



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Variaciones en las regiones hidrológicamente homogéneas  
por cambio climático en la cuenca del río Piura mediante  
análisis clúster**

Tesis para optar el Título de  
Ingeniero Civil

**Diana Lisbeth Bravo Cubas**

Asesora:  
Dra. Ing. Adriadna Del Socorro Chávez Jiménez

Piura, noviembre de 2024



### Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, Diana Lisbeth Bravo Cubas, egresado del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI: 71494718, declaro que:

Soy autor del trabajo final titulado:

**"Variaciones en las regiones hidrológicamente homogéneas por cambio climático en la cuenca del río Piura mediante análisis clúster"**

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: 04/11/2024.

.....  
Firma del asesor<sup>1</sup>

.....  
Firma del autor<sup>1</sup>

.....  
Firma del co-asesor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Firma idéntica al DNI. No se admite digital, salvo certificado.



### **Dedicatoria**

A Dios por la vida, la salud y las bendiciones.

A mis padres por su amor y apoyo incondicional,  
por sus sabias enseñanzas y por ser el pilar fundamental  
en mi formación personal y académica.

A Emiliano, por brindarme su amor y apoyo incondicional,  
por creer en mí y alentarme a nunca redimirme.

A mi familia y todos aquellos que de una u otra manera, han contribuido  
a la realización de este sueño.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a todas aquellas personas que han contribuido de manera significativa en mi camino profesional.

A mi asesora Ing. Adriadna Chávez, por su orientación durante mi periodo académico y sobre todo por su apoyo en la realización de mi tesis.

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

Esta investigación consiste en determinar mediante análisis clúster las regiones hidrológicamente homogéneas tanto en la situación actual como para la situación futura en la cuenca del río Piura, tomando información pluviométrica y meteorológica obtenida de las entidades como la Autoridad Nacional del agua (ANA), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Proyecto Especial Chira Piura (PECHP) y Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations (PISCO).

El análisis clúster no solo se realizó para la determinación de las regiones hidrológicamente homogéneas, sino también para poder conocer la influencia de las diversas variables climáticas como la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, y una variable fisiográfica, la elevación, en la determinación de estas regiones homogéneas. Para trabajar el análisis clúster se realizaron 4 combinaciones de las variables, una en la que incluyó la precipitación, temperatura máxima y mínima y la elevación, a la que hemos denominado C1; también se trabajó una combinación que incluye la precipitación y temperatura máxima y mínima, combinación denominada C2, así mismo se trabajó solo con las temperaturas máximas y mínimas que fue denominada como C3 y por último se consideró solo la precipitación, esta combinación fue denominada C4.

En el análisis clúster realizado se trabajó con los métodos K-means y PAM, concluyendo que el que genera una mejor estabilidad y conectividad entre los puntos, es el método K-means. Como resultado de este análisis, se determinó que la elevación no influye en la caracterización de las regiones hidrológicamente homogéneas, por ello se continuó el análisis con la combinación que C2 (precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima), esto debido a que usar más parámetros permite captar la variabilidad climática y fisiográfica, proporcionando una representación más precisa y completa de la realidad.

Con ello se obtuvo como resultado tres regiones hidrológicamente homogéneas tanto para la situación actual y futura. Por cambio climático, las regiones hidrológicamente homogéneas identificadas en la situación actual, especialmente en las zonas de la parte media y alta de la cuenca del río Piura, sufren cambios notorios.

## Tabla de contenido

Introducción.....	10
Capítulo 1 Estado del arte .....	11
1.1 Cuenca hidrográfica.....	11
1.1.1 <i>Definición</i> .....	11
1.1.2 <i>Clasificación</i> .....	12
1.1.3 <i>Parámetros fisiográficos o geomorfológicos</i> .....	12
1.2 Precipitaciones .....	16
1.2.1 <i>Clasificación</i> .....	16
1.2.2 <i>Medidas de la precipitación</i> .....	16
1.2.3 <i>Errores en la medición</i> .....	16
1.2.4 <i>Estimación de datos faltantes.</i> .....	17
1.3 Cambio climático .....	19
1.3.1 <i>Escenarios</i> .....	19
1.3.2 <i>Modelos climáticos</i> .....	20
1.4 Análisis clúster .....	20
1.4.1 <i>Definición</i> .....	20
1.4.2 <i>Clasificación de los métodos clúster</i> .....	20
1.4.3 <i>Validación de clústeres</i> .....	22
Capítulo 2 Caso de Estudio: Cuenca del río Piura.....	24
2.1 Ubicación geográfica y política.....	25
2.1.1 <i>Ubicación geográfica</i> .....	24
2.1.2 <i>Ubicación política</i> .....	25
2.2 Clima.....	26
2.2.1 <i>Temperatura</i> .....	28
2.2.2 <i>Precipitación</i> .....	28
Capítulo 3 Caracterización de las subcuencas que conforman la cuenca del río Piura y determinación de valores de precipitación y temperatura .....	34
3.1 Determinación de los parámetros fisiográficos en las subcuencas de la cuenca del río Piura .....	34
3.2 Análisis pluviométrica actual.....	40
3.3 Análisis de temperaturas actuales.....	43
3.3.1 <i>Estimación de datos faltantes</i> .....	44
3.4 Modelos climáticos futuros .....	45
Capítulo 4 Análisis clúster para la situación actual y futura .....	49
4.1 Análisis clúster para la situación actual.....	49
4.2 Análisis clúster para la situación futura.....	56
4.3 Análisis entre la situación actual y futura.....	61
Conclusiones.....	68
Recomendaciones .....	69
Referencias .....	70

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b>	Clasificación de las cuencas según su tamaño .....	12
<b>Tabla 2</b>	Rangos aproximados del factor de forma .....	13
<b>Tabla 3</b>	Clasificación según el índice de compacidad .....	14
<b>Tabla 4.</b>	Clasificación de la cuenca según su pendiente .....	14
<b>Tabla 5</b>	Clasificación según la densidad de drenaje .....	15
<b>Tabla 6</b>	Resolución de los tres modelos climáticos en grados y kilómetros.....	20
<b>Tabla 7</b>	Tipos de climas de la cuenca del río Piura. ....	27
<b>Tabla 8</b>	Descripción de los tipos de Relieve.....	30
<b>Tabla 9</b>	Población por distritos que pertenecen a la cuenca del río Piura .....	32
<b>Tabla 10</b>	Parámetros fisiográficos de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del río Piura. ....	36
<b>Tabla 11</b>	Detalle de estaciones pluviométricas para el análisis de la cuenca del río Piura. ....	41
<b>Tabla 12</b>	Detalle de estaciones meteorológicas para el análisis de la cuenca del río Piura .....	44
<b>Tabla 13</b>	Escenarios y modelos climáticos.....	46
<b>Tabla 14</b>	Resolución de los tres modelos utilizados en este análisis.....	46
<b>Tabla 15</b>	Combinaciones y tamaño de matriz para análisis clúster. ....	49
<b>Tabla 16</b>	Clúster obtenido para la combinación C1 (precipitación, temperatura y elevación). ....	52
<b>Tabla 17</b>	Clúster obtenido para la combinación C2 (precipitación y temperatura).....	53
<b>Tabla 18</b>	Clúster obtenido para la combinación C3 (Temperatura máxima y mínima). Color verde representa al G1, color amarillo al G2 y color rosado al G3. ....	54
<b>Tabla 19</b>	Clúster obtenido para la combinación C4 (solo precipitación). ....	55
<b>Tabla 20</b>	Análisis clúster para la combinación C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima) del escenario ssp126 en sus tres modelos climáticos .....	57
<b>Tabla 21</b>	Análisis clúster para la combinación C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima) del escenario ssp370 en sus tres modelos climáticos. ....	57
<b>Tabla 22</b>	Análisis clúster para la combinación C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima) del escenario ssp585 en sus tres modelos climáticos. ....	58
<b>Tabla 23</b>	Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de enero de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).....	62
<b>Tabla 24</b>	Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de febrero de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).....	62
<b>Tabla 25</b>	Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de marzo de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).....	63
<b>Tabla 26</b>	Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de abril de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).....	63
<b>Tabla 27</b>	Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de mayo de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).....	64
<b>Tabla 28</b>	Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de junio de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).....	64
<b>Tabla 29</b>	Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de julio de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).....	65
<b>Tabla 30</b>	Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de agosto de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).....	65
<b>Tabla 31</b>	Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de setiembre de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585) ....	66
<b>Tabla 32</b>	Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de octubre de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).....	66

**Tabla 33** Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de noviembre de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585). ... 67

**Tabla 34** Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de diciembre de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585). ... 67



## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Cuenca del río Piura y subcuencas .....	11
<b>Figura 2</b> Clasificación del método clúster.....	21
<b>Figura 3</b> Número óptimo de clústers.....	22
<b>Figura 4</b> Ubicación geográfica de la cuenca del río Piura.....	25
<b>Figura 5</b> Ubicación Política de la Cuenca del río Piura .....	26
<b>Figura 6</b> Clima de la cuenca del río Piura .....	27
<b>Figura 7</b> Geomorfología de la cuenca Piura .....	29
<b>Figura 8</b> Subcuencas de la zona de estudio.....	34
<b>Figura 9</b> Áreas de las subcuencas del río Piura.....	37
<b>Figura 10</b> Longitud mayor del río de las subcuencas del río Piura .....	38
<b>Figura 11</b> Coeficiente de Gravelius de las subcuencas de la cuenca del río Piura.....	38
<b>Figura 12</b> Factor de forma de las subcuencas de la cuenca del río Piura.....	39
<b>Figura 13</b> Pendientes de las subcuencas.....	40
<b>Figura 14</b> Densidad de drenaje de las subcuencas de la zona de estudio .....	40
<b>Figura 15</b> Ubicaciones de las estaciones de estudio-Precipitación .....	42
<b>Figura 16</b> Correlación entre datos registrados por SENAMHI y data PISCO en tres estaciones pluviométricas.....	43
<b>Figura 17</b> Promedio mensual de las precipitaciones de la situación actual.....	43
<b>Figura 18</b> Ubicaciones de las estaciones de estudio-Temperatura .....	44
<b>Figura 19</b> Valores promedio mensuales de temperatura máxima y mínima .....	45
<b>Figura 20</b> Promedios mensuales de la temperatura máxima para la situación de control y situación futura en los tres escenarios .....	47
<b>Figura 21</b> Promedios mensuales de la temperatura mínima para la situación de control y situación futura en los tres escenarios .....	48
<b>Figura 22</b> Número óptimo de k clúster para las cuatro combinaciones realizadas.....	50
<b>Figura 23</b> Medidas de estabilidad y conectividad para el mes de enero.....	51
<b>Figura 24</b> Clúster obtenido para el mes de enero de las cuatro combinaciones.....	51
<b>Figura 25</b> Agrupamiento por el método clúster K-means para la combinación C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima.....	56
<b>Figura 26</b> Agrupamiento clúster de los doce meses del modelo CanESM5 perteneciente al escenario ssp126, para la C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima).....	59
<b>Figura 27</b> Agrupamiento clúster de los doce meses del modelo CanESM5 perteneciente al escenario ssp370 para la C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima).....	60
<b>Figura 28</b> Agrupamiento clúster de los doce meses del modelo CanESM5 perteneciente al escenario ssp585 para la C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima).....	61

## Introducción

La cuenca hidrográfica del río Piura, es una de las cuencas con mayor extensión del departamento de Piura, que, al presentar climas áridos y semiáridos, con escasez de lluvias, genera limitaciones en la disponibilidad del agua. El cambio climático que se presentó en los últimos años ha generado variaciones de las precipitaciones y temperaturas, a consecuencia de ello la disponibilidad del agua tanto para el consumo humano como para la agricultura se están viendo afectadas. (Sial Piura, 2021)

De tal manera, en un contexto de cambio climático a futuro, donde se prevé variación de precipitación y temperatura, la disponibilidad hídrica puede aumentar o disminuir. Por ello, comprender estas variaciones en la disponibilidad hidrológica es crucial para poder adaptarse y desarrollar estrategias de gestión de recursos hídricos. Por lo que, la identificación de regiones hidrológicamente homogéneas es un paso fundamental para entender cómo pueden cambiar las condiciones hídricas en diferentes áreas geográficas a lo largo del tiempo.

El análisis clúster es una técnica estadística que permite agrupar áreas con características similares en función de múltiples variables. En el ámbito hidrológico, esta herramienta puede utilizarse para agrupar regiones basadas en variables climáticas como la precipitación y la temperatura, así como en variables fisiográficas como la elevación (Alvarez et al., 2011)

Por ello esta presente tesis tiene como objetivo determinar las regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca del río Piura, utilizando técnica del análisis clúster, tanto en la situación actual como en el futuro con cambio climático, ya que este análisis permite desarrollar escenarios específicos para cada región obtenida, así como también ayuda a prever cómo el cambio climático afectará los recursos hídricos locales y de esta manera se pueda implementar medidas de adaptación específicas para cada zona, permitiendo una respuesta más eficaz a los impactos del cambio climático.

# Capítulo 1

## Estado del arte

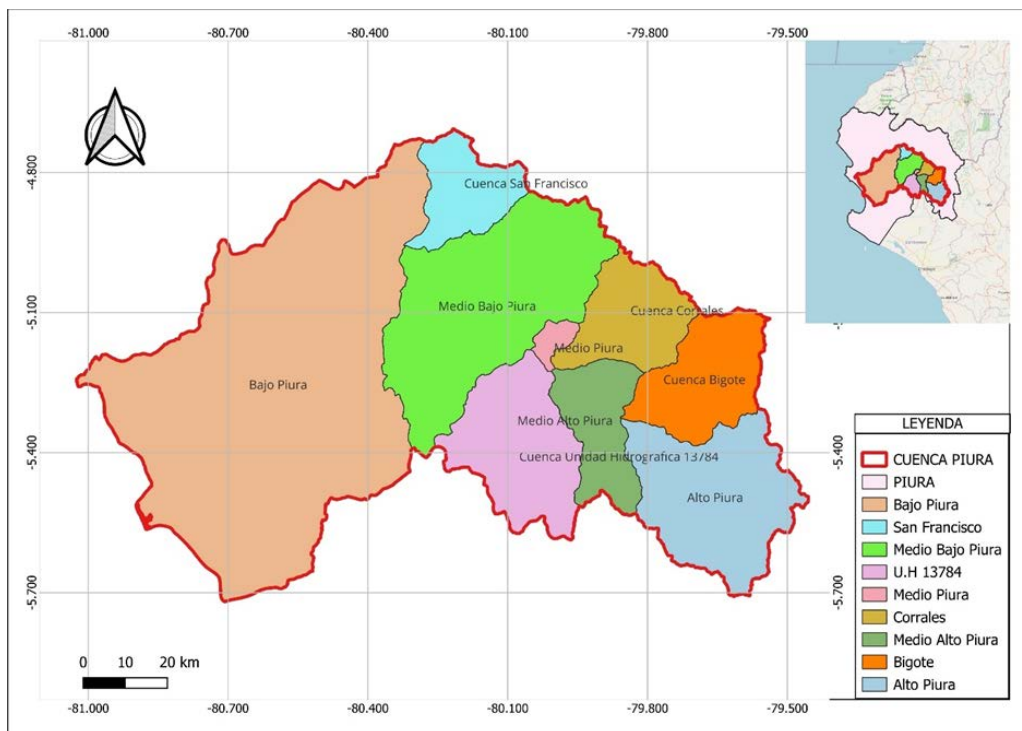
### 1.1 Cuenca hidrográfica

#### 1.1.1 Definición

Una cuenca hidrográfica es la superficie de un terreno delimitado por un parteaguas, del cual su escorrentía superficial fluye en su totalidad por medio de una serie de corrientes, ríos y algunos lagos, todo ello hacia el mar desde un punto de desembocadura tal como se observa en la Figura 1. Estas cuencas hidrográficas permiten entender el ciclo hidrológico de manera espacial, también identificar y cuantificar los impactos acumulados de las actividades humanas o externas. (Ferrer & Torrero, 2015)

A su vez, cada cuenca se puede dividir en cuencas más pequeñas, las cuales son llamadas subcuencas (MITECO, s.f.)

**Figura 1**  
*Cuenca del río Piura y subcuencas*



Nota: Adaptado de la página del ANA.

### 1.1.2 Clasificación

Para este estudio tendremos en cuenta la clasificación de las cuencas hídricas desde el punto de vista de la evacuación de las aguas: (Argentina, 2018)

**1.1.1.1 Exorreicas.** Aquellas cuencas las cuales sus aguas evacuan al mar o al océano.

**1.1.1.2 Endorreicas.** Aquellas cuencas que sus aguas no evacuan al mar debido a que los ríos desembocan en lagunas interiores o se consumen por evaporación o infiltración.

**1.1.1.3 Arreicas:** En estas cuencas no se definen cursos fluviales, porque son zonas que presentan suelos muy permeables y debido a ello el agua falta.

### 1.1.3 Parámetros fisiográficos o geomorfológicos

Los parámetros fisiográficos de una cuenca hidrográfica presentan características físicas o geomorfológicas las cuales describen el tamaño, forma, topografía, que son necesarias para el estudio de la misma, además, con ello podemos entender el comportamiento de la cuenca ya sea en el flujo de agua, erosión, sedimentación, etc. (INRENA, 2001)

#### 1.1.3.1 Parámetros de forma

**1.1.3.1.1 Área (A).** Es la proyección horizontal del área de drenaje total de un sistema de escorrentía que tiene un mismo punto de salida.

Las cuencas según su tamaño se clasifican según la Tabla 1 (Ríos & Torres, 2011)

**Tabla 1**

*Clasificación de las cuencas según su tamaño*

<b>Clasificación</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>
Muy pequeña	< 25
Pequeña	25-250
Intermedia pequeña	250-500
Intermedia grande	500-2500
Grande	2500-5000
Muy Grande	> 5000

Nota: Adaptado de Ríos & Torres (2011)

**1.1.3.1.2 Perímetro (P).** Es la longitud de la línea de división de aguas, también conocido como el parte aguas (ANA A. N., 2019).

**1.1.3.1.3 Longitud mayor del río (L).** Es el recorrido que realiza el río desde la cabecera de la cuenca hasta un punto fijo que puede ser una desembocadura o estación de aforo, siguiendo todos los cambios de dirección (ANA A. N., 2019)

**1.1.3.1.4 Ancho promedio ( $A_p$ ).** Es la relación entre el área de la cuenca (A) y la

$$A_p = \frac{A}{L} \quad 1)$$

longitud mayor del río ( $L_m$ ), está representado por la siguiente ecuación:

**1.1.3.1.5 Factor de forma ( $F_f$ ).** Es la relación entre el ancho promedio de la cuenca ( $A_p$ ) y la longitud mayor del río (L), sirve para determinar aproximadamente la forma de la cuenca, está representado por la siguiente ecuación:

$$F_f = \frac{A_p}{L} = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

La cuenca adopta una forma según los rangos aproximados que se obtiene del factor de forma, tal como se muestra en la Tabla 2: (Perez, 1979).

**Tabla 2**

*Rangos aproximados del factor de forma*

<b>Forma de la cuenca</b>	<b>Factor de forma</b>
Muy alargada	<0.22
Alargada	0.22 a 0.30
Ligeramente alargada	0.30 a 0.37
Ni alargada, ni ensanchada	0.37 a 0.45
Ligeramente ensanchada	0.45 a 0.60
Ensanchada	0.60 a 0.80
Muy ensanchada	0.80 a 1.20
Rodeando el desagüe	>1.20

Nota: Adaptado de Pérez (1979)

**1.1.3.1.6 Índice de compacidad o coeficiente de Gravelius ( $K_c$ ).** Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área equivalente a la superficie de la cuenca analizada. Con ello se obtiene la forma de la cuenca y su influencia en los escurrimientos de los cursos de agua principales. (Llano & Aguirre, 1987)

El índice de compacidad está representado por la siguiente ecuación

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.2821 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Si el índice de compacidad se encuentra cerca de 1, significa que estamos frente a una cuenca regular en la que habrá mayor oportunidad de crecientes, pero si el  $K_c$  se encuentra cerca a 3 es una cuenca irregular, lo cual será menos susceptible a inundaciones. Según el índice de compacidad las cuencas se clasifican según la Tabla 3 (Chavez, 2009).

**Tabla 3**

*Clasificación según el índice de compacidad*

Clasificación	Índice de compacidad
Redonda	1.00 a 1.25
Ovalada	1.25 a 1.50
Alargada	1.50 a 3.00

Nota: Adaptado de Chávez (2009)

### 1.1.3.2 Parámetros de relieve

**1.1.3.2.1 Pendiente de la cuenca ( $S_g$ ).** Es el promedio de todas las pendientes que conforman la topografía de la cuenca, además, influye en la velocidad del escurrimiento superficial (Córdova, 2016). Está representado por la siguiente ecuación:

La clasificación de las cuencas según su pendiente se describe en la Tabla 4

**Tabla 4.**

*Clasificación de la cuenca según su pendiente*

Topografía	Pendiente (%)
Llano	0 a 2
Suave	2 a 5
Accidentado medio	5 a 10
Accidentado	10 a 15
Fuertemente accidentado	15 a 25
Escarpado	25 a 50
Muy escarpado	>50

Nota: Adaptado de Pérez (1979)

**1.1.3.2.2 Pendiente media del cauce principal ( $S_c$ )**, es la relación entre la diferencia de elevación máxima y mínima (msnm) por la longitud mayor del río (km) (Chavez, 2009). Está representado por la siguiente ecuación:

$$S_c = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \quad (4)$$

**Donde:**

$S_c$  : Pendiente media del cauce principal (Km)

$H_{max}$  : Altura máxima (m.s.n.m)

$H_{min}$  : Altura mínima (m.s.n.m)

L : Longitud mayor del río (Km)

#### 1.1.3.3 Parámetros de la red hídrica

**1.1.3.2.3 Densidad de drenaje ( $D_d$ )**. Es la relación entre la longitud total del cauce de agua y el área de la cuenca.

Los valores mínimos obtenidos de densidad de drenaje indican regiones de suelo poco erosionables, con poca vegetación y topografía plana. Los valores altos, muestran regiones con suelos impermeables y pendientes pronunciadas (Córdova, 2016).

La densidad de drenaje está representada por la siguiente ecuación:

$$D_d = \frac{L}{A} \quad (5)$$

La densidad de drenaje se clasifica según los rangos descritos en la Tabla 5 (IBAL, 2009).

**Tabla 5**

*Clasificación según la densidad de drenaje*

Clasificación	Densidad de drenaje
Baja	0.1 a 1.8
Moderada	1.9 a 3.6
Alta	3.7 a 5.6

Nota: Adaptado de IBAL (2009)

## 1.2 Precipitaciones

La precipitación es un componente crucial en la variabilidad espacio-temporal de los recursos hídricos, los cambios que presenten generan impacto en la hidrología y por ende en la disponibilidad del agua. (Tapia, 2016)

### 1.2.1 Clasificación

**1.2.1.1 Precipitación orográfica.** Este tipo de precipitación se observa cuando una masa de aire húmeda es forzada a ascender debido a encontrarse con una barrera montañosa. Cuando el aire va ascendiendo se enfría sin intercambio de calor con el entorno, por ello reduce su capacidad para retener vapor de agua (Nuñez, 2023).

**1.2.1.2 Precipitación convectiva.** Este tipo de precipitación ocurre como resultado de la convección atmosférica, es decir por la transferencia de grandes cantidades de calor absorbido por el agua. Se caracteriza por ser de intensa, pero de corta duración y puede estar asociada con tormentas eléctricas (Blanco, 2017).

**1.2.1.3 Precipitación ciclónica.** Este tipo de precipitación se presenta cuando masas de aires con diferente temperatura y humedad generan inestabilidad atmosférica. Es habitual en latitudes medias donde los frentes cálidos y fríos interactúan (Blanco, 2017)

### 1.2.2 Medidas de la precipitación

Las medidas pluviométricas son técnicas y herramientas que son utilizadas para cuantificar la cantidad de lluvia en un área determinada durante un periodo específico (PNUD, 2017).

El IMTA (2019), nos comenta que la medición de la lluvia se puede realizar ya sea con una pluviómetro o un pluviógrafo, como se describe a continuación:

**1.2.2.1 Pluviómetro.** Es el instrumento más sencillo y más empleado para medir las lluvias. Tiene una forma cilíndrica y cuenta con una boca circular en la parte superior la cual permite recibir el agua que cae de la lluvia, luego pasa por medio de un embudo hacia un colector en donde se almacena para su posterior medición. Con ello podemos obtener mayormente la cantidad total de lluvia acumulado durante un día.

**1.2.2.2 Pluviógrafo.** Este instrumento nos brinda un registro continuo de la lluvia, con ello podemos además determinar las horas de inicio y terminación de la lluvia y a la vez la intensidad con la que se dio.

### 1.2.3 Errores en la medición

La medición de las precipitaciones puede suceder por varios errores, esto afecta la precisión y exactitud de los datos obtenidos. Los errores pueden deberse a errores sistemáticos, por factores ambientales, etc.

La evaluación de la precipitación se ve afectada por dos factores: (UNESCO, 1982):

**1.2.3.1 Error en la medida puntual.** La medida que se toma con un instrumento en un determinado siempre, es menor a la que realmente llega, esto puede ser debido a errores sistemáticos, es decir ya sea diseño del instrumento o mala calibración; errores ambientales que pueden ser efectos del viento, congelación, evaporación; como también errores en la instalación y mantenimiento. Todo ello genera que los datos obtenidos no sean precisos y confiables.

**1.2.3.2 Error en la medida espacial.** La medición espacial de la precipitación comprende la evaluación de la cantidad de la lluvia en una mayor área, es decir en una región geográfica amplia y ya no solo en un punto específico. Esta medida toma en cuenta el uso de varios pluviógrafos distribuidos en toda la zona de análisis, radares meteorológicos y satélites. También se presentan errores que pueden ser por la cobertura inadecuada, resolución espacial limitada, errores de calibración de los instrumentos, frecuencia del muestreo, etc.

#### **1.2.4 Estimación de datos faltantes.**

Al obtener los datos de las precipitaciones, ya sean diarias, semanales, mensuales y/o anuales, podemos encontrar fechas con registros sin datos, los cuales deben ser completados para poder trabajar con dicha estación. En la literatura hay diferentes métodos para poder trabajar con el completado de datos. En el estudio que lleva por título Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México (Herrera et al., 2017), se trabaja con el método de regresión lineal para el completado de datos de precipitación. Del mismo modo Carbajal et al. (2011) utilizó la Transformada Wavelet, en su artículo titulado Reconstrucción de datos faltantes de precipitación pluvial diaria mediante la Transformada Wavelet, para realizar el completado de datos pluviométricos. También existe el método de Cociente-normal el cual fue utilizado por Rodrigo & Fernández (2014) en su artículo que lleva por título Estimación de datos faltantes de precipitación diaria para las distintas ecorregiones de la República Argentina. el estudio realizado por Collazos (2021), también, en el artículo titulado CUTOFF: Un método de imputación espacio-temporal (Feng et al., 2014) se muestra que han utilizado el método CUTOFF, el cual ha sido seleccionado en este estudio y es descrito a continuación:

El método CUTOFF, utiliza la naturaleza espacio-temporal para así poder obtener los datos faltantes de manera eficiente y precisa, para ello esta metodología determina los vecinos espaciales y luego define los vecinos temporales dentro de los vecinos espaciales. El método CUTOFF se puede extender de forma natural a datos diarios, semanales, mensuales, trimestrales y anuales (Feng et al., 2014)

Para realizar la estimación de datos faltantes por el método CUTOFF, se realiza los siguientes pasos:

1. Se crea una lista de referencia de estaciones que tienen alta correlación mayor que algún valor de corte  $r$  con la estación a analizar.

2. El valor de  $\bar{R}$  denota el valor medio de las observaciones en el mes  $i$  excluyendo  $j$  para todas las estaciones de referencia.  $\bar{C}$  es el valor medio de las observaciones en el mes  $i$  excluyendo  $j$  para la estación a analizar  $k$ .  $R$  es el valor medio de las observaciones en el mes  $i$  del año  $j$  para las estaciones de referencia.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{k \in L_{k^*}} \sum_{j \in J_{i^*,k}^*} x_{i^*,j,k}}{\sum_{k \in L_{k^*}} |J_{i^*,k}^*|} \quad (6)$$

(7)

$$\frac{\hat{x}}{\bar{C}} = \frac{R}{\bar{R}}$$

$$R = \frac{\sum_{k \in L_{k^*}^*} X_{(i^*,j^*),k}}{|L_{k^*}^*|} \quad (8)$$

$$\bar{C} = \frac{\sum_{j \in J_{i^*,k^*}^*} X_{(i^*,j^*),k^*}}{|J_{i^*,k^*}^*|} \quad (9)$$

**Donde:**

$C$  : Meses del año

$j$  : Años

$k$  : Estaciones de análisis

$X$  : Matriz  $m \times n$

$L_{k^*}$  : Conjunto de estaciones de referencia para la estación candidata  $k$

$J_{i,k}$  : Conjunto de años de referencia para los cuales  $X_{(i,j),k}$  no falta para el mes  $i$  y la estación  $k$ , excluyendo al año  $j^*$

$\bar{R}$  : Valor medio de las observaciones en el mes  $i^*$  en los años de referencia excluyendo  $j^*$  para todas las estaciones de referencia

$\bar{C}$  : Valor media de las observaciones en el mes  $i^*$  en los años de referencia excluyendo  $j^*$

3. El valor imputado se calcula asumiendo la relación entre el valor perdido y la media de las observaciones en meses candidatos para la estación a analizar entre la media de las observaciones en el mes candidato y año candidato para estaciones de referencia y la media de las observaciones en el mes candidato para estaciones de referencia.

### 1.3 Cambio climático

El cambio climático se considera a la variación del clima del planeta, puede ser la temperatura, precipitación y rutas de las tormentas. Se considera un tema atribuido ya sea de manera directa o indirecta a la actividad realizada día a día por la sociedad, además la variabilidad natural que presenta el clima durante periodos de tiempo comparables, lo cual genera que la composición de la atmósfera mundial se altere (Díaz, 2012)

Para analizar el cambio climático se trabajó con tres escenarios socioeconómicas compartidos (ssp126, ssp370 y ssp585) y a su vez, de cada uno de ellos se analizaron tres modelos climáticos (CanESM5, CNRM-CM6-1 y CNRM-ESM2-1), los cuales se describen a continuación:

#### 1.3.1 Escenarios

Los escenarios socioeconómicos compartidos (ssp) son una herramienta fundamental en la investigación del cambio climático, nos muestran unas posibles alternativas del futuro de la sociedad, lo cual puede ayudar a diversas situaciones de investigación. Cada escenario ssp proporciona información coherente que permite realizar descripciones de tendencias futuras además de brindar información cuantitativa de algunos elementos (UNCCD, 2004).

A continuación, se detallan los escenarios ssp126, ssp370 y ssp585: (Bottinger, 2015)

**1.3.1.1 ssp126.** Este escenario con  $2,6 \text{ W/m}^2$ , para el 2100. El objetivo de su diseño es simular un desarrollo compatible con el objetivo de  $2^\circ\text{C}$ . También presupone la adopción de medidas de protección del clima.

**1.3.1.2 ssp370.** Escenario con  $7 \text{ W/m}^2$  para el 2100. Se encuentra en la parte media-alta de la gama completa de escenarios.

**1.3.1.3 ssp585.** Este escenario tiene un forzamiento radiactivo adicional de  $8.5 \text{ W/m}^2$  para el año 2100. Además, representa el límite superior del rango de escenarios descritos.

### 1.3.2 Modelos climáticos

**1.3.2.1 CanESM5.** El presente modelo (Canadian Earth System Model version 5), fue desarrollado por el Centro Canadiense de Modelado y análisis Climático de Environment and Climate Change Canadá. Esta herramienta es tiene como finalidad simular el clima pasado, presente y futuro, considerando la interacción entre la atmósfera, el océano, la tierra y la biosfera (Swart N. C. et al., 2019).

**1.3.2.2 CNRM-CM6-1.** Este modelo fue desarrollado por el Centro Nacional de Investigaciones Meteorológicas (CNRM) en Francia. Es una herramienta utilizada para simular el clima global, considerando los procesos atmosféricos, oceánicos, criosféricos y biogeoquímicos (Voldoire, 2019)

**1.3.2.3 CNRM-ESM2-1.** Este modelo, al igual que el anterior, fue desarrollado por el Centro Nacional de Investigaciones Meteorológicas (CNRM) en Francia. Este modelo combina componentes climáticos clave, como la atmósfera, el océano, la criósfera y la biosfera, para simular de manera integrada el sistema climático de la Tierra y estudiar su evolución bajo diferentes escenarios climáticos y forzamientos externos (Séferian et al., 2019)

Las resoluciones que presentan estos modelos climáticos se observan en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Resolución de los tres modelos climáticos en grados y kilómetros*

<b>Modelos</b>	<b>Resolución long. por lat.</b>	<b>Resolución long. por lat. (km)</b>
CanESM5	2.8° x 2.8°	311.7 x 311.7
CNRM-CM6-1	1.4° x 1.4°	155.8 x 155.8
CNRM-ESM2-1	1.4° x 1.4°	155.8 x 155.8

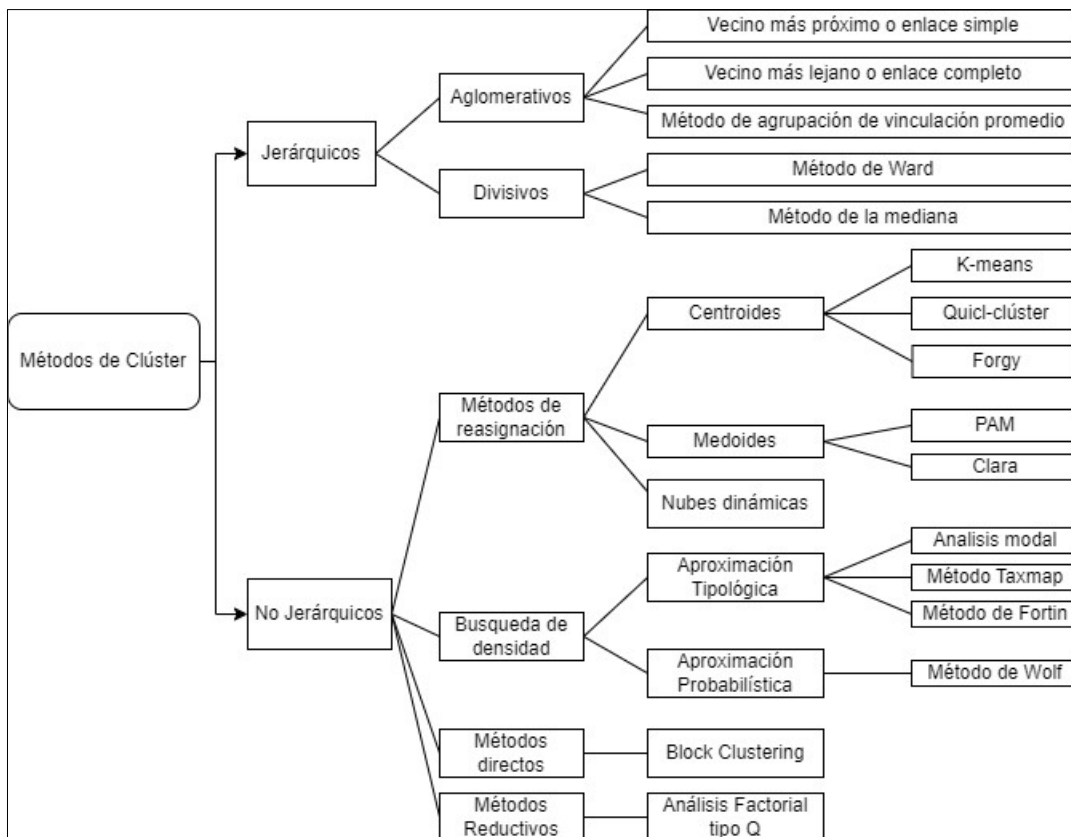
## 1.4 Análisis clúster

### 1.4.1 Definición

El análisis clúster, también llamado análisis de conglomerados, es una técnica para clasificación en grupos de ciertos datos. Tiene como objetivo formar grupos lo más homogéneos posibles. Es decir, la información analizada en cada grupo formado, sea similar entre sí. Además, es necesario que exista la máxima heterogeneidad entre clústeres (Cabarcos, 2015).

### 1.4.2 Clasificación de los métodos clúster

Los métodos de clúster se dividen en dos grupos tal como se observan en la Figura 2:

**Figura 2***Clasificación del método clúster*

Nota: Adaptado de Calvo (2018)

De todos los métodos clúster mencionados, en este trabajo hemos analizados la información mediante el método No Jerárquico K-means y PAM.

**1.4.2.1 K-means.** Este método de análisis clúster permite dividir un conjunto de datos en un conjunto de k grupos. Pero, k representa el número de grupos que debe ser preespecificado. Los objetos que son clasificados dentro de un mismo grupo serán lo más similares que se pueda. Además, cada grupo está representado por su centroide el cual corresponde a la media de los puntos asignados al grupo (MacQueen, 1967).

Para estimar el número óptimo de grupos clúster, se realizó el método del codo, el cual es una técnica para determinar el número óptimo de clústeres. Para identificar el número adecuado de clústeres se debe analizar el cambio significativo existente en la tasa de disminución de la varianza obtenida por cada grupo clúster (Rodríguez, 2023).

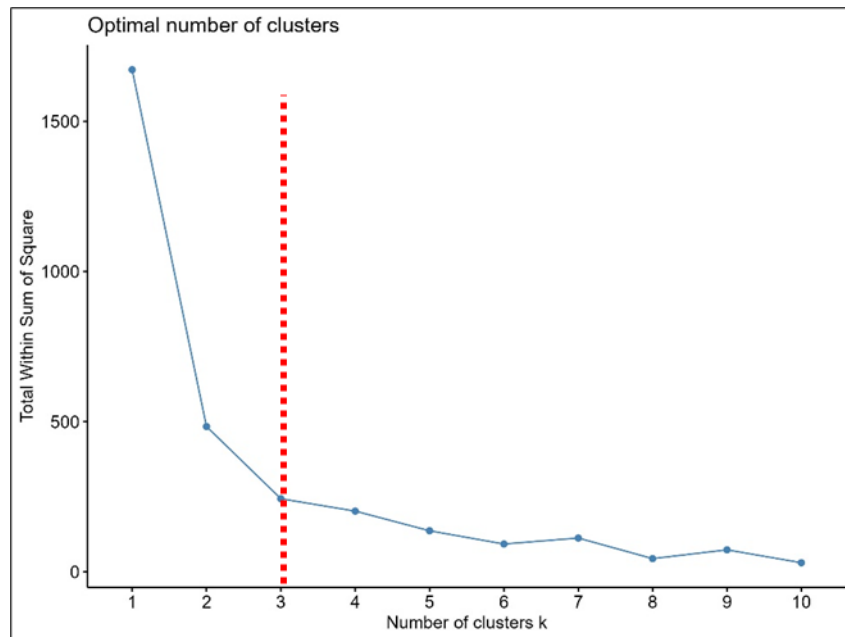
Rodríguez (2023) nos dice que el método del codo, para cada valor k, calcula la suma de los errores cuadrados, es decir la suma de las distancias al cuadrado de cada punto de datos al centroide del grupo clúster más cercano.

Para obtener ello, en este trabajo se ejecuta el algoritmo en el software RStudio y con la función “fviz-nbclust” se obtiene el grafico que se observa en la Figura 2 el cual representa

la varianza obtenida dentro de cada grupo. La varianza disminuye a medida que el número de  $k$  (grupos) aumenta. La curva que se observa en el  $k=3$  representa el codo, el cual indica que los grupos mayores a 3 tienen poco valor. Con ello, el número óptimo de  $k$  para este ejemplo sería 3.

**Figura 3**

*Número óptimo de clústers*



Nota: Adaptado de MacQueen (1967)

**1.4.2.2 PAM.** El método PAM (Partitioning Around Medoids) es un método de agrupamiento particional que también busca dividir un conjunto de datos en  $K$  clúster, pero a diferencia de K-means, PAM selecciona puntos de datos reales como los centros de los clústeres en lugar de los valores promedio. El punto que selecciona el método debe tener una disimilitud media mínima con los demás objetos del grupo clúster, es decir la distancia promedio entre los puntos de la agrupación (MacQueen, 1967)

### 1.4.3 Validación de clústeres

La validación de clústeres es importante para asegurar que el análisis realizado genere resultados confiables y exista estabilidad en los grupos clúster formados (UPM, s.f.)

Para la validación de los resultados, existen medidas internas y de estabilidad que se describen a continuación:

### 1.4.3.1 Medidas internas

**1.4.3.1.1 Coeficiente de Silueta.** Mide que tan bien es la agrupación de la data y calcula la distancia promedio entre los grupos. Valores cercanos a 1 indican un buen agrupamiento y valores que se encuentran cercanos a 0 indican puntos en el borde de dos clústeres.

**1.4.3.1.2 Índice de Dunn.** Es el cociente entre la distancia mínima entre clústeres y el diámetro máximo de los grupos. Si se obtiene valores altos, quiere decir que el agrupamiento es mejor.

**1.4.3.1.3 Coeficiente de conectividad.** Indica en qué medida los valores se ubican dentro del mismo grupo que sus vecinos más cercanos. Tiene un valor entre 0 e infinito, para que sea el mejor, el valor de conectividad debe ser el mínimo.

### 1.4.3.2 Medidas de estabilidad

**1.4.3.2.1 APN:** Mide la proporción promedio de los puntos que no se encuentran en el mismo grupo, agrupándolos en función de los datos completos.

**1.4.3.2.2 AD:** Mide la distancia promedio entre puntos del mismo grupo.

**1.4.3.2.3 ADM:** Mide la distancia promedio entre los centros de los conglomerados para los puntos.

Para los tres métodos los valores varían entre 0 a 1, la agrupación con buena consistencia tiene un valor más cercano a cero.

## Capítulo 2

### Caso de Estudio: Cuenca del río Piura

El presente trabajo comprende el área de estudio de la cuenca del río Piura, para ello se describe a continuación aspectos generales de la cuenca, como son el clima, la temperatura que se presenta a lo largo del año, la geomorfología, las características poblacionales (al 2017), las actividades que principalmente mueven la economía en la región, el nivel de producción y exportación en la agricultura.

#### 2.1 Ubicación geográfica y política

##### 2.1.1 Ubicación geográfica

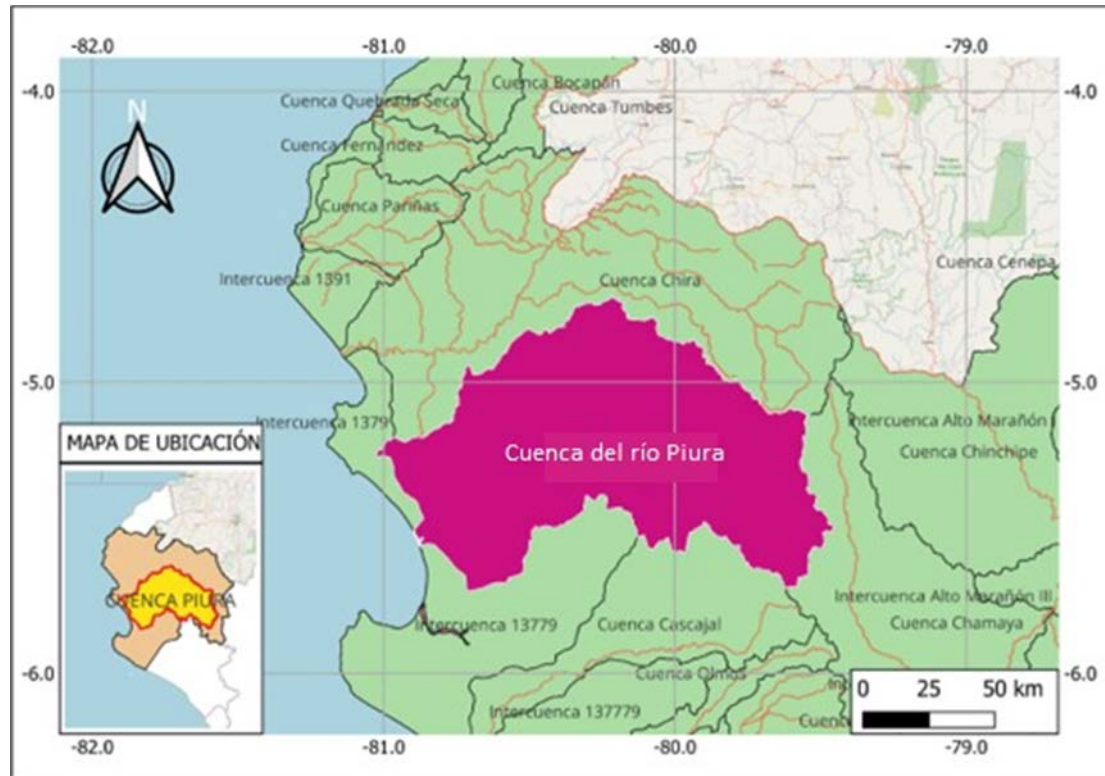
La cuenca del río Piura, según el MINAM (2003), tiene un área de total de 12,216 km<sup>2</sup>, está ubicada en el extremo Norte del Perú, entre los 0 y 3600 m.s.n.m., geográficamente está situada entre los paralelos 4°42' y 5°45' de latitud sur, y entre los meridianos 79°29' y 81°00' de longitud oeste. El espacio geográfico de la cuenca del río Piura corresponde a la zona 17 del Esferoide Internacional, con coordenadas UTM: 9'351,196.25 a 9'477,038.59 Norte y 493,547.49 a 676,699.89 Este. La ubicación de la zona de estudio se puede observar en la Figura 4.

Los límites de la cuenca Piura son los siguientes (López, Gallo, & Ibañez, 2001):

- |              |   |                                     |
|--------------|---|-------------------------------------|
| Por el Norte | : | Cuenca Chira                        |
| Por el Este  | : | Cuenca Chamaya                      |
| Por el Sur   | : | Cuenca Cascajal e Intercuenca 13779 |
| Por el Oeste | : | Intercuenca 1379                    |

**Figura 4**

*Ubicación geográfica de la cuenca del río Piura.*



Nota: Adaptado del repositorio digital MINAM (2003)

### **2.1.2 Ubicación política**

En la Figura 5, se puede observar que, la cuenca del río Piura comprende 5 provincias del departamento de Piura, las cuales a su vez comprenden 29 distritos distribuidos de la siguiente manera: (MINAM, 2003)

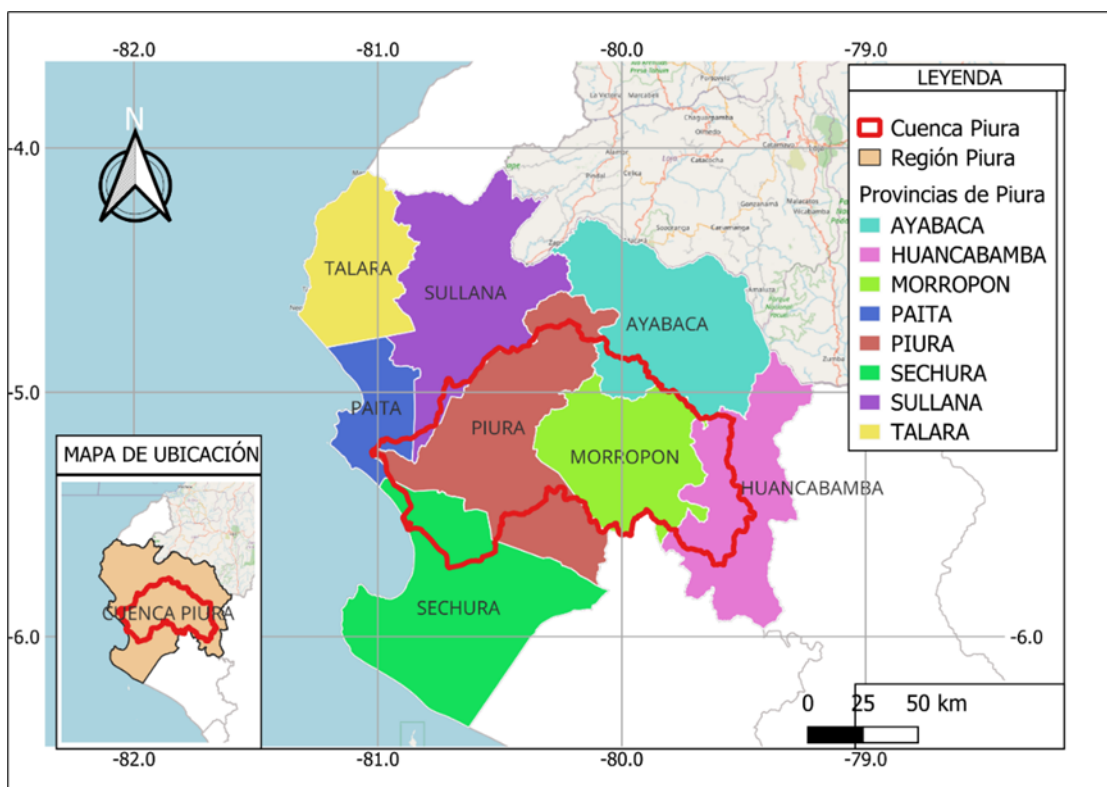
Piura : Tambogrande, Piura, Castilla, Catacaos, Cura Mori, La Arena, La Unión y el Tallan.

Morropón : San Juan de Bigote, Salitral, Buenos Aires, Chalaco, Santo Domingo, Yamango, Santa Catalina de Mossa, Morropón, La Matanza y Chulucanas.

Huancabamba: Huarmaca, San Miguel del Faique, Canchaque y Lalaquiz.

Sechura : Bernal, Vice, Rinconada Llicuar, Bellavista, Cristo Nos Valga y sechura.

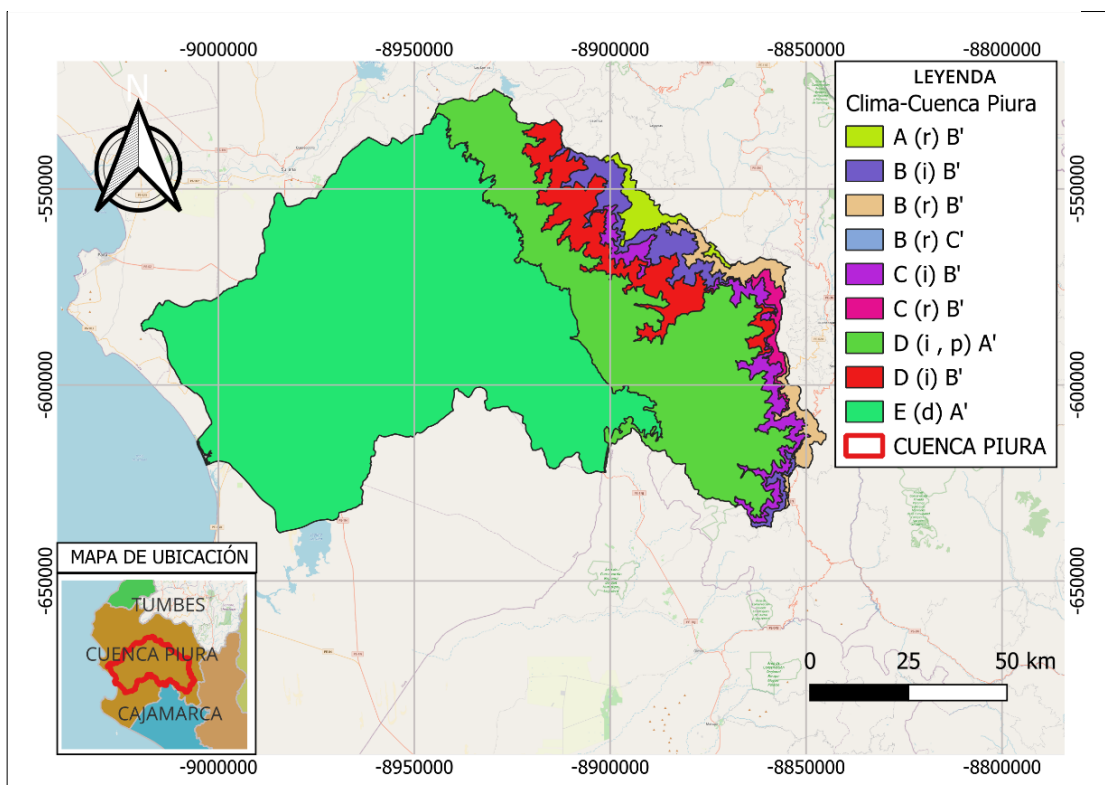
Ayabaca : Frías

**Figura 5***Ubicación Política de la Cuenca del río Piura*

Nota: Adaptado del repositorio digital MINAM (2003)

## 2.2 Clima

Según los estudios del SENAMHI (2020), en la cuenca del río Piura se presentan 9 tipos de climas. Desde el litoral hasta los 500 msnm, que abarca las provincias de Piura y Sechura, se presenta un clima árido y cálido, y durante todo el año existe deficiencia de humedad ( $E(d) A'$ ), en las provincias que se encuentran entre los 500 y 1000 msnm, es decir Huancabamba y zonas altas de las provincias de Piura y Morropón, se observa un clima semiárido y cálido, sin humedad en invierno y primavera ( $D(i, p) A$ ); las provincias de Ayabaca, Morropón y Huancabamba, las cuales se encuentran entre los 1000 y 3 500 msnm, presentan un clima que va desde el semiseco hasta el lluvioso y muy lluvioso, con invierno seco o humedad en todo el año ( $C(i)B'$ ,  $C(r)B'$ ,  $B(i)B'$ ,  $B(r)B'$ ,  $B(r)C'$  y  $A(r)B'$ ), los cuales pueden variar entre el frío y templado. Ver Figura 6 Tabla 7.

**Figura 6***Clima de la cuenca del río Piura*

Nota: Adaptado del mapa de clasificación climática del Perú, SENAMHI.

**Tabla 7***Tipos de climas de la cuenca del río Piura.*

Descripción	Simbología
Muy lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Cálido.	A (r) B'
Muy lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado.	B (i) B'
Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado.	B (r) B'
Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Frío	B (r) C'
Semiseco con invierno seco. Templado	C (i) B'
Semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado	C (r) B'
Semiárido con invierno y primavera secos. Cálido	D (i, p) A'
Semiárido con invierno seco. Templado	D (i) B'
Árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año. Cálido	E (d) A'

Nota: Adaptado del mapa de clasificación climática del Perú. SENAMHI.

### **2.2.1 Temperatura**

La cuenca del río Piura, presenta una temperatura media que oscila entre los 14°C y 26°C. Las temperaturas máximas anuales se encuentran entre 16°C y 35°C, en la zona comprendida entre las localidades de Tambogrande, Curván, Malingas, Huapalas y Hacienda Pabur, se encuentra el núcleo que presenta el mayor valor de 35°. Para el caso de las temperaturas mínimas multianuales, estas se encuentran entre 10°C y 19°C, el núcleo de mayor valor (19°) se presenta cerca de las localidades de Tambogrande, San Joaquín y Huapalas. (AACHCHP, 2005)

### **2.2.2 Precipitación**

El régimen de lluvias de la zona baja que se encuentra entre el nivel del mar y 80 msnm presenta precipitaciones de 10 a 80 mm anuales, concentrado en el periodo de enero a abril y seco el resto del año; además, las lluvias en esta zona suelen ser muy irregulares debido a la ocurrencia aleatoria del fenómeno El Niño. La franja situada entre los 80 y 500 msnm presenta lluvias de 100 a 600mm, generalmente con un periodo de ocurrencia de diciembre a mayo, el resto del año se pueden observar lluvias extremadamente bajas e incluso cero en algunos años. Las zonas que se encuentran desde los 500 msnm hasta la línea divisoria de aguas, están caracterizadas por presentar baja variabilidad de lluvias que oscilan entre los 700 y 1100 mm, registrándose de enero a mayo las precipitaciones máximas y el resto del año lluvias de baja intensidad. (Rojas & Ibáñez, 2003)

### **2.3 Relieve**

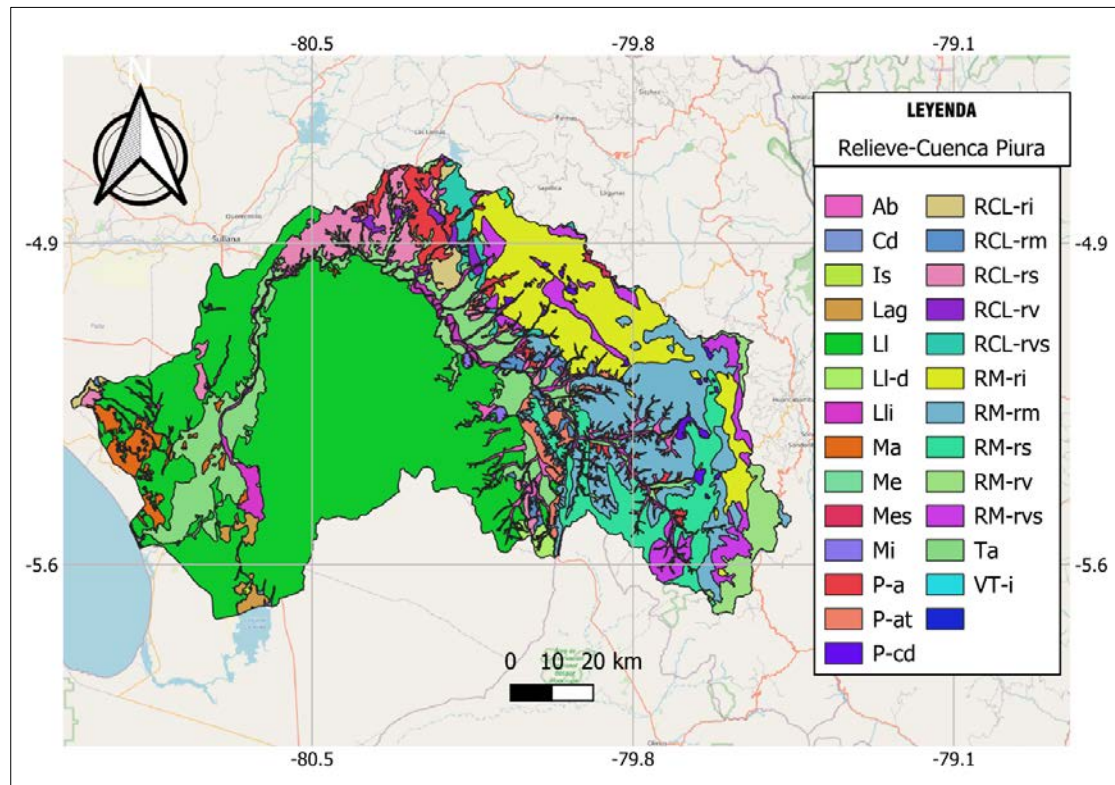
La cuenca del río Piura debido a la variabilidad topográfica y las condiciones climáticas, presenta una geomorfología diversa y compleja; se extiende desde las estribaciones andinas hasta la costa del pacífico. Rojas & Ibáñez (2003) nos comentan las diversas características geomorfológicas en las zonas de la cuenca (Ver figura 7 y Tabla 8):

En la zona alta de la cuenca que tiene áreas montañosas y altitudes superiores a los 3000 msnm, predominan formas de relieve abruptas y escarpadas, además, esta caracterizado por pendientes pronunciadas y tiene la presencia de suelos delgados y rocosos.

En la zona media de la cuenca, a medida que el río desciende de las montañas, va atravesando una región de valles intermedios; el relieve es menos pronunciado y presenta colinas onduladas y suelos más profundos y fértiles. Esta zona de la cuenca es propicia para la agricultura debido a las pendientes moderadas y mayor estabilidad del suelo.

En la zona baja de la cuenca, es decir en la planicie costera el relieve es muy suave, con pendientes casi nulas. En esta área se encuentran las planicies aluviales y el desierto de Sechura. La geomorfología, está dominada por depósitos aluviales recientes y antiguos, los cuales fueron formados por sedimentos transportados por el río Piura.

**Figura 7**  
*Geomorfología de la cuenca Piura*



Nota: Adaptado del mapa de SENAMHI

**Tabla 8***Descripción de los tipos de Relieve*

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
Ab	Abanicos de piedemonte
Cd	Cordón de dunas
Is	Islas
Lag	Lagunas, cuerpos de agua
Ll	Llanura o planicie costera
Ll-d	Llanura o planicie disectada
Lli	Llanura aluvial o cauce inundable
Ma	Mantos de arena
Me	Montaña estructural
Mes	Altiplanicie o meseta andina
Mi	Montes Islas
P-a	Piedemonte aluvial
P-at	Piedemonte aluvio-torrencial
P-cd	Piedemonte coluvio-deluvial
RCL-ri	Relieve de colinas y lomadas en rocas intrusivas
RCL-rm	Relieve de colinas y lomadas en rocas metamórficas
RCL-rs	Relieve de colinas y lomadas en rocas sedimentarias
RCL-rvs	Relieve de colinas y lomadas en rocas volcánicas sedimentarias
RM-ri	Relieve montañoso en rocas intrusivas
RM-rm	Relieve montañoso en rocas metamórficas
RM-rs	Relieve montañoso en rocas sedimentarias
RM-rv	Relieve montañoso en rocas volcánicas
RM-rvs	Relieve montañoso en rocas volcánicas-sedimentarias
Ta	Terraza aluvial
VT-i	Valle fluvial y terrazas indiferenciadas

Nota: Información adaptada de la página de SENAMHI

#### **2.4 Población y aspectos económicos.**

La población de la cuenca del río Piura, considerando los distritos que la conforman, registra 923 109 hab., lo cual representa al 55.1% de la población Piurana. Cuenta con una tasa de crecimiento intercensal del 1.0% para el periodo del 2017/2007. En la Tabla 2 podemos observar a detalle la población que pertenece a cada distrito (INEI, 2017).

La actividad económica en el ámbito de la cuenca del río Piura se centra en los siguientes sectores: agrícola y pecuario, pesca, industria (desmotadoras, molinos de arroz, procesamiento de aceites, hilanderías, etc.), minería (metálica y no metálica), servicios. (Piura, G.R., 2009).

La actividad económica que más predomina es la agricultura. La ANA (2007), nos menciona que el área agrícola de la cuenca del río Piura está conformada por 28,971 Ha. de

cultivos permanentes como café, lúcuma, mango, chirimoyo, cocotero, palto, limón ácido, cacao y naranja, que representan un 26.58% del total de la cuenca; también, 9,100 Ha. que representa el 8.35% de la cuenca con cultivos semi permanentes como maracuyá, pasto elefante, caña de azúcar, granadilla, alfalfa, tuna, papaya y espárrago; además, cultivos transitorios que forman un área de 70,896 Ha. que representa el 65%, con sembríos de arroz, maíz amiláceo, maíz amarillo, trigo, arveja, frijol, algodón, yuca, papa, marigold, camote, maní, cebada, ajo, ají pprika, tomate, cebolla, zanahoria, sandia, zarandaja, oca, soya, olluco, melón.



**Tabla 9***Población por distritos que pertenecen a la cuenca del río Piura*

Provincias	Distritos	TOTAL	Población		Urbano		Rural	
			Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Piura	Tambogrande	107495	54804	52691	21987	21992	32817	30699
	Piura	158495	75 971	82524	73029	79803	2942	2721
	Castilla	160201	79421	80780	78799	80186	622	594
	Catacaos	75870	37316	38554	36 202	37 442	1114	1112
	Cura mori	18671	9431	9240	9036	8842	395	398
	La Arena	38734	19439	19295	17926	17858	1513	1437
	La Unión	41742	20582	21160	20228	20784	354	376
	Tallan	5387	2733	2654	2580	2509	153	145
Morropón	San Juan de Bigote	6433	3313	3120	2044	1928	1269	1192
	Salitral	8527	4350	4177	3124	3031	1226	1146
	Buenos Aires	9410	4770	4640	3936	3861	834	779
	Chalaco	7789	3942	3847			3942	3847
	Santo Domingo	5960	2991	2969			2991	2969
	Yamango	8501	4332	4169			4332	4169
	Santa Catalina de Mossa	3650	1851	1799			1851	1799
	Morropón	15239	7612	7627	6057	6145	1555	1482
	La Matanza	13997	7047	6950	4627	4653	2420	2297
	Chulucanas	82521	40970	41551	31295	32215	9675	9336
Huancabamba	Huarmaca	35548	17773	17775	1766	1711	16007	16064
	San Miguel del Faique	8678	4248	4430	1139	1141	3109	3289
	Canchaque	7317	3725	3592	1146	1187	2579	2405
	Lalaquiz	3871	1937	1934			1937	1934
Sechura	Bernal	6855	3446	3409	3219	3209	227	200
	Vice	15630	7540	8090	7354	7891	186	199

	Rinconada Llicuar	3004	1491	1513	1486	1513	5	
	Bellavista	4798	2418	2380	2332	2297	86	83
	Cristo Nos Valga	4300	2174	2126	1293	1372	881	754
	Sechura	44590	22345	22245	21600	21658	745	587
Ayabaca	Frias	19896	10064	9832	1174	1169	8890	8663
	<b>TOTAL</b>	<b>923109</b>						

Nota: Información adaptada del informe de INEI (2017)

## Capítulo 3

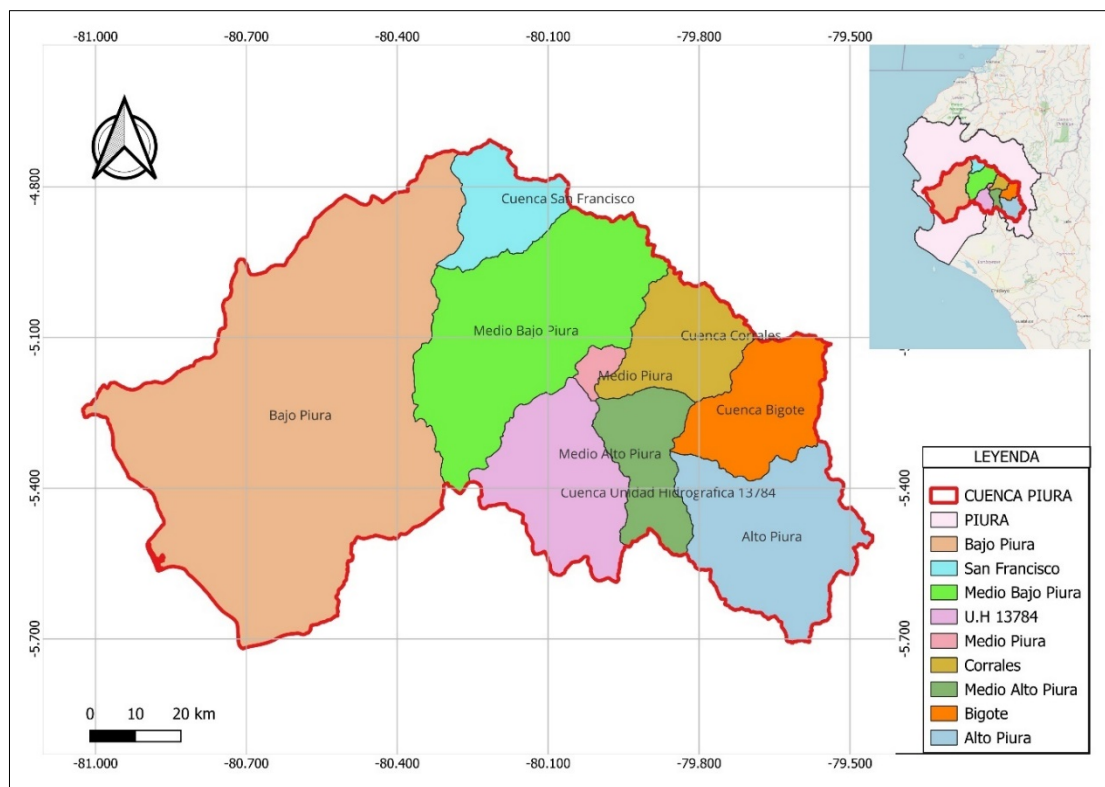
### Caracterización de las subcuencas que conforman la cuenca del río Piura y determinación de valores de precipitación y temperatura

La cuenca del río Piura, conformada por nueve subcuencas que contribuyen al caudal del río Piura, juegan un papel crucial en la dinámica hidrológica de la región.

Se trabajó nueve subcuencas dentro de la cuenca del río Piura, estas cuencas delimitadas por la Autoridad Nacional del Agua (2008), lo cual nos asegura que los límites geográficos utilizados son precisos y reconocidos oficialmente. Para tener un análisis más detallado se utilizó la herramienta QGIS. Estas subcuencas se muestran en la Figura 8.

**Figura 8**

*Subcuencas de la zona de estudio*



Nota: Adaptado de ANA (2008)

### 3.1 Determinación de los parámetros fisiográficos en las subcuencas de la cuenca del río Piura

Se determinaron los parámetros fisiográficos de las nueve subcuencas que integran la cuenca del río Piura. Para la determinación de dichos parámetros se hizo uso de las herramientas del programa QGIS. La data topográfica utilizada ha sido SRTM de 12.5 m ALOS PALSAR (ASF, s.f.)

En la Tabla 10 se muestra un resumen de los 12 parámetros fisiográficos calculados para cada una de las nueve subcuencas que conforman la cuenca del río Piura. La definición de estos parámetros y su forma de cálculo han sido descritos en el capítulo I de Estado del Arte; seis parámetros de forma (Área, perímetro, ancho promedio, coeficiente de Gravelius, factor de forma); cuatro parámetros de relieve (pendiente media del cauce principal, pendiente de la cuenca, altura máxima y mínima de la cuenca, elevación media de la cuenca) y dos parámetros de red hídrica (Densidad de drenaje y longitud total de drenaje).

Los parámetros determinados se muestran en la Tabla 10:



**Tabla 10**

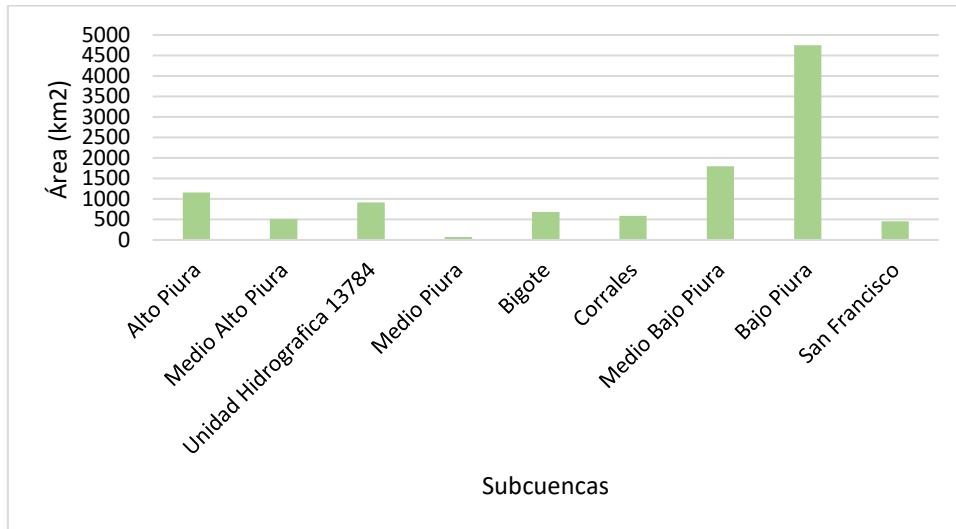
*Parámetros fisiográficos de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del río Piura.*

Parámetros	Simbología	Unidades	Alto Piura	Medio Alto Piura	Unidad Hidrográfica 13784	Medio Piura	Bigote	Corrales	Medio Bajo Piura	Bajo Piura	San Francisco
Área	A	Km <sup>2</sup>	1158.5	508.72	918.83	73.74	678.64	589.94	1799.68	4750.18	458.14
Perímetro	P	Km	179.35	123.15	151.76	42.42	125.7	118.95	223.73	391.52	109.38
Longitud mayor del río	L	Km	64.9	54	54.63	16.98	52.33	47.17	86.5	167.67	44.02
Longitud total de drenaje		Km	439.98	208.16	434.83	36.92	240.88	223.97	877.72	2297.44	208.84
Ancho promedio $\frac{\sum L}{n}$	Ap	Km	17.85	9.42	16.82	4.34	12.97	12.51	20.8	28.33	10.41
Densidad de drenaje	Dd	Km/Km <sup>2</sup>	0.38	0.41	0.47	0.5	0.35	0.38	0.49	0.48	0.46
Índice de compacidad	Kc		1.49	1.54	1.41	1.39	1.36	1.38	1.49	1.6	1.44
Factor de forma	Ff		0.28	0.17	0.31	0.26	0.25	0.27	0.24	0.17	0.24
Pendiente media del cauce principal	Sc	%	4%	1%	0	1%	5%	6%	3%	0	1%
Pendiente de la cuenca	Sg	%	39.5	27.8	7	16.1	37.2	39.7	16.8	3.9	14.8
Hmax-Hmin		m	3423	1243	976	749	3385	3545	3217	550	1677
Elevación media cuenca		m	1160	407	189	200	1290	1384	519	79	316

Como se puede observar en la Tabla 10 y en la Figura 9, la subcuenca más pequeña superficialmente es la subcuenca Medio Piura con un valor de área de 73.74 km<sup>2</sup> y la más grande es la subcuenca Bajo Piura con un área de 1799.68 km<sup>2</sup>.

**Figura 9**

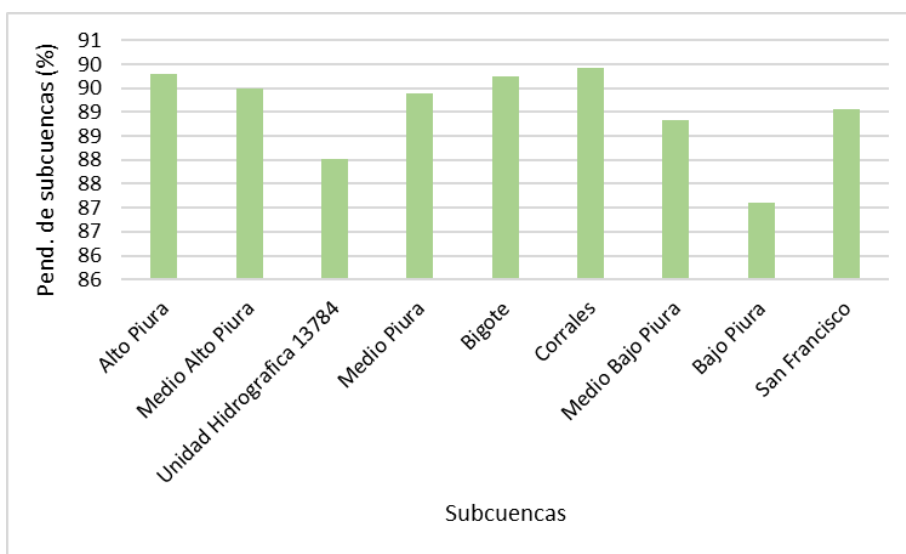
*Áreas de las subcuencas del río Piura*



Las longitudes de río de las subcuencas que forman parte de la cuenca del río Piura, presentan valores desde los 16.98 km que es la longitud más pequeña correspondiente a la subcuenca Medio Piura, hasta los 167.67 km que representa la longitud mayor correspondiente a la subcuenca Bajo Piura tal como se puede observar en la Figura 10.

**Figura 10**

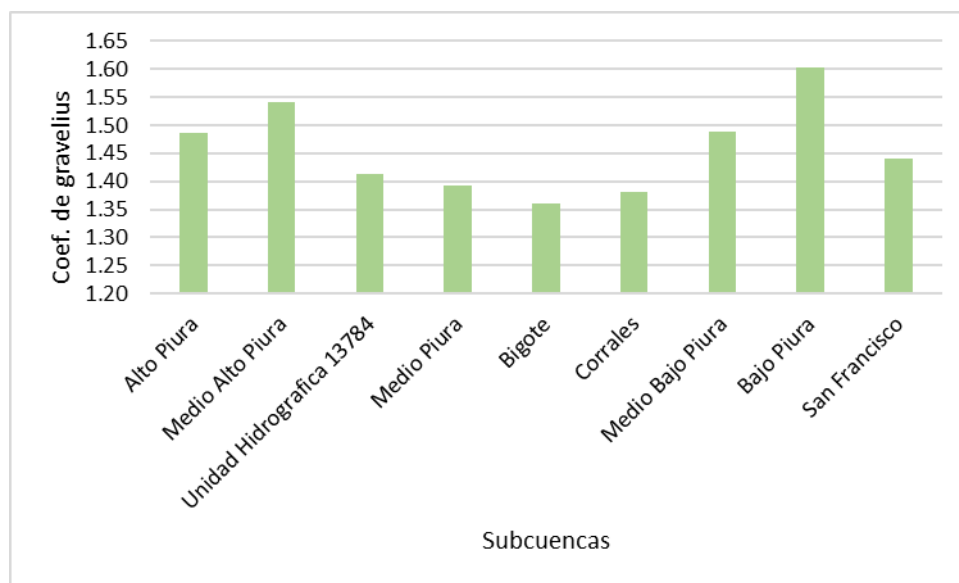
*Longitud mayor del río de las subcuencas del río Piura*



Como se observa en la Figura 11, el índice de compacidad o coeficiente de Gravelius obtenido de las subcuencas, se encuentra en un rango de 1.36 a 1.60, lo cual indica que las subcuencas según el coeficiente de Gravelius se clasifican como subcuencas alargadas.

**Figura 11**

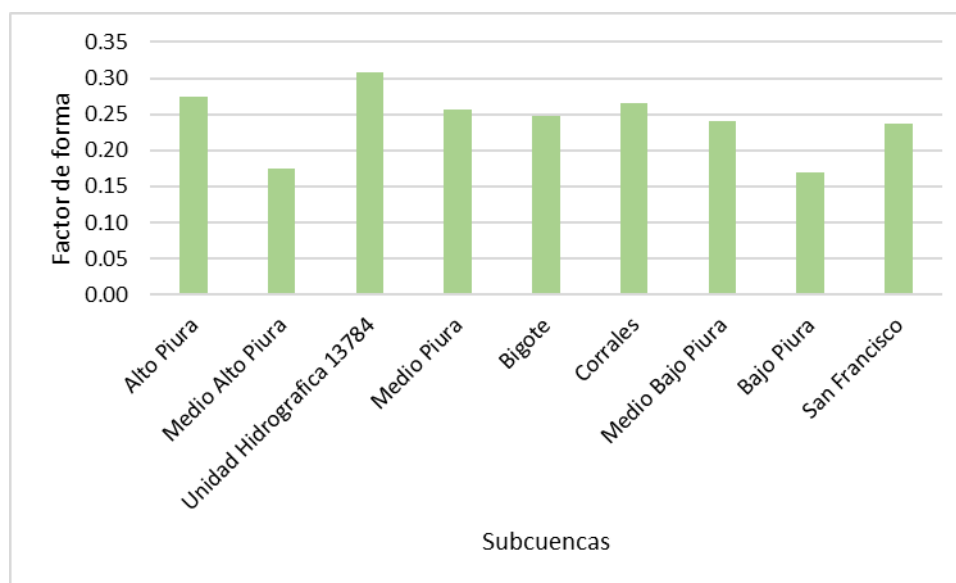
*Coeficiente de Gravelius de las subcuencas de la cuenca del río Piura.*



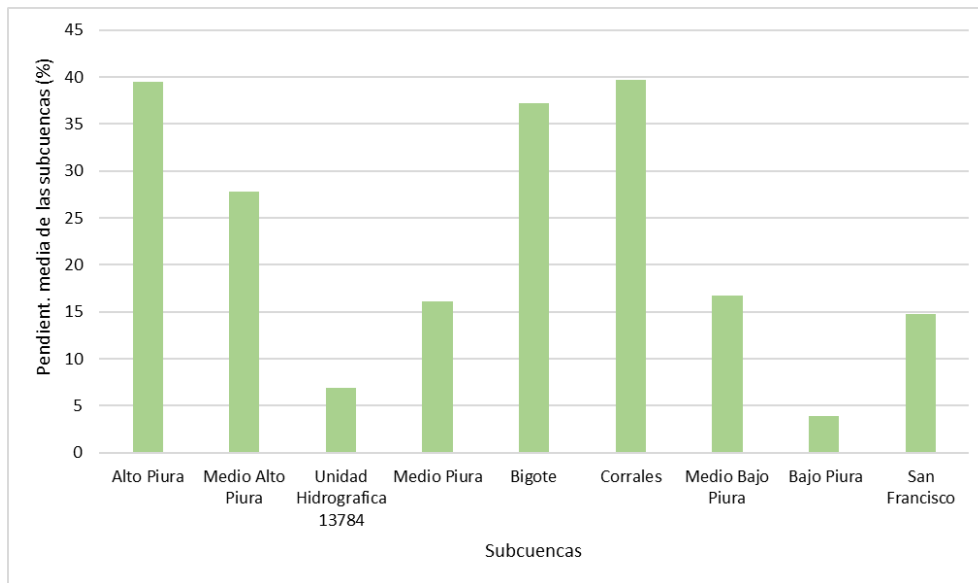
Las subcuencas de la zona de estudio presentan un factor de forma que se encuentra en el rango de 0.31 a 0.17 (Ver figura 12), lo cual nos indica que las subcuencas según el factor de forma se clasifican como alargadas.

**Figura 12**

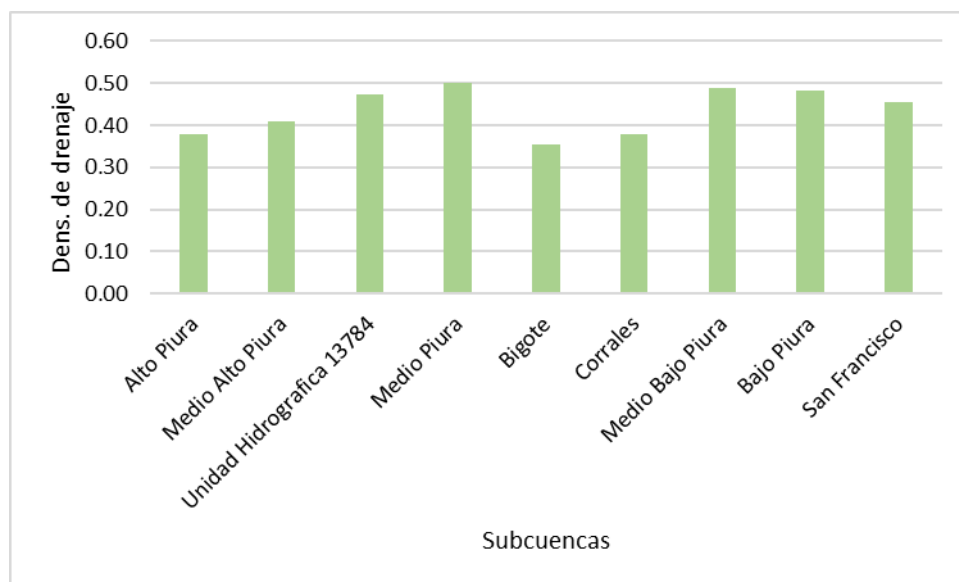
*Factor de forma de las subcuencas de la cuenca del río Piura*



Según la Figura 13, las pendientes se encuentran en un rango del 16 a 40%. La subcuenca Bajo Piura presenta una pendiente media igual a 3.9% lo cual indica que según su topografía es una subcuenca suave, la Unidad Hidrográfica 13784 presenta una pendiente media de 7.0%, es decir es presenta una topografía accidentado medio, la subcuenca San Francisco presenta una pendiente de 14.8% lo cual representa una topografía accidentada, las subcuencas Medio Piura y Medio Bajo Piura presentan pendiente de 16.1 y 16.8% respectivamente, representando una topografía fuertemente accidentada, por último las subcuencas Medio Alto Piura, Bigote, Alto Piura y Corrales tienen una pendiente de 27.8, 37.2, 39.5 y 39.7% respectivamente, las cuales tienen una topografía escarpada.

**Figura 13***Pendientes de las subcuencas*

Se puede observar en la figura 13 que todas las subcuencas presentan densidad de drenaje bajo con un rango de 0.35 a 0.50, es decir son subcuencas pobremente drenadas.

**Figura 14***Densidad de drenaje de las subcuencas de la zona de estudio*

### 3.2 Análisis pluviométrica actual

Para realizar el análisis pluviométrico de la cuenca del río Piura, visitamos la base de datos de diversas entidades como: la Autoridad Nacional del agua (ANA), Servicio Nacional de

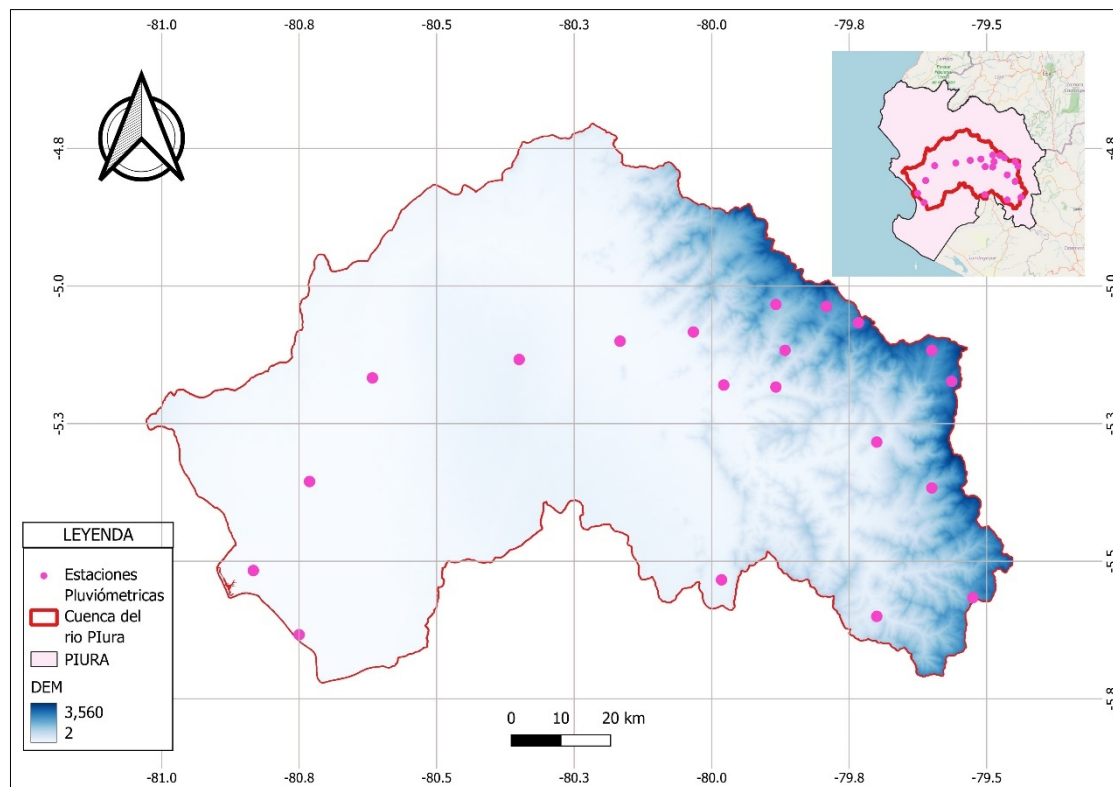
Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Proyecto Especial Chira Piura (PECHP) y Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations (PISCO), con ello obtuvimos datos de 20 estaciones pluviométricas pertenecientes a la cuenca del río Piura, que presentan información útil para poder completar los datos faltantes de las estaciones pertenecientes a la zona de estudio.

En la Tabla 11 y Figura 15, se observan las estaciones seleccionadas para el análisis pluviométrico de la cuenca del río Piura.

**Tabla 11**

*Detalle de estaciones pluviométricas para el análisis de la cuenca del río Piura.*

ID	Estación	Elevación (msnm)	Longitud	Latitud	Periodo	Cuenca
1	Altamiza	2600	-79.7333	-5.0667	1973 1991	Del río Piura
2	Barrios	310	-79.7	-5.2833	1974 1991	Del río Piura
3	Bernal	30	-80.75	-5.633333	1972 1993	Del río Piura
4	Canchaque	1200	-79.6	-5.3667	1972 1993	Del río Piura
5	Chalaco	2276	-79.7917	-5.0369	1972 1993	Del río Piura
6	Chignia	360	-79.7	-5.6	1973 1991	Del río Piura
7	Chulucanas	87	-80.1667	-5.1	1972 1989	Del río Piura
8	Chusis	14	-80.8333	-5.5167	1972 1989	Del río Piura
9	Corral del medio	193	-79.88333	-5.183333	1986 1992	Del río Piura
10	Huarmaca	2178	-79.5254	-5.566	1972 1992	Del río Piura
11	Miraflores	30	-80.6167	-5.1667	1972 1992	Del río Piura
12	Montenegro	27	-80.7311	-5.355	1972 1990	Del río Piura
13	Morropón	150	-79.9781	-5.1797	1972 1992	Del río Piura
14	Palo Blanco	2800	-79.5638	-5.173	1972 1989	Del río Piura
15	Paltashaco	900	-79.8667	-5.1167	1972 1990	Del río Piura
16	Pasapampa	2410	-79.6	-5.1167	1972 1991	Del río Piura
17	San Joaquín	100	-80.35	-5.1333	1973 1987	Del río Piura
18	San pedro	254	-80.0333	-5.0833	1975 1992	Del río Piura
19	Santo Domingo	1607	-79.8833	-5.0333	1972 1993	Del río Piura
20	El Virrey	211	-79.9822	-5.5336	1972 1989	Del río Piura

**Figura 15***Ubicaciones de las estaciones de estudio-Precipitación*

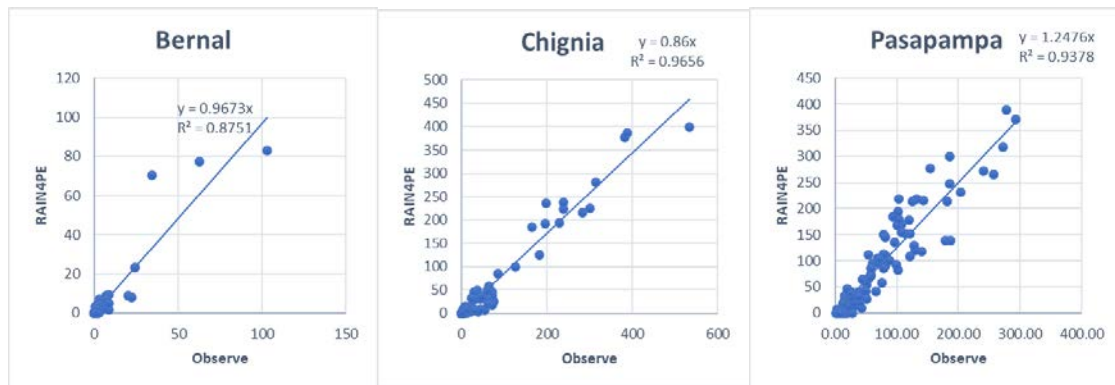
### 3.2.1 Estimación de datos faltantes

El periodo más extenso en el que se cuenta datos en las estaciones es de 1972 a 1993, pero existen algunos meses en los que no se cuenta con el registro de datos pluviométricos mensuales, para ello se procedió a realizar la estimación de los datos faltantes mediante el método CUTOFF descrito en el Capítulo I de estado del arte, en el apartado 1.2.4.

Luego de completar los datos de precipitación en el periodo 1972-1993 mediante el método Cutoff, se procedió a extender la data de precipitación hasta el año 2015, para ello se comparó esta información con la data PISCO los cuales son datos interpolados de observaciones climatológicas e hidrológicas del Perú, desarrollado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Para la extensión de la data se realizó un análisis de las correlaciones de ambas datas, para así poder verificar el ajuste que tienen con los valores observados, obteniendo valores de correlación de 0.75 y 0.98 (Ver figura 16). Los resultados de correlación obtenidos muestran la similitud entre los datos del SENAMHI y lo de PISCO, lo cual permite generar la extensión de las series de la data de manera confiable, obteniendo una serie final del 1972 al 2015.

**Figura 16**

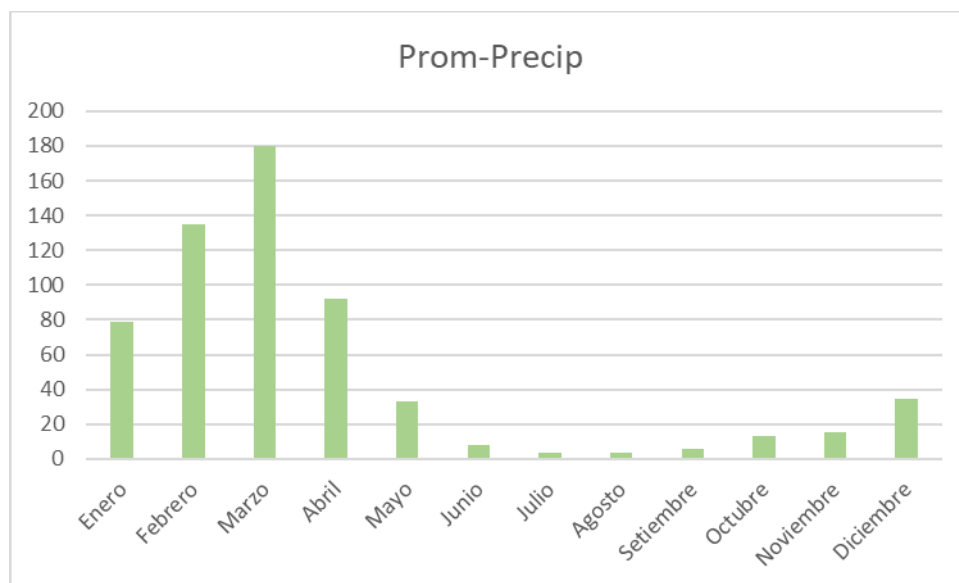
*Correlación entre datos registrados por SENAMHI y data PISCO en tres estaciones pluviométricas*



Con el completado y extendido de la serie se obtuvo una serie para 1972-2015. En la Figura 17 se muestra los valores promedio mensual de las precipitaciones.

**Figura 17**

*Promedio mensual de las precipitaciones de la situación actual*



### 3.3 Análisis de temperaturas actuales

Para realizar el análisis de temperaturas de la cuenca del río Piura, visitamos la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), con ello obtuvimos datos de 10 estaciones meteorológicas, pertenecientes a la cuenca de estudio y las cuales presentan información útil para poder completar los datos faltantes de las estaciones restantes a la zona de estudio.

En la Tabla 12 y Figura 18, se observan las estaciones obtenidas para el análisis meteorológico de la cuenca del río Piura.

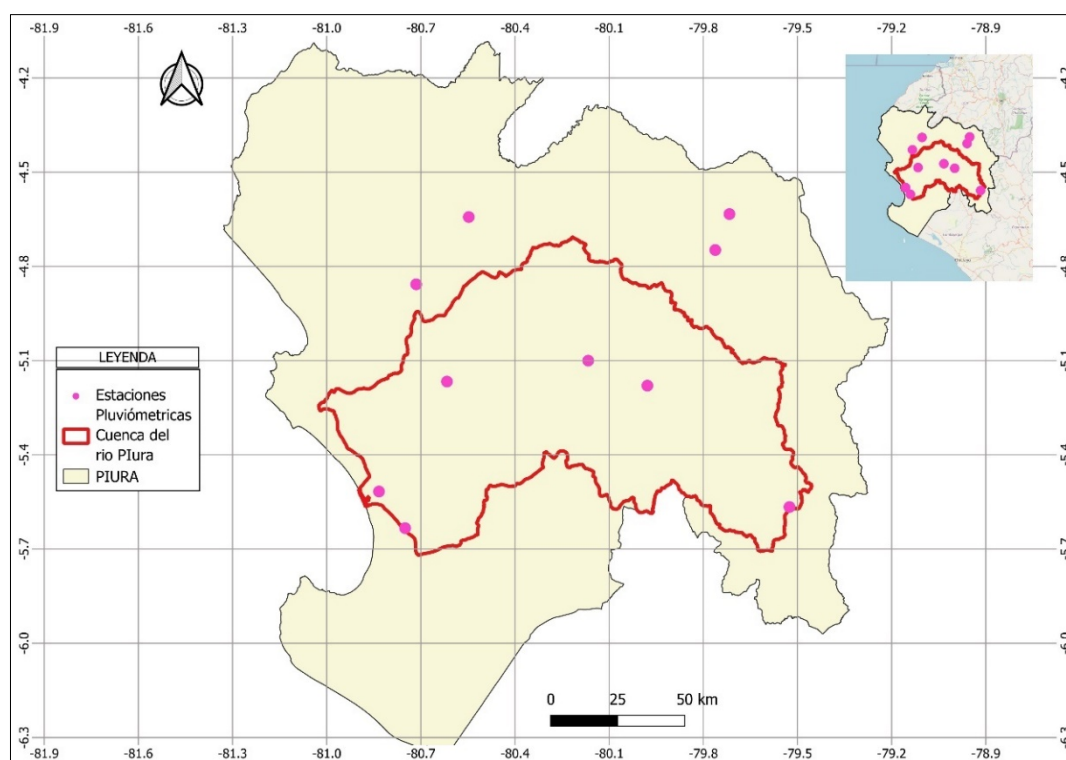
**Tabla 12**

*Detalle de estaciones meteorológicas para el análisis de la cuenca del río Piura*

ID	Estación	Elevación (msnm)	Longitud	Latitud	Periodo	
1	Bernal	30	-80.75	-5.633333	2005	2014
2	Chulucanas	87	-80.1667	-5.1	1972	1990
3	Chusis	14	-80.8333	-5.5167	1964	2021
4	Huarmaca	2178	-79.5254	-5.566	1973	2022
5	Miraflores	30	-80.6167	-5.1667	1971	2019
6	Morropón	150	-79.9781	-5.1797	1964	2020
7	Ayabaca	2700	-79.7167	-4.6333	1963	2020
8	Lancones	150	-80.5472	-4.6428	2003	2022
9	Mallares	47	-80.7147	-4.8571	1971	2019
10	Sausal de Culucan	980	-79.7617	-4.7478	1963	2013

**Figura 18**

*Ubicaciones de las estaciones de estudio-Temperatura*



### 3.3.1 Estimación de datos faltantes

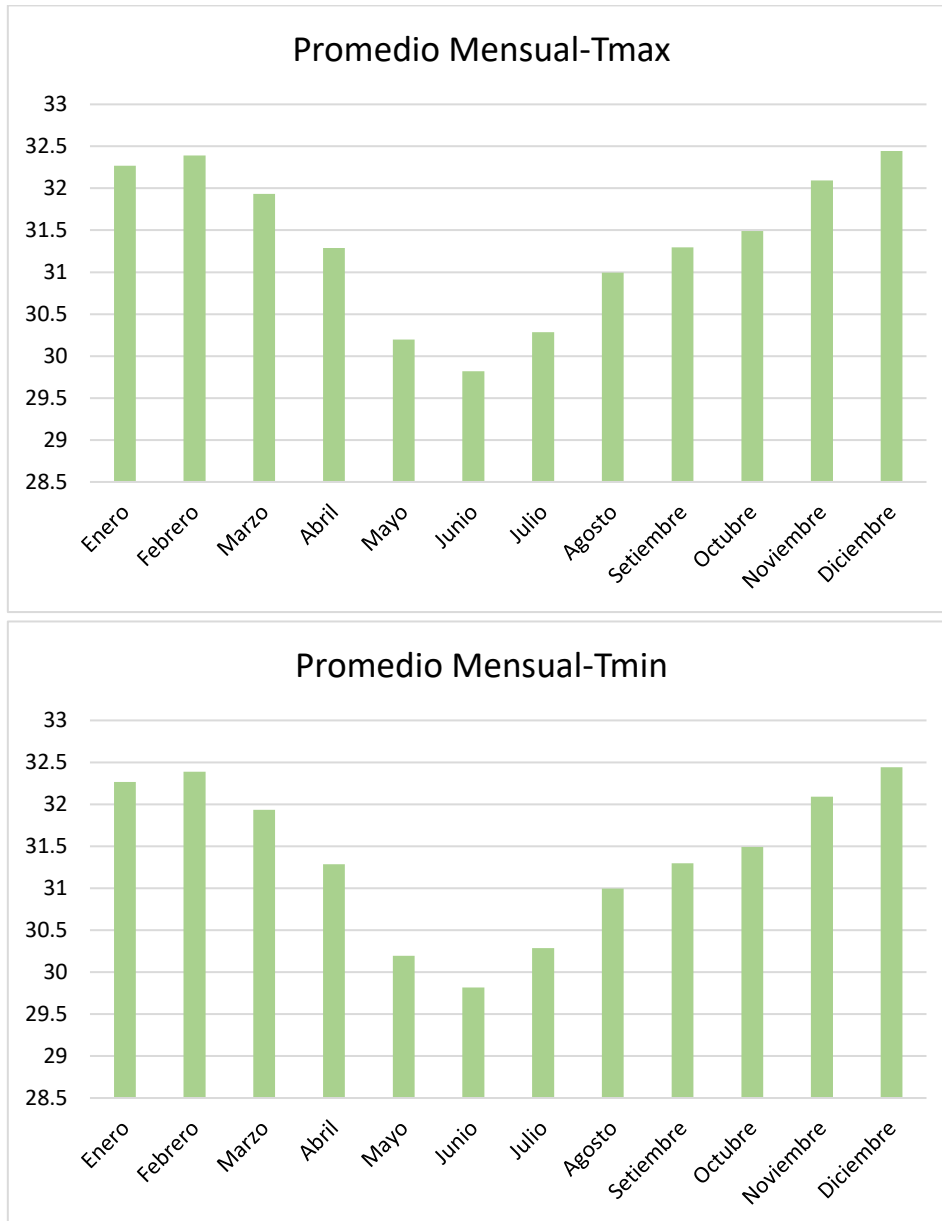
Para la estimación de datos faltantes de temperatura máxima y mínima de las 13 estaciones analizadas, también se utilizó el método de Cutoff, para el mismo periodo de los datos de pluviometría 1972-1993. Luego de ello, también se comparó con la data PISCO que cuenta con el conjunto de datos de temperaturas máximas y mínimas, al determinar que

existía similitud entre ellas, se procedió a extender la data tanto de temperatura máxima como mínima y obtener una serie del 1972 al 2015.

Con el completado y extendido de la serie se obtuvo un periodo de análisis para 1972 al 2015. En la Figura 19 se observan los valores promedio mensuales de las temperaturas máximas y mínimas.

**Figura 19**

*Valores promedio mensuales de temperatura máxima y mínima*



### 3.4 Modelos climáticos futuros

Para el análisis de los modelos climáticos, se obtuvo información de proyecciones futuras del 2015 al 2100, Tanto de precipitación como temperatura máxima y mínima en tres escenarios socioeconómicos compartidos (SSP126, SSP370 Y SSP585). Estos tres escenarios

de emisiones de gases de efecto invernadero, abarcan, uno con política de mitigación (SSP126) y otro sin política de mitigación (SSP585) (Fernandez et al., 2024).

Dentro de cada escenario se analizó 3 modelos climáticos los cuales se puede observar en la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Escenarios y modelos climáticos.*

<b>Escenarios</b>	<b>Modelos</b>
SSP126	CanESM5
SSP370	CNRM-CM6-1
SSP585	CNRM-ESM2-1

Nota: Adaptado de Fernandez et al (2024)

La resolución con la que se realizan y obtienen estos datos son importantes para proporcionar información confiable para la gestión del agua. En la tabla 14 se puede observar la resolución que tiene cada modelo.

**Tabla 14**

*Resolución de los tres modelos utilizados en este análisis.*

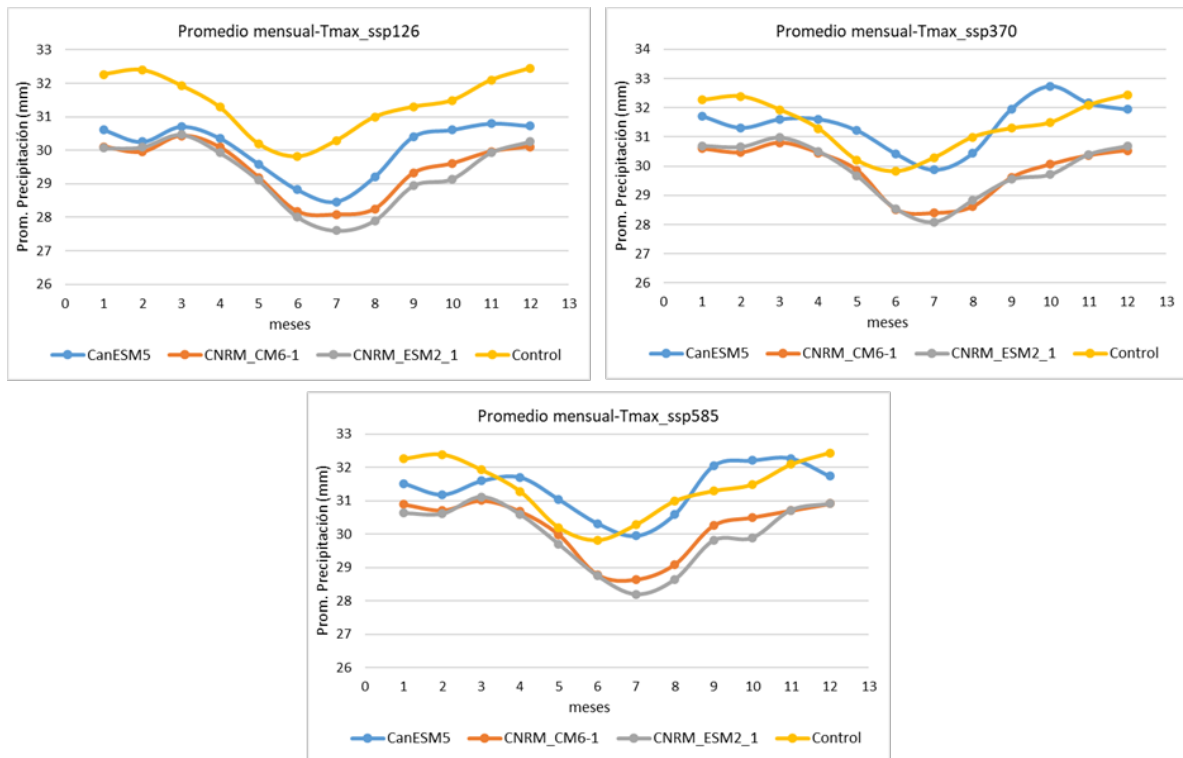
<b>N°</b>	<b>Modelo Climático</b>	<b>Resolución (Long. por Lat.)</b>
1	CanESM5	2.8° x 2.8°
2	CNRM-CM6-1	1.4° x 1.4°
3	CNRM-ESM2-1	1.4° x 1.4°

Nota: Adaptado de Fernandez et al (2024)

Los datos de precipitación, temperatura máxima y mínima de los modelos climáticos se generaron haciendo uso del método de ajuste de sesgo y reducción de escala estadística (BASD), para lo cual se utilizó un conjunto de datos confiables y de alta resolución, temperatura de la data PISCO y precipitación de RAIN4PE. (Fernandez et al., 2024)

**Figura 20**

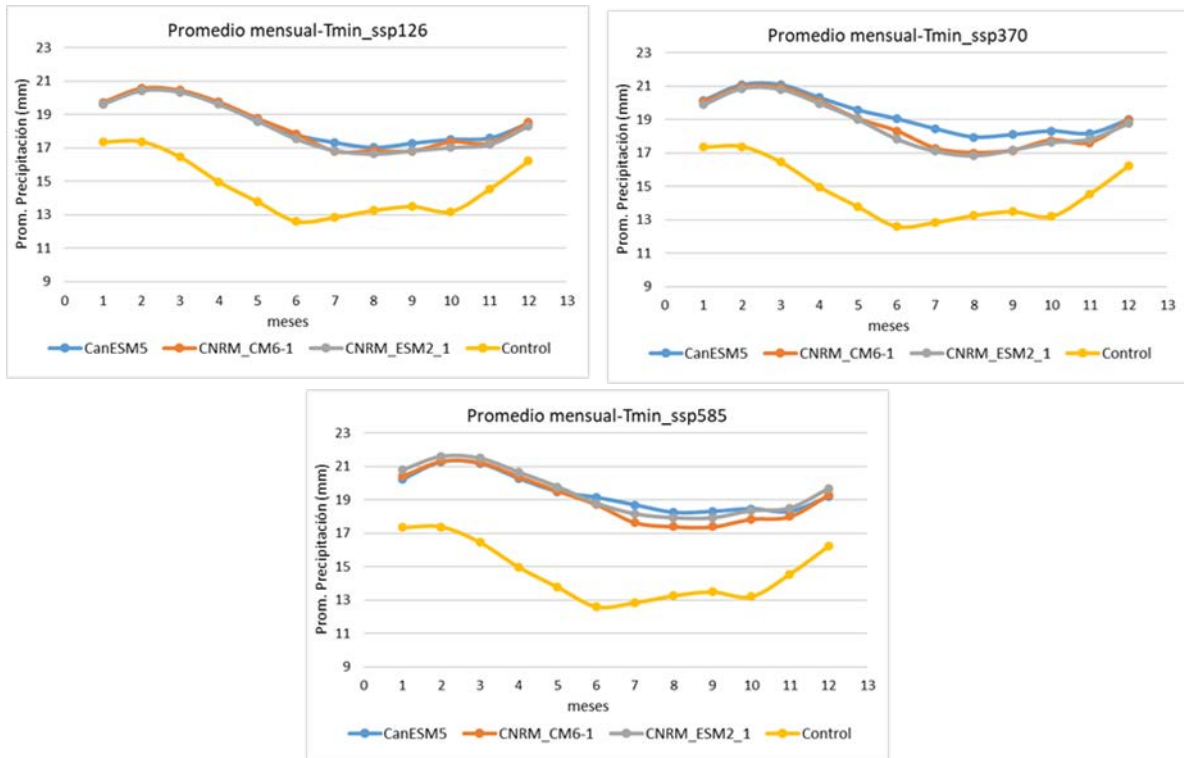
*Promedios mensuales de la temperatura máxima para la situación de control y situación futura en los tres escenarios*



En la figura 20 se pueden observar los valores promedios de las temperaturas máximas tanto de la situación de control como de los tres escenarios futuros en sus tres modelos climáticos. En el escenario ssp126 se puede observar que existe una mayor diferencia, la temperatura promedio máxima de la situación de control es mayor a la de los modelos climáticos. En los otros dos escenarios (ssp370 y ssp585) el modelo canESM5 presenta valores ligeramente mayores a la situación de control.

**Figura 21**

*Promedios mensuales de la temperatura mínima para la situación de control y situación futura en los tres escenarios*



En la figura 21 se pueden observar los valores promedios de las temperaturas mínimas tanto de la situación de control como de los tres escenarios futuros en sus tres modelos climáticos. Para los tres escenarios se observa que los modelos climáticos futuros son mayores respecto a la situación de control.

## Capítulo 4

### Análisis clúster para la situación actual y futura

El objetivo principal de este capítulo, es evaluar la importancia de variables climáticas como la precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y una variable fisiográfica que es la elevación, en la determinación de regiones hidrológicamente homogéneas mediante análisis clúster. Este análisis se realizó para el periodo 1972-2015.

#### 4.1 Análisis clúster para la situación actual

El análisis clúster se realizó para las 20 estaciones identificadas en el capítulo anterior y bajo los criterios clúster comentadas en el apartado 1.3 del Capítulo I Estado del arte. Se analizaron dos métodos de análisis clúster, donde se combinan diferentes variables climáticas y de elevación (variable fisiográfica), con la finalidad de ver la sensibilidad de estas variables en dicho análisis. Estas combinaciones se muestran en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Combinaciones y tamaño de matriz para análisis clúster.*

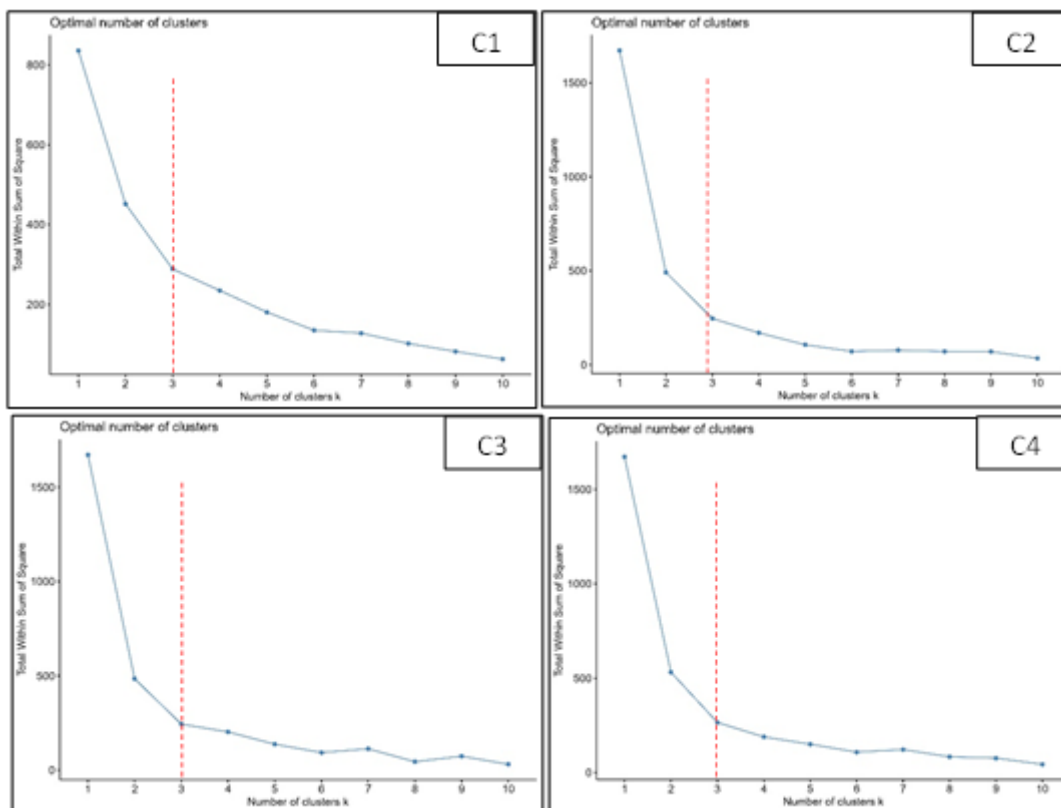
<b>Combinaciones</b>	<b>Código</b>
Precipitación-Tmax-Tmin-Elevación	C1
Precipitación-Tmax-Tmin	C2
Tmax-Tmin	C3
Precipitación	C4

Se realizó el análisis clúster bajo dos métodos: el análisis clúster con el método de K-means y el método PAM. La caracterización de estos métodos se muestra en el Capítulo I Estado del Arte. El análisis de estos métodos se realizó mediante el programa de RStudio para obtener las regiones hidrológicamente homogéneas. Esta metodología requiere que se especifique la cantidad de grupos clúster antes de ejecutar el algoritmo. Para ello utilizamos el método del codo (método de análisis utilizado en el programa RStudio) el cual utiliza la distancia media de las observaciones a su centroide, con ello busca minimizar la suma de los cuadrados dentro del clúster (Ayala, 2024).

De este análisis realizado se obtuvo que el número óptimo de grupos clúster es tres.

**Figura 22**

*Número óptimo de k clúster para las cuatro combinaciones realizadas*



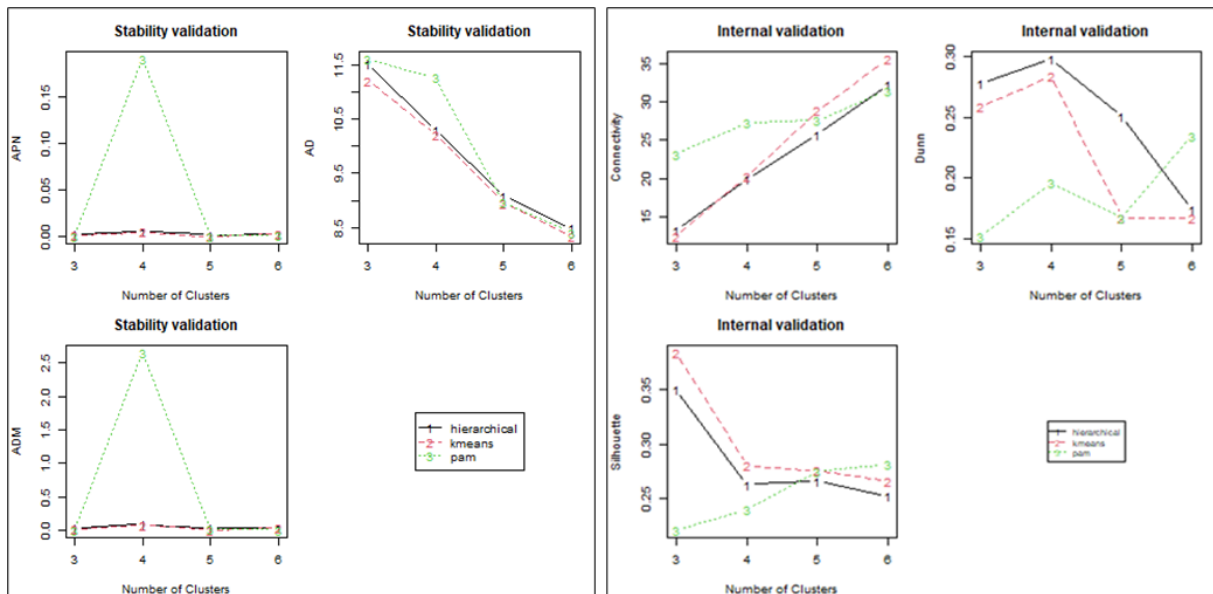
Nota: Adaptado de MacQueen (1967)

Posteriormente, se ha realizado un análisis de eficiencia para determinar el análisis clúster con más estabilidad, según lo comentado en el capítulo I Estado del arte, apartado 1.3.3. Como ejemplo se muestra en la Figura 23, para el mes de enero, estos análisis de eficiencia se realizaron con tres medidas de estabilidad: APN, AND Y AD y tres medidas internas: conectividad, ancho de silueta e índice de Dunn, esto con funciones del programa RStudio. Se puede observar que la línea roja, la cual representa a K-means tiene resultados más estables, es decir, para el caso de las medidas de APN, ADM y AD tienen los menores valores y valores más altos de silhouette y Dunn, lo cual brinda el mejor algoritmo con el número óptimo de clústeres. Este análisis se realizó para todos los meses, dándose como resultado que el método K-means es el método que da los mejores resultados de estabilidad.

Obtenido el número óptimo de clúster, se realiza este análisis por cada mes y para cada una de las combinaciones mostradas en la Tabla 15. En la Figura 24 se puede observar los grupos obtenidos para el mes de enero, como uno de los meses analizados y como ejemplo, en las cuatro combinaciones. El color verde representa al grupo 1, el color amarillo al grupo 2 y el color rosado al grupo 3. En base al agrupamiento de las diferentes estaciones se analizó como eran este clúster respecto a sus elevaciones.

Figura 23

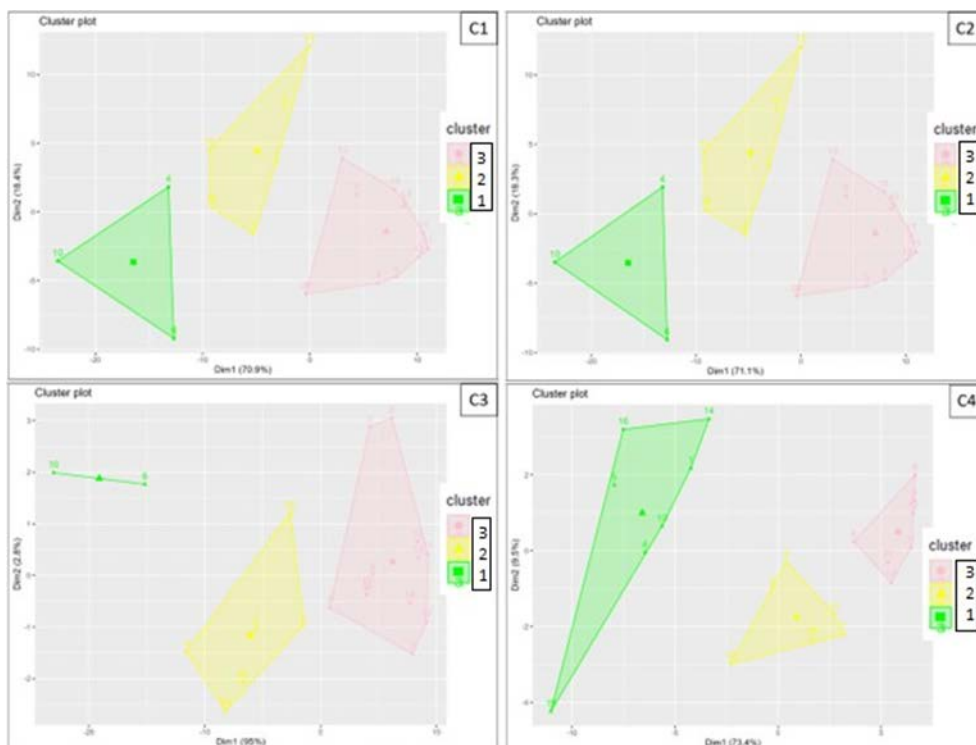
Medidas de estabilidad y conectividad para el mes de enero.



Nota: Adaptado de UPM, s.f.

Figura 24

Clúster obtenido para el mes de enero de las cuatro combinaciones.



Para el caso de la combinación C1 (precipitación, temperatura y elevación), el G1 alberga estaciones con alturas desde los 1200 hasta los 2800 msnm. El G2 abarca estaciones

que presentan alturas desde los 310 hasta los 2800 msnm y el G3 tiene estaciones con alturas desde los 14 hasta los 254 msnm en los 12 meses del año, además se puede observar que, para los meses de julio a diciembre, solo algunas de las estaciones que presentan elevaciones mayores a 254 msnm, son parte del G3. Esto nos indica que no existe un agrupamiento claro de las estaciones respecto a la elevación. (Ver Tabla 16)

**Tabla 16**

*Clúster obtenido para la combinación C1 (precipitación, temperatura y elevación).*

N°	Estación	Altura	RAIN - Kmeans											
			En	Fe	Ma	Ab	Ma	Jun	Jul	Ag	Se	Oc	No	Dic
14	Palo Blanco	2800	4	1	1	4	16	13	22	11	12	24	29	7
1	Altamiza	2600												
16	Pasapampa	2410												
5	Chalaco	2276												
10	Huarmaca	2178												
19	Santo Domingo	1607												
4	Canchaque	1200												
15	Paltashaco	900												
6	Chignia	360												
2	Barrios	310												
18	San pedro	254												
20	El Virrey	211												
9	Corral del medio	193												
13	Morropón	150												
17	San Joaquin	100												
7	Chulucanas	87												
3	Bernal	30												
11	Miraflores	30												
12	Montenegro	27												
8	Chusis	14												

Para la combinación C2 (precipitación y temperatura), se observa en la Tabla 17, que las estaciones no guardan mucha similitud en el agrupamiento a lo largo de los 12 meses. El G1 tiene estaciones desde los 1200 hasta los 2800 msnm. El G2 alberga estaciones con alturas desde los 310 hasta los 2800 msnm y el G3 alberga estaciones con alturas desde los 14 hasta los 254 msnm en todos los meses del año. Solo algunas de las estaciones que cuentan con elevaciones mayores a los 254 msnm forman parte de este grupo 3, en general esto sucede en la segunda mitad del año.

**Tabla 17**

*Clúster obtenido para la combinación C2 (precipitación y temperatura)*

N°	Estación	Altura	RAIN - Kmeans											
			En	Fel	Ma	Ab	Ma	Jur	Jul	Ag	Se	Oc	No	Dic
14	Palo Blanco	2800	4	1	1	4	16	13	22	11	12	24	29	7
1	Altamiza	2600												
16	Pasapampa	2410												
5	Chalaco	2276												
10	Huarmaca	2178												
19	Santo Domingo	1607												
4	Canchaque	1200												
15	Paltashaco	900												
6	Chignia	360												
2	Barrios	310												
18	San pedro	254												
20	El Virrey	211												
9	Corral del medio	193												
13	Morropón	150												
17	San Joaquin	100												
7	Chulucanas	87												
3	Bernal	30												
11	Miraflores	30												
12	Montenegro	27												
8	Chusis	14												

De estos dos métodos se puede deducir que la combinación C1 (Precipitación, Temperatura máxima y mínima y elevación) no presenta cambios notorios respecto a la combinación C2 (precipitación y temperatura), demostrando que la influencia de las elevaciones no es significativa en la caracterización de las regiones homogéneas (Ver Tablas 16 y 17).

Como se observa en la Tabla 18 para la combinación C3 (Temperatura máxima y mínima) las estaciones están agrupadas de manera muy similar a lo largo de los 12 meses, pero no hay un agrupamiento claro respecto a las elevaciones ya que agrupan estaciones de diversas alturas. El G1 solo agrupa a la estación Huarmaca la cual tiene una elevación de 2178 msnm. El G2 abarca estaciones con alturas de 310 hasta 2800 msnm para todos los meses del año y solo en algunos meses (marzo, junio, julio agosto, setiembre, octubre y noviembre) la estación El Virrey que tiene una altura de 211 msnm, forma parte de este grupo. El G3 alberga estaciones con alturas desde los 14 hasta los 193 msnm para todos los meses del año. Estos resultados muestran que las estaciones de Huarmaca y Chignia tienen un comportamiento particular con diferencias que no permiten que puedan ser agrupadas en otros grupos. En general, las estaciones por encima de los 310 msnm presentan comportamientos variables a lo largo de los meses, que generan cambios en su agrupación.

**Tabla 18**

Clúster obtenido para la combinación C3 (Temperatura máxima y mínima). Color verde representa al G1, color amarillo al G2 y color rosado al G3.

N°	Estación	Altura	RAIN - Kmeans											
			En	Fe	Ma	Ab	Ma	Jun	Jul	Ag	Se	Oc	No	Dic
14	Palo Blanco	2800												
1	Altamiza	2600												
16	Pasapampa	2410												
5	Chalaco	2276												
10	Huarmaca	2178												
19	Santo Domingo	1607												
4	Canchaque	1200												
15	Paltashaco	900												
6	Chignia	360												
2	Barrios	310												
18	San pedro	254												
20	El Virrey	211												
9	Corral del medio	193												
13	Morropón	150												
17	San Joaquin	100												
7	Chulucanas	87												
3	Bernal	30												
11	Miraflores	30												
12	Montenegro	27												
8	Chusis	14												

Para el caso de la combinación C4 (Solo Precipitación), se observa en la Tabla 19, que las estaciones están agrupadas de manera muy similar a lo largo de los 12 meses. G1 cuenta con estaciones desde los 310 hasta los 2800 msnm. El G2 abarcan estaciones con alturas desde los 87 hasta los 2800 msnm y el G3 alberga estaciones desde los 14 hasta los 30 msnm en todos los meses del año, pero se puede observar que estaciones con elevaciones entre 87 y 900 msnm también forman parte de este grupo en algunos meses del año, además, la estación Santo Domingo, forma parte del G3 solo en el mes de julio. Lo cual quiere decir que no guarda una distribución clara en el agrupamiento con respecto a las elevaciones.

**Tabla 19**

*Clúster obtenido para la combinación C4 (solo precipitación).*

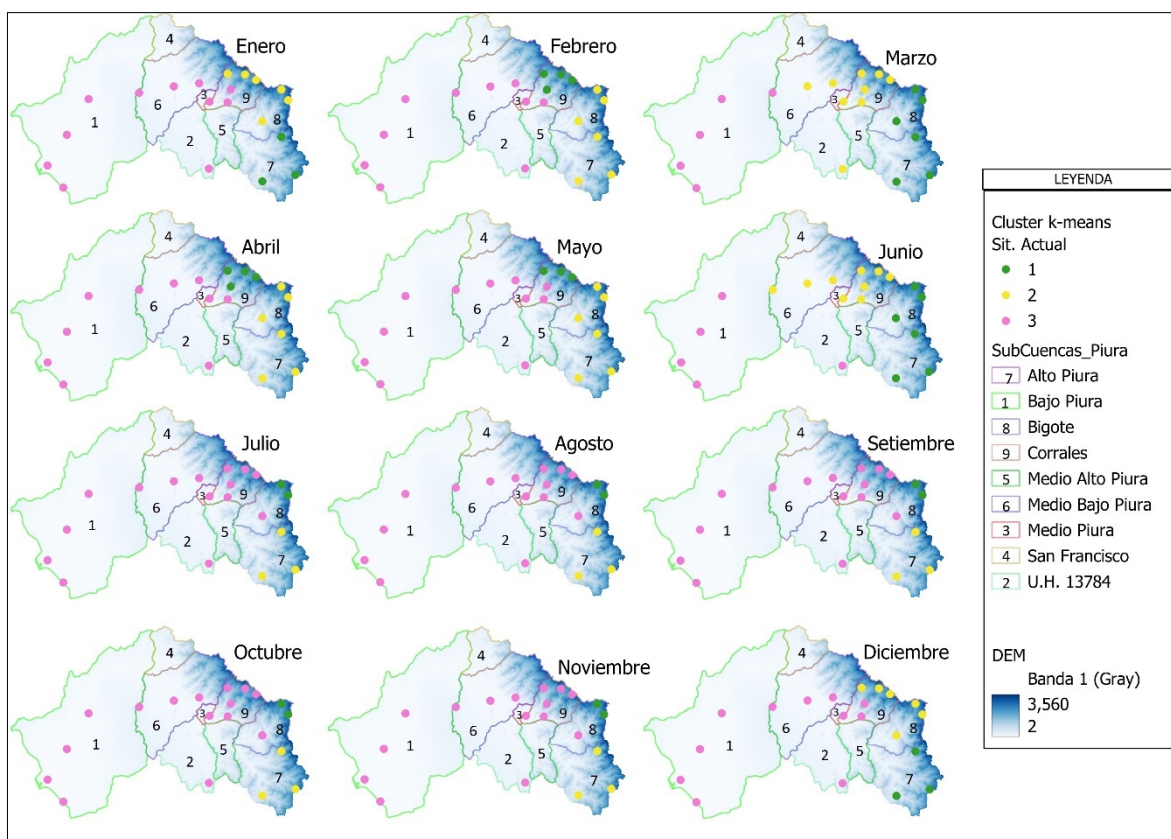
			RAIN - Kmeans											
			En	Feb	Ma	Abr	Ma	Jun	Jul	Ag	Set	Oc	Nov	Dic
N°	Estación	Altura												
14	Palo Blanco	2800												
1	Altamiza	2600												
16	Pasapampa	2410												
5	Chalaco	2276												
10	Huarmaca	2178												
19	Santo Domingo	1607												
4	Canchaque	1200												
15	Paltashaco	900												
6	Chignia	360												
2	Barrios	310												
18	San pedro	254												
20	El Virrey	211												
9	Corral del medio	193												
13	Morropón	150												
17	San Joaquin	100												
7	Chulucanas	87												
3	Bernal	30												
11	Miraflores	30												
12	Montenegro	27												
8	Chusis	14												
			En	Feb	Ma	Abr	Ma	Jun	Jul	Ag	Set	Oc	Nov	Dic

Tomando al clúster K-means como el método con mayor estabilidad para la zona en estudio, en la Figura 25 se observa el agrupamiento obtenido de las 20 estaciones en base a 3 grupos clúster. Si bien es cierto que el análisis con todas las variables ayuda a obtener una mejor caracterización del clúster, al verificar que la elevación no genera cambios y tampoco influye en la caracterización de las regiones homogéneas, se continuó el análisis con la combinación C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima).

Se puede observar que las estaciones ubicadas en la parte baja de la cuenca, especialmente en la subcuenca Bajo Piura, no varían de grupo clúster y están agrupadas todos los meses del año en el grupo G3. La subcuenca Medio y Bajo Piura, en la mayoría de los meses también albergan las estaciones pertenecientes al G3, excepto los meses de marzo y junio. Del mismo modo, la subcuenca Unidad Hidrográfica 13784, la cual alberga una estación que en todos los meses también pertenece al G3. Los grupos 1 y 2 muestran cambios en el agrupamiento de sus estaciones a lo largo de los 12 meses del año. Con ello se demuestra que las regiones hidrológicamente homogéneas pertenecientes a la parte alta de la cuenca del río Piura sufren cambios a lo largo del año.

**Figura 25**

*Agrupamiento por el método clúster K-means para la combinación C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima).*



#### 4.2 Análisis clúster para la situación futura

Para realizar el análisis clúster en la situación futura, se ha considerado evaluar el método K-mean, ya que para la situación actual mostraba mejor estabilidad. De esta manera realizamos el análisis clúster con el método de K-means para la combinación C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima) en los tres escenarios y modelos climáticos. Se consideró todas las variables ya que esto nos permite poder caracterizar mejor la hidrología que tiene la zona de estudio, en los tres escenarios y modelos climáticos.

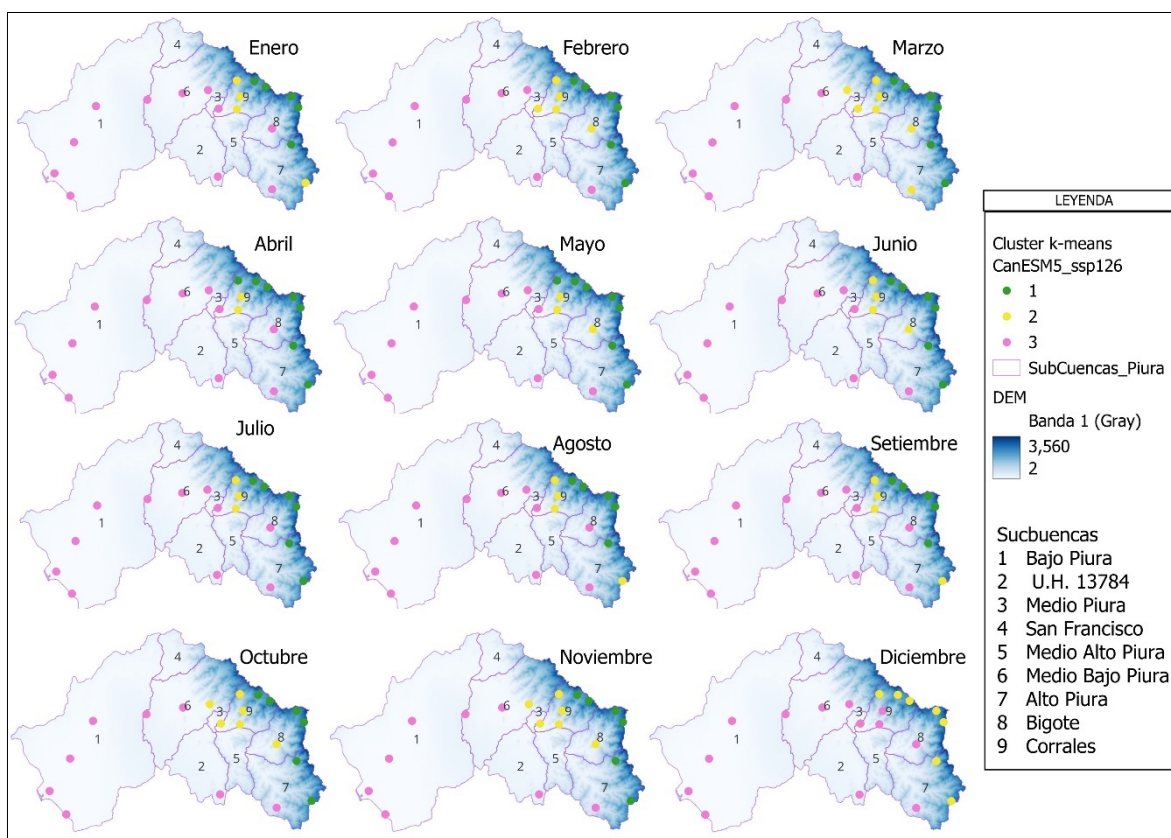
En la Tabla 20, 21 y 22 se puede observar el análisis clúster obtenido para los tres escenarios ssp126, ssp370 y ssp585 en sus tres modelos climáticos: CanESM5, CNRM-CM6 y





**Figura 26**

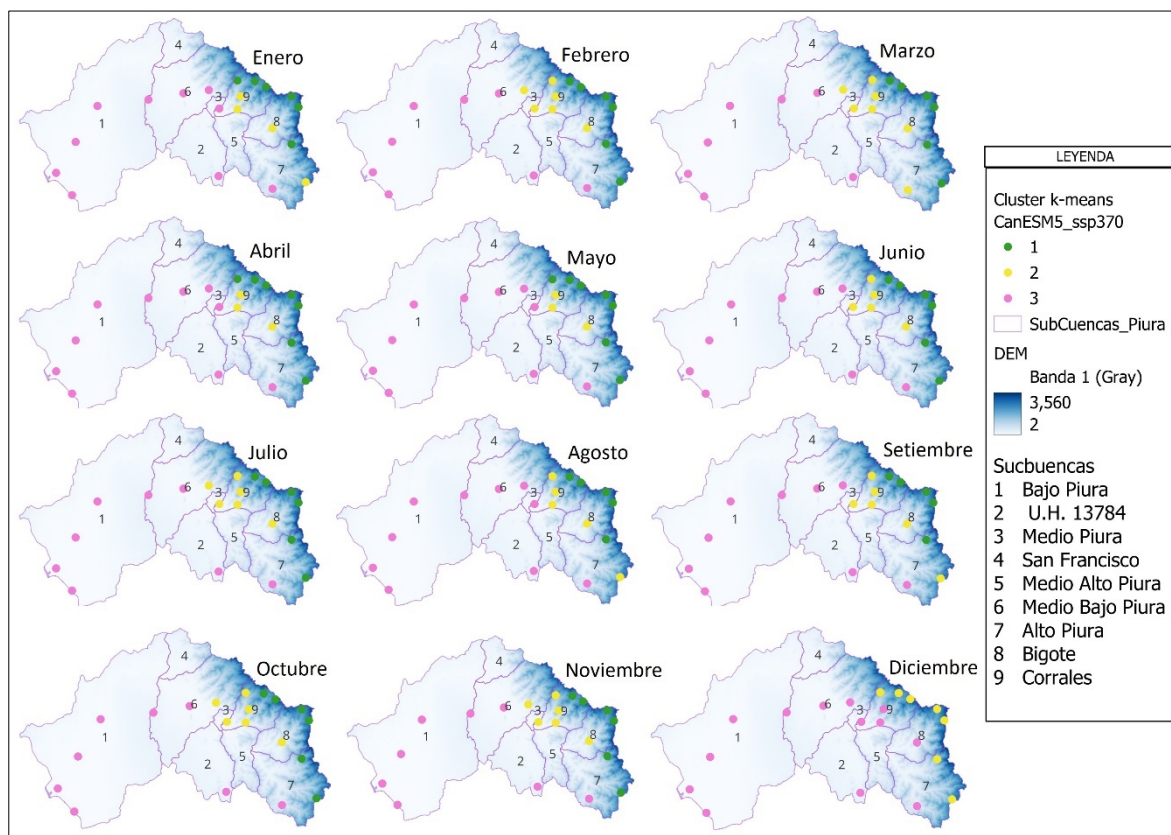
*Agrupamiento clúster de los doce meses del modelo CanESM5 perteneciente al escenario ssp126, para la C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima)*



En la Figura 26, que corresponde a los grupos clúster obtenidos para el escenario ssp126 del modelo climático CanESM5, para la combinación C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima), se puede verificar en la parte baja- media de la cuenca del río Piura, la cual abarca las subcuencas Bajo Piura, Medio Bajo Piura y la Unidad Hidrográfica 13784 no sufren cambios en los grupos clúster obtenidos a lo largo de los 12 meses del año. En la parte alta de la cuenca la cual abarca las subcuencas Medio Alto Piura, Medio Piura, Corrales, Bigote y Alto Piura, es la zona en la existe variaciones en los grupos clúster obtenidos.

**Figura 27**

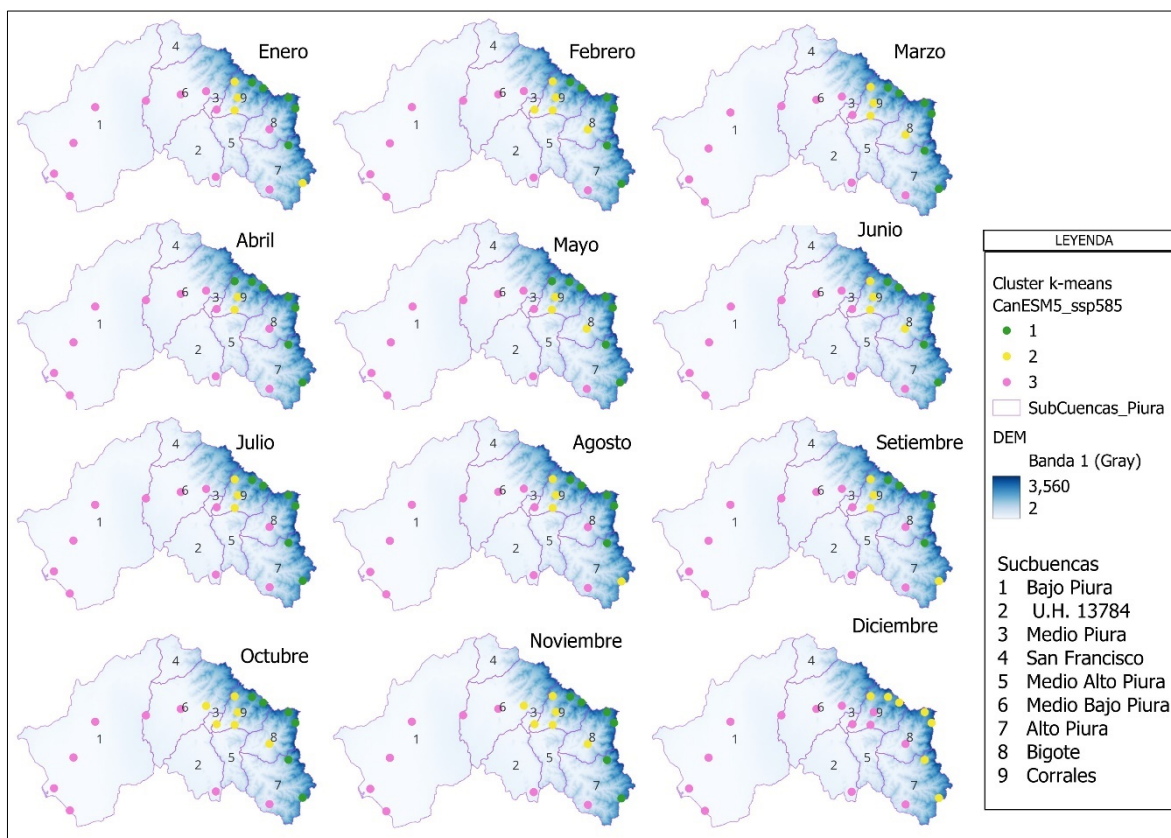
*Agrupamiento clúster de los doce meses del modelo CanESM5 perteneciente al escenario ssp370 para la C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima)*



En el modelo climático CanEsm5 del escenario ssp370 para la combinación C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima), también se puede observar que, en las subcuencas pertenecientes a la parte media-baja de la cuenca, a lo largo de los doce meses del año no se presentan variaciones en los grupos clúster. Las variaciones de los grupos clúster se presenta en las subcuencas de la parte alta de la cuenca del río Piura (Ver Figura 27).

**Figura 28**

*Agrupamiento clúster de los doce meses del modelo CanESM5 perteneciente al escenario ssp585 para la C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima).*



Del mismo modo que en los escenarios anteriores, en el modelo climático CanEsm5 del escenario ssp585 para la combinación C2 (Precipitación, temperatura máxima y mínima), se observa en la Figura 28 que en la parte media-baja de la cuenca del río Piura no se presentan variaciones en los grupos clúster obtenidos, las variaciones de los grupos clúster se observan en la parte alta de la cuenca.

#### 4.3 Análisis entre la situación actual y futura

En las Tabla 23 a la Tabla 34, se han resumido los grupos por cada subcuenca donde están las estaciones analizadas, tanto para la situación de control como para uno de los modelos climáticos bajo los tres escenarios de emisiones. Las celdas marcadas de naranja muestran los cambios en el grupo hidrológico a futuro respecto a la situación actual.

Se observa que para la subcuenca del Bajo Piura y subcuenca U.H 13784, no cambian de grupo a futuro, sino que se siguen manteniendo en el grupo G3 a lo largo de todo el año. La subcuenca del Medio Bajo Piura forma parte del grupo G3 en casi todos los meses del año para la situación actual, salvo en los meses de marzo y junio, donde también presenta agrupaciones para el grupo G2. A futuro las variaciones en esta subcuenca son variadas entre

los meses de febrero, marzo, junio, julio, octubre y noviembre donde se presentan agrupamientos en G1, G2, además de G3.

El las sub cuencas de mayor altura como Bigote y corrales, los cambios en los grupos hidrológicos entre la situación actual y futuro es mayor. Siendo en estas zonas donde los cambios entre regiones hidrológicamente homogéneas son mayores.

**Tabla 23**

*Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de enero de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585)*

	Control		CanESM5_126		CanESM5_370		CanESM5_585	
	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo
Bajo Piura	4	3	4	3	4	3	4	3
U.H 13784	1	3	1	3	1	3	1	3
E Medio Bajo n Piura	3	3	3	3	3	3	3	3
e Alto Piura	3	3	3	1 2 3	3	1 2 3	3	1 2 3
o Bigote	3	2	3	1 3	3	1 2	3	1 3
Corrales	6	2 3	6	1 2 3	5	1 2	6	1 2 3

**Tabla 24**

*Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de febrero de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585)*

	Control		CanESM5_126		CanESM5_370		CanESM5_585	
	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo
Bajo Piura	4	3	4	3	4	3	4	3
F U.H 13784	1	3	1	3	1	3	1	3
e Medio Bajo b Piura	3	3	3	3	3	2 3	3	3
r Alto Piura	3	2	3	1 3	3	1 3	3	1 3
o Bigote	3	2	3	1 2	3	1 2	3	1 2
Corrales	6	1 3	6	1 2	6	1 2	6	1 2

**Tabla 25**

*Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de marzo de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).*

	Control		CanESM5_126		CanESM5_370		CanESM5_585	
	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo
Bajo Piura	4	3	4	3	4	3	4	3
U.H 13784	1	2	1	3	1	3	1	3
M a r z o	Medio Bajo Piura	3	2	3	3	2	3	3
			3	3	3	3	3	3
	Alto Piura	3	1	3	1	3	1	1
				2		2		2
	Bigote	3	1	3	1	3	1	1
			2		2		2	
Corrales	6	2	6	1	6	1	6	1
			2		2		2	3

**Tabla 26**

*Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de abril de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).*

	Control		CanESM5_126		CanESM5_370		CanESM5_585	
	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo
Bajo Piura	4	3	4	3	4	3	4	3
U.H 13784	1	3	1	3	1	3	1	3
A b r i l	Medio Bajo Piura	3	3	3	3	3	3	3
	Alto Piura	3	2	3	1	3	1	1
				3		3		3
	Bigote	3	2	3	1	3	1	1
			3		2		3	
Corrales	6	1	6	1	6	1	6	1
		2		2		2		2
				3		3		3

**Tabla 27**

*Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de mayo de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).*

	Control		CanESM5_126		CanESM5_370		CanESM5_585	
	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo
Bajo Piura	4	3	4	3	4	3	4	3
U.H 13784	1	3	1	3	1	3	1	3
Medio Bajo Piura	3	3	3	3	3	3	3	3
Alto Piura	3	2	3	1 3	3	1 3	3	1 3
Bigote	3	2	3	1 3	3	1 2	3	1 2
Corrales	6	1 2	6	1 2 3	6	1 2 3	6	1 2 3

**Tabla 28**

*Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de junio de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).*

	Control		CanESM5_126		CanESM5_370		CanESM5_585	
	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo
Bajo Piura	4	3	4	3	4	3	4	3
U.H 13784	1	3	1	3	1	3	1	3
Medio Bajo Piura	3	2	3	3	3	3	3	3
Alto Piura	3	1	3	1 3	3	1 3	3	1 3
Bigote	3	1	3	1 2	3	1 2	3	1 2
Corrales	6	2	6	1 2 3	6	1 2	6	1 2 3

**Tabla 29**

*Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de julio de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).*

	Control		CanESM5_126		CanESM5_370		CanESM5_585	
	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo
Bajo Piura	4	3	4	3	4	3	4	3
U.H 13784	1	3	1	3	1	3	1	3
J Medio Bajo u Piura	3	3	3	3	3	2 3	3	3
l Alto Piura	3	2	3	1 3	3	1 3	3	1 3
o Bigote	3	1 3	3	1 3	3	1 2	3	1 3
Corrales	6	3	6	1 2 3	6	1 2	6	1 2 3

**Tabla 30**

*Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de agosto de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).*

	Control		CanESM5_126		CanESM5_370		CanESM5_585	
	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo
Bajo Piura	4	3	4	3	4	3	4	3
U.H 13784	1	3	1	3	1	3	1	3
A Medio Bajo g Piura	3	3	3	3	3	3	3	3
s Alto Piura	3	2	3	2	3	1 2 3	3	1 2 3
t Bigote	3	1 3	3	1 3	3	1 2	3	1 3
o Corrales	6	3	6	3	6	1 2 3	6	1 2 3

**Tabla 31**

*Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de setiembre de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585)*

	Control		CanESM5_126		CanESM5_370		CanESM5_585		
	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	
S e t i e m b r e	Bajo Piura	4	3	4	3	4	3	4	3
	U.H 13784	1	3	1	3	1	3	1	3
	Medio Bajo Piura	3	3	3	3	3	3	3	3
	Alto Piura	3	2	3	1 2 3	3	1 2 3	3	1 2 3
	Bigote	3	1 3	3	1 3	3	1 2	3	1 3
	Corrales	6	3	6	1 2 3	6	1 2	6	1 2 3

**Tabla 32**

*Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de octubre de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).*

	Control		CanESM5_126		CanESM5_370		CanESM5_585		
	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	
O c t u b r e	Bajo Piura	4	3	4	3	4	3	4	3
	U.H 13784	1	3	1	3	1	3	1	3
	Medio Bajo Piura	3	3	3	3	3	2 3	3	2 3
	Alto Piura	3	2	3	1 3	3	1 3	3	1 3
	Bigote	3	1 3	3	1 2	3	1 2	3	1 2
	Corrales	6	3	6	1 2	6	1 2	6	1 2

**Tabla 33**

*Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de noviembre de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).*

	Control		CanESM5_126		CanESM5_370		CanESM5_585			
	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo		
N o v i e m b r e	Bajo Piura	4	3	4	3	4	3	4	3	
	U.H 13784	1	3	1	3	1	3	1	3	
	Medio Bajo Piura	3	3	3	2 3	3	2 3	3	2 3	
	Alto Piura	3	2	3	1 3	3	1 3	3	1 3	
	Bigote	3	1 3	3	1 2	3	1 2	3	1 2	
	e	Corrales	6	3	6	1	6	1	6	1
						2		2		2

**Tabla 34**

*Distribución de los grupos clúster en cada subcuenca para el mes de diciembre de la situación de control y para el modelo CanESM5 de los tres escenarios (ssp126, ssp370 y ssp585).*

	Control		CanESM5_126		CanESM5_370		CanESM5_585			
	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo	N° Estaciones	N° Grupo		
D i c i e m b r e	Bajo Piura	4	3	4	3	4	3	4	3	
	U.H 13784	1	3	1	3	1	3	1	3	
	Medio Bajo Piura	3	3	3	3	3	3	3	3	
	Alto Piura	3	1	3	2 3	3	2 3	3	2 3	
	Bigote	3	2	3	2 3	3	2 3	3	2 3	
	e	Corrales	6	2	6	2	6	2	6	2
				3		3		3		

## Conclusiones

El análisis clúster se desarrolló bajo dos métodos: Kmeans y PAM. Luego de un análisis de estabilidad y conectividad se concluyó que el método Kmeans es el que brinda resultados más óptimos y estables. Los valores óptimos para las medidas de estabilidad (APN, ADM Y AD) se dan cuando dichos valores son muy cercanos a cero, y para las medidas de conectividad (Silueta, Dunn y Conectividad) cuando se presentan los mayores valores. Para el caso del método Kmeans se presentaron valores muy cercanos a cero para las medidas de estabilidad, y para las medidas de conectividad varían en un rango de 0.25 a 0.35, siendo los máximos valores obtenidos respecto al método PAM.

Para 20 estaciones en un periodo de estudio de 44 años, se realizó el análisis clúster para cuatro combinaciones: C1 (Precipitación, Temperatura máxima, temperatura mínima y elevación), C2 (Precipitación, Temperatura máxima y mínima) C3 (Temperatura máxima y mínima) y C4 (Precipitación), de ello se concluyó que las elevaciones no generan cambios importantes y por ende no influyen en la caracterización de las regiones hidrológicamente homogéneas, por lo que se decidió trabajar con la combinación C2, obteniendo como resultado 3 regiones hidrológicamente homogéneas.

Trabajar el método del codo con el programa R-studio fue importante en este análisis, ya que, al evaluar la suma de las distancias cuadradas dentro de los clústeres, se pudo determinar el número óptimo de grupos clúster. Además, la simplicidad y facilidad de implementación en el software lo hacen accesible y útil.

Para la situación de control y situación futura se obtuvo como resultado 3 grupos clúster, los cuales, según la elevación, G1 tiene estaciones con alturas desde los 1200 hasta los 1800 msnm tanto en la situación de control como en la situación futura. El G2 alberga estaciones con alturas desde los 310 hasta los 2800 msnm en la situación de control, y estaciones con alturas desde los 150 hasta 2178 msnm en la mayoría de los meses del año para la situación futura. El G3, en la situación de control, alberga estaciones con alturas desde los 14 hasta los 254 msnm en todos los meses del año y algunas estaciones con alturas mayores a 254 msnm en la segunda mitad del año, para la situación futura el G3 tiene estaciones con alturas desde los 14 hasta los 100 msnm en todo el año y estaciones con alturas de 150 a 900 msnm, en algunos meses del año. Según estos resultados el G3 es la región que presenta menos variabilidad entre la situación actual y futura. G1 y G2 son regiones que presentan mayor variabilidad a lo largo de los 12 meses del año.

Se obtuvo, que la región G3 es la que presenta más estabilidad a lo largo de los 12 meses del año. Este grupo se ubica en general en la parte baja-media de la cuenca del río Piura específicamente en las subcuencas Bajo Piura, U.H 13784 y Medio Bajo Piura, esto ocurre tanto en la situación de control como en la situación futura por cambio climático. La variabilidad a lo largo de los 12 meses del año se observó en las regiones G1 y G2 y se encuentran en la parte alta de la subcuenca del río Piura formando parte de las subcuencas Alto Piura, Bigote y Corrales.

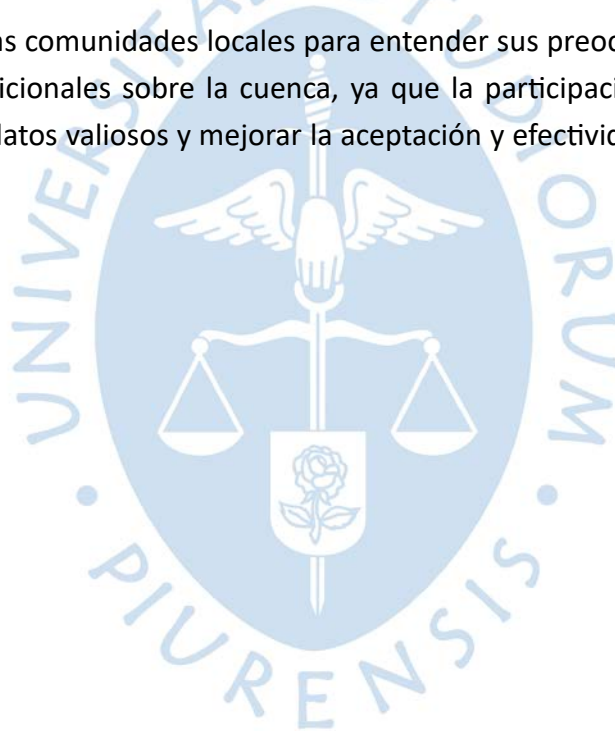
## Recomendaciones

La identificación de regiones hidrológicamente homogéneas, brinda una base sólida para la gestión de los recursos hídricos. Por ello se recomienda implementar una estrategia de gestión de recursos hídricos, en base a las características específicas de cada región lo que permitirá optimizar el uso y conservación de agua y, asegurar la sostenibilidad de estos recursos para garantizar que se pueda responder a las necesidades no solo actuales sino también futuras.

Se recomienda analizar la variabilidad de las precipitaciones y temperaturas dentro de cada región homogénea, utilizando el método más adecuado, para así poder comprender mejor la distribución y la frecuencia de los eventos climáticos extremos.

Realizar un estudio para verificar la variabilidad de los caudales en las diferentes regiones hidrológicamente homogéneas debido al cambio climático y las potenciales medidas de adaptación.

Trabajar con las comunidades locales para entender sus preocupaciones, necesidades y conocimientos tradicionales sobre la cuenca, ya que la participación de las comunidades puede proporcionar datos valiosos y mejorar la aceptación y efectividad de las estrategias de adaptación.



## Referencias

- AACHCHP, A. A. (Diciembre de 2005). *Consejo Nacional del Ambiente*. Obtenido de <https://keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual-Library/Impacto/11.pdf>
- Alvarez, O., Salas, H., & Rivera, S. (2011). *Ingeniería, investigación y tecnología*. Obtenido de Identificación de regiones hidrológicas homogéneas mediante análisis multivariado.: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432011000300004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432011000300004&lng=es&tlng=es)
- ANA. (2007). *Plan de defensas ribereñas y encauzamiento de río resumen del diagnostico situacional*. Obtenido de Repositorio ANA: <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/32/ANA0000535.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ANA. (2008). *Autoridad Nacional del Agua*. Obtenido de Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú: resumen ejecutivo: <https://hdl.handle.net/20.500.12543/1880>
- ANA, A. N. (2019). *Autoridad Nacional del Agua*. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/2019/consejo-de-cuenca/pampas/F>
- Argentina. (2018). *Argentina. gor ar*. Obtenido de Cuenca hídricas: <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/agua/cuencas>
- ASF. (s.f.). *ALOS PALSAR, ALASKA*. Obtenido de <https://asf.alaska.edu/datasets/daac/alos-palsar/>
- Ayala, J. (20 de Abril de 2024). *Métodos de particionamiento*. Obtenido de RPubS: <https://rpubs.com/JairoAyala/MP>
- Blanco, P. (2017). *Red Argentina de Geografía Física*. Obtenido de Tipos de precipitaciones según su origen en el Nordeste Argentino durante el periodo 1981-1990: [https://redargentinadegeografiafisica.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/11/eje7\\_blanco-pedro.pdf](https://redargentinadegeografiafisica.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/11/eje7_blanco-pedro.pdf)
- Bottinger, M. (2015). *Los escenarios del SSP*. Obtenido de Ciencia Latina.org: <https://www.dkrz.de/en/communication/climate-simulations/cmip6-en/the-ssp-scenarios>
- Bruno, J. (2023). *Análisis de fuentes de incertidumbre en los modelos climáticos CMIP6 para las proyecciones climáticas de temperatura y precipitación en Sudamérica. Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el título de Ingeniero Meteorólogo*. Lima, Perú.
- Cabarcos, M. (2015). *Análisis Cluster. Una aplicación al estudio de índices de bienestar a través de los países*. Universidad de Coruña: Trabajo de fin de grado. Obtenido de Trabajo de fin de grado:

- [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/16378/CabarcosFernandez\\_Miriam\\_TFG\\_2015.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/16378/CabarcosFernandez_Miriam_TFG_2015.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Calvo, D. (2018). *Clúster Jerárquicos y No Jerárquicos*. Obtenido de <https://www.diegocalvo.es/cluster-jerarquicos-y-no-jerarquicos/>
- Carbajal, M., Yarlequé, C., Posadas, A., Silvestre, E., Mejia, A., & Quiroz, R. (2011). *Reconstrucción de datos faltantes de precipitación pluvial diaria mediante la Transformada Wavelet*. Obtenido de Repositorio Senamhi: <https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/1069/Reconstrucc%C3%B3n-de-datos-faltantes-de-precipitaci%C3%B3n-pluvial-diaria-mediante-la-Transformada-Wavelet.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro, A., Davila, C., Laura, W., Cubas, F., Avalos, G., Lopez, C., . . . Marín, D. (27 de abril de 2021). *SENAMHI*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/senamhi/informes-publicaciones/2158106-climas-del-peru-mapa-de-clasificacion-climatica>
- Chavez, A. (2009). *Aplicación del método de regionalización para la determinación de caudales en el puente Carrasquillo*. Universidad de Piura, Piura, Piura: Tesis de Master en Ingeniería Civil con Mención en Recursos Hídricos.
- Collazos, O. (2021). *Imputación de datos faltantes en los ingresos por hogar en la Enho utilizando el método del K-vecino más cercano*. Lima, Perú.: Tesis para optar el título de ingeniero estadístico e informático. Repositorio La Molina.
- CORDIS. (17 de Abril de 2023). *Comisión Europea*. Obtenido de <https://cordis.europa.eu/article/id/428611-climate-change-scenario-framework-achievements-and-needs-for-better-future-research/es>
- Córdova, M. (30 de Abril de 2016). *Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas*. Obtenido de Prontubeam: [https://prontubeam.com/articulos/articulos.php?id\\_articulo=26](https://prontubeam.com/articulos/articulos.php?id_articulo=26)
- Díaz, G. (2012). *Ciencia y sociedad*. Obtenido de el cambio climático: <https://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf>
- Feng, L., Nowak, G., O'Neil, T., & Welsh, A. (2014). *CUTOFF: A spatio-temporal imputation method*. *Journal of Hydrology*, 519(PD), 3591-3605. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jhidrol.2014.11.012>
- Fernandez, C., Hattermann, F., Krysanova, V., Vega, F., Menz, C., Gleixner, S., & Bronstert, A. (2024). *High-resolution climate projection dataset based on CMIP6 for Peru and Ecuador: BASD-CMIP6-PE*. Obtenido de Scientific data: <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02863-z>

- Ferrer, V., & Torrero, M. (Agosto de 2015). *Manejo integrado de cuencas hídricas: cuenca del río Gualjaina, Chubut, Argentina*. Obtenido de Boletín mexicano de derecho comparado: [www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&)
- Herrera, C., Campos, J., & Carrillo, F. (2017). *Redalyc.org*. Obtenido de Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México: <https://www.redalyc.org/journal/674/67452917005/html/>
- Herrera, C., Campos, J., & Carrilo, F. (2017). *Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México*. Obtenido de Redalyc.org: <https://www.redalyc.org/journal/674/67452917005/html/>
- Herrera, C., Campos, J., & Carrilo, F. (2017). *Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México*. Obtenido de Redalyc.org: <https://www.redalyc.org/journal/674/67452917005/html/>
- IBAL, S. (2009). *Cortolima*. Obtenido de Plan de ordenación y manejo ambiental de la microcuenca de las quebradas Las Panelas y La Balsa.: [https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documentos/estudios/cuenca\\_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS\\_BIOFISICOS.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS_BIOFISICOS.pdf)
- IMTA. (2019). *Gobierno de México*. Obtenido de Importancia de la medición del agua: <https://www.gob.mx/imta/articulos/la-importancia-de-la-medicion-del-agua-de-lluvia#:~:text=La%20medici%C3%B3n%20de%20la%20lluvia,precipitada%20sobre%20un%20lugar%20espec%C3%ADfico.>
- INEI. (2017). *Piura Resultados Definitivos*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística e Informática: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digiales/Est/Lib1553/20TOMO\\_01.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digiales/Est/Lib1553/20TOMO_01.pdf)
- INRENA. (Julio de 2001). *Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos en la cuenca del río Cañete*. Obtenido de Repositorio ANA: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3897>
- Llano, L. C., & Aguirre, M. (1987). *Hidrología de Superficie. Escuela Técnica superior de Ingenieros de Montes*. Madrid, España: Editorial Salazar.
- López, N., Gallo, L., & Ibañez, O. (2001). *Diagnostico de la cuenca del rio Piura con enfoque de gestion de riesgos y enfasis en los recursos agua, suelo y cobertura vegetal*. Obtenido de Repositorio ANA: <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/34/ANA0000538.pdf>



- [https://www.analyticslane.com/2023/06/09/metodo-del-codo-elbow-method-para-seleccionar-el-numero-optimo-de-clusteres-en-k-means/#google\\_vignette](https://www.analyticslane.com/2023/06/09/metodo-del-codo-elbow-method-para-seleccionar-el-numero-optimo-de-clusteres-en-k-means/#google_vignette)
- Rojas, G., & Ibáñez, O. (2003). *Repositorio Digital del Ministerio del Ambiente*. Obtenido de <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/305/BIV00255.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Séferian, R. (2019). *AGU*. Obtenido de Evaluación del modelo del sistema terrestre CNRM, CNRM-ESM2-1: papel de los procesos del sistema terrestre en el clima actual y futuro: <https://doi.org/10.1029/2019MS001791>
- SENAMHI. (2020). Obtenido de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=piura&p=pronostico-detalle>
- SENAMHI. (2020). Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=piura&p=pronostico-detalle>
- Swart, N. C. (2019). *EGU*. Obtenido de The Canadian Earth System Model version 5 (CanESM5.0.3): <https://gmd.copernicus.org/articles/12/4823/2019/>
- Swart, N., Cole, J., Kharin, V., Lazare, M., Scinocca, J., Gillett, N., . . . Yang, D. (25 de noviembre de 2019). *European Geosciences Union*. Obtenido de <https://gmd.copernicus.org/articles/12/4823/2019/>
- Tapia, J. (2016). *Estructura de la precipitación y su varibilidad espacio-temporal a lo largo de una gradiente altitudinal*. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.: Tesis previa a la obtención del grado de Ingeniero Civil.
- UNCCD. (2004). Obtenido de Perspectiva global de la tierra-Escenarios de cambio: [https://www.unccd.int/sites/default/files/2018-06/GLO%20Spanish\\_Ch6.pdf](https://www.unccd.int/sites/default/files/2018-06/GLO%20Spanish_Ch6.pdf)
- UNESCO. (1982). *Biblioteca Digital INFOR*. Obtenido de Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur: <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/4963>
- UPM. (s.f.). *Universidad Politecnica de Madrid*. Obtenido de Aprendizaje no supervisado. Clustering: [https://dcain.etsin.upm.es/~carlos/bookAA/03.1\\_Clustering-K-Means.html](https://dcain.etsin.upm.es/~carlos/bookAA/03.1_Clustering-K-Means.html)
- Voldoire, A. (2019). *Evaluación de los experimentos CMIP6 DECK con CNRM-CM6-1*. Obtenido de Journal of Advances in Modeling Earth Systems: <https://doi.org/10.1029/2019MS001683>
- Yura, M. d. (2020). Obtenido de Zonificación y compatibilidades: [https://muniyura.gob.pe/pdf/licencias/ZONIFICACION\\_COMPATIBILIDADES.pdf](https://muniyura.gob.pe/pdf/licencias/ZONIFICACION_COMPATIBILIDADES.pdf)