos de la subcuenca Paraje Grande se encuentran en proceso de verificación, según la información investigada. Por ende, con el propósito de evitar errores, las subcuencas Paraje Grande y Los Encuentros son descartadas.

Con base en los resultados obtenidos, se determina la región hidrológica conformada por siete subcuencas que pertenecen a la cuenca Piura (Figura 24): Carneros, Chilitique, San Pedro, La Gallega, Corral del Medio, Bigote y Malacasi.

Figura 24. Subcuencas que pertenecen a la misma región homogénea



4.2 Aplicación del método de regionalización IDW

El método de la distancia inversa ponderada (IDW) es una interpolación estocástica espacial que ayuda a estimar valores desconocidos, en este caso caudales, basándose en la vecindad de los puntos que tienen valores conocidos, donde los puntos más cercanos al punto desconocido tendrán mayor influencia.

4.2.1 Validación cruzada con el método IDW

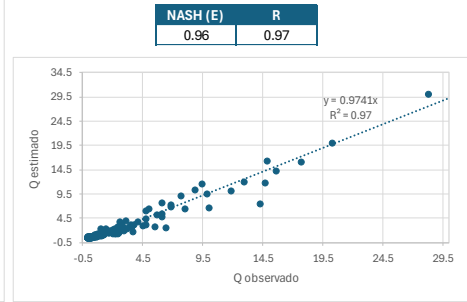
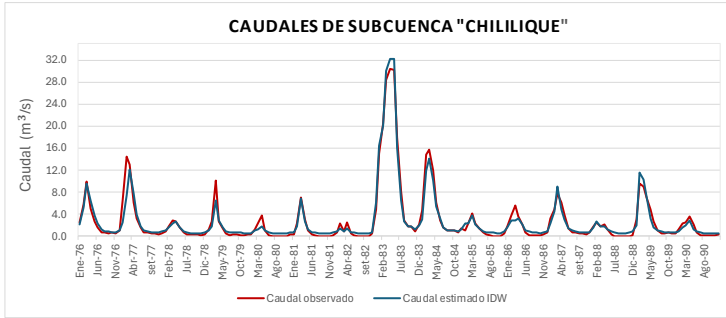
Antes de implementar el método de regionalización en cuencas no aforadas, es necesario validar la técnica IDW. El procedimiento de validación cruzada se utiliza normalmente para evaluar la validez del enfoque de regionalización. En este enfoque cada cuenca se considera, a su vez, no calibrada para obtener una simulación de flujo en esa cuenca. (Coulibaly y Razavi, 2013)

En estudios donde esta metodología ha sido implementada, se producen mejores resultados al evaluar su desempeño cuando los datos son normalizados (Hafiz *et al.*, 2024). Por lo tanto, en esta investigación para el proceso de validación cruzada se trabajan los caudales de cada subcuenca normalizados.

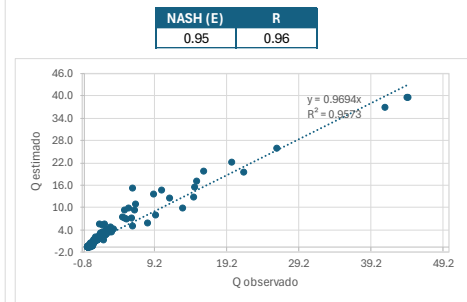
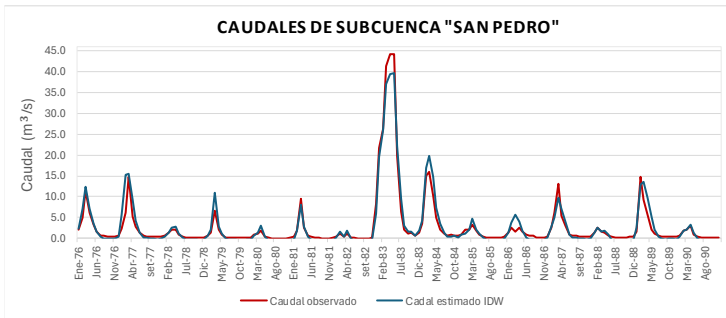
En la Figura 25 se muestran los hidrogramas y las gráficas de dispersión que comparan los datos hidrológicos observados y estimados para las seis subcuencas homogéneas.

Figura 25. Resultados de la validación cruzada

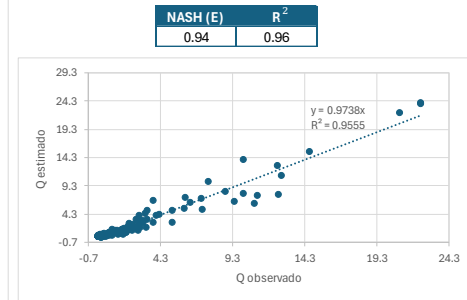
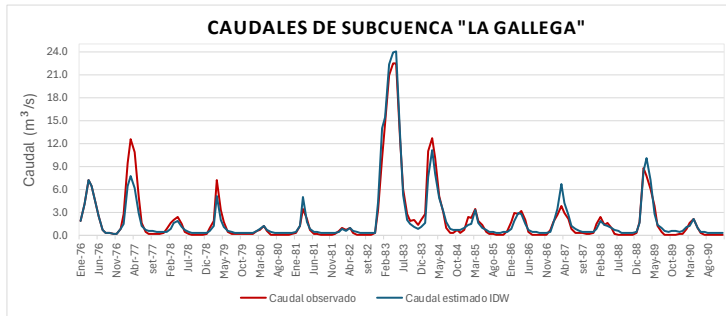
1) Subcuenca Chililique



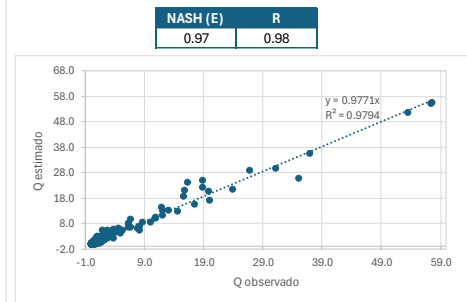
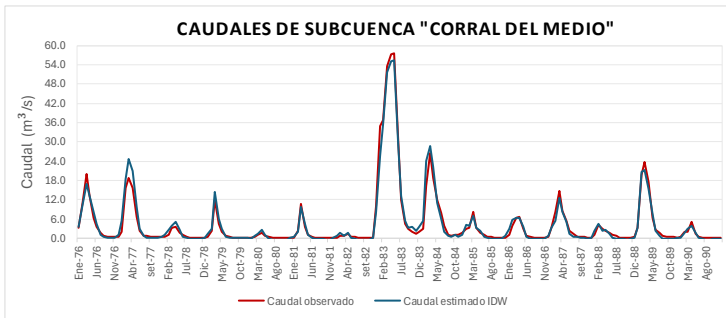
2) Subcuenca San Pedro



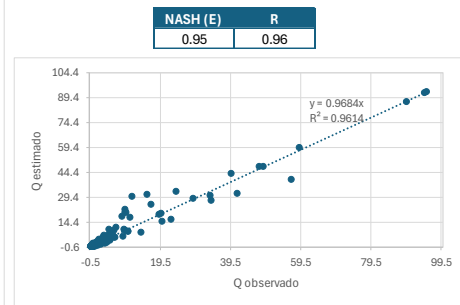
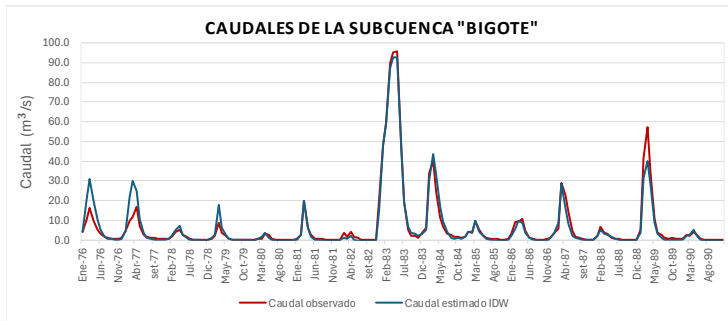
3) Subcuenca La Gallega



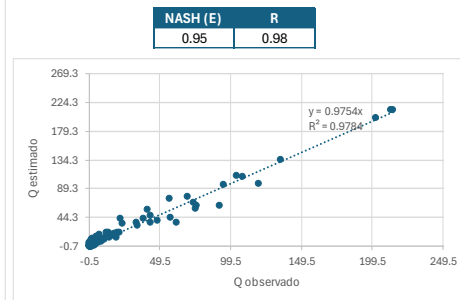
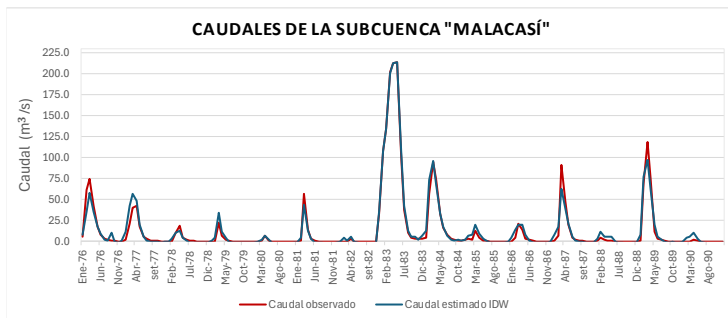
4) Subcuenca Corral del Medio



5) Subcuenca Bigote



6) Subcuenca Malacasí



Para finalizar el proceso, los valores estimados con IDW se comparan con los valores observados y se verifican empleando el índice de eficiencia Nash-Sutcliffe y el coeficiente de determinación R^2 . En la Tabla 14 se presenta el resumen de la evaluación de desempeño del método IDW.

Tabla 14. Resumen de la evaluación de desempeño

N°	Subcuenca	R		NASH (E)	
		Valor	Performance	Valor	Performance
1	Chililique	0.96	Muy bueno	0.96	Excelente
2	San Pedro	0.95	Muy bueno	0.95	Excelente
3	La Gallega	0.94	Muy bueno	0.94	Excelente
4	Corral del Medio	0.97	Muy bueno	0.97	Excelente
5	Bigote	0.95	Muy bueno	0.95	Excelente
6	Malacasí	0.95	Muy bueno	0.95	Excelente

Los resultados del coeficiente R^2 expresan más del 95% de la variabilidad de los datos y el índice de Nash-Sutcliffe representa un excelente ajuste entre los caudales observados y estimados para todas las subcuencas. Estos valores superiores a 0.94, en ambos performances de desempeño, demuestran que el método IDW es eficiente y representa un desempeño cercano al óptimo, denotando la buena capacidad predictiva del método IDW para estimar caudales.

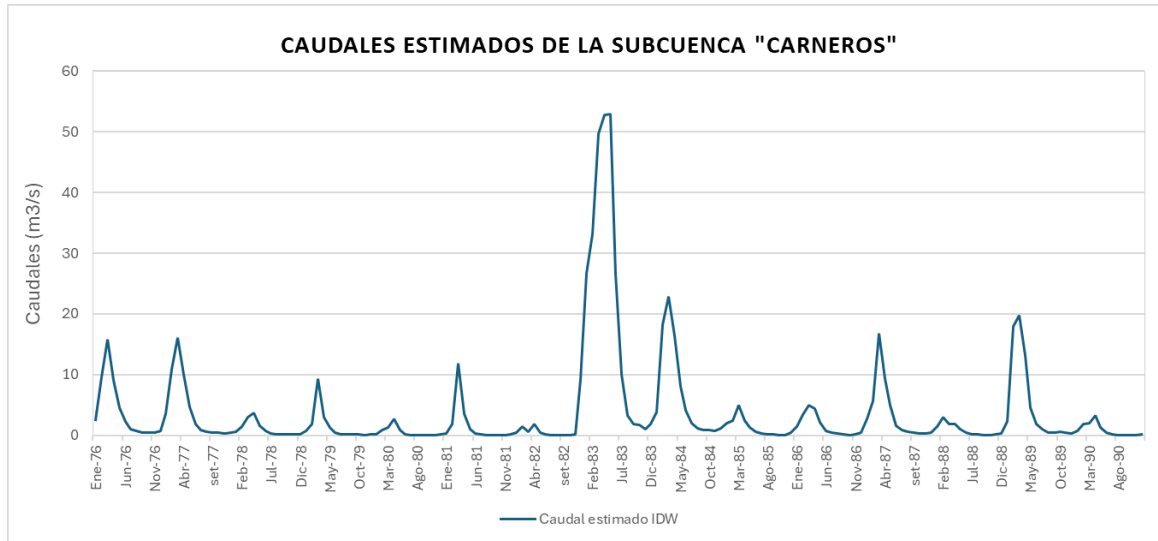
4.2.2 Estimación de caudales mensuales aplicando IDW

Comprobada la efectividad del método IDW, se procede a estimar los caudales de la subcuenca Carneros. Zhang *et al.* (2015) comentan que el IDW se comporta mejor a medida que el número de donantes aumenta de uno a cinco. Sin embargo, cuando aumenta de cinco a siete o más, las predicciones de las ponderaciones son muy similares.

En este estudio se utilizan seis subcuencas donantes que tienen un comportamiento hidrológico similar: Chililique, San Pedro, La Gallega, Corral del Medio, Bigote y Malacasí, como se demostró en el Capítulo 4.1. Los caudales estimados tendrán el mismo periodo de tiempo que las subcuencas donantes, el cual comprende desde 1976 a 1990.

El hidrograma obtenido a partir de los resultados de la regionalización con el método IDW se visualiza en la Figura 26 y los valores se muestran en el Apéndice C.

Figura 26. Caudales estimados con la interpolación IDW para un periodo de 1976-1990



Capítulo 5

Modelos hidrológicos

Los modelos hidrológicos son utilizados para probar algunas hipótesis sobre el funcionamiento de un sistema hidrológico. Este trabajo aplica dos modelos lluvia - escorrentía: GR2M y WEAP, ambos modelos requieren datos y observaciones en campo con el fin de ser calibrados y validados. En esta investigación no se contempla la medición hidrométrica en campo; por ello, la fase de calibración y validación de dichos modelos se trabaja con los caudales mensuales obtenidos a partir del método IDW, asumiéndolos como “caudales observados”.

En estudios anteriores, los dos modelos se han aplicado en subcuencas cercanas a la subcuenca Carneros, demostrando un buen ajuste de datos al evaluar su desempeño (Panta, 2022; Gamero *et al.*, 2022; Buguña, 2019). Se trabaja bajo la siguiente hipótesis: los modelos GR2M y WEAP presentan un buen ajuste en cuencas cercanas a la subcuenca en estudio; por lo tanto, se pueden utilizar como herramienta de verificación teórica para determinar si los caudales estimados con el método IDW presentan una tendencia real.

5.1 Modelo GR2M

GR2M es un modelo determinístico de lluvia - escorrentía que simula caudales mensuales de las cuencas empleando datos de precipitación y evapotranspiración. Para su aplicación se utiliza la interfaz gráfica del modelo parametrizado por CEMAGREF, cuya estructura se describe en el Marco Teórico.

5.1.1 Calibración

El periodo de calibración es de ocho años (1976 - 1983), el cual consiste en optimizar la capacidad de producción (x_1) y el coeficiente de intercambio subterráneo (x_2) con el fin de lograr mejores resultados en el ajuste, los parámetros se muestran en la Tabla 15.

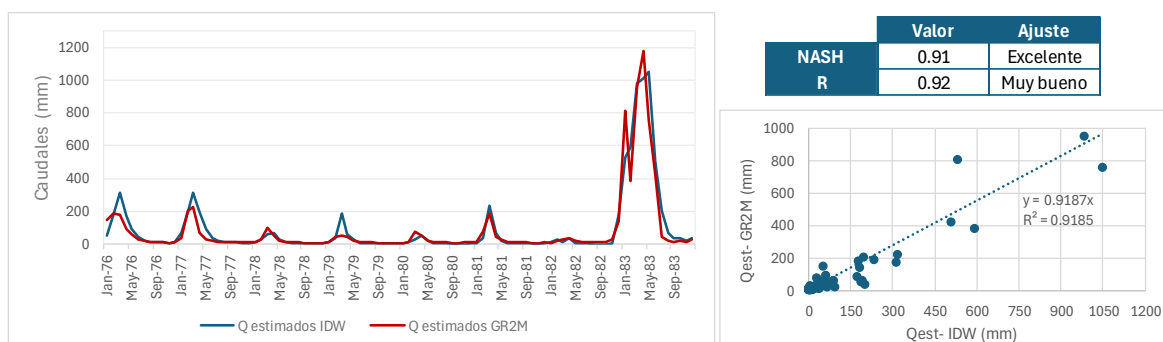
Tabla 15. *Parámetros y condiciones iniciales de calibración en GR2M*

Parámetros del modelo	Transf.	Réels
x_1 : Capacidad de producción (mm)	0.00	1.00
x_2 : Coeficiente de intercambio subterráneo (mm)	1.36	1.36
Condiciones iniciales		
Nivel de llenado inicial S_0 (max.: x_1 mm)		0.5
Nivel de llenado inicial R_0 (max.: 60 mm)		30
Periodo		
Duración del periodo de calentamiento (meses)		12
Duración del periodo de prueba (meses)		83

El proceso de calibración es evaluado cuantitativamente según el índice de eficiencia Nash Sutcliffe y el coeficiente de determinación R^2 . Obteniendo el valor de 0.9 en ambas métricas, que indican un excelente ajuste entre los caudales estimados con IDW y los simulados con GR2M.

En el hidrograma de calibración de la Figura 27 se aprecia el buen desempeño del modelo, especialmente en los periodos de estiaje. En el periodo de avenidas, los años 1976, 1977 y 1978 presentan una subestimación de datos en más de la mitad del año y en los años 1978 y 1983 hay una leve sobrestimación, como se muestra en gráfica de dispersión.

Figura 27. Resultados e indicadores de eficiencia del proceso de calibración en GR2M



5.1.2 Validación

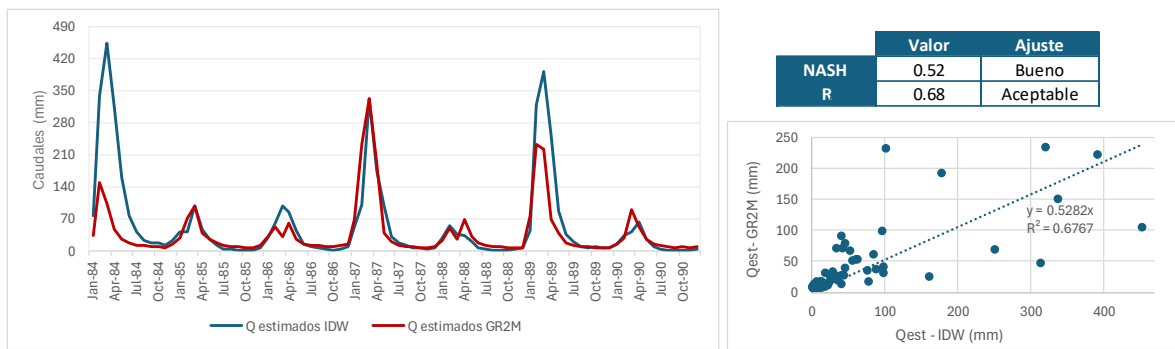
En esta etapa se verifica si los parámetros calibrados son coherentes y representan el comportamiento hidrológico de forma eficiente, el periodo de validación comprende desde 1984 hasta 1990.

Los datos de entrada se muestran en la Tabla 16, donde a diferencia del proceso anterior, en la validación no se considera el periodo de calentamiento porque este intervalo se utiliza para estabilizar el modelo al inicio; es decir, en la calibración.

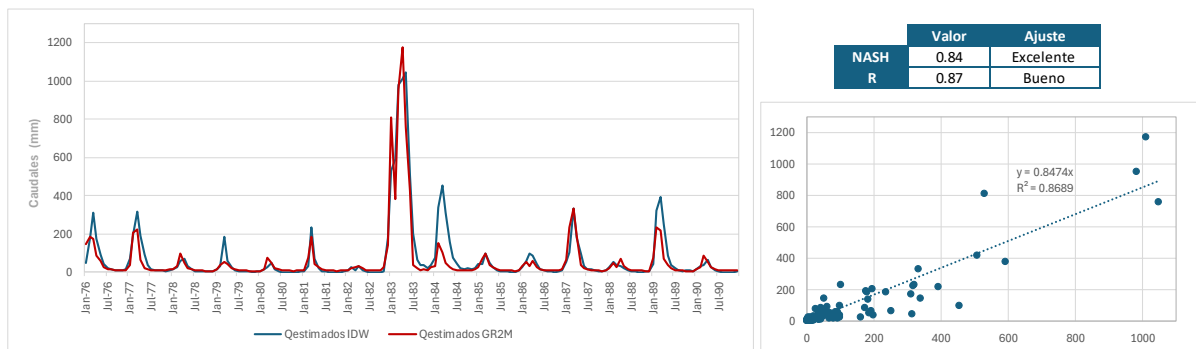
Tabla 16. Parámetros y condiciones iniciales de validación en GR2M

Parámetros del modelo	Transf.	Réels
x1: Capacidad de producción (mm)	0.00	1.00
x2: Coeficiente de intercambio subterráneo (mm)	1.36	1.36
Condiciones iniciales		
Nivel de llenado inicial S0 (max.: x1 mm)		0.5
Nivel de llenado inicial R0 (max.: 60 mm)		30
Periodo		
Duración del periodo de calentamiento (meses)		0
Duración del periodo de prueba (meses)		83

El hidrograma de validación (Figura 28) muestra la leve diferencia entre las series en las épocas de estiaje, a diferencia de las épocas de avenidas que presentan una subestimación notable en los años 1984, 1986 y 1989. El modelo según el índice de eficiencia Nash Sutcliffe y el coeficiente de determinación R^2 representan un ajuste bueno y aceptable, respectivamente.

Figura 28. Resultados e indicadores de eficiencia del proceso de validación en GR2M

Para finalizar el modelo GR2M, se realiza la validación de todo el periodo hidrológico (1976 - 1990), donde se confirma la eficiencia del modelo para predecir caudales a través de las métricas evaluadas, que califican como excelente y bueno al modelo. Aunque se mantiene la subestimación de caudales en las épocas de avenidas, para el 50% de los años (Figura 29).

Figura 29. Resultados e indicadores de eficiencia del modelo validado (1976-1990)

5.2 Modelo WEAP

El software WEAP “es una herramienta para la planeación integrada de recursos hídricos con capacidad para simular procesos en cuencas, tales como evapotranspiración, escurrimientos e infiltración, siendo un modelo dinámico integrado de precipitación - escurrimiento que incluye varios componentes del ciclo hidrológico” (Rojas, 2018).

5.2.1 Parámetros del modelo hidrológico

El modelo determina la respuesta de la cuenca en función de los parámetros del suelo y climáticos. La información climática de la subcuenca Carneros (capítulo 3.2.2) está representada por precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y fracción de nubosidad.

WEAP posee cinco métodos para calcular el equilibrio hídrico de las cuencas; de estos se selecciona el método de la “humedad del suelo” (Marco Teórico). El cual consiste en dividir el suelo en dos capas: la zona de raíces y la zona más profunda; ambas capas definen los parámetros del suelo.

“Los valores de cada parámetro se obtienen por trabajo de campo o mediante valores referenciales de la literatura” (MMAyA–VRHR, 2016) y están caracterizados según la

cobertura vegetal, definida en el capítulo 2.3 A continuación, se muestran los parámetros que serán variables en la fase de calibración: el coeficiente de cultivo (K_c), la capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces (CCA_PC), el factor de resistencia a la escorrentía (FRE), la conductividad en la zona de raíz (CZR), la dirección preferente del flujo (DPF), la conductividad inicial de agua (Z1), la capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda (CCA_SC), la conductividad en la zona profunda (C_CS) y el contenido de humedad inicial (Z2).

Varios estudios destacan la alta sensibilidad del K_c , cuyos valores asignados pueden ser anuales, pero en cultivos es mejor considerar la variabilidad mensual. En el caso de la zona agrícola se trabaja con valores referentes al cultivo de mango, obtenidos del estudio ambiental en Piura (MINAM, 2014). Se selecciona el mango porque representa en promedio un 75% aprox. de los cultivos en la subcuenca Carneros, según el análisis del proyecto “Determinación del impacto climático al 2050 en la subcuenca Carneros”.

En la Tabla 17 se muestran los valores de cada parámetro con base en la Guía metodológica para la elaboración de balances hídricos superficiales (MMAyA y VRHR, 2016), la Modelación del recurso hídrico en cuencas (USAID, 2016), la Guía metodológica - modelación hidrológica y de recursos hídricos con el modelo WEAP (PACC *et al.*, 2019) y el Modelo WEAP para las cuencas Chillón, Rímac, Lurín, Chilca y Alto Mantaro (GIZ *et al.*, 2019).

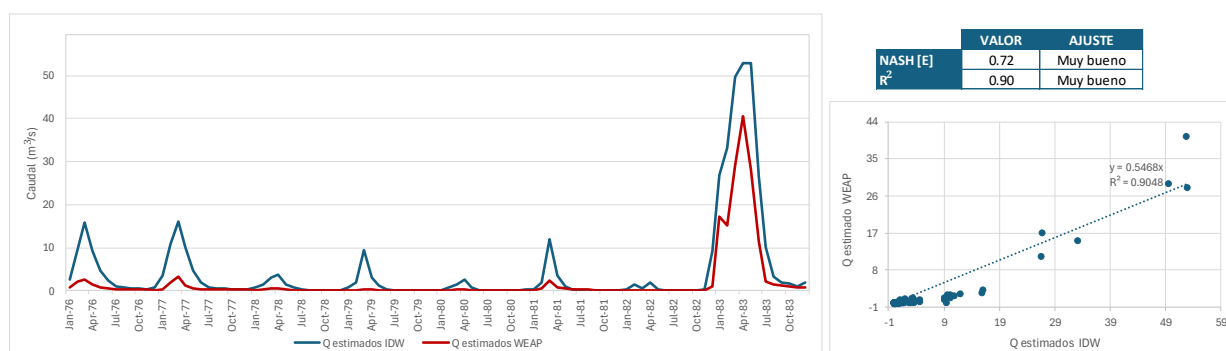
Tabla 17. Parámetros del uso del suelo

Cobertura vegetal	Primera capa												Segunda capa									
	Kc-ene	Kc-feb	Kc-mar	Kc-abr	Kc-may	Kc-jun	Kc-jul	Kc-ago	Kc-sep	Kc-oct	kc-nov	Kc-dic	CCA_PC	FRE	CZR	DPF	Z1	CCA_SC	C_SC	Z2		
Unidades													mm		mm/mes	%	mm	mm/mes	%			
BES ralo Colina y montaña	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	350	1.9	150	0.55	10					
BES ralo Ulanura	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	350	1.9	150	0.55	20					
BES semidenso Colina y Montana	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	350	1.9	150	0.55	15					
BES semidenso Ulanura	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	350	1.9	150	0.55	25					
Cause seco	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	180	1	150	0.85	10	1200	300	10		
Pasto y secano	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	300	2	150	0.65	10					
Río	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	180	7	180	0.5	20					
Sin vegetación	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	170	1	150	0.7	10					
Zona agrícola	0.9	0.9	0.9	0.94	1	1.05	1.1	1.1	1.05	1	0.95	0.9	300	2	110	0.65	15					
Zona agrícola descanso	0.8	1	1	1	0.8	0	0	0	0	0	0.25	0.8	300	2	110	0.65	15					

5.2.2 Calibración

Alimentado el modelo WEAP con los valores asignados de la Tabla 17 y considerando el periodo desde 1976 hasta 1983, se ejecuta la corrida y se verifica la bondad del ajuste con Nash Sutcliffe y el coeficiente de determinación R^2 (Rojas, 2018).

Figura 30. Resultados e indicadores de eficiencia del modelo sin calibración



Los indicadores de eficiencia estiman un ajuste muy bueno entre las series de caudales estimados con IDW y WEAP (Figura 30); no obstante, al realizar la validación para el siguiente periodo no se obtienen resultados satisfactorios de Nash. Por ende, con el fin de ayudar a formular la respuesta hidrológica óptima, se realiza el proceso de calibración de los parámetros de la Tabla 17, teniendo en cuenta los límites de la literatura citada anteriormente.

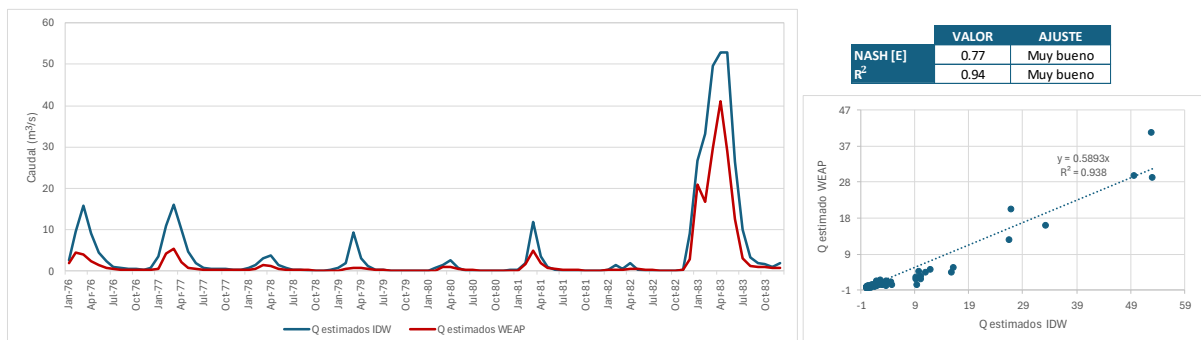
“La calibración es un proceso de ajuste sistemático de los valores de sus parámetros” (Ochoa *et al.*, 2022). En la Tabla 18 se muestra la tendencia de los parámetros en el proceso de calibración.

Tabla 18. Tendencia de los parámetros en el proceso de calibración

Parametro	Kc	CCA_PC	FRE	CZR	DPF	Z1	CCA_SC	C_SC	Z2
Tendencia	Disminuye	Disminuye	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Disminuye	Disminuye	-

Al modificar los parámetros, se evidencia la sensibilidad alta de la capacidad de contenido de agua (CCA_SC) en caudales base y en el caso de los caudales pico la sensibilidad alta está relacionada con el factor de resistencia a la escorrentía (FRE) y el coeficiente de cultivo (Kc).

Figura 31. Resultados e indicadores de eficiencia del modelo calibrado



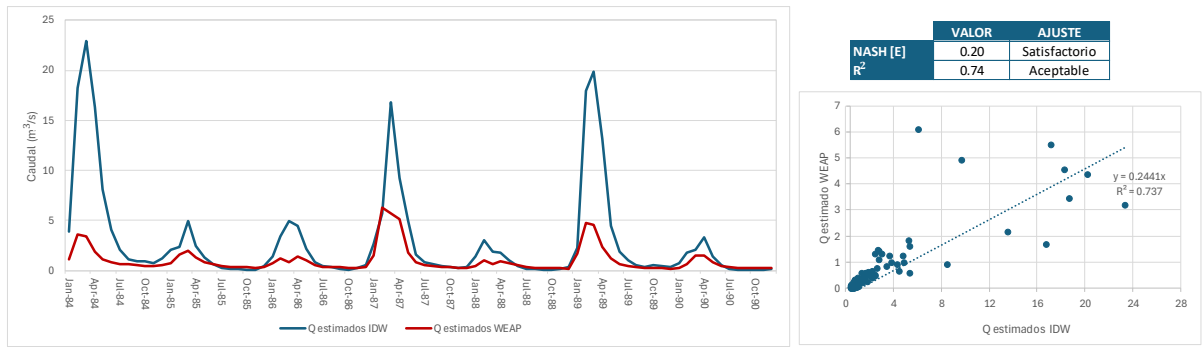
El hidrograma calibrado (Figura 31) presenta un mejor ajuste en los caudales base, aunque están ligeramente sobreestimados; a diferencia del periodo de avenidas, cuyos caudales son subestimados en todos los años. Las métricas evalúan un desempeño favorable entre caudales estimados con IDW y WEAP, calificándolo como muy bueno en ambos casos.

5.2.3 Validación

El proceso de validación tiene la finalidad de garantizar la calidad y precisión de los parámetros calibrados, se considera el periodo restante que comprende desde 1984 hasta 1990.

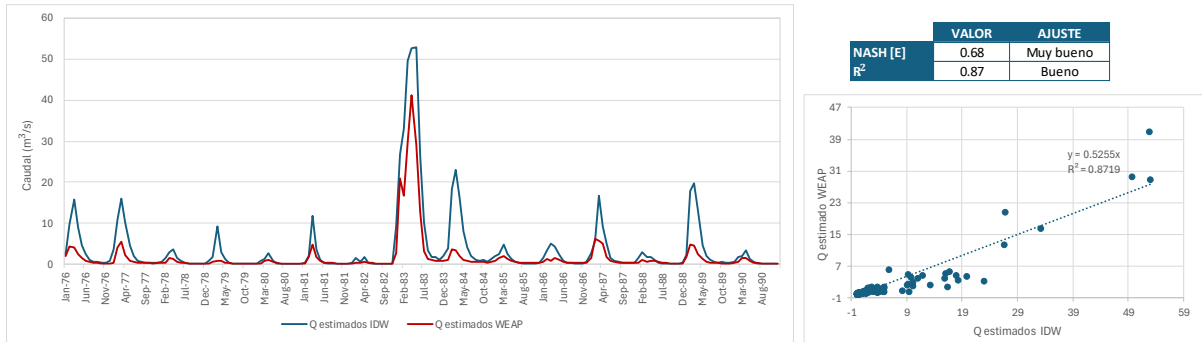
Las métricas evaluadas califican el modelo como satisfactorio y aceptable según la métrica de Nash Sutcliffe y el coeficiente R². Los valores obtenidos son menores en comparación con el proceso de calibración debido a los picos altos dentro del periodo analizado, como se refleja en el hidrograma (Figura 32). Se mantiene la subestimación de caudales en el periodo de avenidas y en el periodo de estiaje hay una tenue sobrestimación en los años desde 1985, 1988 y 1990.

Figura 32. Resultados e indicadores de eficiencia del modelo validado



Para terminar, se presenta el modelo validado para todo el periodo hidrológico (1976 - 1990). En los resultados se obtienen valores que muestran una mejor predicción del modelo con métricas que califican como muy bueno y bueno. En todos los años, los caudales de avenidas son subestimados, como muestra el hidrograma y la gráfica de dispersión (Figura 33).

Figura 33. Resultados e indicadores de eficiencia del modelo validado (1976-1990)

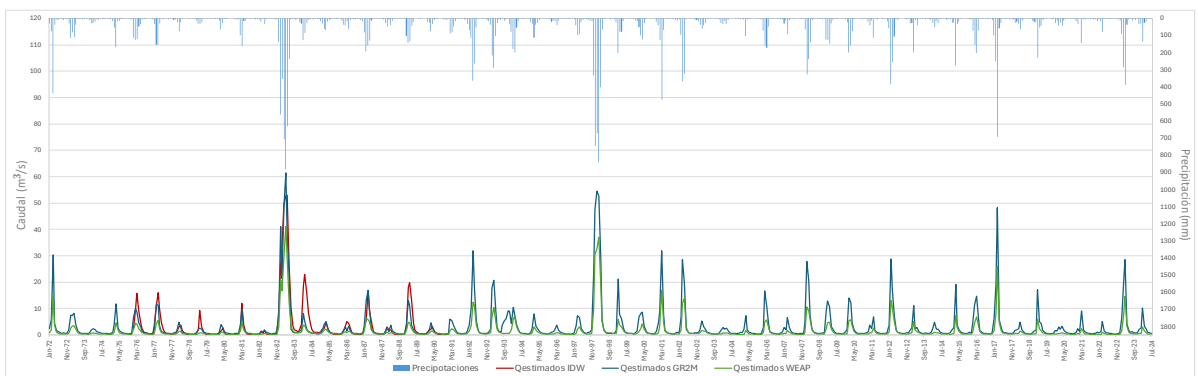


5.3 Generación de caudales mensuales

Comprobada la eficiencia de los modelos hidrológicos, se procede a generar los caudales mensuales para un periodo extendido que comprende desde enero de 1972 hasta julio de 2024.

En la Figura 34 se muestra el hidrograma con los caudales estimados por los modelos hidrológicos GR2M y WEAP, por el método de regionalización IDW y se visualiza el hietograma de precipitación. Los registros hidrológicos se muestran en el Apéndice D.

Figura 34. Caudales estimados del río Carneros para el periodo 1972-2024



Se observa un comportamiento similar entre los caudales estimados y la precipitación, manteniendo la tendencia entre los periodos de alta y baja precipitación y los meses de avenidas y estiaje, respectivamente. La gráfica demuestra una óptima correlación entre el volumen de lluvia y el flujo de agua, tal como sucede en los años de mayor intensidad ocurridos por el fenómeno El Niño de 1982-1983 y 1997-1998 y El Niño costero 2017 (Instituto Geofísico del Perú, 2022).

El caudal máximo estimado con IDW es superado por el modelo GR2M en 1983, en los demás meses la simulación tiene un mejor ajuste, mostrando un mejor desempeño en los procesos de validación y calibración. En ambos modelos destaca el periodo de estiaje con una mejor predicción, época relevante para este estudio por su relación con la gestión hídrica.

Las curvas de duración de caudales representan gráficamente la frecuencia hidrológica acumulada (Figura 35). El modelo GR2M y WEAP generan caudales menores a los caudales estimados con IDW, información que coincide con el hidrograma anterior (Figura 34), en el cual WEAP subestima más los caudales, generando registros hidrológicos menores.

En los tres casos presentados, los mayores caudales tienen bajas probabilidades de excedencia y se desarrollan en periodos cortos debido a su pendiente inicial, en contraste con los caudales mínimos (Tabla 19).

El caudal promedio para flujos elevados, percentil 25%, presenta mayor dispersión en los valores, siendo $1.1\text{m}^3/\text{s}$ el menor caudal obtenido con WEAP. El caudal medio promedio es $0.75\text{m}^3/\text{s}$; a partir de esta probabilidad, las tres curvas mantienen una trayectoria casi idéntica, como se muestra en el percentil 75%, que representa el caudal promedio de flujos bajos.

Figura 35. Curvas de persistencia de los caudales estimados

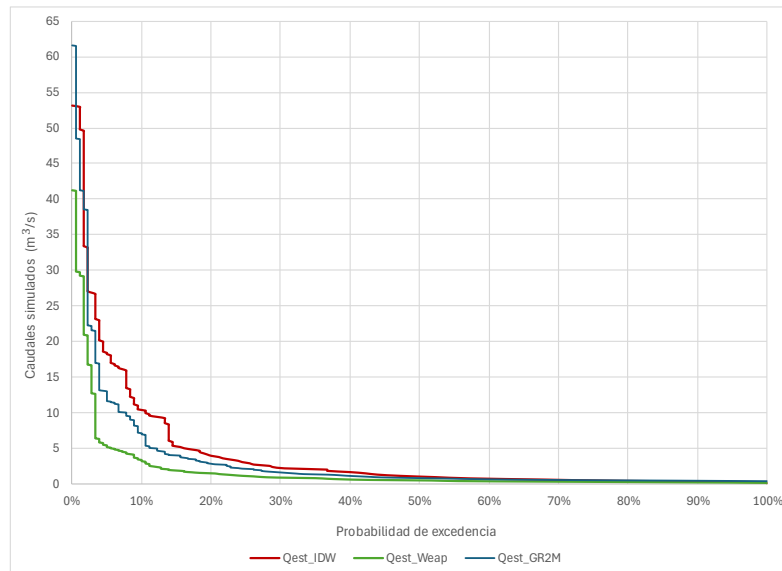


Tabla 19. *Percentiles según curva de duración*

Percentil	Qest_IDW	Qest_GR2M	Qest_WEAP
75%	0.2	0.5	0.3
50%	0.8	0.8	0.5
25%	2.7	2.0	1.1

5.4 Análisis de resultados

Las métricas evaluadas generan resultados favorables en los procesos de calibración y validación (Tabla 20), teniendo en cuenta que en el periodo hidrológico (1976 - 1990) se han presentado varios fenómenos climáticos, siendo el más extremo el fenómeno El Niño de 1982 - 1983.

Por lo tanto, se puede afirmar que los modelos hidrológicos corroboran que los caudales calculados con el método IDW son adecuados y simulan bien a los caudales observados de la subcuenca Carneros no aforada.

Tabla 20. *Valores de los índices de evaluación*

Modelo	calibración (1972 -1983)				validación (1984 - 1990)				validación (1972 - 1990)			
	NASH	Ajuste	R	Ajuste	NASH	Ajuste	R	Ajuste	NASH	Ajuste	R ²	Ajuste
GR2M	0.91	excelenete	0.92	muy bueno	0.52	bueno	0.68	aceptable	0.84	excelente	0.87	bueno
WEAP	0.77	muy bueno	0.94	muy bueno	0.20	satisfactorio	0.74	aceptable	0.68	muy bueno	0.87	bueno

Considerando que los resultados hidrológicos obtenidos son teóricos, se aplicó el método área-velocidad (FAO, 1998) para calcular el caudal observado que representa al mes de julio de 2024. La ubicación de la sección aforada se muestra en el Apéndice E.

En la Tabla 21 se compara el caudal observado y los valores de los caudales obtenidos a partir de los modelos hidrológicos. En los resultados se destaca el modelo WEAP, cuyo sistema integra varios factores del ciclo hidrológico que permiten modelar de forma más realista los caudales.

Tabla 21. *Valores de los caudales (m³/s)*

	Observado	GR2M	WEAP
Caudal (m /s)	0.22	0.54	0.25

Es importante mencionar que la subcuenca Carneros presenta caudales pese a la baja precipitación registrada en julio de 2024. Por esta razón se entiende que el flujo base en dicho cauce recibe aportes de las aguas de riego y drenaje agrícola.

Capítulo 6

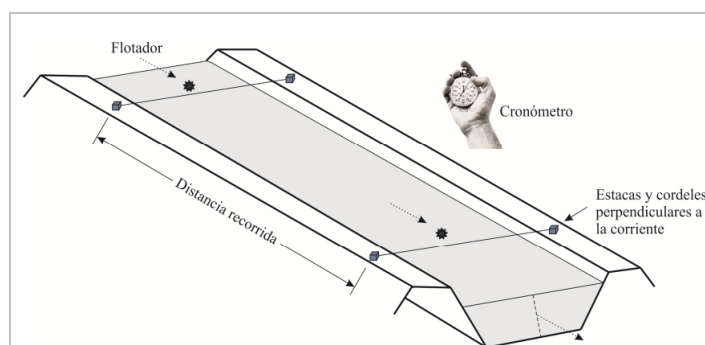
Propuesta teórica de un método para calcular caudales en la subcuenca Carneros

La mejor forma de comprobar la eficiencia del método de regionalización es empleando los datos hidrológicos observados de la cuenca. Debido a que la subcuenca Carneros no está aforada, se plantea teóricamente un método hidrométrico adaptado a la subcuenca en estudio, cuyos resultados permitan validar los caudales estimados con la interpolación IDW y que pueda ser implementado en investigaciones posteriores.

En la literatura existen diversos métodos hidrométricos; para su selección se considera la finalidad del estudio, que se enfoca en la gestión del recurso hídrico, las características de la cuenca, las condiciones hidrológicas y los recursos disponibles. Optando por el método de sección-velocidad, por tener una aplicación sencilla, rápida y porque no necesita alterar el flujo hídrico (Rodríguez, 1990). Este método basado en la ecuación de continuidad requiere calcular el área de la sección transversal de la corriente y la velocidad de dicho flujo.

La medición de la velocidad se obtiene a través del método del flotador (Figura 36), por ser un método conveniente en condiciones de campo. El método comienza seleccionando un tramo del cauce que debe ser, en lo posible, recto y de sección constante, para luego medir la distancia entre el punto inicial y final de dicho tramo. Se realizan como mínimo tres repeticiones por medición, tomando como resultado final el promedio de los valores para mitigar los errores (Fernández *et al.*, 2016; SENAMHI, 2018). Con la finalidad de mejorar una de las etapas del método área-velocidad, Clasing *et al.* (2017) determina que el tiempo óptimo para realizar una medición puntual de la velocidad en aforos es de 20 segundos.

Figura 36. Medición de la velocidad del flujo



Nota. Tomado de Ortega (2012)

En cada medición se debe registrar el área de flujo debido a los cambios que puede presentar el cauce del río y sus márgenes, por factores como la sedimentación, el incremento de la vegetación y pequeños deslizamientos de tierra. El área de la sección transversal se calcula procesando la información del levantamiento topográfico o fotométrico; este último ha presentado mejores resultados en épocas de estiaje.

El método de aforo del flotador, si bien tiene una exactitud media (FAO, s.f.) carece de precisión porque la geografía e hidráulica son variables para la trayectoria donde se evalúa el método, originando diferentes velocidades para cada plano transversal. Por ello, varios estudios comprueban el método del flotador implementando un correntómetro, este instrumento de mayor precisión ayuda a verificar la confiabilidad de los registros obtenidos (Barreto *et al.*, 2014).

Considerando la geografía plana de la subcuenca Carneros, se selecciona el molinete hidráulico por ser sensible a las velocidades bajas y con alta precisión en flujos bajos y uniformes. Este instrumento cuenta con una curva de calibración única (depende del modelo), que correlaciona el flujo de la corriente y la cantidad de revoluciones de la hélice por unidad de tiempo (Uribe, 2019).

La información hidrológica es fundamental para la gestión del recurso hídrico, principalmente en cuencas que abastecen diferentes infraestructuras (hidráulicas, eléctricas, entre otras). La duración y frecuencia de las operaciones hidrométricas dependen de la cuenca y de la finalidad del proyecto. En el caso de la subcuenca agrícola Carneros se proponen mediciones continuas mensuales durante al menos nueve años, con el propósito de que la información obtenida sea representativa para identificar las variaciones estacionales y se pueda realizar la modelación hidrológica.

Este periodo mínimo de años que se plantea ha tenido buenos resultados en las diversas modelaciones hidrológicas desarrolladas en cuencas que pertenecen a la red hídrica de las cuencas Chira – Piura (Gamero y Sipion, 2022; León *et al.*, 2023; Panta, 2022). Se precisa que, mientras mayor sea la serie temporal que muestren los periodos húmedos y secos, los procesos de modelación serán más eficientes.

Para realizar los aforos, se recomienda considerar la variabilidad hidrológica estacional, ocasionada por la influencia de los fenómenos climáticos, y seguir los lineamientos del Manual de hidrometría del Ministerio del Ambiente para la ejecución de los métodos.

Conclusiones

El presente estudio se enfoca en determinar los caudales de la subcuenca Carneros empleando el método de regionalización: distancia inversa ponderada (IDW). Este instrumento permite transferir información hidrológica de cuencas aforadas a las no aforadas a través de la interpolación multivariante.

La región homogénea determinada, al aplicar los métodos *clusters* de Ward y K-means, está conformada por seis subcuencas geográficamente cercanas que comparten características climáticas, hidrológicas y fisiográficas similares. El análisis *cluster* demuestra una mayor influencia de los parámetros relacionados con el relieve de la subcuenca: área y longitud del cauce, al obtener métricas de evaluación confiables. Destacando el método Ward al representar coherentemente la afinidad hidrológica.

Las subcuencas donantes, determinadas por la región hidrológica, comprueban la efectividad del método IDW mediante la validación cruzada, alcanzando valores superiores a 0.94 al evaluar los índices de Nash-Sutcliffe y el coeficiente de determinación R^2 . La validez del método IDW permite estimar los caudales de la subcuenca Carneros, los cuales siguen la tendencia de precipitación para el periodo analizado (1976 - 1990).

Los modelos hidrológicos son utilizados para comprobar la hipótesis sobre el funcionamiento del sistema hidrológico. El Modelo Global de Escorrentía Mensual (GR2M) y el modelo Water Evaluation and Planning System (WEAP) muestran un desempeño favorable, destacando en el periodo de estiaje con un mejor ajuste. Las métricas evaluadas califican los modelos desde satisfactorio hasta excelente; estos resultados sustentan los caudales calculados a partir del método IDW.

En el caso de WEAP, al ser una herramienta integral, depende de varios parámetros que describen las características del suelo y subsuelo. Dentro de estos parámetros, el coeficiente de cultivo tiene mayor importancia, al tener una alta sensibilidad y por estar relacionado con la agricultura, zona con mayor cobertura vegetal en la subcuenca Carneros.

Buscando verificar los caudales simulados, se desarrolla el método de área-velocidad para calcular el caudal de la subcuenca Carneros que represente al mes de julio de 2024. Su resultado ayudó a realizar un análisis comparativo con los valores generados por los modelos hidrológicos para dicho mes, destacando el modelo WEAP al tener mayor similitud al caudal aforado.

Finalmente, se propone un método hidrométrico sencillo de aplicar y de acuerdo con las características de la subcuenca Carneros, con el cual se puedan verificar en una posterior investigación los caudales estimados con el método IDW.

Recomendaciones

Es importante mencionar la falta de estaciones meteorológicas, hidrométricas y pluviométricas en la zona media de la cuenca del río Piura. Teniendo en cuenta el análisis climático realizado para este estudio, que abarca desde 2016 hasta 2024, la estación más próxima a la subcuenca Carneros se encuentra a 33 km. Además, los registros hidrológicos deben ser validados oportunamente, para poder emplearlos y mantener la validez de los resultados hidrológicos del método aplicado.

Se recomienda evaluar, en investigaciones posteriores, el impacto que podría generar la agricultura en los caudales, con la finalidad de analizar y evaluar si se requiere un reajuste del modelo, debido a la influencia agrícola de la subcuenca Carneros. Se podría considerar el tipo de suelo y las diferentes coberturas vegetales para generar las regiones homogéneas. Además, se sugiere evaluar el aporte del drenaje agrícola a la subcuenca en estudio para mejorar la gestión del recurso hídrico.



Referencias

- Acuña Azarte, J., Sánchez Bernardo, T. (2016). *Caracterización hidrológica de los distritos de Pampas y Santiago de Tucuma*. Repositorio institucional del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)
- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA). (2024). *Proyecto de predicción de los recursos energéticos mundiales (POWER)*. Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/>
- Álvares Olguín, G., Hotait Salas, N y Sustaita Rivera, F. (2009). *Identificación de regiones hidrológicas homogéneas mediante análisis multivariado*. Ingeniería Investigación y Tecnología, vol. XII
- Amat Rodrigo, J (2020). *Clustering con Python*. disponible con licencia CC BY-NC-SA 4.0.
- Arboleda, J., Felipe, O. y Yerrén, J. (2018). *Manual de Hidrometría*. Ministerio del Ambiente - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00701SENA-924.pdf>
- Autoridad Nacional de Agua. (s.f.). *Información básica de la cuenca Chira* . Obtenido de https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/Capitulo%202_0.pdf
- Autoridades Administrativas del Agua. (2015). *Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Piura*. Ministerio de Agricultura y Riego. Obtenido de <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2031>
- Autoridades Administrativas del Agua (2013). *Recursos hídricos del Perú*. Depósito legal de la Biblioteca Nacional del Perú.
- Banco Central de Reserva del Perú. (2008). *Potencialidades productivas*. Obtenido de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Proyeccion-Institucional/Encuentros-Regionales/2008/Piura/Informe-Economico-Social/IES-Piura-03.pdf>
- Biodiversidad Mexicana. (10 de junio de 2022). *Biodiversidad Mexicana*. Obtenido de <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/ecosismex/rios-y-lagos>
- Bravo Cubas, D. (2024). *Variaciones en las regiones hidrológicamente homogéneas por cambio climático en la cuenca del río Piura mediante análisis clúster*. Repositorio de la Universidad de Piura
- Breña, A. y Jacobo, M. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial* . Universidad Autónoma Metropolitana
- Bugña Hernández, N. (2019). *Aplicación de modelos hidrológicos para la estimación de caudales mensuales en la subcuenca del río Bigote*. [Máster en Ingeniería Civil con Mención en Recursos Hídricos, Universidad de Piura]. Repositorio institucional de la Universidad de Piura. <https://hdl.handle.net/11042/4016>

- Camino, M. A., Bó, M. J., Cionchi, J. L., Del Río, J. L., López de Armentia, A., De Marco, S. G. (2018). *Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina)*. Revista Universitaria de Geografía, vol. 27
- Castro Heredia, L. (2012). *Análisis clúster como técnica de análisis exploratorio de registros múltiples en datos meteorológicos*. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente.
- Chávez Jiménez, A. (2009). *Aplicación del método de regionalización para la determinación de caudales en el puente Carrasquillo*. [Máster en Ingeniería Civil con Mención en Recursos Hídricos, Universidad de Piura]. Repositorio institucional de la Universidad de Piura. <https://hdl.handle.net/11042/1858>
- Chavez Jiménez, A., Farias de Reyes, M., Sordo-Ward, A. y Gonzalez-Zeas, D. (2016). Efecto del fenómeno el niño en el comportamiento hidrológico de la cuenca alta del Piura. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/320444710_efecto_del_fenomeno_el_ni_no_en_el_comportamiento_hidrologico_de_la_cuenca_alta_del_piura?enrichid=rgreq-61818717009c1b616deba73d04e23c3f-xxx&enrichsource=y292zxjqywdlozmymdq0ndcxmdtbuzo1nta0mdezodq4otq0nj
- Clasing, R. y Muñoz, E. (2017). *Cálculo del tiempo óptimo de medición de velocidad para la realización de aforos mediante un análisis de incertidumbre*. Asociación Internacional de Ingeniería e Investigación Hidroambiental.
- Coulibaly, P. y Razavi, T. (2013). *Predicción del caudal en cuencas no aforadas: revisión de los métodos de regionalización*. Journal of Hydrologic Engineering. 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000690
- Franchini, M. y Suppo, M. (1996). *Análisis regional de curvas de duración de flujo para una región de piedra caliza*. Gestión de los recursos hídricos. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/BF00424203>
- Gallardo, J. G. (1994). *Técnicas de Análisis de datos multivariable*. Tratamiento computacional. Obtenido de <https://www.ugr.es/~gallardo/pdf/cluster-3.pdf>
- Gamero Correa, O. A. y Sipion Barrientos, D. E. (2022). *Estimación de caudales mensuales de la subcuenca Charanal a través de modelos hidrológicos*. [Tesis para optar el título de ingeniería civil, Universidad de Piura]. Repositorio institucional de la Universidad de Piura. <https://hdl.handle.net/11042/5658>
- Garzón Heydt, G. y Potenciano de las Heras, A. (2005). *Parámetros geomorfológicos y regresión múltiple en el comportamiento hidrológico de caudales en las cuencas altas de los ríos Tajo y Guadiana*.
- Giraldo, F., Gomez, J. y León, E. (2013). *Caracterización de flujos de datos usando algoritmos de agrupamiento*. Tecnura, vol. 17.
- Gobierno regional de Piura. (2015). *Caracterización socioeconómica del distrito de Sullana*. Obtenido de

https://www.regionpiura.gob.pe/dir_euroecotraden/documentos/memorias/sullana/socio_economico_sullana.pdf

- Hafiz Waseem Sajjad, M. W. (2024). *Estimación de la curva de duración del caudal en una cuenca no aforada utilizando métodos de regionalización*. Research Square. 10.21203/rs.3.rs-4185382/v1
- Horton, R. (1932). *Características de la cuenca de drenaje*. Transacciones Unión Geofísica Americana
- Instituto Geofísico del Perú. (2022). *Análisis y evaluación histórica del fenómeno el niño en Lima metropolitana: un aporte a la gestión del riesgo de desastres*. Lima. Obtenido de https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/14490_analisis-y-evaluacion-historica-del-fenomeno-el-nino-en-lima-metropolitana-un-aporte-a-la-gestion-del-riesgo-de-desastres-informe-tecnico-n0027-2022ig.pdf
- Instituto geológico minero y metalúrgico. (1994). *Estudio geodinámico de la cuenca del río Piura*. Piura: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/255>
- Instituto Peruano de Economía (IPE). (26 de noviembre de 2021). *Instituto Peruano de Economía (IPE)*. Obtenido de <https://www.ipe.org.pe/portal/indice-de-desarrollo-humano-idh/>
- Lespinas, F., Heussner, S. y Ludwig, W. (2014). *Hydrological and climatic uncertainties associated with modeling the impact of climate change on water resources of small Mediterranean coastal rivers*. *Journal of Hydrology*. 511. 403–422. Obtenido de 10.1016/j.jhydrol.2014.01.033.
- Llauca, H. (2019). *Modelamiento hidrológico a paso mensual para el monitoreo de sequías hidrológicas en cuencas de la vertiente del Pacífico y del Titicaca*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI. Dirección de hidrología. Lumbreras.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2021). *Ficha de requerimientos agroecológicos - Mango*. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4635544/Ficha%20de%20requerimientos%20agroecol%C3%B3gicos%3A%20Mango.pdf?v=1685570942>
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2017). *Mapa vial del distrito La Lomas*. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/Mapas%20Distritales/Piura/PI_200111%20LAS%20LOMAS.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Mapa de probabilidad de peligro por inundaciones*. Lima. Obtenido de <https://siar.regionpiura.gob.pe/documentos/mapas/2644.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2018). *Definiciones conceptuales de los ecosistemas del Perú*. Repositorio de Sistema Nacional de Información Ambiental.

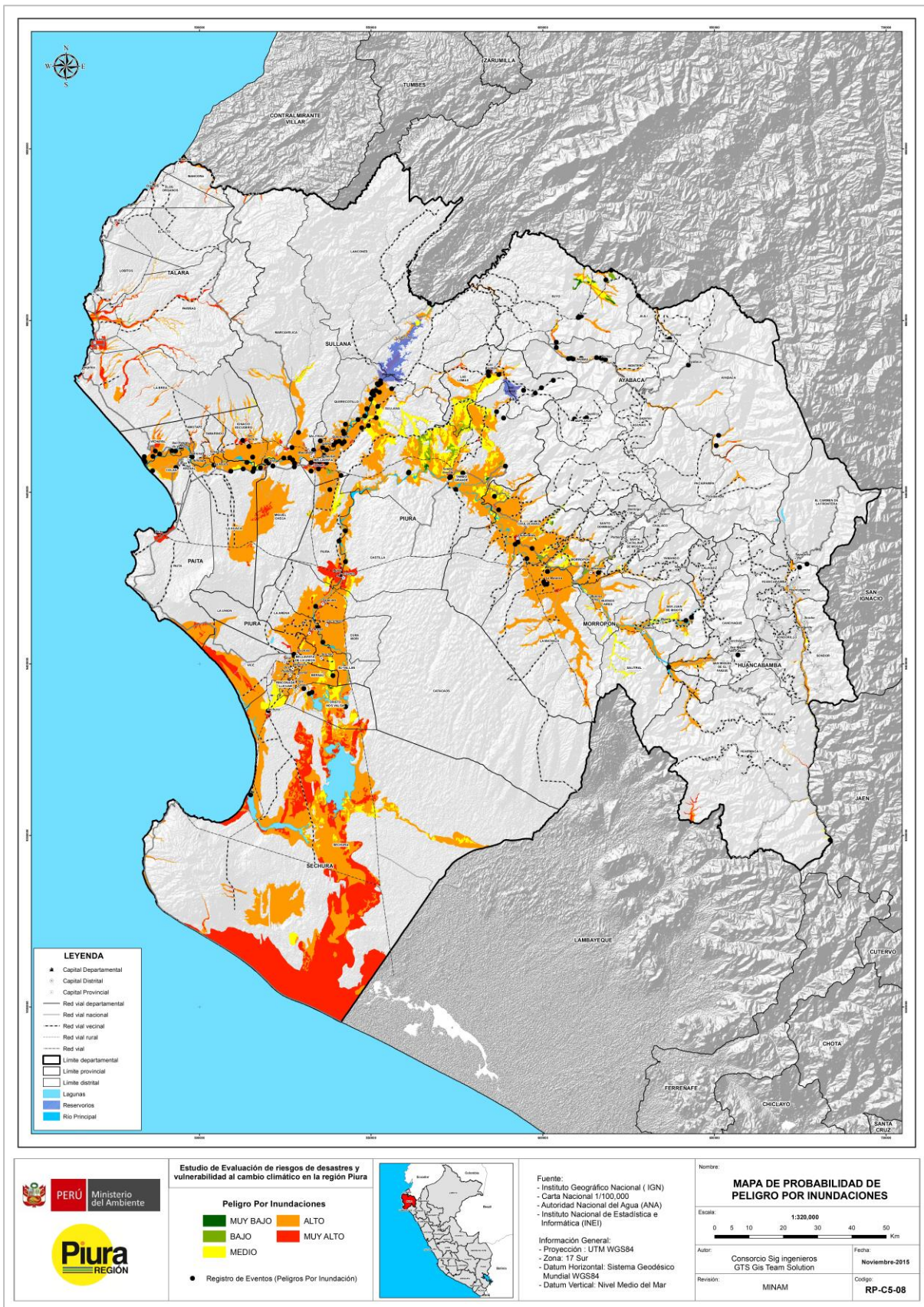
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Guía de evaluación del estado de ecosistemas de bosque seco: Bosque estacionalmente seco de llanura y bosque estacionalmente seco de colina y montaña*. Ministerio del Ambiente
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal - Memoria descriptiva*. Lima Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento de Patrimonio Natural. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/mapa-nacional-de-cobertura-vegetal-final.compressed.pdf>
- Ministerios de Salud. (2023). *Vigilancia Epidemiológica post desborde de Río: Distrito de Tambogrande*. Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades. Ministerios de Salud. Obtenido de <https://www.dge.gob.pe/portalnuevo/wp-content/uploads/2020/04/sala-post-desastre-diaria-25-marzo-2023-srslcc.pdf>
- Muhmud, S., Sumana, F., Mohsin, Md y Khan, Md. (2021). *Redefinición de regiones climáticas homogéneas en Bangladesh mediante métodos de agrupamiento multivariado*. Licenciado por CC BY 4.0
- Municipalidad Distrital de Tambogrande. (2018). *Plan de prevención y reducción de riesgos de desastres 2018-2021*. Obtenido de https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/6210_plan-de-prevencion-y-reduccion-del-riesgo-de-desastres-2018-2021-distrito-tambogrande.pdf
- Municipalidad Distrital de Tambogrande CODISEC-Tambogrande. (2023). *Plan de acción distrital de seguridad ciudadana*. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6637573/5770993-propuesta-de-plan-de-accion-2023.pdf>
- Municipalidad Provincial de Piura. (2021). *Compendio estadístico provincial de Piura*. Obtenido de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3919621/compendio_estadistico_provincial_2021.pdf
- Ochoa Tocachi, B., Cuadros Adriazola, J., Arapa, E., Aste, N., Ochoa Tocachi, E. y Bonnesoeur, V. (2022). *Guía de modelación hidrológica para la infraestructura natural*. Forest Trends.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1998). *Manual de Hidrología: Medición de caudales en ríos*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/t0848s/t0848s06.htm>
- Ortiz Vera, O. (2004). *Evaluación hidrológica. HIDRORED-Red latinoamericana de micro hidroenergía*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/326149438/hidrored-generacion-caudales>
- Panta Montero, N. F. (2022). *Estimación de Caudales mensuales en 3 subcuencas del río Piura mediante el modelo hidrológico de WEAP*. [Tesis para optar el título de

- ingeniería civil, Universidad de Piura]. Repositorio institucional de la Universidad de Piura. <https://hdl.handle.net/11042/5894>
- Paris, M. del C. y Zucarelli, G. (2015). *Regionalización de caudales. Propuesta metodológica para la identificación de regiones homogéneas*. Tecnología y Ciencias del Agua, 19(4), 5–19.
- Peña, D. (2002). *Análisis de Datos Multivariantes*. Mc Graw - Hill. España.
- Plazas Niño, F. (2021). *Introducción al análisis clúster: una aplicación en la clasificación de campos petroleros*.
- Randriamihamison, N., Vialaneix, N y Neuvial, P. (2021). *Aplicabilidad e interpretabilidad del agrupamiento aglomerativo jerárquico de Ward con o sin restricciones de contigüidad*. Journal of Classification, vol 38 , 363–389.
- Real Academia Española. (1887). Hidrología. *Diccionario general etimológico de la lengua española (1^{er} tomo)*. Faquinetto, J. Madrid.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2004). *Balace hídrico superficial cuenca del río Chicama*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/docTec-2013-senamhi.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2016). *Caracterización y escenarios climáticos de la región Piura*. Obtenido de <https://siar.regionpiura.gob.pe/documentos/normativa/2584.pdf>
- Soria, F. (2016). *Guía para la elaboración de balances hídricos superficiales*. Ministerio del Medio Ambiente y Agua.
- Sposito, O., Bossero, Julio., Ledesma, Viviana., Matteo, Lorena y Quevedo, Juan (2024). *Estudio Comparativo entre Algoritmos Particionados aplicado en un Modelo de Espacio Vectorial*. Revista Electrónica del Instituto de Tecnología Aplicada de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral.
- Trasmonte, G. y Silva, Y. (2008). *Evento La Niña: propuesta de definición y clasificación según las anomalías de temperatura de la superficie del mar el área Niño 12*. Instituto del Mar del Perú.
- Tucci, C., Silveira, A., Sanchez, J. y Albuquerque, F. (1995). Flow regionalization in the upper Paraguay basin, Brazil. *Hydrological Sciences Journal*, 40(4), 485–497.
- Universidad de Valencia (s.f.). *Métodos de análisis clusters*

Anexos



Anexo A: Mapa de probabilidad de peligro por inundaciones del departamento de Piura



Nota. Obtenido del Estudio de evaluación de riesgos de desastres y vulnerabilidad al cambio climático en la región Piura, por el Ministerio del Ambiente, 2015.

Apéndices



Apéndice A: Estimación de registros climáticos

Los datos faltantes de los registros climáticos fueron estimados con el método de la recta de regresión. Antes de la aplicación del método, se realizó un análisis de correlación, considerando valores superiores a 0.73 de coeficiente de correlación como criterio de selección.

El producto grillado PISCO que pertenece a SENAMHI ha sido útil al completar la información de temperatura y precipitación. Se utilizó la data estable que ofrece PISCO para el periodo de 1981 a 2016, pero en el caso de la precipitación se utilizó también la data inestable del periodo de 2017 a 2023.

En las tablas A.1, A.2 y A.3 se muestran los valores de los coeficientes de correlación obtenidos para la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, respectivamente.

Tabla A.1. *Tabla de coeficientes de correlación para la precipitación*

	Sausal de						Hacienda						
	Lancones	Mallares	Sapillica	Chulucanas	Ayabaca	Culucan	San Pedro	Morropon	Bigote	Pangana	San Miguel	Bernal	Chusis
Lancones	0.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mallares	-	0.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sapillica	-	-	0.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chulucanas	-	-	-	0.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ayabaca	-	-	-	-	0.98	-	-	-	-	-	-	-	-
Sausal de Culucan	-	-	-	-	-	0.98	-	-	-	-	-	-	-
San Pedro	-	-	-	-	-	-	0.99	-	-	-	-	-	-
Morropon	-	-	-	-	-	-	-	0.78	-	-	-	-	-
Hacienda Bigote	-	-	-	-	-	-	-	-	0.93	-	-	-	-
Pangana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.93	-	-	-
San Miguel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.73	-	-
Bernal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.95	-
Chusis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.55

En el caso de la estación Chusis, al presentar una baja correlación con la data de PISCO, se optó por completar sus datos con la estación Bernal, que tiene una correlación de 0.96. La estación San Miguel es la única que se trabaja con coeficiente de correlación de 0.73.

Tabla A.2. *Tabla de coeficientes de correlación para la temperatura máxima*

	Lancones	Mallares	Miraflores	Chulucanas	Ayabaca	Sausal de C	Morropon	La Esperanza	San Miguel	Bernal	Chusis
Lancones	1.000	0.999	0.999	0.998	0.988	0.993	0.998	0.998	0.998	0.999	0.998
Mallares	0.999	1.000	0.996	0.998	0.987	0.993	0.997	0.998	0.999	0.999	0.998
Miraflores	0.999	0.996	1.000	0.994	0.981	0.988	0.994	0.995	0.996	0.998	0.996
Chulucanas	0.998	0.998	0.994	1.000	0.992	0.997	1.000	0.994	0.996	0.996	0.994
Ayabaca	0.988	0.987	0.981	0.992	1.000	0.998	0.993	0.983	0.984	0.982	0.981
Sausal de Culucan	0.993	0.993	0.988	0.997	0.998	1.000	0.997	0.989	0.990	0.989	0.988
Morropon	0.998	0.997	0.994	1.000	0.993	0.997	1.000	0.994	0.996	0.995	0.994
La Esperanza	0.998	0.998	0.995	0.994	0.983	0.989	0.994	1.000	0.998	0.999	0.999
San Miguel	0.998	0.999	0.996	0.996	0.984	0.990	0.996	0.998	1.000	1.000	0.999
Bernal	0.999	0.999	0.998	0.996	0.982	0.989	0.995	0.999	1.000	1.000	1.000
Chusis	0.998	0.998	0.996	0.994	0.981	0.988	0.994	0.999	0.999	1.000	1.000

Tabla A.3. *Tabla de coeficientes de correlación para la temperatura mínima*

	Lancones	Mallares	Miraflores	Chulucanas	Ayabaca	Sausal de Cu	Morropon	La Esperanza	San Miguel	Bernal	Chusis
Lancones	1.0000	0.996	0.997	0.996	0.987	0.991	0.996	0.997	0.996	0.997	0.996
Mallares	0.9964	1.000	0.996	0.999	0.987	0.995	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
Miraflores	0.9965	0.996	1.000	0.994	0.982	0.994	0.996	0.996	0.996	0.998	0.996
Chulucanas	0.9959	0.999	0.000	1.000	0.984	0.992	0.999	0.998	0.999	0.993	0.998
Ayabaca	0.9871	0.987	0.982	0.984	1.000	0.994	0.985	0.987	0.985	0.990	0.984
Sausal de Culucan	0.9910	0.995	0.994	0.992	0.994	1.000	0.993	0.995	0.994	0.993	0.993
Morropon	0.9961	0.999	0.996	0.999	0.985	0.993	1.000	0.999	0.999	0.999	0.998
La Esperanza	0.9967	0.999	0.996	0.998	0.987	0.995	0.999	1.000	0.999	0.999	0.999
San Miguel	0.9964	0.999	0.996	0.999	0.985	0.994	0.999	0.999	1.000	1.000	0.999
Bernal	0.9966	0.999	0.998	0.999	0.990	0.993	0.999	0.999	1.000	1.000	1.000
Chusis	0.9962	0.999	0.996	0.998	0.984	0.993	0.998	0.999	0.999	1.000	1.000

En las tablas A.4 - A.6 se presentan los resultados de aplicar el método de regresión a las diferentes estaciones meteorológicas para las variables de precipitación y temperatura máxima y mínima.

Tabla A.4. Registros completos de la precipitación mensual

AÑO	Lancones	Mallares	Chulucanas	Sapillica	Ayabaca	Sausal de Culucan	San pedro	Morropon	Hacienda Bigote	Pangana	San Miguel	Chusis	Bernal
Ene-16	15.89	3.32	74.00	145.67	197.93	64.18	122.71	69.01	105.55	6.71	5.77	1.20	7.84
Feb-16	153.10	80.32	165.23	148.95	224.03	71.48	216.97	142.17	143.53	123.83	31.61	10.10	39.76
Mar-16	217.39	184.05	165.18	240.21	284.72	86.68	130.94	194.96	136.27	273.06	54.94	4.60	25.69
Abr-16	35.22	13.01	50.18	138.26	247.97	65.69	120.81	55.41	112.81	27.74	6.35	0.00	1.95
May-16	0.03	0.00	0.08	7.62	99.56	24.45	0.97	1.55	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00
Jun-16	1.38	2.02	1.70	5.02	51.61	14.57	4.69	1.91	1.13	1.06	0.64	0.80	0.11
Jul-16	0.04	0.00	0.14	0.64	2.26	0.71	0.43	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ago-16	0.00	0.00	0.00	0.44	1.50	0.24	0.16	0.19	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
set-16	0.00	0.58	0.65	9.67	25.57	8.05	2.38	2.36	4.95	0.00	0.07	0.00	0.00
Oct-16	0.00	0.00	0.15	1.20	5.20	0.85	0.36	0.47	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00
Nov-16	0.00	0.00	0.00	3.53	26.26	6.91	0.36	0.24	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00
Dic-16	0.00	1.11	3.34	28.88	99.64	28.19	11.66	9.41	7.49	0.38	0.55	0.00	0.42
Ene-17	54.51	12.30	89.73	174.83	182.88	63.60	161.69	139.21	135.70	49.33	84.00	13.70	35.09
Feb-17	322.52	166.90	145.34	243.39	335.14	129.52	306.93	136.35	8.87	272.66	86.10	24.70	54.27
Mar-17	590.45	441.50	935.94	568.13	709.46	199.34	1191.64	791.78	649.99	900.41	501.00	610.30	9.53
Abr-17	17.22	10.60	43.01	123.34	288.35	63.37	99.66	55.82	80.49	3.54	1.70	3.00	3.16
May-17	5.20	5.60	13.05	67.29	98.07	34.42	45.95	26.03	20.68	1.21	2.80	1.50	2.25
Jun-17	0.00	0.00	0.00	0.27	1.27	0.03	0.15	0.43	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
Jul-17	0.00	0.50	0.00	0.16	0.60	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
Ago-17	0.05	0.20	1.90	12.97	15.88	11.12	5.28	2.08	1.88	0.00	0.00	0.00	1.50
set-17	0.00	0.00	0.38	1.45	9.26	3.95	1.28	1.40	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00
Oct-17	0.00	0.20	0.60	11.02	40.51	13.26	2.45	1.30	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00
Nov-17	0.00	0.50	0.00	6.44	37.59	14.46	0.75	0.37	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00
Dic-17	0.00	0.00	1.81	29.85	82.29	30.21	11.44	10.13	6.42	0.00	0.00	0.00	0.00
Ene-18	4.48	1.90	8.90	72.00	144.44	35.86	21.25	30.57	20.49	3.61	0.00	0.00	0.00
Feb-18	8.90	3.10	12.52	40.20	113.44	26.34	23.70	28.79	30.19	8.08	0.00	0.40	1.60
Mar-18	0.43	0.00	2.30	99.67	169.53	44.90	3.78	14.56	9.17	1.83	0.00	0.50	0.00
Abr-18	40.76	17.50	66.55	105.38	189.69	36.40	59.60	46.29	159.50	16.18	7.20	4.50	3.70
May-18	3.56	0.80	3.12	31.04	202.19	68.20	6.88	6.11	4.16	2.91	3.50	1.60	1.30
Jun-18	0.00	0.00	0.00	0.35	2.46	0.00	0.15	0.17	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00
Jul-18	0.00	0.00	0.03	0.10	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ago-18	0.34	0.00	0.15	0.20	0.67	0.00	1.08	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
set-18	0.00	0.00	0.06	0.00	4.94	1.40	0.21	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Oct-18	0.00	0.00	0.10	0.00	43.90	0.10	0.56	0.44	0.80	0.00	1.20	0.00	0.40
Nov-18	0.38	0.10	7.92	32.90	135.10	71.10	12.49	3.31	9.20	0.24	0.00	0.00	1.30
Dic-18	0.00	1.10	0.32	67.40	277.00	31.50	1.25	1.92	4.00	0.00	2.20	1.00	2.00
Ene-19	2.49	0.40	5.18	76.80	161.70	39.80	13.75	21.22	52.40	3.29	0.00	0.00	0.10
Feb-19	179.07	39.20	365.83	193.60	457.00	78.00	412.40	361.71	180.80	191.70	33.30	16.90	18.60
Mar-19	36.44	10.20	32.50	111.10	277.90	83.20	78.64	108.92	23.00	23.70	4.90	3.60	4.20
Abr-19	14.48	0.20	24.27	103.21	348.20	81.40	44.57	34.73	2.00	0.00	0.00	0.00	0.40
May-19	0.30	0.20	0.60	25.12	76.10	22.10	2.54	3.60	1.68	0.00	0.00	0.00	0.20
Jun-19	0.10	0.30	2.00	1.56	6.20	1.40	0.39	0.00	1.30	0.00	0.80	0.00	2.00
Jul-19	0.00	0.70	0.80	3.90	2.90	5.30	1.34	0.10	0.10	0.07	0.00	0.00	0.30
Ago-19	0.00	0.00	0.00	0.10	1.60	15.60	0.48	0.10	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00
set-19	0.00	0.00	0.00	0.10	0.70	0.00	0.12	0.20	0.50	0.00	0.01	0.00	0.00
Oct-19	0.10	0.00	2.90	3.90	121.30	19.50	2.57	2.20	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Nov-19	0.90	0.00	0.20	5.30	54.30	10.70	1.38	2.60	1.80	0.28	3.40	0.00	0.80
Dic-19	4.10	5.40	19.50	60.70	165.80	55.50	25.99	6.10	9.80	5.95	23.30	3.00	7.80
Ene-20	0.70	0.00	5.00	37.40	83.70	9.90	11.58	3.90	21.90	4.29	0.00	0.40	0.40
Feb-20	9.30	3.70	7.30	112.00	207.90	46.00	26.20	9.80	46.20	14.90	0.00	0.00	0.00
Mar-20	7.00	1.00	12.90	35.00	211.00	15.50	78.71	6.00	10.60	28.77	1.85	1.19	0.00
Abr-20	13.30	0.07	13.50	92.60	213.70	60.10	140.72	7.80	72.00	2.27	24.47	8.26	8.50
May-20	0.70	0.36	1.10	29.90	101.80	22.70	28.36	0.50	11.30	1.04	15.90	2.03	1.00
Jun-20	0.50	0.08	0.10	11.80	39.40	18.00	0.48	0.10	0.10	0.00	1.46	1.28	0.10
Jul-20	0.50	0.03	5.20	1.80	44.30	3.40	1.02	0.40	0.50	0.80	0.33	2.60	1.00
Ago-20	0.00	2.65	0.00	0.00	0.20	0.00	0.34	0.00	0.80	0.09	0.23	0.00	0.00
set-20	0.10	0.00	0.00	0.80	9.80	1.70	0.69	0.00	0.30	0.00	0.05	0.00	0.00
Oct-20	0.30	0.03	0.70	1.00	15.00	7.70	1.06	1.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.10
Nov-20	0.40	0.84	4.50	8.10	45.90	17.90	3.85	7.00	4.20	0.54	0.61	0.30	1.30
Dic-20	9.10	13.87	4.30	35.30	270.10	100.10	22.55	9.20	10.20	9.30	4.57	4.90	7.20
Ene-21	0.70	2.78	5.90	106.60	255.40	73.40	21.35	20.50	25.70	5.30	3.08	0.00	2.80
Feb-21	0.10	1.16	0.50	1.00	84.50	14.80	17.53	2.80	47.10	1.86	0.34	1.20	0.20
Mar-21	189.60	83.15	191.10	0.30	439.40	107.70	403.35	140.10	171.20	188.30	53.73	5.40	15.08
Abr-21	11.60	7.70	3.70	0.00	183.30	85.30	37.56	21.60	40.19	26.60	2.79	0.00	0.80
May-21	0.10	0.59	0.10	21.31	105.30	22.70	3.59	2.00	6.12	1.70	0.80	1.30	2.90
Jun-21	0.10	0.12	0.00	5.73	56.80	6.70	1.27	1.50	1.43	0.80	0.64	5.60	1.60
Jul-21	0.20	2.85	0.70	4.87	27.10	15.00	7.04	2.70	0.91	3.30	0.75	0.00	0.00
Ago-21	0.30	0.04	0.00	1.72	14.90	0.00	0.54	0.10	0.71	0.00	0.14	1.10	0.80
set-21	0.00	0.00	0.00	0.96	3.80	0.00	0.57	0.10	1.08	0.30	0.09	0.00	0.40
Oct-21	0.00	1.31	2.10	13.10	36.60	11.30	5.84	0.50	6.85	2.30	0.84	2.80	2.56
Nov-21	0.20	0.73	0.10	15.26	10.50	28.10	6.41	4.40	6.20	0.40	0.63	0.00	0.00
Dic-21	9.60	6.63	8.70	29.90	72.70	24.10	29.34	15.50	19.40	4.20	2.81	0.00	6.00
Ene-22	0.30	1.00	2.00	1.10	63.40	33.70	8.15	3.20	7.60	1.10	1.06	0.00	0.00
Feb-22	1.70	0.60	3.90	48.29	204.40	80.50	25.21	14.60	22.50	3.60	1.63	0.00	3.00
Mar-22	10.40	0.00	35.80	222.05	551.60	127.80	137.28	98.30	213.90	25.80	12.29	3.80	2.80
Abr-22	1.80	0.00	1.20	0.00	253.10	50.70	10.50	4.00	8.10	3.80	0.42	0.00	0.00
May-22	0.10	0.00	0.00	0.20	89.50	9.00	1.84	0.00	1.10	1.00	0.00	0.00	0.30
Jun-22	1.30	0.00	0.70	4.60	69.60	9.30	1.41	1.80	3.60	0.80	0.00	0.00	0.10
Jul-22	0.00	0.00	0.00	4.00	49.90	6.00	4.41	0.00	0.90	0.30	0.00	0.00	0.00
Ago-22	0.00	0.00	0.00	2.60	7.10	7.40	0.80	2.80	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00
set-22	0.00	0.00	0.00	0.00	9.10	0.00	0.51	0.10	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
Oct-22	0.10	0.00	2.50	6.30	38.30	27.50	2.82	1.30	2.00	0.30	0.00	0.10	0.00
Nov-22	0.80	0.20	0.30	2.00	7.80	2.60	1.11	0.20	0.00	0.50	0.80	0.00	2.60
Dic-22	1.00	0.30	1.00	22.90	0.00	24.50	6.66	0.70	7.00	0.00	1.90	0.00	3.46
Ene-23	0.00	0.00	1.20	35.70	82.94	37.80	22.04	5.60	24.00	0.21	0.00	0.00	0.30
Feb-23	82.30	34.60	52.50	160.00	171.53	29.50	140.19	70.80	85.10	161.40	24.20	0.00	14.20
Mar-23	291.70	190.29	336.20	209.60	485.72	143.70	789.24	587.40	393.70	215.90	128.80	121.20	87.37
Abr-23	191.23	286.30	661.70	435.10	33.38	112.90	31.26	391.00	403.40	267.90	181.60	100.80	129.40
May-23	1.70												

Tabla A.5. Registros completos de la temperatura máxima mensual

Año	Lancones	Mallares	Miraflores	Chulucanas	Ayabaca	Sausal de Culucan	Morropon	La Esperanza	San Miguel	Bernal	Chusis
Ene-16	34.8	34.8	33.1	34.8	18.4	29.5	33.8	31.4	33.9	33.4	32.6
Feb-16	33.1	35.5	32.0	33.7	17.5	28.2	32.3	32.2	34.7	34.3	33.5
Mar-16	33.6	35.4	32.8	34.1	18.5	29.4	32.8	32.2	34.8	33.7	33.5
Abr-16	33.8	34.7	32.8	34.2	18.6	29.5	32.9	31.4	33.4	32.7	32.2
May-16	33.0	33.9	32.9	33.7	19.1	30.1	33.9	30.6	31.9	31.0	30.9
Jun-16	31.2	32.0	30.8	32.1	18.5	29.2	31.9	28.9	30.5	29.7	28.8
Jul-16	30.9	31.0	30.8	32.3	18.7	29.9	31.9	27.8	29.8	28.7	27.9
Ago-16	31.1	30.9	30.8	32.9	19.0	30.7	32.5	27.1	29.6	29.0	27.3
set-16	32.0	31.8	30.4	33.8	18.3	30.4	33.5	27.4	30.1	29.4	28.2
Oct-16	32.2	31.9	31.5	34.7	18.7	30.3	33.6	27.0	30.1	29.3	28.2
Nov-16	33.7	32.8	32.5	34.6	19.1	30.9	34.5	28.3	31.3	30.6	29.2
Dic-16	33.8	33.7	31.8	34.5	17.6	29.0	34.6	29.6	32.9	32.2	31.0
Ene-17	34.6	35.3	34.5	34.1	16.7	28.6	28.6	31.1	35.4	33.8	33.6
Feb-17	34.1	34.7	33.7	33.3	16.9	28.9	28.9	31.4	34.8	33.3	33.9
Mar-17	33.2	33.8	32.0	32.4	16.8	28.8	28.8	31.1	33.8	32.3	32.2
Abr-17	34.0	34.6	32.5	31.5	18.1	28.5	28.5	31.7	32.9	31.5	31.3
May-17	31.8	32.4	30.6	29.3	17.9	28.5	28.5	30.3	30.7	29.4	29.3
Jun-17	26.5	27.0	0.0	27.9	19.1	28.7	28.7	29.0	29.6	28.3	27.3
Jul-17	28.4	28.9	26.5	28.1	19.4	29.3	29.3	25.9	26.7	25.3	24.6
Ago-17	29.3	29.9	26.9	29.5	19.8	29.3	29.3	25.9	27.7	26.1	25.4
set-17	31.1	31.7	28.3	32.0	20.1	29.8	29.8	26.3	29.2	27.6	26.8
Oct-17	31.6	32.2	29.0	32.7	19.8	29.7	29.7	26.0	29.8	28.3	27.3
Nov-17	30.2	30.8	29.1	32.7	19.9	29.8	29.8	25.2	30.0	28.2	26.8
Dic-17	33.1	33.7	31.8	33.8	18.6	29.2	29.2	28.5	32.8	31.5	30.3
Ene-18	34.5	35.2	34.3	35.0	17.8	28.9	28.9	30.1	35.1	33.2	32.0
Feb-18	34.7	35.3	35.1	34.9	17.2	27.9	27.9	31.4	35.7	34.0	33.3
Mar-18	34.6	35.3	35.3	36.2	18.2	29.8	29.8	30.8	35.5	32.7	32.8
Abr-18	34.1	34.7	34.3	34.5	17.7	29.7	29.7	30.5	34.2	31.6	32.2
May-18	31.8	32.4	30.7	33.0	18.5	29.0	29.0	28.8	31.3	29.1	29.1
Jun-18	29.4	30.0	27.5	31.2	18.8	29.2	29.2	25.8	28.7	26.4	26.0
Jul-18	28.9	29.4	27.2	30.5	19.7	29.5	29.5	25.3	28.6	26.8	25.8
Ago-18	30.6	31.1	28.7	32.9	20.4	29.8	29.8	25.1	29.9	27.7	26.6
set-18	31.7	32.3	29.5	33.5	20.9	30.6	30.6	25.9	30.5	28.1	27.2
Oct-18	31.0	31.6	29.6	32.6	20.1	29.5	29.5	25.3	30.4	28.9	26.8
Nov-18	32.6	33.2	30.9	32.9	18.8	29.4	29.4	27.2	31.7	30.2	28.4
Dic-18	33.9	34.5	33.0	33.5	19.4	28.4	28.4	29.3	34.2	32.3	30.9
Ene-19	35.2	35.8	34.9	34.5	19.1	28.4	28.4	31.4	35.6	34.4	33.0
Feb-19	35.0	35.6	34.9	33.0	18.4	27.6	27.6	31.8	36.0	34.9	34.1
Mar-19	36.2	36.9	35.8	33.0	19.3	28.4	28.4	32.9	36.5	34.5	34.1
Abr-19	35.8	36.5	34.3	33.9	19.0	28.7	28.7	31.8	34.6	32.6	32.8
May-19	33.7	34.4	32.1	32.8	19.4	28.5	28.5	30.4	32.6	30.7	30.9
Jun-19	32.3	32.9	30.0	32.4	19.9	29.1	29.1	28.5	30.9	29.0	29.0
Jul-19	31.2	31.7	28.5	31.9	20.1	29.3	29.3	26.4	29.2	27.6	27.1
Ago-19	31.1	31.7	28.2	32.4	20.4	29.8	29.8	25.0	29.2	27.4	26.5
set-19	32.1	32.7	29.0	33.4	21.4	29.8	29.8	25.5	29.5	28.2	27.2
Oct-19	32.4	33.0	29.9	33.3	19.7	29.2	29.2	26.0	31.1	29.3	28.1
Nov-19	32.6	33.3	30.6	33.4	19.4	29.6	29.6	26.5	31.6	30.1	28.7
Dic-19	34.6	35.3	33.0	34.0	19.1	28.8	28.8	29.1	34.2	32.9	31.3
Ene-20	35.5	36.2	35.4	35.4	19.1	29.6	29.6	31.1	36.1	34.4	33.1
Feb-20	36.0	36.7	36.5	36.0	19.1	29.8	29.8	32.3	36.9	35.3	34.4
Mar-20	35.9	36.6	30.0	36.0	19.3	30.2	30.2	32.9	37.3	35.2	34.8
Abr-20	35.6	35.6	33.6	34.3	19.2	29.9	29.9	30.8	34.6	33.1	32.3
May-20	33.0	33.0	31.1	33.1	19.8	29.8	29.8	28.6	32.1	30.7	29.9
Jun-20	30.2	30.2	28.5	31.9	19.0	30.2	30.2	26.2	29.4	28.1	27.4
Jul-20	29.8	29.1	27.4	32.0	19.9	29.8	29.8	26.4	28.3	27.1	26.7
Ago-20	29.6	29.6	27.9	32.5	21.3	31.3	31.3	26.3	28.8	27.6	26.5
set-20	29.2	30.6	28.8	33.7	21.4	30.4	30.4	25.9	29.8	28.5	26.7
Oct-20	30.5	32.3	30.5	34.5	21.1	30.3	30.3	27.1	31.4	30.1	28.4
Nov-20	30.3	31.5	29.7	33.0	21.4	29.2	29.2	26.9	30.7	29.4	27.8
Dic-20	32.9	33.6	31.7	33.6	18.0	28.3	28.3	29.2	32.7	31.3	30.3
Ene-21	34.9	35.7	33.7	36.2	19.5	31.3	31.6	30.9	34.8	33.3	32.5
Feb-21	35.8	36.8	34.7	37.3	20.0	32.1	32.6	31.8	35.8	34.3	33.3
Mar-21	35.7	36.4	34.3	36.9	20.0	32.1	32.2	31.7	35.4	33.9	33.5
Abr-21	35.0	34.4	32.4	34.9	19.6	31.4	30.4	31.1	33.5	32.0	32.3
May-21	31.2	30.7	28.9	31.1	17.5	28.0	27.1	27.7	29.9	28.6	28.6
Jun-21	29.7	29.2	27.6	29.7	16.6	26.6	25.9	26.3	28.5	27.2	27.2
Jul-21	29.2	29.5	27.8	29.9	16.3	26.2	26.1	25.9	28.7	27.5	27.3
Ago-21	29.2	29.9	28.2	30.4	16.3	26.2	26.5	25.9	29.1	27.9	26.8
set-21	28.7	30.6	28.9	31.0	16.1	25.8	27.1	25.5	29.8	28.5	27.2
Oct-21	29.9	31.5	29.7	31.9	16.7	26.8	27.9	26.6	30.7	29.3	28.1
Nov-21	29.4	31.9	30.1	32.3	16.5	26.4	28.2	26.1	31.1	29.7	28.0
Dic-21	31.9	33.6	31.7	34.1	17.8	28.6	29.7	28.3	32.7	31.3	30.0
Ene-22	33.6	35.5	33.5	36.0	18.8	30.1	31.4	29.8	34.6	33.1	31.8
Feb-22	34.8	36.2	34.1	36.7	19.4	31.2	32.0	30.8	35.2	33.7	32.4
Mar-22	36.0	36.4	34.3	36.9	20.1	32.3	32.2	31.9	35.4	33.9	33.1
Abr-22	34.1	33.5	31.6	33.9	19.1	30.6	29.6	30.3	32.6	31.2	31.0
May-22	31.2	31.8	28.9	32.3	17.8	28.6	30.5	27.8	30.2	28.6	28.4
Jun-22	29.2	29.7	22.3	30.2	16.7	26.8	28.5	26.4	28.5	26.8	26.6
Jul-22	28.9	29.5	27.7	30.0	16.5	26.5	28.2	25.7	28.4	27.3	26.5
Ago-22	29.2	29.7	28.2	30.2	16.7	26.8	28.5	25.4	28.7	27.7	26.8
set-22	30.0	30.5	29.0	31.1	17.1	27.5	29.3	25.7	29.4	28.4	27.1
Oct-22	30.3	30.9	29.1	31.4	17.3	27.8	29.6	24.9	29.6	28.7	27.0
Nov-22	30.8	31.3	30.2	31.9	17.6	28.2	30.1	25.6	30.8	29.7	27.5
Dic-22	32.9	33.5	32.6	34.1	18.8	30.2	32.1	28.7	33.5	32.0	30.6
Ene-23	35.0	35.6	34.4	36.3	20.0	32.1	34.2	30.3	35.4	34.2	31.6
Feb-23	35.6	36.2	35.7	36.9	20.3	32.6	34.8	31.4	36.6	35.5	33.9
Mar-23	34.7	35.9	33.7	36.4	20.0	32.2	34.2	30.9	34.8	34.3	32.5
Abr-23	31.2	31.8	32.4	32.3	17.8	28.6	30.4	30.8	33.6	33.3	32.5
May-23	32.2	32.8	31.7	33.4	18.4	29.6	31.5	30.9	33.3	32.8	30.0
Jun-23	30.2	30.8	25.6	31.3	17.3	27.7	29.5	29.7	32.0	31.4	30.1
Jul-23	31.1	31.7	30.3	32.3	17.8	28.5	30.4	29.1	30.9	31.0	29.3
Ago-23	31.4	32.0	30.4	32.6	18.0	28.8	30.7	28.6	31.1	31.1	29.7
set-23	31.8	32.4	30.8	33.0	18.2	29.2	31.1	28.4	31.1	31.1	29.7
Oct-23	31.9	32.5	31.4	33.1	18.3	29.3	31.2	29.5	31.9	31.7	30.0
Nov-23	32.4	33.0	31.5	33.6	18.5	29.7	31.7	29.2	32.0	31.6	30.3
Dic-23	34.3	34.9	33.0	35.5	19.6	31.4	33.5	30.4	33.8	33.3	31.5
Ene-24	34.1	34.7	34.2	35.3	20.4	28.1	33.3	31.7	35.2	34.7	33.1
Feb-24	34.3	35.0	35.3	35.6	20.9	29.3	33.5	32.8	36.1	34.9	33.8
Mar-24	36.0	36.7	35.6	37.3	20.9	29.1	35.2	33.3	36.1	35.3	34.1
Abr-24	34.8	35.5	34.4	36.1	20.5	29.5	34.0	32.3	37.6	33.7	32.7
May-24	32.4	33.0	30.6	33.6	21.3	30.3	31.7	29.0	31.5	30.5	28.9
Jun-24	31.4	32.0	29.9	32.6	20.8	30.1	30.7	28.0	30.7	30.2	27.8
Jul-24	30.6	31.2	28.6	31.7	22.1	30.9	29.9	26.7	29.5	29.1	26.7

Tabla A.6. Registros completos de la temperatura mínima mensual

AÑO	Lancones	Mallares	Miraflores	Chulucanas	Ayabaca	Sausal de Culucan	Morropon	La Esperanza	San Miguel	Bernal	Chusis
Ene-16	22.6	23.5	23.1	22.7	11.1	19.4	22.7	23.6	22.8	23.3	23.6
Feb-16	23.2	24.5	23.1	23.6	11.4	20.1	23.4	24.8	23.9	24.3	24.7
Mar-16	23.2	24.0	23.4	23.5	11.3	20.0	23.3	24.5	23.8	23.8	23.9
Abr-16	21.8	22.5	22.1	22.1	10.8	19.5	22.2	22.9	22.0	22.0	22.1
May-16	20.1	20.4	21.3	19.7	10.9	18.9	20.4	21.1	19.8	20.0	20.1
Jun-16	18.5	18.9	19.8	18.0	10.1	17.4	18.6	19.7	18.0	18.5	18.8
Jul-16	18.0	18.4	18.7	17.3	9.4	16.9	18.2	19.0	17.4	18.1	18.1
Ago-16	17.5	17.9	18.9	16.8	9.7	16.7	17.7	18.6	17.1	17.7	17.9
set-16	18.1	18.5	19.3	17.3	9.8	17.4	18.5	19.0	17.7	18.2	18.5
Oct-16	17.8	18.2	18.7	17.7	9.6	17.0	18.3	18.6	17.5	17.9	17.9
Nov-16	17.5	17.6	18.6	17.0	9.0	16.1	17.8	18.3	16.9	17.2	17.4
Dic-16	19.4	20.1	20.4	19.8	10.0	17.7	20.1	20.3	19.5	19.7	19.9
Ene-17	21.6	22.8	23.5	22.3	10.6	19.6	23.0	22.6	22.4	22.7	22.5
Feb-17	23.2	23.9	24.3	23.4	10.3	21.0	22.8	24.3	23.5	24.3	24.0
Mar-17	23.4	24.2	24.4	23.2	10.8	21.2	22.9	24.6	24.0	24.5	24.3
Abr-17	22.0	23.0	22.8	21.9	11.3	19.9	21.9	23.1	22.1	22.9	22.7
May-17	20.6	21.8	21.5	20.3	11.2	18.7	20.3	21.6	20.4	21.3	21.1
Jun-17	19.7	20.8	20.3	23.2	11.5	17.8	19.1	20.6	19.5	20.0	19.8
Jul-17	17.2	18.5	18.8	17.1	9.8	15.6	17.1	18.0	17.7	18.0	17.6
Ago-17	16.9	17.9	17.8	16.1	10.2	15.3	15.9	17.7	16.9	17.4	17.2
set-17	16.5	17.5	17.5	15.7	10.7	15.0	16.0	17.3	16.7	17.2	17.2
Oct-17	16.8	17.6	17.6	16.1	10.8	15.2	16.4	17.6	16.8	17.2	17.3
Nov-17	16.3	17.6	17.7	16.5	10.1	14.8	16.7	17.1	16.3	17.0	16.8
Dic-17	19.1	19.9	20.3	18.8	10.6	17.4	19.3	20.1	18.9	19.5	19.3
Ene-18	19.9	21.2	21.8	20.1	9.9	18.0	21.3	20.8	20.2	21.0	20.5
Feb-18	21.3	23.0	23.7	21.7	10.3	19.4	22.5	22.4	22.0	22.4	22.0
Mar-18	20.5	22.2	22.5	20.8	10.9	18.9	21.8	21.5	21.2	21.4	21.3
Abr-18	20.1	21.3	21.6	19.9	10.5	18.7	20.6	21.0	20.1	20.5	20.6
May-18	18.8	19.4	19.6	18.3	10.8	18.6	18.8	19.7	18.5	18.7	18.9
Jun-18	17.3	18.0	17.9	16.8	9.9	16.3	17.0	18.1	17.1	17.5	17.3
Jul-18	16.7	17.8	18.0	16.5	9.7	16.8	16.7	17.5	17.1	17.6	17.4
Ago-18	16.7	18.2	18.2	16.8	10.0	16.6	16.6	17.5	17.5	17.6	17.4
set-18	16.4	17.8	17.8	16.5	10.2	17.2	16.6	17.2	16.8	17.2	17.0
Oct-18	16.6	18.0	18.7	17.5	10.3	17.3	17.7	17.4	17.3	17.8	17.2
Nov-18	18.9	19.7	20.0	19.2	11.0	17.8	19.4	19.8	19.1	19.6	19.1
Dic-18	19.4	20.9	21.2	19.9	10.5	18.1	20.8	20.3	19.7	20.2	19.9
Ene-19	22.1	23.6	23.9	22.3	10.9	19.1	23.0	23.1	22.7	23.2	23.1
Feb-19	22.5	24.0	24.4	22.7	11.5	19.6	23.4	23.6	23.4	23.9	24.1
Mar-19	22.1	23.3	23.7	21.7	11.4	19.6	22.6	23.2	22.6	23.0	22.8
Abr-19	20.9	22.0	22.2	20.2	11.2	19.3	21.1	22.0	21.1	21.2	21.2
May-19	20.2	21.0	21.2	19.4	11.1	18.7	19.8	21.1	20.2	20.3	20.3
Jun-19	18.2	19.1	19.0	17.0	10.7	17.4	17.4	19.0	18.3	18.4	18.3
Jul-19	16.4	17.1	17.1	15.4	10.0	16.7	16.1	17.2	16.5	16.7	16.8
Ago-19	15.5	16.5	16.5	14.8	10.0	15.7	15.1	16.3	15.9	16.3	16.3
set-19	16.0	17.2	17.3	15.6	10.4	16.7	15.7	16.8	16.5	16.9	16.7
Oct-19	16.6	17.6	17.6	16.4	10.5	17.1	16.6	17.4	16.9	17.2	17.3
Nov-19	18.3	19.3	19.5	18.4	10.6	17.6	18.4	19.2	18.5	19.1	18.7
Dic-19	19.7	20.8	21.4	19.9	11.0	18.2	20.5	20.7	20.1	20.7	20.6
Ene-20	21.1	22.3	23.2	21.3	10.8	18.9	21.9	22.2	21.9	22.3	22.1
Feb-20	22.1	23.6	24.1	22.4	11.4	19.2	23.1	23.2	22.8	23.4	23.2
Mar-20	22.9	24.4	23.5	22.7	11.5	19.5	23.6	24.0	23.1	23.5	23.9
Abr-20	21.1	21.7	21.9	20.8	11.0	19.4	21.3	21.9	20.8	21.4	21.1
May-20	19.6	20.2	20.3	19.3	10.9	19.3	19.8	20.4	19.4	19.9	19.7
Jun-20	17.3	17.8	17.9	17.0	10.0	17.6	17.4	18.0	17.1	17.5	17.4
Jul-20	16.1	16.6	16.7	15.7	10.3	17.9	16.2	16.9	15.9	16.3	16.2
Ago-20	15.2	15.9	16.0	14.0	9.8	17.6	15.6	15.9	15.3	15.6	15.6
set-20	15.4	16.5	16.6	15.0	10.1	17.3	16.1	16.2	15.8	16.2	16.0
Oct-20	16.4	17.6	17.7	16.3	10.2	17.7	17.2	17.2	16.8	17.3	17.1
Nov-20	16.4	17.1	17.2	16.4	10.0	17.8	16.7	17.2	16.4	16.8	16.5
Dic-20	19.1	20.1	20.3	19.7	10.6	18.0	19.7	20.0	19.3	19.8	19.6
Ene-21	20.6	21.6	21.8	20.3	11.4	18.7	21.2	21.6	20.8	21.3	21.2
Feb-21	21.0	22.2	22.4	20.8	11.7	19.1	21.7	22.1	21.3	21.8	21.7
Mar-21	21.5	22.7	22.8	21.3	12.0	19.5	22.2	22.6	21.7	22.3	22.2
Abr-21	20.4	20.4	20.6	20.1	10.8	18.5	20.0	21.4	19.6	20.1	19.9
May-21	18.7	19.4	19.5	18.4	10.2	16.9	19.0	19.6	18.6	19.1	18.8
Jun-21	18.2	18.9	19.0	18.0	10.0	16.5	18.5	19.1	18.1	18.5	18.4
Jul-21	17.3	18.2	18.3	17.1	9.6	15.7	17.8	18.1	17.5	17.9	17.5
Ago-21	16.3	17.0	17.1	16.1	9.0	14.8	16.7	17.1	16.4	16.7	16.8
set-21	16.1	16.9	17.0	15.9	8.9	14.6	16.5	16.9	16.2	16.6	16.5
Oct-21	16.3	17.0	17.1	16.1	9.0	14.8	16.6	17.1	16.3	16.7	16.6
Nov-21	16.7	17.8	17.9	16.5	9.4	15.1	17.4	17.5	17.1	17.5	17.2
Dic-21	18.6	19.3	19.4	18.4	10.2	16.9	18.8	19.5	18.5	18.9	18.7
Ene-22	19.9	21.0	21.2	19.6	11.1	18.0	20.6	20.9	20.2	20.7	20.0
Feb-22	20.2	21.7	21.9	19.9	11.5	18.3	21.3	21.2	20.9	21.4	21.3
Mar-22	21.6	22.2	22.3	21.3	11.7	19.6	21.7	22.6	21.3	21.8	21.5
Abr-22	19.4	20.0	20.1	19.2	10.6	17.6	19.6	20.4	19.2	19.7	19.6
May-22	17.5	18.1	18.1	17.3	9.5	15.9	17.6	18.4	17.6	17.6	17.6
Jun-22	16.3	16.9	13.6	16.2	8.8	14.8	16.4	17.1	16.2	16.4	16.4
Jul-22	15.9	16.8	16.7	16.1	8.8	14.4	16.3	16.7	16.1	16.4	16.3
Ago-22	15.5	16.4	16.0	15.7	8.7	14.1	16.1	16.3	15.8	16.1	16.2
set-22	15.5	16.3	16.6	15.6	8.7	14.1	16.1	16.3	15.7	16.1	16.2
Oct-22	15.3	16.0	16.5	15.3	8.5	13.9	15.8	16.1	15.5	15.8	15.8
Nov-22	15.4	17.1	18.1	16.4	9.0	13.9	16.7	16.1	16.3	16.8	16.3
Dic-22	18.3	19.6	20.8	18.8	9.6	16.6	18.5	19.2	19.0	19.0	18.8
Ene-23	19.4	20.7	21.8	19.9	10.9	17.6	20.2	20.3	19.9	20.3	19.6
Feb-23	21.9	23.7	24.4	22.7	12.4	19.8	23.1	22.9	22.9	23.2	22.9
Mar-23	22.3	24.2	23.7	22.1	12.8	20.2	23.7	23.4	23.6	23.8	23.7
Abr-23	22.8	24.2	23.4	23.2	12.8	20.7	23.7	23.9	23.7	23.8	24.2
May-23	22.1	23.3	22.9	22.4	12.2	20.0	22.6	23.2	22.3	22.7	23.0
Jun-23	20.9	21.7	17.9	20.8	11.3	18.9	21.0	21.9	20.6	21.1	21.2
Jul-23	20.0	21.5	21.3	20.6	11.1	18.1	20.5	21.0	19.9	20.6	20.6
Ago-23	19.6	21.2	21.3	20.4	10.8	17.8	20.0	20.6	19.6	20.1	20.5
set-23	19.0	20.2	20.3	19.4	10.3	17.2	19.1	19.9	18.5	19.2	19.3
Oct-23	19.3	20.5	20.9	19.7	10.7	17.5	19.8	20.2	19.1	19.9	19.9
Nov-23	18.9	19.8	20.3	19.0	10.4	17.1	19.2	19.8	18.2	19.3	19.6
Dic-23	20.4	21.7	21.9	20.8	11.3	18.5	20.9	21.4	20.1	21.0	21.2
Ene-24	22.2	24.0	24.0	23.0	12.3	17.8	22.7	23.3	22.0	22.8	23.0
Feb-24	23.3	24.5	25.0	23.5	12.9	19.1	23.8	24.4	23.1	23.9	24.5
Mar-24	22.4	23.6	24.1	22.6	12.3	19.1	22.8	23.5	21.7	22.9	22.8
Abr-24	21.7	22.1	22.8	21.2	11.6	19.5	21.4	22.8	17.1	21.5	21.4
May-24	18.8	19.0	19.6	18.2	10.0	18.4	18.6	19.7	18.8	18.7	19.1
Jun-24	17.4	18.0	18.2	17.2	9.4	17.7	17.5	18.2	17.7	17.6	17.8
Jul-24	16.3	17.2	17.3	16.5	8.9	16.6	16.6	17.1	16.7	16.6	16.8

Apéndice B: Variables climáticas de la subcuenca Carneros

Tabla B.1. *Precipitación media mensual de la subcuenca Carneros (01/1972 - 07/2024)*

Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
1972	27.9	74.5	437.7	36.6	6.5	7.1	2.2	3.2	7.5	2.4	3.8	29.4
1973	111.9	82.4	110.4	35.6	5.9	2.2	0.5	3.8	2.3	1.2	2.2	9.6
1974	28.3	26	20.2	6.7	7.9	2.8	1.1	3.3	2.8	1.4	1.3	4.2
1975	16.4	54.2	168.6	14.6	13.1	3.1	1.5	3.3	0	0.4	3.5	4.9
1976	112.8	126.2	117.5	48	31.9	4.2	2.4	2.8	0	0	0	3.6
1977	33.1	154.9	153.4	28.1	0	3.9	0	0	4.3	0.1	1.6	9.8
1978	5.6	21.8	73.1	22.7	1.4	0	0	0	0.5	0	0.5	0.8
1979	12.4	30.9	32.5	20.9	2.6	1.9	0.3	0	1	0.2	0.2	1.5
1980	0.1	13.2	63.4	24.3	2.3	0.5	0.2	0	0	0	5.1	6.2
1981	3.6	97.5	162	14.6	10.7	3	3.3	0.2	0	0.6	3.6	6.7
1982	5.8	19.4	2.4	32.4	3.7	0.2	0.6	0.3	1.8	6.3	6.1	136.8
1983	561.1	352.3	706.6	881.6	628.4	237.6	4.2	0.2	1.5	8.7	3.1	19.8
1984	30.3	126	84.9	24.6	10.2	6.2	1.5	5.3	0.8	2.4	2.1	16.1
1985	28.4	59.5	66.4	17.9	8.7	3.5	0.7	0.6	2	0.2	0.8	13.7
1986	37.5	39.9	14.8	62	7.1	0.1	1.2	4.8	0.1	2.7	7.4	15.1
1987	80.3	192	158.6	130.6	10.9	3	1.3	1.1	0.1	1.1	0.9	4.9
1988	27.6	45.3	5.8	40	11.6	2.1	0.1	0.2	0.2	2.5	0.5	3.1
1989	101.4	141.8	134.6	42.9	19.3	0	0	0.2	0.7	1.3	0	0
1990	20.2	26.8	73.9	34.1	7.4	0.1	0.2	0	0	4.1	6.9	7
1991	1.7	87.5	81.6	45.1	17	0.6	0.2	0.4	0.4	4.6	4	32
1992	68.7	112.7	365.6	263.8	51.9	5.2	0.8	0.8	2.7	2.5	7.3	16.3
1993	37.1	216.5	287.1	100.3	24.6	1.2	7.5	1.6	12.3	6.1	0.5	32.4
1994	77.8	178.8	200.1	53	13.9	0.2	0.6	0.7	1.4	0	0.9	20.6
1995	30.8	113.2	34.8	25.1	8	0	0.8	0	0.4	0.5	3.6	18.7
1996	12.4	16.6	38.8	12.9	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	1.1	0.1	0.5
1997	4.5	40.3	98.4	91.9	23	7.5	1.1	0.9	9.4	10.9	15	331.5
1998	745.1	672	839.9	401.8	65.1	2.7	0.2	0	1.4	3.9	1.5	3.5
1999	20.8	202.8	76.1	78.8	14.3	2.1	0.3	0	0.3	3	0.1	11.2
2000	15	51.1	97.5	122.5	25.7	4.6	0	0	0.8	0	0.2	17.6
2001	39.7	125	474.6	66.7	2.9	0.3	0.5	0.1	0.3	0.2	8	12
2002	4.9	95.5	365.9	324.4	4.2	0	0.2	0.1	0	9.2	8.2	17.1
2003	35.3	59.6	40.7	24.3	2	1.6	0.7	0	0	0.5	1.7	6.3
2004	25.5	32.2	15.4	32	8.8	0	0	0	0.5	1.7	0.6	4.7
2005	3.2	6.9	101.2	5.4	0.9	0.4	0	0	0.3	1.4	0.3	4.2
2006	71.8	157.9	170.4	46.9	1.4	0.9	0.2	0	0.2	0.4	6.3	6.9
2007	30.7	12.7	92.8	8.1	1.2	0.2	0.2	0	0	3	0.8	0.9
2008	63	326.2	235.1	139.9	7.1	2.6	1.2	0.4	0.3	1.7	3.5	0.9
2009	123.2	127.6	145.3	27.7	9.1	0.1	0.1	0.1	0	0.2	2.5	6.3
2010	22.1	199.8	156.2	74.3	5.8	0.5	0	0.2	0.1	5.2	2.2	2.7
2011	20.4	39.3	13.8	113.7	2.7	5.1	1.4	0	0.1	2.9	2.3	15.6
2012	56	386.4	255.3	106.5	6.7	10	0.1	0	0	0.7	5.3	1.2
2013	28.8	25.8	199.5	8.4	40.2	0.1	0.5	0.2	0.3	5.4	0.1	3
2014	7.9	25.5	50.9	14.3	26.5	4.8	0.6	0.1	0.7	6.3	2.1	3.6
2015	27.4	20.8	275.4	31.6	20.6	0.7	0.6	0	0	2.2	6.1	4
2016	70.5	153.9	202.5	69.5	2.6	2.9	0.3	0.1	2.9	0.4	1.1	9.6
2017	99	251.7	690.7	57.3	26.4	0.1	0.1	4.3	0.5	3.5	1.9	9
2018	24.7	18	29.2	64.1	11.4	0.1	0	0.3	0	0.6	11.4	18.8
2019	23.2	230.8	54.2	44.6	7.6	1.2	1.3	0	0	2.8	2.3	27.4
2020	12.8	38.1	21	42.1	11.7	3.6	2.6	0.3	0.4	0.5	3.6	16.3
2021	32.9	0.6	142.1	4.2	6.6	2	1.9	0.8	0.3	4.5	3.7	15.7
2022	0.8	15.4	76.5	2.7	1	2.4	1.8	0.4	0.1	2.1	1.1	6.6
2023	10.5	92.3	286.2	387.4	37.5	4.9	3	12.3	0.6	9	2.7	32.3
2024	31	137.3	27.2	19.4	2.8	1.4	0.1	-	-	-	-	-

Tabla B.2. *Temperatura media mensual de la subcuenca Carneros (01/1972 - 07/2024)*

Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
1972	25.95	26.8	25.05	25	23.55	24.05	23.3	23.3	24.5	23.4	26.1	27.35
1973	26.7	26.9	24.9	23.7	22	20.4	20.75	22.1	21.6	23.55	22.65	25
1974	26.45	25.6	25.4	25.3	22.85	21.15	22.35	22.1	23	23.05	24.65	25.9
1975	26.5	26.15	26.15	23.25	22.9	21.25	21.8	22.4	22.35	22.2	23.35	25.9
1976	25.1	25.65	26.2	24.95	24.05	22.9	22.95	23.3	23.1	24.45	26.5	26.5
1977	26.4	26.5	25.75	24.7	22.35	21.65	21.55	22.55	23.3	23.85	25.6	26.1
1978	27.3	26.75	25.9	23.4	21.85	22	21.15	23.4	24.1	24.7	25.75	26.05
1979	27.4	27	26.75	23.75	22.95	22.1	22.8	23.15	23.85	24.05	24.7	26.75
1980	26.9	26.45	26.85	25.35	23.4	22	21.85	22.75	24.2	23.8	24.8	25.7
1981	27.8	27.6	25.65	23.2	21.75	20.8	21.25	22.9	23.75	23.3	25.35	26.25
1982	26.15	27.15	25.1	25.4	23.1	22.45	23.3	23.05	25.7	26.85	27	26.75
1983	27.95	27.6	28.1	26.9	25.3	24.15	23.7	23.65	23.45	24.5	25.9	25.65
1984	27	25.55	25.2	24.4	23.3	22.7	21.8	22.4	23.45	23.5	25.5	26.45
1985	27	25.9	24.75	24.3	22.05	21.5	21.45	22.95	23.9	22.55	23.8	27.1
1986	26.45	27.05	26.9	25.25	22.2	21.7	23.1	23.55	22.8	23.7	24.3	28.2
1987	28.2	27.1	27.05	24.9	24.15	24.25	22.85	24	24	24.1	25.4	26.7
1988	28.55	26.9	26.55	25.2	21.65	22.1	22.55	23.65	23.85	23.6	25.2	26.7
1989	26.9	27	26.05	23.45	22.9	21.25	22.3	22.8	23.7	23.45	24.35	26.7
1990	26.65	27.05	27.5	25.15	22.85	21.8	22.35	23.3	24.25	24.25	24.95	26.7
1991	28.05	28	27.55	25.35	23.65	22.65	22.15	23.65	24.05	24.1	26.05	26.95
1992	28	28.1	27.45	26.5	23.85	21.9	22.75	22.6	24.1	24.15	25	26.9
1993	27.35	27.65	26.8	25.4	24.3	23.35	22.85	23.2	24.35	23.6	24.85	26.9
1994	27.2	27.5	26.6	25.5	22.75	22.25	22.15	23.8	23.2	24.4	23.7	27.15
1995	27.45	27.7	26.35	24.9	23.45	23.45	22.25	23.95	24	24.55	24.35	26.9
1996	26.5	27.7	25.5	23.55	22.35	21.7	21.75	22.8	23.8	23.75	24.95	25.75
1997	26.45	27.6	27.35	26.85	25.25	25.45	24.9	26.85	25.3	26.6	27.15	28.55
1998	28.75	27.85	27.05	24.6	23.9	23.05	22.25	23.5	23.55	24.25	23.05	25.2
1999	27.1	26.8	25.85	23.8	23	22.2	21.85	23.35	23.45	24.1	25.45	25.3
2000	26.7	26.7	26.2	24.95	24.05	21.3	23.5	23.35	23.45	22.65	25.85	26.8
2001	27.7	26.6	26.15	23.8	21.6	21.95	22.3	22.95	23.05	23.15	24.4	25.5
2002	27.5	28.05	26.15	24.45	22.6	21.45	22.65	23.1	25.1	24.15	26.7	26.8
2003	27.65	27.85	26.9	25.3	22.65	21.65	23.1	22.65	23.5	23.8	24.3	25.7
2004	27.75	28	27.15	24.6	23.2	22.5	22.55	23.25	23.9	24.4	25.9	26.65
2005	27.4	26.5	27.3	23.95	23.3	22.3	22.1	22.05	22.75	22.65	23.75	25.8
2006	25.95	26.85	25.5	24.05	23.25	23.7	24.05	23.55	22.95	24.85	25.15	27.1
2007	27.25	28.15	27.2	24.6	22.65	22.55	22.05	22.55	22.65	24.4	24.7	26.4
2008	26.65	26.2	25.7	24.35	22.35	22.7	22.6	23.9	24.1	25.05	25.8	26.95
2009	26.95	25.8	25.2	25.1	24.3	23.55	23.15	24.2	24.4	24.6	25.45	25.85
2010	27.25	28.15	26.95	25.2	23.15	22.15	22.85	22.5	22.6	22.9	23.6	25.55
2011	26.6	27.3	27.65	25.5	23.8	22.4	23.05	23.9	22.55	24.5	25.45	26.55
2012	27.1	27.65	26.95	26	24.35	22.75	22.85	23.7	24.5	25.25	25.4	26.95
2013	28.4	27.4	25.85	23.5	22.75	22.4	23	23	23.55	23.4	24.95	26.95
2014	27.7	27.6	27.05	27.45	25.2	22.65	23.3	23.65	24.05	23.9	25.35	27.2
2015	28.3	28.25	26.55	26.15	24.7	24.85	24.1	26.1	25.6	24.95	27.2	27.2
2016	27.85	27.7	27.9	27.25	26.1	24.45	24.1	24.1	24.8	24.95	25.05	26.1
2017	27.5	27.85	27.45	26.8	25.1	23.7	22.55	22.8	23.55	24	23.6	25.7
2018	26.8	27.5	27.5	26.6	25.05	23.4	23	24	24.35	24.2	25.45	26.2
2019	27.85	27.7	27.75	27.2	26.1	24.7	23.55	23.3	24.1	24.4	25.35	26.6
2020	27.75	28.5	28.6	27.35	25.85	23.85	23.1	22.75	23.2	24.3	23.8	25.8
2021	27.45	28.2	28.25	26.9	24.3	23.4	22.9	22.55	22.5	23.1	23.35	25.2
2022	26.8	27.4	28.35	26.1	24.05	22.45	22.25	22.2	22.6	22.7	23.25	25.6
2023	27.15	28.7	28.35	26.8	26.95	25.2	25.4	25.2	25.45	25.35	27.15	
2024	27.8	28.35	28.65	27.3	25.35	24.35	23.65	-	-	-	-	-

Tabla B.3. *Humedad relativa media mensual de la subcuenca Carneros (2017 - 2023)*

Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
2017	63.4	71.2	76.9	67.7	68.6	68.1	71.5	71.1	69.3	68.2	68.8	67.7
2018	65.6	63.9	66.7	68.7	72.3	70.8	70.6	70.1	67.6	68.2	69.4	68.8
2019	66.7	71.4	67.4	68	73.4	71.7	68.5	67.8	66.7	69	70.5	67.7
2020	63.2	63.6	64	67	69.4	68.2	67.6	67.5	67.7	66.5	66.3	67.3
2021	65.1	64.4	67.4	66.1	71.1	71.9	71.4	70.6	70.1	69.7	69.7	69.1
2022	69.9	69.1	70.2	71.3	71.2	69.1	68.6	68.1	65.6	65.4	65.4	64.1
2023	59.5	66.4	75	79.3	75.7	72.7	70.6	69.7	69.7	71.5	71.2	71.8

Tabla B.4. *Velocidad del viento media mensual de la subcuenca Carneros (2019 – 2023)*

Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
2019	1.4	0.9	1	0.9	1.6	1.7	1.7	1.8	1.9	2	2	1.9
2020	1.8	1.7	1.8	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9	2	2	2	1.9
2021	1.8	1.9	1.4	1.4	1.6	1.5	1.6	1.8	2	2	2.1	1.9
2022	1.9	1.8	1.7	1.8	1.9	1.8	1.8	1.9	2.1	2.1	2.1	1.9
2023	1.9	1.7	1.4	1	0.4	1.2	0.9	1.6	1.8	1.8	1.9	1.8

Tabla B.5. *Fracción de la nubosidad media mensual de la subcuenca Carneros (1984 – 2023)*

Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
1984	0.613	0.8522	0.7973	0.7007	0.7037	0.6482	0.5334	0.4791	0.5433	0.6242	0.7173	0.6031
1985	0.7483	0.6866	0.6677	0.6073	0.5262	0.373	0.3943	0.5046	0.3091	0.474	0.456	0.6205
1986	0.7624	0.7666	0.5948	0.7412	0.5371	0.2772	0.2863	0.3637	0.3326	0.443	0.512	0.6277
1987	0.7591	0.7768	0.7823	0.7262	0.5359	0.3589	0.5091	0.3759	0.4644	0.5029	0.4902	0.5534
1988	0.7123	0.6484	0.6565	0.7005	0.5737	0.3755	0.3204	0.4299	0.492	0.5664	0.6273	0.5754
1989	0.7392	0.8284	0.841	0.6841	0.5127	0.5775	0.413	0.3402	0.4405	0.607	0.5221	0.6124
1990	0.6497	0.766	0.6075	0.6907	0.6265	0.419	0.2984	0.222	0.415	0.6206	0.5315	0.631
1991	0.6505	0.7208	0.7688	0.5396	0.5873	0.4057	0.2932	0.2855	0.2881	0.453	0.4624	0.6934
1992	0.708	0.7965	0.767	0.7723	0.6881	0.498	0.3828	0.3057	0.4586	0.4377	0.4383	0.5423
1993	0.7117	0.7923	0.8223	0.7106	0.6867	0.5577	0.4997	0.4049	0.5245	0.498	0.495	0.6813
1994	0.7224	0.7755	0.7705	0.7486	0.6391	0.4441	0.2966	0.3175	0.3233	0.4944	0.5392	0.6457
1995	0.7091	0.7717	0.7006	0.5343	0.4939	0.315	0.5191	0.2878	0.238	0.4839	0.4632	0.5267
1996	0.7154	0.6902	0.7685	0.4925	0.3674	0.3515	0.2855	0.2704	0.2939	0.4409	0.4284	0.4222
1997	0.7182	0.7311	0.6848	0.6452	0.575	0.6349	0.4818	0.5248	0.6277	0.6309	0.8022	0.8057
1998	0.7844	0.8999	0.837	0.7712	0.6838	0.527	0.5022	0.4305	0.4443	0.5356	0.4588	0.5078
1999	0.6757	0.8702	0.7213	0.7075	0.6366	0.5421	0.3912	0.322	0.5764	0.4354	0.5144	0.743
2000	0.6795	0.7955	0.812	0.736	0.647	0.531	0.3908	0.3598	0.5418	0.2945	0.4902	0.597
2001	0.8194	0.788	0.8418	0.7661	0.697	0.6494	0.5837	0.3572	0.4824	0.3893	0.6646	0.6738
2002	0.5858	0.835	0.8962	0.8519	0.5427	0.4572	0.4925	0.3375	0.3462	0.6062	0.6729	0.7532
2003	0.7569	0.868	0.7377	0.5584	0.4652	0.5375	0.4353	0.3045	0.3481	0.4986	0.4923	0.6512
2004	0.672	0.8086	0.7518	0.6402	0.448	0.4119	0.4973	0.1994	0.3592	0.573	0.476	0.5222
2005	0.6383	0.7954	0.8428	0.6151	0.4326	0.4672	0.4015	0.3106	0.33	0.5695	0.5071	0.5913
2006	0.6875	0.8862	0.8159	0.6262	0.3828	0.58	0.5756	0.465	0.3561	0.4815	0.6255	0.5812
2007	0.8012	0.7538	0.7793	0.7203	0.5288	0.5289	0.4572	0.4669	0.2912	0.5449	0.5885	0.625
2008	0.8806	0.8705	0.8447	0.7274	0.7116	0.8334	0.7472	0.7432	0.5464	0.6454	0.599	0.5262
2009	0.862	0.8716	0.7952	0.6288	0.4845	0.6354	0.5669	0.4695	0.372	0.4315	0.5716	0.6712
2010	0.8105	0.8651	0.84	0.6798	0.6598	0.6437	0.5925	0.4162	0.5662	0.4798	0.5108	0.7651
2011	0.7005	0.8329	0.6473	0.7242	0.5525	0.7092	0.7086	0.4177	0.4614	0.5942	0.5596	0.677
2012	0.8566	0.8334	0.6757	0.717	0.6732	0.7559	0.6916	0.4971	0.388	0.5748	0.5937	0.5721
2013	0.7264	0.7278	0.822	0.5334	0.6973	0.5313	0.4288	0.327	0.3098	0.4716	0.38	0.527
2014	0.7937	0.7746	0.792	0.6522	0.7508	0.7409	0.5333	0.4473	0.4076	0.4767	0.5252	0.5255
2015	0.6809	0.7956	0.8129	0.7079	0.7333	0.6923	0.6739	0.5027	0.4914	0.5895	0.6966	0.5898
2016	0.7924	0.8257	0.7766	0.7091	0.3907	0.5366	0.5746	0.3515	0.4608	0.4237	0.2927	0.5475
2017	0.7802	0.7677	0.8787	0.7511	0.748	0.7662	0.613	0.5005	0.4614	0.4917	0.4991	0.6735
2018	0.7015	0.8042	0.7941	0.6912	0.6697	0.4613	0.4037	0.3355	0.3089	0.5922	0.697	0.6487
2019	0.7223	0.8545	0.7905	0.6445	0.6445	0.5204	0.3985	0.2682	0.3832	0.588	0.6264	0.6967
2020	0.6627	0.7469	0.7071	0.6641	0.5367	0.4404	0.4752	0.3446	0.3527	0.4603	0.533	0.7688
2021	0.815	0.7998	0.7609	0.72	0.5986	0.648	0.4902	0.5235	0.4393	0.5888	0.5515	0.6909
2022	0.7682	0.8909	0.813	0.6997	0.5794	0.5742	0.4991	0.413	0.4288	0.5123	0.4062	0.6522

Apéndice C: Caudales estimados con la interpolación IDW para la subcuenca Carneros

Tabla C.1. Caudales estimados con IDW para un periodo de 1976-1990

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1976	2.55	9.69	15.78	9.13	4.60	2.36	1.01	0.69	0.53	0.45	0.42	0.74
1977	3.61	10.94	16.04	10.07	4.68	1.92	0.87	0.58	0.46	0.43	0.31	0.41
1978	0.67	1.43	3.05	3.72	1.58	0.73	0.33	0.20	0.16	0.16	0.13	0.21
1979	0.76	1.83	9.35	3.00	1.34	0.41	0.21	0.18	0.18	0.14	0.11	0.16
1980	0.18	0.83	1.38	2.67	0.87	0.19	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.24
1981	0.30	1.92	11.87	3.63	1.09	0.34	0.17	0.11	0.04	0.01	0.01	0.11
1982	0.42	1.50	0.58	1.83	0.41	0.16	0.02	0.00	0.00	0.00	0.25	9.15
1983	26.75	33.12	49.61	52.80	52.97	26.52	10.09	3.34	1.89	1.78	1.05	1.91
1984	3.90	18.28	22.93	16.36	8.13	4.08	2.06	1.11	0.92	0.96	0.70	1.20
1985	2.08	2.40	4.92	2.43	1.26	0.62	0.28	0.20	0.14	0.11	0.10	0.41
1986	1.45	3.42	4.95	4.42	2.22	0.80	0.42	0.36	0.19	0.09	0.22	0.52
1987	2.66	5.67	16.77	9.28	4.97	1.56	0.85	0.67	0.42	0.38	0.29	0.40
1988	1.45	3.02	1.84	1.81	0.98	0.41	0.15	0.11	0.08	0.07	0.15	0.33
1989	2.31	17.93	19.84	13.15	4.49	1.92	1.00	0.51	0.40	0.54	0.42	0.35
1990	0.71	1.82	2.05	3.32	1.37	0.50	0.16	0.08	0.08	0.07	0.07	0.15



Apéndice D: Caudales estimados a partir de los modelos hidrológicos GR2M Y WEAP

Tabla D.1. Registro de caudales (m^3/s) estimados por los modelos hidrológicos

Año	Qest_GR2M	Qest_WEAP	Año	Qest_GR2M	Qest_WEAP	Año	Qest_GR2M	Qest_WEAP	Año	Qest_GR2M	Qest_WEAP
Jan-72	2.24	0.72	Aug-78	0.45	0.22	Mar-85	4.98	2.02	Oct-91	0.47	0.23
Feb-72	5.62	1.80	Sep-78	0.41	0.21	Apr-85	2.06	1.32	Nov-91	0.49	0.23
Mar-72	30.28	14.88	Oct-78	0.37	0.18	May-85	1.28	0.79	Dec-91	1.43	0.48
Apr-72	4.34	3.64	Nov-78	0.36	0.17	Jun-85	0.86	0.60	Jan-92	3.70	1.48
May-72	1.62	0.98	Dec-78	0.34	0.15	Jul-85	0.60	0.46	Feb-92	10.16	3.38
Jun-72	1.19	0.56	Jan-79	0.77	0.19	Aug-85	0.49	0.38	Mar-92	32.00	12.32
Jul-72	0.77	0.37	Feb-79	2.24	0.53	Sep-85	0.46	0.36	Apr-92	17.76	11.15
Aug-72	0.66	0.29	Mar-79	2.64	0.79	Oct-85	0.39	0.32	May-92	5.28	3.63
Sep-72	0.81	0.31	Apr-79	2.21	0.79	Nov-85	0.37	0.30	Jun-92	1.65	1.36
Oct-72	0.63	0.27	May-79	1.07	0.48	Dec-85	0.57	0.33	Jul-92	0.87	0.69
Nov-72	0.63	0.24	Jun-79	0.76	0.32	Jan-86	1.62	0.70	Aug-92	0.61	0.49
Dec-72	1.83	0.47	Jul-79	0.55	0.24	Feb-86	2.95	1.20	Sep-92	0.53	0.43
Jan-73	7.53	2.57	Aug-79	0.46	0.19	Mar-86	1.54	0.78	Oct-92	0.46	0.38
Feb-73	7.22	3.30	Sep-79	0.42	0.18	Apr-86	3.17	1.44	Nov-92	0.62	0.39
Mar-73	8.26	3.53	Oct-79	0.37	0.16	May-86	1.32	0.98	Dec-92	0.97	0.46
Apr-73	3.76	2.04	Nov-79	0.36	0.15	Jun-86	0.80	0.54	Jan-93	2.12	0.81
May-73	1.51	0.86	Dec-79	0.35	0.13	Jul-86	0.58	0.38	Feb-93	17.75	6.58
Jun-73	0.92	0.49	Jan-80	0.34	0.12	Aug-86	0.56	0.34	Mar-93	20.79	10.45
Jul-73	0.62	0.34	Feb-80	0.86	0.17	Sep-86	0.47	0.31	Apr-93	9.36	5.09
Aug-73	0.60	0.29	Mar-80	3.94	0.95	Oct-86	0.43	0.27	May-93	2.71	2.02
Sep-73	0.55	0.28	Apr-80	2.65	1.07	Nov-86	0.57	0.30	Jun-93	1.18	0.98
Oct-73	0.46	0.24	May-80	1.15	0.54	Dec-86	0.78	0.36	Jul-93	0.99	0.69
Nov-73	0.47	0.22	Jun-80	0.75	0.31	Jan-87	3.42	1.52	Aug-93	3.72	0.56
Dec-73	0.74	0.24	Jul-80	0.54	0.22	Feb-87	13.01	6.31	Sep-93	5.21	0.59
Jan-74	1.86	0.48	Aug-80	0.45	0.17	Mar-87	16.90	5.73	Oct-93	6.19	0.56
Feb-74	2.46	0.78	Sep-80	0.41	0.15	Apr-87	10.02	5.12	Nov-93	9.15	0.46
Mar-74	2.00	0.66	Oct-80	0.37	0.13	May-87	2.04	1.82	Dec-93	8.96	0.66
Apr-74	1.28	0.48	Nov-80	0.51	0.14	Jun-87	1.06	0.81	Jan-94	4.47	1.85
May-74	1.07	0.37	Dec-80	0.62	0.16	Jul-87	0.67	0.52	Feb-94	10.45	6.04
Jun-74	0.79	0.32	Jan-81	0.52	0.16	Aug-87	0.52	0.41	Mar-94	7.99	7.15
Jul-74	0.58	0.25	Feb-81	4.13	1.79	Sep-87	0.45	0.36	Apr-94	3.94	3.25
Aug-74	0.56	0.23	Mar-81	9.44	4.88	Oct-87	0.40	0.31	May-94	1.80	1.39
Sep-74	0.55	0.23	Apr-81	2.14	1.89	Nov-87	0.39	0.29	Jun-94	0.95	0.79
Oct-74	0.46	0.20	May-81	1.27	0.75	Dec-87	0.43	0.27	Jul-94	0.63	0.54
Nov-74	0.44	0.18	Jun-81	0.82	0.48	Jan-88	1.21	0.45	Aug-94	0.51	0.45
Dec-74	0.50	0.17	Jul-81	0.62	0.34	Feb-88	2.72	1.06	Sep-94	0.46	0.41
Jan-75	1.08	0.25	Aug-81	0.49	0.26	Mar-88	1.24	0.66	Oct-94	0.40	0.36
Feb-75	3.94	1.04	Sep-81	0.44	0.21	Apr-88	3.66	0.88	Nov-94	0.38	0.33
Mar-75	11.73	4.55	Oct-81	0.38	0.18	May-88	1.61	0.78	Dec-94	1.09	0.42
Apr-75	2.65	1.92	Nov-81	0.43	0.18	Jun-88	0.92	0.52	Jan-95	2.36	0.72
May-75	1.70	0.80	Dec-81	0.44	0.19	Jul-88	0.62	0.36	Feb-95	8.01	2.99
Jun-75	1.02	0.52	Jan-82	0.40	0.20	Aug-88	0.49	0.28	Mar-95	3.23	1.81
Jul-75	0.68	0.34	Feb-82	1.08	0.35	Sep-88	0.44	0.25	Apr-95	2.57	1.16
Aug-75	0.62	0.29	Mar-82	1.28	0.27	Oct-88	0.40	0.23	May-95	1.39	0.75
Sep-75	0.51	0.24	Apr-82	1.76	0.52	Nov-88	0.38	0.22	Jun-95	0.83	0.51
Oct-75	0.42	0.20	May-82	0.99	0.46	Dec-88	0.36	0.20	Jul-95	0.58	0.38
Nov-75	0.49	0.19	Jun-82	0.68	0.29	Jan-89	3.95	1.66	Aug-95	0.48	0.32
Dec-75	0.56	0.19	Jul-82	0.52	0.21	Feb-89	13.06	4.77	Sep-95	0.43	0.30
Jan-76	6.87	2.05	Aug-82	0.44	0.17	Mar-89	11.18	4.57	Oct-95	0.38	0.26
Feb-76	9.98	4.41	Sep-82	0.46	0.16	Apr-89	3.60	2.37	Nov-95	0.47	0.26
Mar-76	8.93	4.12	Oct-82	0.65	0.18	May-89	1.92	1.21	Dec-95	1.09	0.36
Apr-76	4.59	2.43	Nov-82	1.47	0.21	Jun-89	0.98	0.67	Jan-96	1.25	0.43
May-76	3.07	1.49	Dec-82	7.10	2.78	Jul-89	0.64	0.41	Feb-96	1.93	0.49
Jun-76	1.38	0.86	Jan-83	41.08	20.83	Aug-89	0.51	0.32	Mar-96	3.78	0.77
Jul-76	0.85	0.50	Feb-83	21.46	16.64	Sep-89	0.45	0.29	Apr-96	1.79	0.71
Aug-76	0.68	0.38	Mar-83	48.38	29.72	Oct-89	0.39	0.26	May-96	0.95	0.42
Sep-76	0.54	0.31	Apr-83	61.45	41.18	Nov-89	0.37	0.24	Jun-96	0.68	0.30
Oct-76	0.44	0.25	May-83	38.42	29.15	Dec-89	0.34	0.20	Jul-96	0.51	0.25
Nov-76	0.41	0.22	Jun-83	22.16	12.66	Jan-90	0.82	0.29	Aug-96	0.44	0.22
Dec-76	0.45	0.20	Jul-83	2.02	3.09	Feb-90	1.54	0.60	Sep-96	0.40	0.20
Jan-77	1.90	0.46	Aug-83	0.97	1.35	Mar-90	4.53	1.53	Oct-96	0.39	0.19
Feb-77	11.50	4.21	Sep-83	0.68	1.03	Apr-90	2.79	1.47	Nov-96	0.37	0.18
Mar-77	11.37	5.41	Oct-83	0.82	0.92	May-90	1.28	0.78	Dec-96	0.37	0.16
Apr-77	3.45	2.26	Nov-83	0.68	0.85	Jun-90	0.79	0.46	Jan-97	0.72	0.16
May-77	1.22	0.80	Dec-83	1.41	0.88	Jul-90	0.57	0.31	Feb-97	3.53	0.53
Jun-77	0.90	0.49	Jan-84	1.70	1.11	Aug-90	0.46	0.25	Mar-97	7.20	2.14
Jul-77	0.61	0.37	Feb-84	8.12	3.65	Sep-90	0.42	0.22	Apr-97	6.62	3.13
Aug-77	0.49	0.29	Mar-84	5.27	3.39	Oct-90	0.44	0.21	May-97	2.36	1.62
Sep-77	0.56	0.29	Apr-84	2.43	1.90	Nov-90	0.41	0.25	Jun-97	1.34	0.84
Oct-77	0.45	0.26	May-84	1.31	1.11	Dec-90	0.44	0.25	Jul-97	0.77	0.48
Nov-77	0.44	0.24	Jun-84	0.94	0.88	Jan-91	0.60	0.21	Aug-97	0.57	0.33
Dec-77	0.73	0.26	Jul-84	0.63	0.68	Feb-91	5.87	1.53	Sep-97	0.89	0.35
Jan-78	0.74	0.27	Aug-84	0.61	0.61	Mar-91	5.54	2.40	Oct-97	1.11	0.40
Feb-78	1.68	0.45	Sep-84	0.50	0.56	Apr-91	3.42	1.87	Nov-97	1.88	0.48
Mar-78	4.92	1.46	Oct-84	0.43	0.49	May-91	1.80	1.06	Dec-97	22.86	9.62
Apr-78	2.68	1.28	Nov-84	0.41	0.46	Jun-91	0.95	0.59	Jan-98	47.64	30.52
May-78	1.12	0.61	Dec-84	0.77	0.50	Jul-91	0.63	0.35	Feb-98	54.53	32.54
Jun-78	0.73	0.37	Jan-85	1.40	0.74	Aug-91	0.50	0.27	Mar-98	52.78	37.01
Jul-78	0.54	0.27	Feb-85	3.96	1.63	Sep-91	0.44	0.23	Apr-98	29.11	19.21

Año	Qest_GR2M	Qest_WEAP	Año	Qest_GR2M	Qest_WEAP	Año	Qest_GR2M	Qest_WEAP	Año	Qest_GR2M	Qest_WEAP
May-98	5.62	5.11	Dec-04	0.96	0.19	Jul-11	0.73	0.44	Feb-18	1.91	0.59
Jun-98	1.60	1.94	Jan-05	0.89	0.19	Aug-11	0.55	0.33	Mar-18	2.36	0.60
Jul-98	0.85	1.11	Feb-05	2.05	0.22	Sep-11	0.48	0.28	Apr-18	4.80	1.36
Aug-98	0.61	0.86	Mar-05	7.19	1.64	Oct-11	0.48	0.25	May-18	1.93	0.95
Sep-98	0.56	0.77	Apr-05	2.00	1.08	Nov-11	0.67	0.25	Jun-18	0.98	0.54
Oct-98	0.59	0.69	May-05	1.08	0.43	Dec-11	0.95	0.31	Jul-18	0.64	0.37
Nov-98	0.56	0.65	Jun-05	0.73	0.29	Jan-12	3.66	0.98	Aug-18	0.51	0.30
Dec-98	0.65	0.57	Jul-05	0.54	0.23	Feb-12	28.78	13.10	Sep-18	0.45	0.28
Jan-99	1.65	0.66	Aug-05	0.45	0.19	Mar-12	17.05	10.17	Oct-18	0.39	0.24
Feb-99	21.26	5.84	Sep-05	0.41	0.18	Apr-12	7.37	5.11	Nov-18	0.79	0.28
Mar-99	7.72	3.66	Oct-05	0.39	0.17	May-12	1.84	1.64	Dec-18	1.38	0.38
Apr-99	6.11	3.13	Nov-05	0.38	0.16	Jun-12	1.08	0.90	Jan-19	1.90	0.48
May-99	2.66	1.66	Dec-05	0.47	0.15	Jul-12	0.68	0.60	Feb-19	17.14	5.97
Jun-99	1.33	0.96	Jan-06	2.79	1.00	Aug-12	0.52	0.45	Mar-19	5.08	2.43
Jul-99	0.77	0.67	Feb-06	16.76	4.80	Sep-12	0.46	0.38	Apr-19	4.05	1.42
Aug-99	0.57	0.55	Mar-06	11.12	5.73	Oct-12	0.46	0.33	May-19	1.64	0.76
Sep-99	0.49	0.50	Apr-06	4.03	2.69	Nov-12	0.80	0.34	Jun-19	0.92	0.45
Oct-99	0.47	0.45	May-06	1.33	0.93	Dec-12	0.83	0.30	Jul-19	0.64	0.34
Nov-99	0.42	0.42	Jun-06	0.88	0.48	Jan-13	1.70	0.48	Aug-19	0.50	0.28
Dec-99	0.96	0.42	Jul-06	0.61	0.33	Feb-13	2.57	0.79	Sep-19	0.44	0.26
Jan-00	1.42	0.50	Aug-06	0.49	0.27	Mar-13	11.11	5.05	Oct-19	0.45	0.24
Feb-00	6.83	1.13	Sep-06	0.44	0.24	Apr-13	2.30	2.00	Nov-19	0.46	0.23
Mar-00	8.13	2.54	Oct-06	0.39	0.21	May-13	2.87	1.33	Dec-19	1.59	0.36
Apr-00	8.73	4.23	Nov-06	0.69	0.23	Jun-13	1.18	0.86	Jan-20	1.43	0.39
May-00	3.25	2.10	Dec-06	1.11	0.24	Jul-13	0.72	0.50	Feb-20	2.95	0.62
Jun-00	1.49	1.03	Jan-07	2.70	0.47	Aug-13	0.54	0.38	Mar-20	2.17	0.52
Jul-00	0.82	0.62	Feb-07	1.90	0.56	Sep-13	0.47	0.33	Apr-20	3.35	0.78
Aug-00	0.59	0.46	Mar-07	6.55	1.79	Oct-13	0.70	0.31	May-20	1.75	0.63
Sep-00	0.53	0.41	Apr-07	2.71	1.11	Nov-13	0.55	0.30	Jun-20	1.06	0.42
Oct-00	0.44	0.35	May-07	1.17	0.46	Dec-13	0.60	0.26	Jul-20	0.74	0.32
Nov-00	0.40	0.32	Jun-07	0.75	0.31	Jan-14	0.98	0.26	Aug-20	0.55	0.25
Dec-00	1.45	0.38	Jul-07	0.55	0.24	Feb-14	2.04	0.49	Sep-20	0.47	0.22
Jan-01	4.67	0.80	Aug-07	0.46	0.20	Mar-14	4.76	1.02	Oct-20	0.41	0.19
Feb-01	8.87	3.46	Sep-07	0.42	0.19	Apr-14	2.11	0.86	Nov-20	0.48	0.18
Mar-01	31.91	16.83	Oct-07	0.45	0.18	May-14	2.04	0.82	Dec-20	1.05	0.24
Apr-01	7.44	4.77	Nov-07	0.51	0.17	Jun-14	1.12	0.66	Jan-21	2.29	0.46
May-01	1.72	1.38	Dec-07	0.46	0.15	Jul-14	0.70	0.42	Feb-21	1.15	0.32
Jun-01	0.93	0.72	Jan-08	4.31	0.80	Aug-14	0.54	0.31	Mar-21	9.14	2.31
Jul-01	0.64	0.52	Feb-08	27.85	10.59	Sep-14	0.47	0.26	Apr-21	1.94	1.07
Aug-01	0.50	0.44	Mar-08	20.40	9.02	Oct-14	0.64	0.26	May-21	1.20	0.39
Sep-01	0.45	0.40	Apr-08	7.54	5.97	Nov-14	0.62	0.26	Jun-21	0.81	0.29
Oct-01	0.40	0.35	May-08	2.04	1.80	Dec-14	0.78	0.22	Jul-21	0.61	0.23
Nov-01	0.71	0.37	Jun-08	1.06	0.76	Jan-15	1.79	0.40	Aug-21	0.49	0.20
Dec-01	1.02	0.42	Jul-08	0.71	0.49	Feb-15	2.69	0.62	Sep-21	0.44	0.18
Jan-02	0.84	0.39	Aug-08	0.56	0.38	Mar-15	19.09	7.36	Oct-21	0.51	0.18
Feb-02	6.89	1.98	Sep-08	0.48	0.33	Apr-15	3.79	2.85	Nov-21	0.55	0.18
Mar-02	28.51	12.03	Oct-08	0.54	0.29	May-15	1.86	1.17	Dec-21	1.08	0.23
Apr-02	19.85	13.67	Nov-08	0.74	0.29	Jun-15	1.09	0.66	Jan-22	0.70	0.18
May-02	2.12	2.78	Dec-08	0.57	0.25	Jul-15	0.69	0.41	Feb-22	1.30	0.21
Jun-02	1.03	0.97	Jan-09	9.26	2.24	Aug-15	0.53	0.31	Mar-22	4.98	0.98
Jul-02	0.66	0.63	Feb-09	12.97	4.65	Sep-15	0.46	0.27	Apr-22	1.56	0.59
Aug-02	0.52	0.50	Mar-09	10.62	4.87	Oct-15	0.50	0.24	May-22	0.85	0.24
Sep-02	0.45	0.45	Apr-09	3.06	2.15	Nov-15	0.96	0.26	Jun-22	0.68	0.19
Oct-02	0.78	0.46	May-09	1.90	0.95	Dec-15	0.77	0.24	Jul-22	0.55	0.17
Nov-02	0.82	0.50	Jun-09	1.01	0.58	Jan-16	4.36	1.09	Aug-22	0.46	0.15
Dec-02	1.09	0.56	Jul-09	0.66	0.41	Feb-16	11.64	4.56	Sep-22	0.41	0.14
Jan-03	2.01	0.87	Aug-09	0.52	0.34	Mar-16	14.69	6.83	Oct-22	0.41	0.13
Feb-03	5.37	1.72	Sep-09	0.45	0.30	Apr-16	6.23	3.56	Nov-22	0.40	0.13
Mar-03	2.95	1.48	Oct-09	0.40	0.27	May-16	1.59	1.20	Dec-22	0.56	0.12
Apr-03	1.95	1.15	Nov-09	0.63	0.26	Jun-16	0.98	0.62	Jan-23	0.86	0.15
May-03	0.96	0.68	Dec-09	0.98	0.26	Jul-16	0.64	0.43	Feb-23	6.41	1.41
Jun-03	0.71	0.48	Jan-10	2.01	0.39	Aug-16	0.51	0.34	Mar-23	20.00	7.78
Jul-03	0.53	0.38	Feb-10	14.04	5.40	Sep-16	0.52	0.32	Apr-23	28.46	14.59
Aug-03	0.44	0.33	Mar-10	12.11	5.66	Oct-16	0.43	0.28	May-23	4.23	3.29
Sep-03	0.41	0.30	Apr-10	4.65	3.42	Nov-16	0.41	0.26	Jun-23	1.59	1.03
Oct-03	0.36	0.27	May-10	1.84	1.30	Dec-16	0.70	0.27	Jul-23	0.94	0.55
Nov-03	0.45	0.26	Jun-10	0.98	0.65	Jan-17	6.10	1.63	Aug-23	1.15	0.50
Dec-03	0.78	0.26	Jul-10	0.65	0.44	Feb-17	19.58	8.13	Sep-23	0.75	0.42
Jan-04	1.88	0.43	Aug-10	0.51	0.35	Mar-17	48.31	25.83	Oct-23	0.88	0.38
Feb-04	2.89	0.79	Sep-10	0.45	0.32	Apr-17	5.79	4.57	Nov-23	0.71	0.33
Mar-04	2.17	0.64	Oct-10	0.55	0.31	May-17	2.88	1.58	Dec-23	2.05	0.50
Apr-04	2.51	0.81	Nov-10	0.54	0.30	Jun-17	1.18	0.85	Jan-24	2.56	0.67
May-04	1.41	0.66	Dec-10	0.69	0.27	Jul-17	0.72	0.55	Feb-24	10.07	3.09
Jun-04	0.83	0.44	Jan-11	1.31	0.37	Aug-17	0.68	0.48	Mar-24	3.20	1.42
Jul-04	0.59	0.31	Feb-11	3.63	0.87	Sep-17	0.54	0.44	Apr-24	2.24	0.71
Aug-04	0.48	0.25	Mar-11	2.28	0.67	Oct-17	0.54	0.39	May-24	1.09	0.42
Sep-04	0.47	0.23	Apr-11	6.80	2.64	Nov-17	0.50	0.37	Jun-24	0.74	0.31
Oct-04	0.58	0.21	May-11	1.70	1.35	Dec-17	0.74	0.35	Jul-24	0.54	0.25
Nov-04	0.53	0.20	Jun-11	1.05	0.64	Jan-18	1.67	0.48			

Apéndice E: Ubicación de los levantamientos topográficos

Figura E.1. *Ubicación de las secciones del cauce*



Nota. Imagen satelital obtenida de Google Earth y la vista aérea del cauce (imágenes en parte derecha) capturadas el 10/07/2024 utilizando un dron.

