



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Determinación de regiones hidrológicamente homogéneas  
en la cuenca Chira mediante análisis clúster**

Tesis para optar el Título de  
Ingeniero Civil

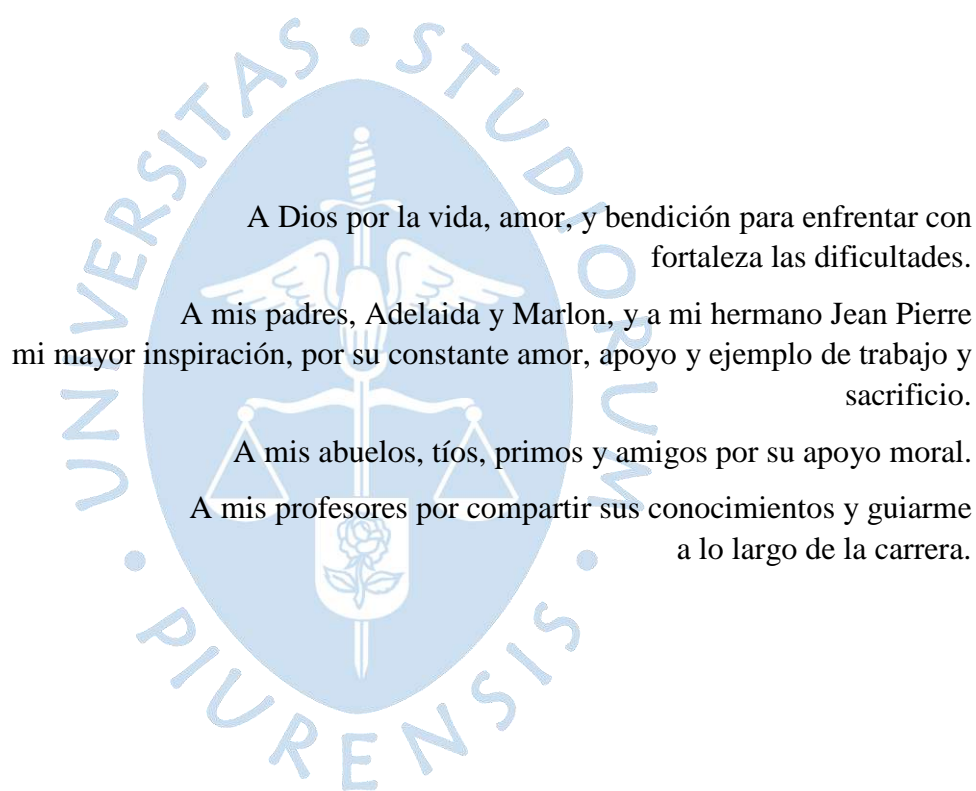
**Marina Stefania Cedano Niño**

Asesor(es):

**Dra. Ing. Adriadna Del Socorro Chávez Jiménez**

Piura, julio de 2020





A Dios por la vida, amor, y bendición para enfrentar con fortaleza las dificultades.

A mis padres, Adelaida y Marlon, y a mi hermano Jean Pierre mi mayor inspiración, por su constante amor, apoyo y ejemplo de trabajo y sacrificio.

A mis abuelos, tíos, primos y amigos por su apoyo moral.

A mis profesores por compartir sus conocimientos y guiarme a lo largo de la carrera.



## **Resumen: Analítico –Informativo**

**Determinación de regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira mediante análisis clúster.**

**Marina Stefania Cedano Niño.**

**Asesor(es):** Dra. Ing. Adriadna Del Socorro Chávez Jiménez.

**Tesis.**

**Título de Ingeniero Civil.**

**Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.**

**Piura, Julio de 2020**

**Palabras claves:** Parámetros fisiográficos/ precipitaciones medias/ El Niño global/ El Niño costero/ comportamiento hidrológico/ regionalización/ análisis clúster

**Introducción:** La información hidrometeorológica que determina el comportamiento hidrológico en la cuenca del río Chira es limitada. Determinar regiones hidrológicamente homogéneas para transferir información entre ellas, mediante métodos como la regionalización, es una herramienta que soluciona esta limitación. La presente tesis busca determinar estas regiones y evaluar su variación frente a fenómenos como El Niño global y El Niño costero.

**Metodología:** En base a 16 variables definidas por precipitaciones medias y parámetros fisiográficos, obtenidos mediante un análisis pluviométrico y geomorfológico, respectivamente, se determina la agrupación de 59 U.H. de la cuenca del río Chira, mediante la herramienta clúster. Para evaluar los efectos de El Niño global y El Niño costero en la agrupación de las regiones, se compara 3 escenarios distintos: periodos de estudio considerando los fenómenos, CF, sin considerar los fenómenos, SF y considerando solo fenómenos SLF. Debido a que en el estudio se toma en cuenta precipitaciones medias mensuales y anuales asumiendo los 3 escenarios descritos, se evalúa 3 análisis clúster anuales y 36 mensuales.

**Resultados:** Para un periodo de estudio entre 1969 y 1990, se determinaron 6 regiones hidrológicamente homogéneas en los 39 análisis clúster evaluados. Anualmente, los grupos obtenidos en los escenarios: SF, CF y SLF, presentaron variaciones en la estructura de agrupación. Mensualmente, a lo largo de todo el año hidrológico (septiembre – agosto) bajo escenarios CF y SF, y entre septiembre – diciembre, febrero y abril - agosto bajo el escenario SLF se obtuvieron regiones sin variaciones; Bajo un escenario SLF durante enero se obtuvo una agrupación que coincide con la obtenida anualmente en el escenario CF, y durante marzo la conformación de los grupos varió nuevamente.

**Conclusiones:** El Niño global y El Niño costero producen variaciones en la estructura de agrupación de las regiones hidrológicamente homogéneas de la cuenca del río Chira. Estos efectos son evidentes en los análisis clúster anuales, en regiones ubicadas en zonas bajas, al nor - oeste y sur - oeste de la cuenca. A nivel mensual no existen variaciones significativas excepto durante enero y marzo bajo un escenario SLF. En contraste, existen grupos que no varían a nivel mensual ni anual, y se ubican en las zonas altas. Finalmente se plantea asumir las 6 regiones hidrológicamente homogéneas resultantes para el análisis más crítico (SLF anual) como definitivo para la cuenca Chira durante el periodo de estudio (1969 -1990), ya que en el futuro tiende a un escenario SLF, puesto que el cambio climático genera la intensificación y recurrencia de los fenómenos evaluados.

**Fecha de elaboración del resumen:** 11 de Mayo de 2020

## Analytical-Informative Summary

### **Determinación de regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira mediante análisis clúster.**

**Marina Stefania Cedano Niño.**

**Asesor(es):** Dra. Ing. Adriadna Del Socorro Chávez Jiménez.

**Tesis.**

**Título de Ingeniero Civil.**

**Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.**

**Piura, Julio de 2020.**

**Keywords:** Physiographic parameters / mean rainfall / Global El Niño / Coastal El Niño / hydrological behavior / regionalization / cluster analysis

**Introduction:** The hydrometeorological information that determines the hydrological behavior in the Chira river basin is limited. Determining hydrologically homogeneous regions to transfer information between them, using methods such as regionalization is a tool that solves this limitation. The present thesis seeks to determine these regions and evaluate their variation against phenomena such as global El Niño and coastal El Niño.

**Methodology:** Based on 16 variables defined by mean rainfall and physiographic parameters, obtained through a pluviometric and geomorphological analysis, respectively, the grouping of 59 U.H. of the Chira river basin, using the cluster tool. To evaluate the effects of global El Niño and coastal El Niño in the grouping of regions, 3 different scenarios are compared: study periods considering the phenomena, CF, without considering the phenomena, SF and considering only SLF phenomena. Because the study takes into account monthly and annual average rainfall assuming the 3 scenarios described, 3 cluster analyzes are evaluated annually and 36 monthly.

**Results:** For a study period between 1969 and 1990, 6 hydrologically homogeneous regions were determined in the 39 evaluated cluster analyzes. Annually, the groups obtained in the scenarios: SF, CF and SLF, presented variations in the grouping structure. Monthly, throughout the hydrological year (September - August) under CF and SF scenarios, and between September - December, February and April - August under the SLF scenario, regions were obtained without variations; Under a SLF scenario during January, a grouping was obtained that coincides with that obtained annually in the CF scenario, and during March the conformation of the groups varied again.

**Conclusions:** The global El Niño and the coastal El Niño produce variations in the grouping structure of the hydrologically homogeneous regions of the Chira river basin. These effects are evident in the annual cluster analyzes, in regions located in low-lying areas, north-west and south-west of the basin. At the monthly level there are no significant variations except during January and March under an SLF scenario. In contrast, there are groups that do not vary monthly or annually, and are located in the highlands. Finally, it is proposed to assume the 6 resulting homogeneous regions for the most critical analysis (annual SLF) as definitive for the Chira basin during the study period (1969-1990), since in the future it tends to a SLF scenario, that climate change generates the intensification and recurrence of the evaluated phenomena.

**Summary date:** May 11, 2020.

## **Prefacio**

A lo largo del tiempo, el cambio climático, ha alterado el patrón natural de lluvias y caudales, generando la acentuación y recurrencia de fenómenos extremos como el Fenómeno El Niño Global y el Fenómeno El Niño costero, que han generado importantes impactos socioeconómicos y colapso de infraestructuras de ingeniería en la costa norte del Perú; por ejemplo, en la cuenca del río Chira, donde se evidenció recientemente su vulnerabilidad durante El Niño costero del 2017.

Para definir correctamente áreas vulnerables ante estos eventos y evaluar la conveniencia de incluirlos en la estadística al momento de determinar los caudales de diseño, así como para la planificación y gestión de recursos hídricos en la cuenca Chira, es de gran importancia conocer su comportamiento hidrológico, siendo imprescindible contar con suficiente información hidrometeorológica. Para el caso de la cuenca del Chira, esta información es escasa, siendo necesario transferir la información de una región a otra mediante métodos numéricos como el de la regionalización (Ouarda et al 2008), que como primer paso requiere determinar regiones hidrológicamente homogéneas. Hay diversos métodos para la determinación de estas regiones, siendo uno de ellos el análisis clúster.

Por lo expuesto, la presente tesis busca determinar las regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca del río Chira, pues constituye una herramienta importante al momento de diseñar y transferir información. Este análisis se realizará comparando tres escenarios distintos con respecto a las precipitaciones medias mensuales y anuales: un escenario donde se consideran los fenómenos y años normales, un segundo escenario donde solo se consideran los años normales y un tercer escenario donde se considera solo los años en los que se produjo algún fenómeno descrito. Esto permitirá evaluar si es que los fenómenos afectan la

homogeneidad hidrológica de las regiones determinadas, y si se diera el caso, evaluar en qué medida la afecta.

Para finalizar, agradezco enormemente el apoyo de mi asesora la Dra. Ing. Adriadna Chávez Jiménez, por permitirme desarrollar el presente tema de tesis y guiarme durante la realización del mismo.



## Tabla de contenido

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1.....</b>	<b>3</b>
<b>Marco teórico.....</b>	<b>3</b>
1.1 Hidrología.....	3
1.2 Cuenca hidrográfica.....	3
1.2.1 Definición.....	3
1.2.2 Clasificación.....	4
1.2.3 Delimitación y codificación .....	4
1.2.3.1 Método cartográfico tradicional para la delimitación de cuencas .....	5
1.2.3.2 Método cartográfico digital para la delimitación de cuencas .....	5
1.2.3.3 Sistema de codificación Pfafstetter .....	6
1.2.4 Parámetros fisiográficos o geomorfológicos.....	7
1.2.4.1 Parámetros de tamaño y forma .....	8
1.2.4.2 Parámetros de relieve .....	10
1.2.4.3 Parámetros de la red hídrica.....	12
1.3 Precipitación .....	14
1.3.1 Definición.....	14
1.3.2 Formación.....	14
1.3.3 Clasificación.....	14
1.3.3.1 Precipitaciones convectivas .....	14
1.3.3.2 Precipitaciones orográficas .....	15

1.3.3.3	Precipitaciones de convergencia .....	15
1.3.4	Medidas pluviométricas .....	15
1.3.4.1	Pluviómetro.....	15
1.3.4.2	Pluviógrafo.....	16
1.3.5	Datos obtenidos de precipitación .....	16
1.3.6	Errores en la medición.....	17
1.3.6.1	Errores en la medida puntual .....	17
1.3.6.2	Errores en la determinación de precipitación sobre un área a partir de los valores puntuales .....	17
1.3.7	Análisis pluviométrico .....	18
1.3.7.1	Estimación de datos faltantes.....	18
1.3.7.2	Zonificación de información pluviométrica.....	22
1.3.7.3	Influencia de fenómenos naturales.....	22
1.3.7.4	Análisis de consistencia .....	22
1.3.7.5	Precipitación media de la cuenca.....	24
1.4	El Niño - Oscilación Sur (ENOS o ENSO).....	26
1.4.1	Fenómeno El Niño (en el Pacífico central) o Niño global .....	26
1.5	El Niño costero .....	27
1.6	Cambio climático.....	29
1.7	Regionalización hidrológica .....	29
1.7.1	Determinación de regiones hidrológicamente homogéneas.....	30
1.8	Análisis Clúster.....	31
1.8.1	Definición.....	31
1.8.2	Clasificación de los métodos clúster .....	31
1.8.2.1	Métodos no jerárquicos .....	32
1.8.2.2	Métodos jerárquicos .....	32
1.8.3	Etapas del análisis clúster jerárquico aglomerativo .....	33

1.8.3.1	Elección de elementos y variables: Matriz de estudio .....	33
1.8.3.2	Estandarización de los datos .....	33
1.8.3.3	Elección de la medida de disimilitud: criterio de la distancia .....	34
1.8.3.4	Elección de la técnica clúster .....	35
1.8.3.5	Generación del dendrograma .....	37
1.8.3.6	Validación de los datos: Coeficiente de correlación cofenético .....	38
<b>Capítulo 2</b>	.....	<b>41</b>
<b>Caso de estudio: Cuenca del río Chira</b>	.....	<b>41</b>
2.1	Metodología.....	41
2.2	Área de estudio .....	41
2.2.1	Hidrografía .....	42
2.2.2	Geomorfología .....	44
2.2.3	Subcuencas.....	45
2.2.4	Infraestructura de ingeniería.....	46
2.2.5	Clima.....	46
2.2.6	Precipitación.....	47
<b>Capítulo 3</b>	.....	<b>49</b>
<b>Aplicación de la metodología de análisis clúster</b>	.....	<b>49</b>
3.1	Análisis geomorfológico.....	49
3.1.1	Recopilación de información .....	49
3.1.2	Unidades hidrográficas de la cuenca Chira .....	50
3.1.3	Determinación de las características fisiográficas de las U.H. de estudio .....	50
3.1.4	Determinación de parámetros de forma .....	51
3.1.5	Determinación de parámetros de relieve .....	54
3.1.6	Determinación de los parámetros de la red hídrica .....	59
3.2	Análisis pluviométrico.....	63
3.2.1	Recopilación de información .....	63

3.2.2	Selección de estaciones y periodo de estudio pluviométrico .....	63
3.2.3	Estimación de datos faltantes .....	65
3.2.4	Análisis de consistencia .....	71
3.2.4.1	Análisis de consistencia de la zona baja .....	71
3.2.4.2	Análisis de consistencia de la zona alta .....	74
3.2.4.3	Relleno de datos incompletos mediante método de CDA .....	77
3.2.5	Deducción de la precipitación media para cada subcuenca .....	81
3.2.5.1	Primer escenario: Con fenómenos (CF).....	81
3.2.5.2	Segundo escenario: Sin fenómenos (SF) .....	84
3.2.5.3	Tercer escenario: Sólo fenómenos (SLF) .....	86
3.3	Análisis clúster .....	88
3.3.1	Matriz de estudio .....	89
3.3.2	Elección de la metodología y técnica clúster .....	89
3.3.3	Elección de las medidas de asociación.....	89
3.3.4	Aplicación del método .....	89
3.3.5	Regiones hidrológicamente homogéneas obtenidas.....	95
<b>Capítulo 4</b>	.....	<b>99</b>
<b>Análisis de resultados</b>	.....	<b>99</b>
4.1	Caracterización de las regiones a nivel mensual .....	99
4.1.1	Escenario CF y SF.....	99
4.1.2	Escenario SLF .....	102
4.2	Caracterización de las regiones a nivel anual .....	106
4.2.1	Escenario SF.....	106
4.2.2	Escenario CF .....	106
4.2.3	Escenario SLF .....	107
<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	.....	<b>111</b>
<b>Referencias bibliográficas</b>	.....	<b>115</b>

<b>Anexos .....</b>	<b>125</b>
Anexo A - Análisis geomorfológico .....	127
Anexo A 1 - Mapa de las Unidades Hidrográficas nivel 3 del Perú .....	127
Anexo A 2 - Mapa de las Unidades Hidrográficas nivel 5 del Perú .....	127
Anexo A 3 - Curvas de nivel de las cartas nacionales en la cuenca Chira.....	128
Anexo A 4 - Información de la red hídrica en las cartas nacionales para la cuenca Chira.....	128
Anexo A 5 - TIN generado con información obtenida de las cartas nacionales .....	129
Anexo A 6 - DEM obtenido a partir del TIN .....	129
Anexo A 7 - Fill sinks generado a partir del DEM .....	130
Anexo B – Análisis pluviométrico .....	131
Anexo B 1 - Ubicación de todas las estaciones pluviométricas recopilados de diferentes fuentes.....	131
Anexo B 2 - Ubicación de estaciones pluviométricas con la mayor información pluviométrica completa.....	132
Anexo B 3 - Información de estaciones pluviométricas con la mayor información pluviométrica completa.....	133
Anexo B 4 - Tabla para evaluar meses completos en cada estación.....	135
Anexo B 5 - Tabla para evaluar información años completos en cada estación.....	136
Anexo B 6 - Gráfico para definir el periodo de estudio pluviométrico en la cuenca Chira.....	137
Anexo B 7 - Precipitaciones mensuales promedio de la zona baja, luego de aplicar RLM, previo al análisis CDA.....	140
Anexo B 8 - Precipitaciones mensuales promedio de la zona alta, luego de aplicar RLM, previo al análisis CDA.....	141
Anexo B 9 - Precipitaciones acumuladas anuales de la zona baja de la cuenca Chira, previo al análisis CDA.....	142
Anexo B 10 - Precipitaciones acumuladas anuales de la zona baja de la cuenca Chira, luego de aplicar CDA.....	143

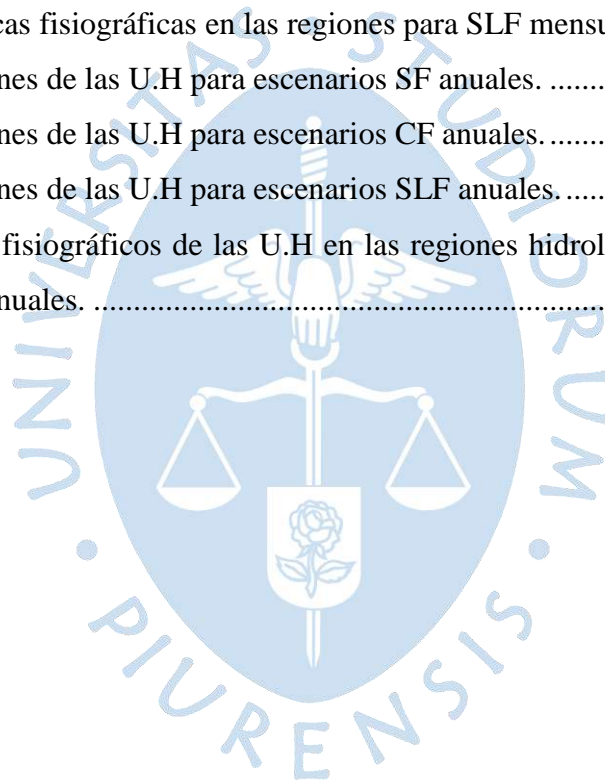
Anexo B 11 - Precipitaciones acumuladas anuales de la zona alta de la cuenca Chira, previo al análisis CDA. ....	144
Anexo B 12 - Precipitaciones acumuladas anuales de la zona alta de la cuenca Chira, luego de aplicar CDA. ....	146
Anexo C - Análisis clúster .....	148
Anexo C 1 - Matriz de estudio de un escenario CF anual. ....	148



## Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación de las cuencas según su tamaño. ....	8
Tabla 2. Rangos aproximados del factor de forma.....	9
Tabla 3. Forma de la cuenca hidrográfica según índice de Gravelius.....	10
Tabla 4. Rangos aproximados de la pendiente media del cauce principal.....	11
Tabla 5. Clasificación de acuerdo a la pendiente media de la cuenca .....	12
Tabla 6. Clasificación de las densidades de drenaje en una cuenca.....	13
Tabla 7. Clasificación de ENOS (Niño Global y Niña Global) y El Niño costero mediante la comparación de ONI e ICEN entre 1950-2018.....	28
Tabla 8. Tipos climáticos de la cuenca Chira, según la clasificación de W. Thornthwaite en la cuenca binacional Catamayo – Chira. ....	47
Tabla 9. Parámetros fisiográficos evaluados en las U.H. de la cuenca Chira. ....	51
Tabla 10. Parámetros de forma de las U.H. de la cuenca Chira.....	51
Tabla 11. Parámetros de relieve de las U.H. de la cuenca Chira .....	57
Tabla 12. Parámetros de la red hídrica de las U.H. de la cuenca Chira .....	60
Tabla 13. Información de estaciones seleccionadas para análisis pluviométrico en cuenca Chira .....	64
Tabla 14. Aplicación del método de regresión lineal múltiple para completar data pluviométrica .....	66
Tabla 15. Estaciones pertenecientes a la zona Baja. ....	78
Tabla 16. Estaciones pertenecientes a la zona alta.....	79
Tabla 17. Resultados finales de precipitaciones promedio mensuales, ajustados mediante CDA. ....	79
Tabla 18. Precipitaciones medias anuales y medias mensuales en la cuenca Chira en un escenario CF.....	82
Tabla 19. Precipitaciones medias anuales y medias mensuales en la cuenca Chira en un escenario SF. ....	84

Tabla 20. Precipitaciones medias anuales y medias mensuales en la cuenca Chira en un escenario SLF.....	86
Tabla 21. Agrupación de las U.H de la cuenca del río Chira mediante análisis clúster.....	95
Tabla 22. Variación de las regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca del río Chira. .....	96
Tabla 23. Precipitaciones mensuales medias mínimas, promedio y máximas de las U.H agrupadas en 6 regiones para escenarios CF y SF. ....	101
Tabla 24. Precipitaciones para escenarios SLF septiembre – diciembre/ febrero/ abril - agosto .....	104
Tabla 25. Características fisiográficas en las regiones para SLF mensual (enero). ....	105
Tabla 26. Características fisiográficas en las regiones para SLF mensual (marzo). ....	105
Tabla 27. Precipitaciones de las U.H para escenarios SF anuales. ....	106
Tabla 28. Precipitaciones de las U.H para escenarios CF anuales. ....	107
Tabla 29. Precipitaciones de las U.H para escenarios SLF anuales. ....	108
Tabla 30. Parámetros fisiográficos de las U.H en las regiones hidrológicamente homogéneas para escenarios SLF anuales. ....	109

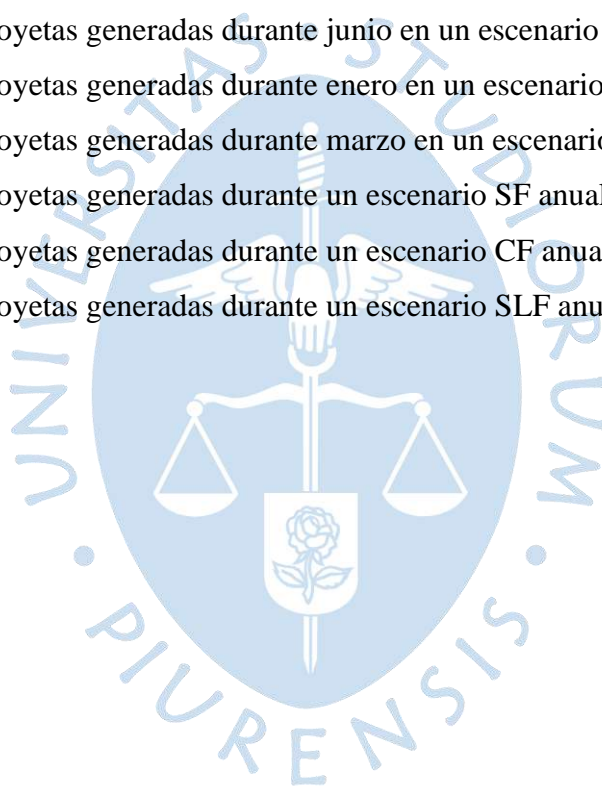


## Lista de figuras

Figura 1. Elementos de la cuenca hidrográfica Medio Quiroz.....	4
Figura 2. Generación de una red de triángulos irregulares o TIN.....	6
Figura 3. Sistema de codificación Pfafstetter en la U.H. Quiroz del nivel 4 al nivel 5. ....	7
Figura 4. Clasificación de la metodología de análisis clúster. ....	32
Figura 5. Ejemplo de dendrograma de 3 clústeres. ....	38
Figura 6. Ejemplo de dendrograma de la agrupación en un clúster sobre 5 elementos. ....	39
Figura 7. Matriz de distancias inicial y matriz cofenética obtenida a partir del dendrograma de la figura anterior. ....	39
Figura 8. Ubicación y límites hidrográficos de la parte peruana de la cuenca binacional Catamayo – Chira, conocida como cuenca del río Chira. ....	42
Figura 9. Ríos y quebradas principales de la parte peruana de la cuenca binacional Catamayo – Chira, conocida como cuenca del río Chira. ....	43
Figura 10. Topografía de la cuenca del río Chira.....	44
Figura 11. Mapa de las U.H. Nivel 4 en la cuenca del río Chira .....	45
Figura 12. Mapa de U.H. nivel 5 de la cuenca Chira. ....	50
Figura 13. Áreas (A) de las U.H. de la cuenca Chira.....	53
Figura 14. Coeficiente de Gravelius ( $K_c$ ) de las U.H. de la cuenca Chira.....	53
Figura 15. Coeficiente de forma ( $K_t$ ) de las U.H. de la cuenca Chira. ....	54
Figura 16. Longitud mayor del cauce ( $L_m$ ) de las U.H. de la cuenca Chira.....	54
Figura 17. Curva hipsométrica y $H_m$ de la cuenca Quiroz .....	55
Figura 18. Mapa de pendientes ( $S_g$ ) de la cuenca Quiroz.....	56
Figura 19. Mapa de pendiente del cauce ( $S_r$ ) de la cuenca Quiroz.....	56
Figura 20. Alturas medias ( $H_m$ ) de las U.H de la cuenca Chira. ....	58
Figura 21. Gráfico 6. Pendientes medias ( $S_g$ ) de las U.H. de la cuenca Chira. ....	59
Figura 22. Pendientes medias de los cauces ( $S_r$ ) de las U.H. de la cuenca Chira.....	59
Figura 23. Densidad de drenaje ( $D_d$ ) de las U.H. de la cuenca Chira.....	61

Figura 24. Número de orden (NO) de las U.H. de nivel 4 y 5 de la cuenca Chira.....	62
Figura 25. Número de orden (NO) de las U.H. de la cuenca Chira. ....	62
Figura 26. Ubicación de estaciones seleccionadas para análisis pluviométrico en la cuenca Chira.....	64
Figura 27. Precipitaciones promedio mensuales de estaciones en la zona baja. ....	69
Figura 28. Precipitaciones promedio mensuales de estaciones en la zona alta. ....	70
Figura 29. Tendencia de estaciones que conforman el PPA de zona baja en periodo 1966 – 1990. ....	71
Figura 30. Tendencia inicial de las estaciones de la zona baja frente al PPA seleccionado. ...	72
Figura 31. Tendencia final de estaciones que conforman la zona baja frente al PPA luego de aplicar el método CDA.....	73
Figura 32. Tendencia de estaciones que conforman el PPA de zona alta en periodo 1966 – 1990. ....	74
Figura 33. Tendencia inicial de las estaciones de la zona alta frente al PPA seleccionado. ....	75
Figura 34. Tendencia final de estaciones que conforman la zona alta frente al PPA luego de aplicar el método CDA.....	76
Figura 35. Tendencia final de estaciones restantes frente al PPA luego de aplicar el método CDA. ....	77
Figura 36. Mapa de estaciones seleccionadas agrupadas según zonas. ....	78
Figura 37. Distancias de agrupación vs pasos para un escenario de precipitación media anual SLF. ....	91
Figura 38. Distancias de agrupación vs pasos para un escenario de precipitación media anual CF. ....	92
Figura 39. Dendrograma con 4 posibles soluciones para un escenario precipitación media anual CF. ....	93
Figura 40. Determinación de un corte adecuado en dendrogramas comparando 4 posibles soluciones en 3 análisis clúster anuales CF, SF Y SLF. ....	94
Figura 41. Regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira durante los meses de septiembre a diciembre.....	96
Figura 42. Regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira durante el mes de enero. ....	97
Figura 43. Regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira durante febrero. ....	97
Figura 44. Regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira durante marzo. ....	97

Figura 45. Regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira durante mayo – agosto. .....	98
Figura 46. Regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira – evaluaciones anuales. .....	98
Figura 47. Grupos e isoyetas generadas para el escenario SF durante noviembre.....	99
Figura 48. Grupos e isoyetas generadas para el escenario CF durante noviembre. ....	100
Figura 49. Grupos e isoyetas generadas para el escenario SF durante junio. ....	100
Figura 50. Grupos e isoyetas generadas para el escenario CF durante junio. ....	101
Figura 51. Grupos e isoyetas generadas durante noviembre en un escenario SLF. ....	102
Figura 52. Grupos e isoyetas generadas durante febrero en un escenario SLF.....	103
Figura 53. Grupos e isoyetas generadas durante junio en un escenario SLF. ....	103
Figura 54. Grupos e isoyetas generadas durante enero en un escenario SLF. ....	104
Figura 55. Grupos e isoyetas generadas durante marzo en un escenario SLF. ....	105
Figura 56. Grupos e isoyetas generadas durante un escenario SF anual.....	106
Figura 57. Grupos e isoyetas generadas durante un escenario CF anual. ....	107
Figura 58. Grupos e isoyetas generadas durante un escenario SLF anual. ....	108





## Introducción

Uno de los frecuentes problemas que se registran en las cuencas peruanas, es que no cuentan con suficientes estaciones meteorológicas actualmente en funcionamiento que permitan emplear la información hidrometeorológica para determinar correctamente su compartimiento hidrológico y evaluar los efectos generados por eventos climáticos extremos.

La regionalización es una metodología numérica frecuentemente empleada para transferir información de regiones aforadas a regiones con información escasa. Previamente al traslado de información es necesario determinar estas regiones conformadas por U.H que presenten comportamiento hidrológico semejante entre sí, empleando métodos como el análisis clúster.

Durante el XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica (Lima, Perú-2016), se presentó el artículo: “Efecto del fenómeno el Niño en el comportamiento hidrológico de la cuenca alta del Piura” (Chávez, Farías, Sordo y Gonzales, 2016) el cual desarrolló el análisis clúster para determinar las regiones homogéneas en las 16 subcuencas que conforman la parte alta de la cuenca del río Piura y evaluó las variaciones en el comportamiento hidrológico como consecuencia del FEN.

La cuenca Chira, perteneciente al norte del Perú al igual que la cuenca Piura y además colindante a esta, presenta los mismos problemas en cuanto a información limitada en estaciones hidrometeorológicas y a recurrencia de El Niño Global y El Niño costero, por ello el objetivo general de la presente tesis, consiste en desarrollar un análisis similar al expuesto en el congreso antes mencionado, es decir, determinar regiones hidrológicamente homogéneas, aplicando el análisis clúster, mediante el análisis de parámetros fisiográficos y variables climáticas como las precipitaciones medias mensuales y anuales. para un periodo de años determinado en base a información pluviométrica obtenida a partir de las estaciones meteorológicas.

Así mismo se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Analizar tres escenarios distintos en la cuenca Chira, tomando datos de precipitación media mensual y anual en un determinado periodo, incluyendo años en los que se producen los fenómenos (CF), quitando los años de ocurrencia de los fenómenos (SF), y evaluando solo los años en los que se produjo los eventos (SLF), y determinar las variaciones en la agrupación de las U.H de la cuenca Chira.
- Evaluar los cambios en las precipitaciones de la cuenca y en la agrupación de las regiones hidrológicamente homogéneas tras la ocurrencia de los fenómenos mencionados..



# Capítulo 1

## Marco teórico

### 1.1 Hidrología

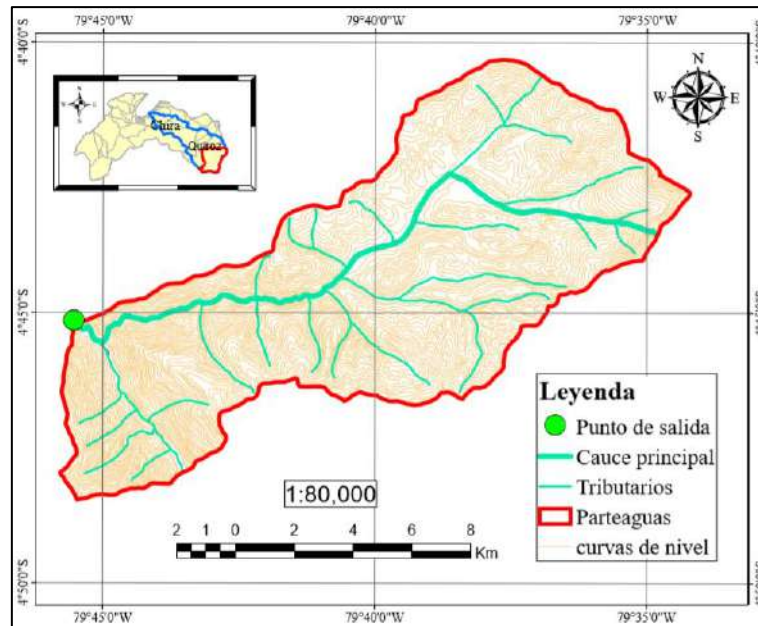
La palabra hidrología, etimológicamente procede de las raíces griegas *hydro* (agua) y *logos* (estudio, tratado), lo que significa que, en un marco general, la hidrología es una ciencia natural encargada del estudio del agua. Más a detalle, evalúa el paso del agua entre la tierra y la atmósfera, así como sus propiedades, existencia, distribución y aprovechamiento en la superficie terrestre y su relación con el medio ambiente y los seres vivos (Chow, Maidment, & Mays, 2000).

El principal objetivo de su uso en la ingeniería radica en recopilar, evaluar y proporcionar la data necesaria para el adecuado diseño de proyectos hidráulicos para el aprovechamiento del agua y de defensa ante fenómenos o comportamientos extremos generados por la misma (Chereque, 1989).

### 1.2 Cuenca hidrográfica

#### 1.2.1 Definición

“La cuenca hidrográfica es la unidad básica de estudio de la hidrología” (Aparicio, 1992, pág. 19). Y es toda área de terreno que, al captar agua proveniente de la precipitación y luego de que se genere el escurrimiento superficial o afloramiento del escurrimiento subterráneo, genera cursos de agua o corrientes tributarias que discurren superficialmente hacia un curso en común, el mismo que desagua hacia un punto de salida (Aparicio, 1992), tal como se observa en la Figura 1.



**Figura 1.** Elementos de la cuenca hidrográfica Medio Quiroz.

**Fuente:** INRENA (2012)

**Elaboración:** Propia

Por el contrario, una cuenca hidrológica contiene cursos de agua que discurren de manera subterránea, cuyo límite pocas veces coincide con el de una cuenca hidrográfica (Gámez, 2009).

### 1.2.2 Clasificación

Existen criterios importantes bajo los que se rigen distintos autores para clasificar una cuenca hidrográfica. Para este estudio, es importante tener en cuenta la dirección de la evacuación de sus aguas (Robles, R. [ElComander Geo], 2018):

- Endorreicas, cuyas aguas drenan en el territorio terrestre.
- Exorreicas, cuyos cursos de agua desaguan en territorio marítimo.
- Arreicas, son aquellas que no desaguan directamente, puesto que sus aguas se infiltran, desvían o evaporan antes de articularse a una red de drenaje.

### 1.2.3 Delimitación y codificación

Las cuencas se delimitan y dividen de otras vecinas por una línea imaginaria denominada *divortium acuarum* o parteaguas, conformada por el conjunto de puntos que, por lo general,

representan las mayores cotas en una determinada región, además “separa las precipitaciones que caen en hoyas vecinas” (Monsalve, 1995, pág. 35)

Se puede determinar por el método tradicional, mediante cartas topográficas físicas empleando instrumentos manuales; o por el método digital, empleando sistemas de información geográfica (SIG), para analizar la topografía en base digital del área de interés.

### **1.2.3.1 Método cartográfico tradicional para la delimitación de cuencas**

Primero se debe identificar una red hídrica, y distinguir el cauce principal de los tributarios. El primero forma parte de la cuenca principal, mientras que los segundos, pertenecen a las subcuencas de aportación (Monsalve, 1995).

Para el trazo, se debe tener en cuenta el relieve de la zona, puesto que el parteaguas corta de manera convexa a las curvas de nivel de zonas de mayor altitud; y cóncava, a las de menor altitud. Además, corta al cauce principal o tributarios solo en su punto de salida (Aguirre, Torres, & Ruiz, 2003).

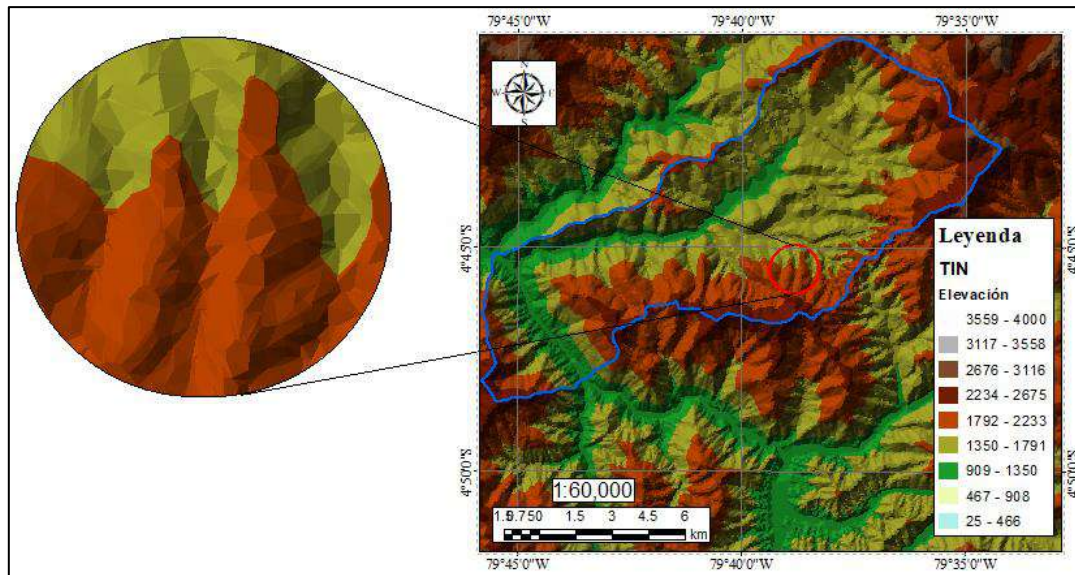
### **1.2.3.2 Método cartográfico digital para la delimitación de cuencas**

Para la delimitación digital, sin embargo, se emplea, por ejemplo, herramientas como el ArcHydro Tools que es una extensión del software ArcGIS.

Para representar el relieve de la región a estudiar se genera un modelo de red de triángulos irregulares (TIN) tal como se observa en la Figura 2, a partir de las curvas de nivel, puntos geodésicos y red hídrica de una región digitalizados. En seguida se determina un modelo de elevación digital (DEM) y se realiza el llenado de depresiones (*fill sinks*), para evitar irregularidades.

Una vez obtenidos estos formatos, se emplean herramientas para determinar la dirección de flujo, flujo acumulado, y la identificación de tramo de curso de agua para representar la red hídrica.

Finalmente se genera la delimitación de cuencas en formato *raster* y luego en formato *shapefile*.



**Figura 2.** Generación de una red de triángulos irregulares o TIN.

**Fuente:** INRENA (2012)

**Elaboración:** Propia

### 1.2.3.3 Sistema de codificación Pfafstetter

Con el fin mantener un orden en el territorio estudiado, se establece un identificador o código a cada unidad hidrográfica dentro de una superficie terrestre, evitando que se repita dentro del mismo continente.

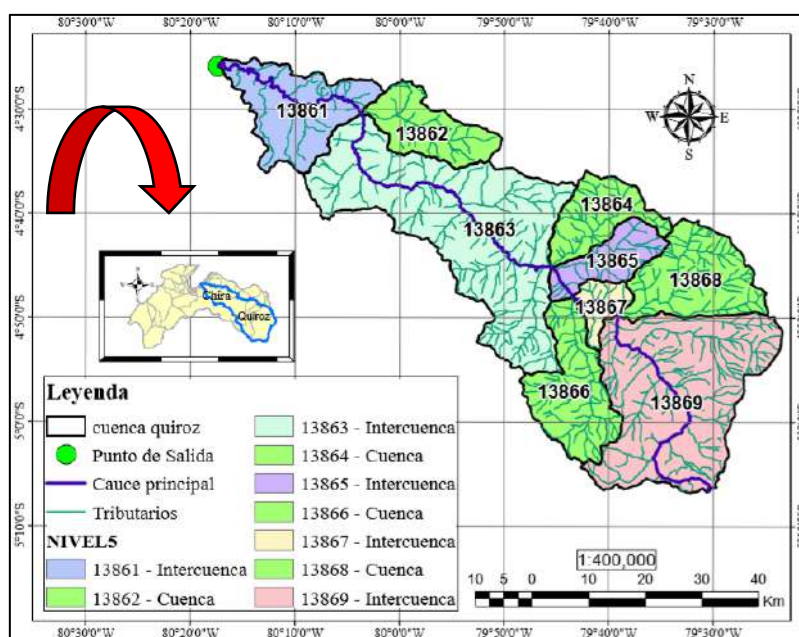
Fue desarrollada por Otto Pfafstter en 1989, difundido en 1997 por Kristine Verdin y aceptado como estándar internacional por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA], 2012).

De acuerdo con este sistema, existen 3 tipos de unidades de drenaje: cuencas, intercuenas y cuencas internas. Las primeras se forman por cursos de agua que no reciben flujo de unidades vecinas, pero aportan al cauce principal; las segundas, son aquellas por las que el cauce principal discurre, lo que significa que reciben y permiten el drenaje de unidades contiguas, y cuencas internas, que no reciben flujo de agua ni contribuye con otra unidad.

El proceso consiste en identificar el cauce principal y los cuatro tributarios con mayor área de drenaje de una región hidrográfica. Las unidades son delimitadas desde las uniones de los ríos o desde el punto de desembocadura de un curso de agua principal en el océano. Las áreas

de los tributarios se codifican con número pares, mientras que las áreas restantes o intercuenas que contribuyen directamente para el curso de agua principal, con números impares.

La numeración se realiza de manera ascendente desde el tributario más cercano al punto de salida, hasta el curso de agua más alejado de este. El proceso se repite en cada subcuenca obtenida hasta que los cursos principales de agua de las mismas no presenten tributarios. Los dígitos se agregan hacia la derecha conforme se aumenta de nivel, como se ejemplifica en la Figura 3.



**Figura 3.** Sistema de codificación Pfafstetter en la U.H. Quiroz del nivel 4 al nivel 5.

**Fuente:** INRENA (2012)

**Elaboración:** Propia

#### 1.2.4 Parámetros fisiográficos o geomorfológicos

Las cuencas hidrográficas tienen características físicas y geomorfológicas que influyen en la respuesta ante estímulos generados, por ejemplo, por variables como la precipitación.

Los parámetros que cuantifican y representan de manera matemática la forma, el relieve y la red hídrica de una cuenca, son los parámetros geomorfológicos. Junto a variables externas o de estado como las climáticas, permiten entender o pronosticar su comportamiento hidrológico, y contrastar con alguna cuenca vecina. Y si existe semejanza geomorfológica y climática entre ambas, es posible la transferencia de información (Chávez, 2009).

Los principales parámetros geomorfológicos estudiados para este proyecto se dividen en: parámetros de tamaño y forma, parámetros de relieve y parámetros de la red hídrica.

#### 1.2.4.1 Parámetros de tamaño y forma

**Área (A).** Es la superficie acotada y proyectada en el plano horizontal del terreno de la hoya hidrográfica. Según Gámez (2009), las cuencas en base a su tamaño se clasifican de acuerdo a lo detallado en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación de las cuencas según su tamaño.

Carácter	Área (Km <sup>2</sup> )
Pequeñas	< de 50
Medianas	de 50 a 150
Grandes	> de 150

Fuente: Gámez (2009)

Es importante recalcar, que en las cuencas pequeñas, el volumen escurrido será menor y por ello se debe centrar mayor atención en sus demás parámetros; mientras que, para cuencas grandes, se aumenta el volumen escurrido y los escurrimientos máximos, por lo que deberá dársele atención, además, al cauce (Villón, 2002).

**Perímetro (P).** Es la medida de la longitud del parteaguas. Siempre que se comparen dos cuencas con áreas similares, presentará mayor tendencia al alargamiento aquella que cuente con un perímetro mayor (Córdova, 2016).

**Longitud mayor del río ( $L_m$ ).** Es la medida del curso de agua que presenta mayor longitud en una determinada cuenca, el mismo que se puede medir considerando su ondulación o solo la longitud del eje que describe.

**Ancho promedio ( $A_p$ ).** Es el resultado de relacionar el área de la cuenca con la longitud mayor de río, de la siguiente manera:

$$A_p = \frac{A}{L_m} \quad \dots (1)$$

Donde:

$A_p$ : Ancho promedio de la cuenca,  $km$

$A$  : Área de la cuenca,  $km^2$

$L_m$ : Longitud proyectada en el plano horizontal del curso de agua principal,  $km$

**Factor de forma de Horton ( $K_t$ ).** Se determina relacionando el ancho promedio de la cuenca con la longitud mayor de río, con el objetivo de determinar una forma aproximada de la cuenca

$$K_t = \frac{A_p}{L_m} \quad \dots (2)$$

Donde:

$K_t$  : Factor de forma, *adimensional*

$A_p$  : Ancho promedio de la cuenca,  $km$

$L_m$ : Longitud proyectada en el plano horizontal del curso de agua principal,  $km$

Las cuencas alargadas tendrán  $K_t$  menor a 1, tal cual se describe en la Tabla 2, y tendrán menor susceptibilidad a las crecientes puesto que su cauce principal es mayor que los tributarios y los tiempos de concentración para eventos de precipitación son distintos.

**Tabla 2.** Rangos aproximados del factor de forma

<b><math>K_t</math> (valores aproximados)</b>	<b>Forma de la cuenca</b>
<0.22	Muy alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
> 1.20	Rodeando el desagüe

**Fuente:** Perez (1979)

**Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad ( $K_c$ ).** Gravelius (1914) propuso comparar el perímetro de una cuenca con el perímetro de un círculo, cuya área coincida con el área de la misma cuenca, con el fin de obtener su forma aproximada.

$$K_C = 0.2821 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \dots (3)$$

Donde:

$K_C$ : Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad, *adimensional*

$P$  : Perímetro de la cuenca, *km*

$A$  : Área de la cuenca, *km<sup>2</sup>*

La cuenca de área circular se supone con cauces dispuestos radialmente que desaguan en un punto central, haciéndola susceptible a inundaciones por presentar tiempos similares de concentración (Lopez Cadenas de Llano, 1998).

La Tabla 3 presenta la forma de una cuenca de acuerdo a los  $K_C$  obtenidos.

**Tabla 3.** Forma de la cuenca hidrográfica según índice de Gravelius

<b>Kc (valores aproximados)</b>	<b>Forma de la cuenca</b>
1.00 - 1.25	Redonda
1.25 - 1.50	Ovalada
1.50 - 3.00	Larga

**Fuente:** Extraído de la tesis “Aplicación del método de regionalización para la determinación de caudales en el puente Carrasquillo” de Chávez (2009)

#### 1.2.4.2 Parámetros de relieve

**Pendiente media del cauce ( $S_c$ ).** La pendiente del cauce influye en la velocidad de escurrimiento, proceso de erosión, y formación de descargas altas (Lopez Cadenas de Llano, 1998). Se determina dividiendo la diferencia total de elevación del curso de agua principal, entre la longitud del mismo.

$$S_c = \frac{H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}}{L_m} \quad \dots (4)$$

Donde:

$S_c$  : Pendiente media del cauce, %

$H_{m\acute{a}x}$  : Punto inicial del curso de agua principal o cota máxima, *m. s. n. m.*

$H_{\min}$  : Punto de salida del curso de agua principal o cota mínima, *m. s. n. m.*

$L_m$  : Longitud del curso de agua principal, *km*

La Tabla 4 presenta la clasificación de un cauce de acuerdo a su pendiente.

**Tabla 4.** Rangos aproximados de la pendiente media del cauce principal

Pendiente media del cauce principal (%)	Clases
1 a 5	Suave
6 a 11	Moderado
12 a 17	Fuerte

**Fuente:** Extraído del sitio web [http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documentos/estudios/cuenca\\_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS\\_BIOFISICOS.pdf](http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS_BIOFISICOS.pdf) de IBAL S.A. (2009)

**Pendiente de la cuenca (Sg).** Es el promedio de cada una de las pendientes que conforma a la cuenca en sus diferentes franjas topográficas (Córdova, 2016). Influye en el tiempo de concentración de las aguas en un determinado punto, así como su velocidad media de escorrentía y su poder de arrastre o poder erosivo (Gámez, 2009).

Según indica Monsalve (1995) la pendiente promedio ponderada de una cuenca se puede obtener, entre otros métodos, midiendo la longitud total de todas las curvas de nivel, el área de drenaje, y la diferencia consecutiva de cota entre curvas de nivel:

$$S_g = \frac{D \sum l_i}{A} = \frac{D \cdot L_L}{A} \quad \dots (5)$$

Donde:

$S_g$ : Pendiente promedio de toda la cuenca, *adimensional*

$D$ : Diferencia de cotas promedio entre las curvas de nivel interpoladas, representativas de la curva de nivel “i”. Es un valor constante dado que la diferencia entre curvas de nivel consecutivas en planos topográficos es constante, *km*.

$l_i$ : Longitud de la curva de nivel “i” dentro del área de drenaje de la cuenca, *km*.

$A$  : Área de la cuenca, *km<sup>2</sup>*

$L_L$  : Longitud total de todas las curvas de nivel en la cuenca, *km*.

Para el caso en el que  $D$  no sea constante, lo que puede suceder en la parte más alta y más baja de la cuenca, según lo indica Villón (2002), se opta por la siguiente ecuación:

$$S_g = \frac{D_1 l_1 + D(l_2 + l_3 + \dots + l_{n-1}) + D_n l_n}{A} \quad \dots (6)$$

Donde:

$D_1$ : Desnivel en la parte más baja,  $km$ .

$D_n$ : Desnivel en la parte más alta  $km$ .

La Tabla 5 detalla la clasificación de una cuenca de acuerdo a su pendiente.

**Tabla 5.** Clasificación de acuerdo a la pendiente media de la cuenca

Pendiente media de la cuenca (Sg)	Clases
0.00 - 3.00	Plana
3.00 - 7.00	Suave
7.00 - 12.00	Mediana
12.00 - 20.00	Accidentada
20.00 - 35.00	Fuerte
35.00 - 50.00	Muy Fuerte
50.00 - 75.00	Escarpada
> 75.00	Muy escarpada

Fuente: Ortiz (2004).

#### 1.2.4.3 Parámetros de la red hídrica

**Densidad de drenaje (Dd).** Expresa la capacidad de evacuación de un volumen de agua dado (Lopez Cadenas de Llano, 1998) y el tiempo de respuesta de una cuenca ante una determinada tormenta. Para Horton (1945), Se define como la relación entre la longitud total de los cursos de agua pertenecientes a una determinada cuenca y el área de esta.

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad \dots (7)$$

Donde:

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

$L_i$  : Longitud total de los cursos de agua,  $km$

$A$  : Área de la cuenca,  $km^2$

Strahler (1952) encontró en Estados Unidos valores de 0.2 km/km<sup>2</sup> para cuencas con drenaje pobre y hasta 250 km/km<sup>2</sup> para cuencas muy bien drenadas. Las densidades de drenaje se clasifican según los rangos descritos en la Tabla 6 (Fuentes, 2004; Delgadillo & Páez, 2008).

**Tabla 6.** Clasificación de las densidades de drenaje en una cuenca

Fuentes Junco (2004)		Delgadillo y Paez (2008)	
Dd (km/km <sup>2</sup> )	Clases	Dd (km/km <sup>2</sup> )	Clases
0.1 - 1.8	Baja	< 1	Baja
1.9 - 3.6	Moderada	1 - 2	Moderada
3.7 - 5.6	Alta	2 - 3	Alta
—	—	> 3	Muy alta

**Fuente:** Extraído del artículo de revista [http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-42652018001100005](http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652018001100005) de Camino et al. (2018)

**Orden de las corrientes de agua.** Representa el estado de ramificación de la red hídrica. Esto influye en la velocidad de respuesta de la hoya a manera de escorrentía directa ante la precipitación, el potencial erosivo, y la capacidad para transporte de sedimentos.

“Las cuencas altamente disectadas tienen un orden de cauce alto y los suelos son relativamente impermeables; entonces, la respuesta a una tormenta es rápida” (Aparicio, 1992, pág. 22).

Entre los diversos métodos para determinar el orden de las corrientes, el de Strahler (1964) es el más sencillo:

- La corriente de orden 1 es una corriente tributaria sin ramificaciones.
- La corriente de orden 2 contiene más de una corriente de orden 1, y así sucesivamente.
- Si se encuentra una corriente de orden 1 y una corriente de orden 2, entonces la corriente formada mantiene el orden mayor.
- Así finalmente el orden final de la cuenca será el mismo que adopte la corriente principal.

## **1.3 Precipitación**

### **1.3.1 Definición**

“El comportamiento hidrológico de una región depende de sus características físicas, geológicas, topográficas y climatológicas. Los factores climatológicos más importantes son la precipitación, la evaporación, la temperatura y la humedad del aire” (Monsalve, 1995, pág. 59).

La precipitación es la condición ya sea líquida o sólida, en que el agua, suspendida en la atmósfera por condensación en forma de nube, niebla o cristales de hielo, retorna por gravedad a la superficie terrestre o marítima (Gámez, 2009).

### **1.3.2 Formación**

El vapor de aire caliente formado en la superficie, se eleva por reducción de densidad, y disminuye su presión hasta llegar a ser tan baja que es posible su expansión, generando que su temperatura disminuya, produciéndose la saturación de vapor de agua y posteriormente la condensación, que con ayuda de núcleos de condensación permite la unión de las partículas de agua formadas. La unión entre núcleos y moléculas de agua es progresiva de manera que se forman gotas de agua cada vez más grandes hasta adquirir el suficiente peso para caer por gravedad (Chow et al., 2000).

### **1.3.3 Clasificación**

#### **1.3.3.1 Precipitaciones convectivas**

Se forman cuando capas de aire elevan su temperatura por contacto directo con la superficie terrestre, y ascienden hasta alcanzar temperaturas menores al punto de rocío, lo que generará que condensen y precipiten (Gámez, 2009). Este tipo de lluvia se da generalmente en la costa norte del Perú y en los mares (Chávez, 2009).

### 1.3.3.2 Precipitaciones orográficas

Se genera cuando las capas de aire se desplazan hacia un relieve accidentado o montañoso por acción forzada de los vientos, ocasionando que la capa ascienda por las laderas montañosas generando la precipitación (Chow et al., 2000). Este tipo de precipitaciones es la que se da generalmente en la sierra peruana (Chávez, 2009).

### 1.3.3.3 Precipitaciones de convergencia

Se genera por el contacto entre dos capas de aire. Las mismas que pueden viajar en sentido opuesto a temperaturas similares, en el mismo sentido a diferentes temperaturas y coincidir en zonas de bajas o altas presiones, o cuando una capa en movimiento encuentra otra capa de menor o mayor temperatura, generando frentes fríos o cálidos respectivamente (Monsalve, 1995). Estos fenómenos se producen, por lo general, en las zonas tropicales de Centro América y del Caribe o hacia el sur de China. En el Perú no se presenta este tipo de precipitación (Chávez, 2009).

### 1.3.4 Medidas pluviométricas

Para cuantificar el agua precipitada se mide la altura que esta registra al acumularse sobre una superficie plana e impermeable, suponiendo que permanece en el punto donde cayó (Villón, 2002). En América Latina, esta altura se expresa en milímetros y décimas (Chereque, 1989).

Según indica Villón (2002), los instrumentos más empleados para determinarlas son el pluviómetro y pluviógrafo, tal como se indica a continuación:

#### 1.3.4.1 Pluviómetro

El pluviómetro normalizado tiene forma cilíndrica de 20 *cm* de diámetro. La tapa en forma de embudo, recibe el agua y permite que se acumule en otro recipiente interno de diámetro 10 veces menor al externo, lo que hace posible que la medida de 1 *cm* corresponda a 1 *mm* de lluvia con menor grado de error, que equivale a 1 *lt/m<sup>2</sup>*. Generalmente se emplea para determinar la cantidad de precipitación acumulada a lo largo del día.

### 1.3.4.2 Pluviógrafo

Registra en una gráfica la cantidad de agua precipitada en pequeños intervalos de tiempo, es decir su intensidad que es un parámetro importante para el diseño de obras hidráulicas.

El más conocido está conformado por un recipiente cilíndrico que recibe el agua, y un flotador que hace subir a una plumilla para registrar la acumulación del agua a lo largo del tiempo. Normalmente tiene una capacidad de 10 mm de lluvia, y al alcanzarse esta capacidad, se vacía mediante un sifón.

### 1.3.5 Datos obtenidos de precipitación

En general, la medida obtenida dependerá del objetivo de estudio en un espacio definido y durante un tiempo determinado. Si se desea evaluar los recursos hídricos en una cuenca hidrográfica, se debe obtener medidas de precipitación mensual y anual (Aparicio, 1992), pero si el objetivo es analizar la precipitación durante un tiempo corto, como generadora de grandes caudales o avenidas, necesitaremos obtener las precipitaciones máximas y mínimas diarias y las intensidades (Sánchez, 2008). Para el presente estudio se debe tener en claro los siguientes conceptos, tal como los define Villón (2002):

**Precipitación diaria acumulada.** Corresponde a la medida de altura de agua precipitada en un punto acumulada durante un día.

**Precipitación diaria media.** Corresponde al promedio aritmético de las medidas de precipitación generadas a lo largo de un día.

**Precipitación mensual acumulada.** Resulta de la suma de precipitaciones acumuladas diarias durante un mes.

**Precipitación mensual media.** Corresponde al promedio aritmético de las precipitaciones acumuladas mensuales de uno de los meses en específico en un periodo de años determinado

**Año hidrológico.** Tiempo conformado por 12 meses consecutivos, seleccionados de tal manera que los cambios generales en el acopio sean mínimos. En el Perú el año hidrológico inicia en septiembre, y termina en agosto del año siguiente (SENAMHI PERÚ, 2019).

**Precipitación anual acumulada.** Resulta de la suma de precipitaciones acumuladas mensuales en un año determinado.

**Precipitación anual media.** Corresponde al promedio aritmético de las precipitaciones acumuladas anuales durante un periodo de años determinado.

### **1.3.6 Errores en la medición**

Debido a factores climáticos e inadecuada manipulación de aparatos de lectura de precipitación, existen errores que deben ser identificados y ajustados debido a que la precipitación constituye uno de los elementos de entrada importante para determinar el balance hídrico de una región. El análisis de consistencia es una de las herramientas empleadas para minimizar estos errores.

Según la oficina regional de ciencia y tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe (ROSTLAC) (1982), la evaluación de la precipitación se ve principalmente afectada por dos errores:

#### **1.3.6.1 Errores en la medida puntual**

La precipitación medida por un instrumento en un punto es menor a la que realmente llega, debido a factores como la perturbación en el embudo, turbulencias por el viento que desvían las gotas de agua, vaporación o condensación del agua en el pluviómetro desde el fin de la precipitación hasta la toma de lectura, exceso o pérdida de agua por salpicaduras de agua, inadecuada instalación, operación, lectura y mantenimiento del instrumento.

#### **1.3.6.2 Errores en la determinación de precipitación sobre un área a partir de los valores puntuales**

La determinación de las precipitaciones en un área mayor depende de la densidad de la red pluviométrica, de una adecuada distribución de estaciones y calidad de sus respectivas medidas puntuales. Así que en zonas montañosas se necesitará evaluar una red pluviométrica más densa que en una zona plana, debido al efecto orográfico, ya que la medida depende del tipo de precipitación que se genere y del relieve de la zona de estudio.

### 1.3.7 Análisis pluviométrico

Consiste en recopilar, estimar y analizar datos del registro pluviométrico de una zona, para verificar que sea completo, consistente y de extensión suficiente con el fin de que muestre el comportamiento hidrológico de la cuenca con exactitud. Así mismo la data obtenida debe ser sintetizada para facilitar su uso en los proyectos hidráulicos.

Para lograr lo expuesto, según la oficina regional de ciencia y tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe (ROSTLAC) (1982), se debe seguir los siguientes pasos:

- Estimación de datos faltantes
- Información de la zona de estudio.
- Influencia de fenómenos naturales
- Análisis de Consistencia.
- Precipitación media en la cuenca de estudio.

#### 1.3.7.1 Estimación de datos faltantes

Cuando la estación a estudiar, no cuenta con registros pluviométricos completos, debido a inconvenientes con el aparato de medición o con el operador en algún momento del año, se debe determinar la información faltante a partir de estaciones índice, con ubicaciones geográficas y alturas similares, que presenten un registro pluviométrico completo o por lo menos, un registro que contenga datos en los periodos necesario a completar.

Según ROSTLAC (1982), Los principales métodos para la estimación de datos son los siguientes:

**Método del U.S. Weather Bureau.** Los datos faltantes se determinan mediante el promedio ponderado de datos en estaciones vecinas circundantes, de manera tal que cada una ocupe un cuadrante del plano cartesiano imaginario cuyo origen debe coincidir con las coordenadas de ubicación geográfica de la estación a completar. (método de promedio ponderado por ubicación).

Este método es aplicable para determinar datos diarios, mensuales o anuales, pero según literatura técnica el error obtenido al determinar datos anuales es menor en comparación con los restantes. La formulación es la siguiente:

$$P_x = \frac{\sum(P_i * w_i)}{\sum w_i} \quad \dots (8)$$

$$w_i = \frac{1}{d_i^2} \quad \dots (9)$$

Donde:

$P_x$ : Precipitación a estimar, *mm*

$P_i$ : Precipitación en estación índice en la fecha requerida, *mm*

$w_i$ : Peso o ponderación de las estaciones, *adimensional*

$d_i$ : Distancia entre la estación estudiada y la estación índice, *km*

**Promedio Aritmético.** Los datos de una estación no registrados en un determinado periodo se estiman a partir del promedio aritmético de datos de estaciones índice en el mismo periodo

McCuen (1998) recomienda el promedio aritmético simple cuando la diferencia entre las precipitaciones anuales medias de cada una de las estaciones índice y la estación incompleta no supere el 10% de la misma.

$$P_x = \frac{\sum P_i}{n} \quad \dots (10)$$

$$\text{Si } (\bar{P}_i - \bar{P}_x) < 0.1(\bar{P}_x) \quad \dots (11)$$

Donde:

$P_x$ : Precipitación a estimar, *mm*

$P_i$ : Precipitación en estación índice en la fecha requerida, *mm*

$\bar{P}_x$ : Precipitación anual media de la estación incompleta, *mm*

$\bar{P}_i$ : Precipitación anual media de la estación índice, *mm*

$n$ : Número de estaciones índice, *adimensional*

**Razón Normal.** Propuesto por Paulhus y Kohler (1952), consiste en estimar los datos faltantes relacionando la estación incompleta con las estaciones índice de la siguiente manera:

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\bar{P}_x}{\bar{P}_i} * P_i \quad \dots (12)$$

$$\text{Si } (\bar{P}_i - \bar{P}_x) > 0.1(\bar{P}_x) \quad \dots (13)$$

Donde:

$P_x$ : Precipitación a estimar, *mm*

$P_i$ : Precipitación en estación índice en la fecha requerida, *mm*

$\bar{P}_x$ : Precipitación anual media de la estación incompleta, *mm*

$\bar{P}_i$ : Precipitación anual media de la estación índice, *mm*

Su aplicación es recomendable si en un año faltan hasta 4 datos diarios o mensuales por determinar y exista uniformidad de espaciamento entre las estaciones. Así mismo, se debe cumplir que la diferencia entre las precipitaciones anuales medias de cada una de las estaciones índice y la estación incompleta supere el 10% de la misma.

**Método de regresión lineal.** Se evalúa la relación de dependencia entre el registro pluviométrico, de la estación incompleta (variable dependiente) y una o más estaciones índices (variables independientes), plasmando la data en un sistema de coordenadas cartesianas, y logrando un diagrama de dispersión para determinar el coeficiente de correlación y la ecuación que define la relación. Si el comportamiento o función de esta dependencia se ajusta a una recta, el método será denominado regresión lineal.

Para Eischeid, Pasteris, Diaz, Plantico, y Lott (2000), Wade (1987), Eischeid, Bruse, Karl y Díaz (1995), Kashani y Dinpashoh (2012), Presti, Barca y Passarella (2010), este método genera claros resultados y es de fácil aplicación, siempre y cuando se seleccionen las estaciones índices adecuadas dentro de la misma área de influencia topoclimáticas para que los datos tengan un comportamiento similar (Herrera, Campos, & Carrillo, 2017).

Las variaciones de este método son:

**Regresión lineal simple.** Se emplea cuando la relación de dependencia se establece solo con una estación índice, la misma que debe presentar un alto coeficiente de correlación ( $r$ ), para evitar generar información no representativa (UNESCO-ROSTLAC, 1982). En términos hidrológicos, se considera aceptable una regresión cuyo valor de “ $r$ ” oscile entre  $-0.8 \leq r \leq 0.8$  (Pizarro et al., 1993). Su forma de ajuste lineal se describe mediante la siguiente ecuación:

$$y = a + bx \quad \dots (14)$$

Donde:

$y$  : Valor estimado a partir del valor  $X$  de la estación índice,  $mm$

$x$  : Precipitación en la estación índice,  $mm$

$a, b$  : Constante y coeficiente de regresión, *adimensional*

Cabe recalcar que este método es recomendable para estimar datos mensuales y anuales de estaciones incompletas.

**Regresión lineal múltiple.** Se emplea cuando la relación de dependencia se establece con más de una estación índice. Una vez analizado el coeficiente de correlación de todas las estaciones cercanas, se escogen las que mejor se correlacionan con la estación de estudio, las que arrojan un mayor coeficiente de correlación, y las que en combinación generan un coeficiente aún mayor. Su forma de ajuste lineal se describe mediante la siguiente ecuación:

$$y = a + bx_A + cx_B + \dots + nx_i \quad \dots (15)$$

Donde:

$y$  : Precipitación a estimar en estación incompleta,  $mm$

$x_i$  : Precipitación en las estaciones índices,  $mm$

$a, b, c, n$ : Constantes de regresión, *adimensional*

Este método se recomienda para estimación de datos mensuales y anuales de la estación en estudio, siempre y cuando se cuente con estaciones cercanas y confiables. (Pizarro et al., 2009)

En el presente trabajo se aplica el método de regresión lineal múltiple en base a resultados obtenidos por diferentes autores. Por ejemplo, para Alfaro y Pacheco (2000) generó los mejores resultados en un estudio en el que compararon diferentes métodos de estimación. Así mismo Bland y Altman (1999) concluyeron que el mejor método de estimación fue el de regresión múltiple con 2 y 3 estaciones cercanas.

#### **1.3.7.2 Zonificación de información pluviométrica**

El clima y relieve de una cuenca, permiten determinar zonas de influencia para rangos de precipitaciones e influencia de fenómenos como El Niño hasta los 2300 msnm. (Chávez, 2009).

#### **1.3.7.3 Influencia de fenómenos naturales**

Fenómenos como El Niño, La Niña, El Niño Costero y la Niña Costera, generan alteración en la pluviometría de la región afectada, durante el mes y año de su ocurrencia, manifestada como picos o depresiones, al plasmar la data en un gráfico.

#### **1.3.7.4 Análisis de consistencia**

La consistencia de un registro depende de la calibración, permanencia en un mismo punto geográfico y correcta manipulación de los instrumentos de medida a lo largo del periodo de interés. En caso que las precipitaciones hayan sido obtenidas bajo diferentes condiciones, la inconsistencia del registro se manifestará por diferentes quiebres o pendientes en la tendencia, generados a partir del año en que se empezó a operar de manera disímil.

Para determinarla ROSTLAC – UNESCO (1982), recomienda el método de las curvas doble acumuladas o de doble acumulación (CDA), que consiste en determinar un patrón de precipitaciones anuales (PPA) de un conjunto de estaciones cuyos registros son los más completos y homogéneos de la región, y compararlo con el comportamiento de las estaciones

restantes, para determinar si sus registros son consistentes, y en caso no lo sean, corregir su registro pluviométrico. El PPA se determina de la siguiente manera:

- a) Se seleccionan las estaciones que se supone poseen los registros más completos y consistentes de precipitaciones anuales dentro del periodo de estudio. Para cada año se determina el promedio de las precipitaciones anuales de las estaciones seleccionadas, de la siguiente manera:

$$PPA = \frac{\sum_{i=0}^n P_i}{n} \quad \dots (16)$$

Donde:

*PPA*: Patrón de precipitaciones de un año.

$P_i$ : Precipitación anual de la estación *i*.

*n*: Número de estaciones.

- b) En seguida los valores anuales de PPA y de las estaciones se acumulan desde el año más antiguo al más nuevo, obteniendo series de valores anuales acumulados.
- c) Para evaluar la consistencia de cada estación, se distribuyen las series acumuladas en un sistema de coordenadas donde los pares se conforman de la siguiente manera:  $(\sum PPA, \sum P_i)$ . Si la nube de puntos presenta una sola tendencia, se concluye que la estación estudiada es consistente. Si por el contrario presenta numerosos quiebres se elimina del PPA, y se calcula uno nuevo con las estaciones restantes y consistentes.
- d) Una vez analizadas y demostrada la consistencia de todas las estaciones que conforman al PPA, se acepta como válido, y en base a él se evalúa y corrige la consistencia de las demás estaciones de la región.

Para aplicar con eficiencia este método se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Estimar datos faltantes de un registro incompleto, para un correcto análisis de consistencia.
- Se debe analizar información con registros de mínimo 5 años, periodo que permitirá definir mejor una pendiente.
- Se debe tener cuidado al aplicar este método en regiones montañosas debido a la influencia que ejerce el efecto orográfico.

- Por lo general cuando la tendencia de los registros sufre más de un quiebre, el comportamiento de los registros más antiguos, se deben ajustar a la tendencia del periodo más reciente, pero puede ocurrir que no sea representativo por descalibración del equipo o problemas de observación.

### 1.3.7.5 Precipitación media de la cuenca

Es la altura de agua que precipita en promedio durante un año en la superficie de una cuenca, y se determina en base a los resultados de precipitación media obtenidos en cada uno de los pluviómetros pertenecientes a la cuenca, o que se encuentran cercanos a la misma, para reflejar resultados representativos y de buena calidad (Chereque, 1989).

Entre los métodos necesarios para determinarla se tienen los siguientes:

**Método aritmético.** Es el método más sencillo de aplicar en regiones de relieve plano, siempre que se cumpla que las estaciones seleccionadas se distribuyan uniformemente, cuenten con registros pluviométricos consistentes en el periodo de interés, y la diferencia entre sus precipitaciones medias sea mínima.

$$P_m = \frac{(P_1 + P_2 + \dots + P_n)}{n} \dots (17)$$

Donde:

$P_m$  : Precipitación anual media de una cuenca, mm

$P_1, P_2, P_n$ : Precipitación anual media en estaciones de la cuenca, mm.

$n$  : Número de estaciones seleccionadas, adimensional.

**Método de los polígonos de Thiessen.** Propuesto por A. H. Thiessen (1911). Se puede aplicar en regiones donde la distribución de sus pluviómetros no necesariamente es uniforme, y el relieve no tiene mucha relevancia en cuanto a esa distribución (Gámez, 2009).

En un mapa se une las estaciones mediante líneas, formando triángulos lo menos agudo posible, sobre los cuales se traza mediatrices en cada uno de sus lados. Las

mediatrices se intersectan y al unir esas intersecciones se generan polígonos que rodean las estaciones.

El área de los polígonos generados, delimitados además por el parteaguas se supone como área de influencia de la estación, es decir que la lluvia caída en esa área se considera igual a la registrada en la estación contenida en el polígono.

$$P_m = \frac{P_1*a_1+P_2*a_2+\dots+P_n*a_n}{(a_1+a_2+\dots+a_n)} \quad \dots (18)$$

Donde:

$P_m$  : Precipitación anual media de una cuenca, *mm*.

$P_1, P_2, P_n$ : Precipitación anual media en estaciones de la cuenca, *mm*.

$a_1, a_2, a_n$ : Área de los polígonos que encierran a las estaciones, *km*<sup>2</sup>.

**Método de las isoyetas.** Según lo indica Aparicio (1992) , este método es el más preciso, pues abarca análisis de características climáticas y físicas de la zona, y toma en cuenta los posibles efectos de los accidentes del relieve sobre la distribución de la precipitación.

Consiste en trazar isoyetas en el plano cartográfico del área de estudio, es decir, curvas que abarquen puntos que registran la misma precipitación durante el periodo de interés y calcular las áreas definidas por dos isoyetas consecutivas. Se aplica la siguiente fórmula (Monsalve, 1995):

$$P_m = \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) * A_{i,i+1}}{\sum_{i=1}^{n-1} (A_{i,i+1})} \right] \quad \dots (19)$$

Donde:

$P_m$  : Precipitación anual media de una cuenca, *mm*.

$P_i$  : Precipitación correspondiente a la curva de igual precipitación *i*, *mm*.

$P_{i+1}$  : Precipitación correspondiente a la curva de igual precipitación *i+1*, *mm*.

$A_{i,i+1}$  : Área entre las curvas de igual precipitación *i* e *i+1*, *km*<sup>2</sup>.

*n* : Número de curvas de igual precipitación, *adimensional*.

## 1.4 El Niño - Oscilación Sur (ENOS o ENSO)

Es un evento climático de frecuencia inestable, de entre 3 y 7 años aproximadamente, que se genera por interacciones inusuales entre factores atmosféricos y oceánicos (Philander, 1983), como alteraciones en la circulación de los vientos alisios, variación en la presión atmosférica, precipitación, temperatura superficial del mar (TSM), nivel del mar, termoclina, surgencia y propagación de ondas. Estos desórdenes tienen lugar en el océano Pacífico ecuatorial central, oriental y occidental, con repercusiones globales. (Martínez & Takahashi, 2017).

El ciclo completo se conforma por el desarrollo de tres fases, la fase cálida conocida como “El Niño”, la fase fría de efectos contrarios conocida como “La Niña”, y la fase “Neutra”.

El registro de este ciclo más aceptado fue compilado por Quinn et al (1987), y modificado por Hocquenghem y Ortlieb (1992), así mismo, en los últimos años, el organismo encargado de monitorear estas ocurrencias es la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) mediante el índice Niño oceánico (ONI), que mide la TSM en la región Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W), siendo el umbral de la condición neutral  $\pm 0.5$  (Huang et al., 2017).

### 1.4.1 Fenómeno El Niño (en el Pacífico central) o Niño global

Bajo condiciones normales, al oeste del océano Pacífico, se ubica una reserva de calor denominada “poza cálida”, cuyas aguas ascienden a la atmósfera en forma de vapor, donde se condensa en forma de cumulonimbos. Como consecuencia se forma la celda de Walker, un sistema de circulación atmosférico que se desplaza a lo largo de la zona ecuatorial, iniciando su ascenso en el oeste, generando un sistema de baja presión y la existencia de frecuentes precipitaciones en la zona. Cuando desciende, en el este, crea un sistema de alta presión y precipitaciones poco frecuentes en las costas del Perú y en el Norte de Chile (Maturana, Bello, & Manley, 2004).

Esta oscilación de presiones se conoce como oscilación sur, que es medida por el índice de oscilación sur (IOS), según el cual se mide la diferencia de presión entre el océano pacífico oriental y el occidental (Walker, 1925). Así mismo, los vientos alisios recorren de este a oeste, debido a que la circulación normal de los vientos se da de mayor hacia menor presión.

Es importante explicar, además, que la termoclina, es una capa transitoria que divide la capa superior que conforma al océano tropical ecuatorial, formada por aguas cálidas mezcladas, de la capa inferior, conformada por aguas frías estratificadas. En estado normal se localiza a 200 m en la zona occidental del océano Pacífico, lo que facilita la acumulación de aguas cálidas en la capa superficial, y en la zona oriental a 50 m, debido a la surgencia.

Entonces, durante este fenómeno, la circulación de los vientos suele debilitarse o invertirse debido a la disminución de presión al este y aumento al oeste, generando un IOS negativo y el traslado de la poza cálida hacia el este del océano Pacífico, debido a la profundización de la termoclina por efecto de propagaciones de ondas Kelvin desplazándose de oeste a este, generando una capa cálida de mayor grosor, lo que impide la surgencia costera de aguas profundas hacia la superficie y genera el aumento de la TSM, en el océano Pacífico ecuatorial, especialmente en las costas de Colombia, Ecuador, Perú y norte de Chile. Se genera un aumento en el nivel del mar (Maturana, Bello, & Manley, 2004).

Según Montero (2019), dos de los eventos con mayor trascendencia en la región Piura durante el último ciclo ocurrió en 1982-1983 y 1997-1998, generando intensas lluvias al este del océano Pacífico y sequías e incendios forestales al oeste. Como consecuencia de estos desórdenes se produce, además variaciones en el caudal de los ríos, inundaciones, alteraciones del paisaje, pérdidas de vidas humanas y materiales, consecuencias socioeconómicas catastróficas a nivel mundial, es por ello que, para evitar confusiones al lector, varios autores lo diferencian como Niño global.

### **1.5 El Niño costero**

El término fue propuesto oficialmente por la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) durante el 2012. Adicional a esto, para diferenciar el ciclo ENSO, se introdujo conceptos de “El Niño en el Pacífico central” y “La Niña en el Pacífico central” (Martinez & Takahashi, 2017) o “Niño global” y “Niña global”, tal como lo menciona Montero (2019).

Para el ENFEN, “El Niño costero” se genera cuando la TSM trimestral en la región Niño 1+2, delimitada por 90°- 80°W, 10°S-0° frente a la costa norte, sobrepasa su promedio en más de 0,4°C por tres o más meses sucesivos. Se generan efectos similares a la fase cálida del ENSO

pero a diferencia de este, la TSM presenta condiciones neutras o frías en el Pacífico ecuatorial central, y altas en las costas sudamericanas de manera que no afecta al clima globalmente, Además, el agua en el mar se calienta superficialmente solo entre 20 a 30 metros (Hooker, 2017).

La alteración de temperatura se produce cuando los vientos costeros, que soplan de sur a norte, se debilitan, permitiendo que el agua caliente de la costa ecuatorial se dirija al sur, ocasionando temperaturas altas y alteraciones climáticas en las costas de Ecuador y Perú. Así mismo, las lluvias repentinas favorecen el calentamiento al no circular los vientos, ocasionando un proceso de retroalimentación (Takahashi, 2017).

Existe mayor vulnerabilidad de ocurrencia durante los meses de cambio de estación en el continente americano, es decir entre febrero y marzo, y suele durar de 2 a 3 meses, aun así, su predicción se dificulta por su naturaleza repentina. En la región Piura durante el 2016 - 2017 se registró uno de los más extremos, que generó pérdidas humanas, económicas y en infraestructura.

La Tabla 7 resume el tipo de fenómenos desencadenados a partir de 1950.

**Tabla 7.** Clasificación de ENOS (Niño Global y Niña Global) y El Niño costero mediante la comparación de ONI e ICEN entre 1950-2018.

La Niña global	La Niña costera	El Niño global	El Niño costero
1950/51	1953/54	1952/53	1964/65
1954/55	1959/60	1957/58	1971/72
1955/56	1961/62	1972/73	2001/02
1970/71	1962/63	1982/83	2011/12
1973/74	1963/64	1986/87	2016/17
1975/76	1966/67	1991/92	
1984/85	1967/68	1992/93	
1988/89	1977/78	1994/95	
1995/96	1980/81	1997/98	
1998/99	1981/82	2002/03	
1999/00	1985/86	2015/26	
2000/01	1990/91		
2007/08	1996/97		
2010/11	2012/13		
2017/18	2013/14		

**Fuente:** Montero (2019).

## 1.6 Cambio climático

El cambio climático se origina debido al incremento excesivo de la emisión de los Gases del Efecto Invernadero (GEI), producidos en general por actividades humanas que buscan el desarrollo económico sin considerar los daños ambientales, dando paso al calentamiento atmosférico (Autoridad Autónoma de la Cuenca Hidrográfica Chira Piura (AACHCHP), 2005).

El calentamiento altera la temperatura atmosférica y oceánica, generando reducción en el volumen de los glaciares, incremento en el nivel del mar, variaciones en las condiciones regulares del clima, lo que desataría con mayor frecuencia e intensidad la ocurrencia de eventos extremos (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2002) así como la escases de recursos naturales y agua para el consumo humano al 2050, sobre todo en países en desarrollo como Perú tal como lo indica el Tyndall Centre (2004).

Según los daños ocasionados años anteriores por fenómenos extremos, se ha visto que el norte del Perú recibe mayores impactos de estos fenómenos, por su ubicación geográfica, por sus altos niveles de pobreza conllevando a que lo enfrenten con desventaja, y a que la agricultura y la pesca son actividades principales y sensibles al cambio climático, así mismo perjudica la infraestructura, afectando sectores económicos, sociales, industrial y minero, y la producción de energía hidráulica (AACHCHP, 2005).

## 1.7 Regionalización hidrológica

Para lograr el óptimo aprovechamiento del recurso hídrico en una región es imprescindible contar con información que describa su disponibilidad hídrica (Álvarez, Hotait, & Sustaita, 2011), como el volumen medio anual de escurrimiento natural (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2002). Así mismo, para obtener el correcto diseño de obras hidráulicas, se debe tener conocimiento del comportamiento hídrico de la región, con el fin de determinar los caudales de diseño. Sin embargo, la estimación de esta información en una cuenca no aforada o con registros incompletos, es uno de los problemas más frecuentes de la ingeniería hidrológica (Hall & Minns, 1999)

Frente a este problema existen métodos para estimar información faltante en un área, en base a los registros completos de otra, siempre y cuando ambas describan un comportamiento

hidrológico semejante (Nathan & McMahon, 1990). Uno de esos métodos es la regionalización, que evalúa el comportamiento de otras variables, como caudales medios anuales o precipitaciones diarias; funciones como curva de permanencia, curva de probabilidades de caudales mínimos; o parámetros, como los parámetros geomorfológicos de una cuenca, necesarios para llegar a conocer el comportamiento del recurso hídrico en el área de interés (Chávez, 2009). Sin embargo ninguno de estos métodos puede sustituir una adecuada red de monitoreo hidrológico (Tucci & Carlos, 2002)

La regionalización se divide en dos etapas, la primera se centra en la determinación de regiones hidrológicamente homogéneas, y la segunda, en la aplicación de algún método regional para cada grupo determinado (Ouarda, y otros, 2008). El presente estudio se centra en la aplicación de la primera etapa de la regionalización, en la cual se debe realizar un análisis cuidadoso para obtener una correcta solución regional en la segunda etapa (Smithers & Schulze, 2001; Gingras & Adamowski, 1993)

Entre autores que realizaron este tipo de investigaciones para identificar regiones homogéneas haciendo análisis regional de precipitaciones y de caudales, se cita a Tucci (1991); Busch, Suttmoller y Kruger (1999); Heredia-Calderón y Siccardin (1999); Chávez et al. (2016); entre otros.

### **1.7.1 Determinación de regiones hidrológicamente homogéneas**

La primera etapa de la regionalización consiste en agrupar las subcuencas que describen un comportamiento hidrológico homogéneo en una misma región, mediante algún método estadístico-matemático, en función a la similitud de variables o parámetros suficientes para determinar el comportamiento hidrológico de una determinada región, suponiendo que deberían producir respuestas similares de escorrentía, independientemente si son cuencas vecinas o no (Smakhtin, 2001).

En zonas montañosas, por ejemplo, esta agrupación/división debe realizarse en función a las variables meteorológicas y los parámetros fisiográficos (Nathan & McMahon, 1990; Álvarez, Hotait, & Sustaita, 2011; Andrade & Hawkins, 2000).

Paris y Zucarelli (2004) destacan la importancia de la utilización conjunta de varios métodos estadísticos-matemáticos de agrupación de regiones, con el objetivo de contrastar los resultados. Usualmente es aplicado el método clúster para la determinación de dichas regiones (Halkidi, 2001; Unal et al., 2003; Muñoz-Díaz and Rodrigo, 2004; Corduas, 2011).

## **1.8 Análisis Clúster**

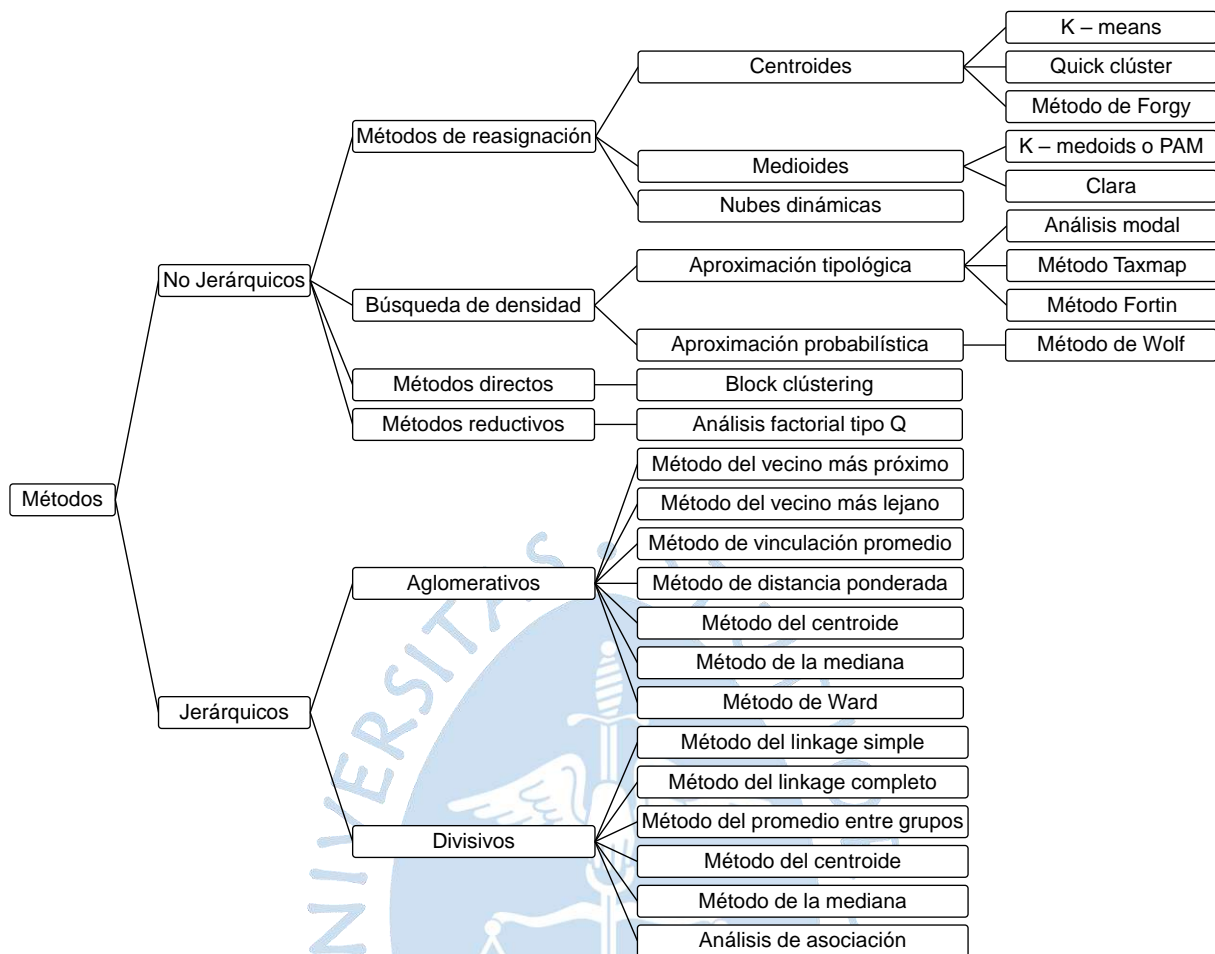
### **1.8.1 Definición**

El análisis clúster es una técnica estadística multivariable y exploratoria (Hair et al., 1999; Peterson, 2002) que se encarga de agrupar un conjunto de elementos de estudio, en función a la similitud o distancia de las variables que los describen (Rao & Srinivas, 2006; Hair et al., 1999), de manera que los elementos que conformen un mismo clúster sean lo más homogéneos posible, mientras que los grupos generados sean lo más heterogéneos posible uno de otro.

En la hidrología se puede emplear para la determinación de regiones hidrológicamente homogéneas (Burn & Goel, (2000); Dinpashoh et al., (2004); Rao & Srinivas, (2006)), mediante programas estadísticos como el IBM SPSS, ya que es un *software* capaz de trabajar con grandes bases de datos.

### **1.8.2 Clasificación de los métodos clúster**

Los métodos más empleados de clusterización se dividen en dos grupos, tal como se observa en la Figura 4.



**Figura 4.** Clasificación de la metodología de Análisis Clúster.

**Fuente:** Calvo (2018)

**Elaboración:** propia

### 1.8.2.1 Métodos no jerárquicos

Son aquellos métodos que agrupan elementos en base a un número de clústeres fijados por el investigador. Se subdivide en métodos de reasignación, búsqueda de densidad, directos y reductivos. Estos procedimientos se suelen denominar agrupaciones de  $k$  – medias,  $k$  – medianas y  $k$  – modas (Peterson, 2002).

### 1.8.2.2 Métodos jerárquicos

Son aquellos métodos que generan grupos progresivos hasta obtener una cantidad de clústeres óptimo. Se subdivide en métodos divisivos, que parten de un clúster que agrupa a todos los elementos; y aglomerativos, que parten de tantos clústeres como elementos se tenga

(Hair et al., 1999). Para la presente investigación se profundizará en métodos jerárquicos aglomerativos.

### 1.8.3 Etapas del análisis clúster jerárquico aglomerativo

Para realizar con éxito un análisis clúster se debe plantear el problema a solucionar, y tener claro el objetivo que se procura conseguir en el estudio. Además, se deben seguir los siguientes pasos:

#### 1.8.3.1 Elección de elementos y variables: Matriz de estudio

Se seleccionan los elementos, por agrupar, y las variables que mejor los describan según el criterio de estudio. Matemáticamente esto quiere decir que se busca clasificar en “z” clústeres a una muestra “X” de “n” elementos en función a un conjunto de “N” variables, es decir, determinar una matriz de estudio de nxN:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2N} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{3N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & \dots & x_{nN} \end{pmatrix} \dots (20)$$

Es importante resaltar que las variables pueden ser cualitativas (ordinales, nominales) o cuantitativas (discretas, continuas) e influyen en la elección de la medida de disimilitud entre elementos y en la técnica clúster con la que se trabajará (SPSS, 2016).

#### 1.8.3.2 Estandarización de los datos

Estandarización de datos significa reducir las diferencias en el escalamiento o en las unidades de medida de las variables, con el fin de otorgar la misma importancia a todas dentro del análisis (De la Fuente, 2011). En caso se aplique, se debe realizar previo al cálculo de disimilitud. Los métodos más conocidos se describen brevemente a continuación (SPSS, 2016):

- **Puntuaciones Z** Se obtiene dividiendo la diferencia del valor menos la media de la variable, entre la desviación típica del elemento.

- **Rango 1 a -1** Se divide por el rango o amplitud del elemento.
- **Rango 0 a 1** Se obtiene dividiendo la diferencia del valor menos la variable mínima, entre el rango o amplitud de la variable: Cada valor se divide por el valor máximo del elemento
- **Magnitud máxima de 1** Cada valor se divide por el valor mayor del elemento.
- **Media de 1** Divide cada valor por la media del elemento
- **Desviación típica 1** Divide cada valor por la desviación típica del elemento

### 1.8.3.3 Elección de la medida de disimilitud: criterio de la distancia

Para asociar los elementos y facilitar su agrupamiento, se evalúa qué tan semejantes o diferentes son entre sí en relación a sus características, a través de medidas de similitud o disimilitud.

El criterio de la distancia es una medida de disimilitud, que mide cuán diferente es un elemento de otro e indica que a mayor distancia obtenida entre elementos, menor probabilidad hay de que pertenezcan a un mismo grupo (De la Fuente, 2011). Matemáticamente, se determina las distancias de cada elemento respecto a otro, y se coloca los resultados en una matriz de disimilitud  $N \times N$ .

Los principales métodos de distancia que presenta el paquete del software IBM SPSS, se presentan a continuación, resaltando que se representa al individuo  $i$ -simo y  $j$ -simo de la siguiente manera (SPSS, 2016):

$$A_i = \begin{pmatrix} x_{1i} \\ x_{2i} \\ \vdots \\ x_{ni} \end{pmatrix} \text{ y } B_j = \begin{pmatrix} x_{1j} \\ x_{2j} \\ \vdots \\ x_{nj} \end{pmatrix} \quad \dots \text{ (21)}$$

- **Distancia Euclídea.** Es uno de los métodos más empleados, sin embargo, se pueden obtener resultados alterados dependiendo del tipo de variables seleccionadas, por lo que es recomendable estandarizarlas. La distancia se obtiene de la siguiente manera:

$$d_2(i, j) = \sqrt{\sum_{l=1}^p (A_{il} - B_{jl})^2} \quad \dots (22)$$

- **Distancia Euclídea al cuadrado.** Se obtiene a partir de la sumatoria de los cuadrados de las diferencias entre los valores de las variables, de la siguiente manera:

$$d_2(i, j) = \sum_{l=1}^p (A_{il} - B_{jl})^2 \quad \dots (23)$$

- **Distancias de Minkowski.** Basado en la distancia euclídea, pero se aplica una raíz y una potencia de orden q.

$$d_q(i, j) = \|(A_i - B_j)\|_q = \left( \sum_{l=1}^p |A_{il} - B_{jl}|^q \right)^{\frac{1}{q}}; q \geq 1 \quad \dots (24)$$

- **Distancia de Manhattan o Ciudad.** También conocida como distancia absoluta o en bloque. Se obtiene sumando los valores absolutos de las diferencias entre los valores de dos variables.

$$d_1(i, j) = \|(A_i - B_j)\|_1 = \sum_{l=1}^p |A_{il} - B_{jl}| \quad \dots (25)$$

- **Distancia de Tchebychev.** Se obtiene seleccionando la mayor diferencia en valor absoluto entre los valores de dos variables.

$$d_{\infty}(i, j) = \max\{l = 1, \dots, p\} |A_{il} - B_{jl}| \quad \dots (26)$$

#### 1.8.3.4 Elección de la técnica clúster

Debido al desconocimiento inicial de clasificación, se debe emplear más de un método jerárquico o no jerárquico con el objetivo de contrastar las diferentes soluciones obtenidas, que

dependen, además, de las variables consideradas. Los métodos jerárquicos aglomerativos que presenta el paquete del software IBM SPSS se detallan a continuación:

- **Método del vecino más próximo (*nearest neighbor clustering*).** También conocido como método de la distancia mínima, similitud máxima o enlace simple (*single linkage cluster*). La distancia entre clústeres viene dada por la mínima distancia entre elementos de cada clúster generado (Gower, 1967).

$$d(A, B) = \min_{i \in A, j \in B} d(i, j) \quad \dots (27)$$

- **Método del vecino más lejano (*furthest neighbor clustering*).** Conocido como distancia máxima, similitud mínima o enlace completo (*complete linkage clustering*). La distancia entre clústeres viene dada por la máxima distancia entre elementos de cada clúster generado (Sorensen, 1948).

$$d(A, B) = \max_{i \in A, j \in B} d(i, j) \quad \dots (28)$$

- **Método de agrupación de vinculación promedio (*average linkage*).** Conocida como enlace entre grupos o distancia promedio no ponderada (*unweighted arithmetic average*). La distancia entre clústeres se obtiene determinando el promedio de las distancias entre elementos pertenecientes a cada clúster estudiado (Sneath & Sokal, 1973).

$$d(A, B) = \frac{1}{n_A \cdot n_B} \sum_{i \in A, j \in B} d(i, j) \quad \dots (29)$$

- **Método del enlace dentro de grupos.** Conocida como distancia promedio ponderada (*weighted arithmetic average*), coincide con el promedio ponderado de las distancias de los componentes de un clúster, respecto a los del otro. Se define de la siguiente manera:

$$d(A, B) = \frac{n_{i1}d(A_{i1}, B) + n_{i2}d(A_{i2}, B)}{n_{i1} + n_{i2}} \quad \dots (30)$$

- **Método del centroide.** Mide la distancia entre los centroides ponderados de cada grupo generado, considerando su tamaño, mide la distancia entre sus vectores de medias.

$$d_{AB} = \frac{n_{i1}}{n_{i1} + n_{i2}} d_{A_{i1}B} + \frac{n_{i2}}{n_{i1} + n_{i2}} d_{A_{i2}B} - \frac{n_{i1}n_{i2}}{(n_{i1} + n_{i2})^2} d_{A_{i1}A_{i2}} \dots (31)$$

- **Método de la mediana.** También conocido como el método del centroide no ponderado, en dos grupos combinados el centroide se determina independientemente del tamaño de cada uno de los conglomerados, generando que los conglomerados grandes y pequeños tengan la misma importancia

$$d_{AB} = \frac{d_{A_{i1}B} + d_{A_{i2}B}}{2} - \frac{d_{A_{i1}A_{i2}}}{4} \dots (32)$$

- **Método de Ward o de varianza mínima (*minimum variante clustering*).** La distancia determinada se asocia con el error o pérdida de información generada al fusionar dos elementos o conglomerados. Este error se conoce como Suma de Cuadrados Error (SCE), y se determina restando el “SS” de los grupos menos el “SS” total asumiendo la fusión de ambos grupos.

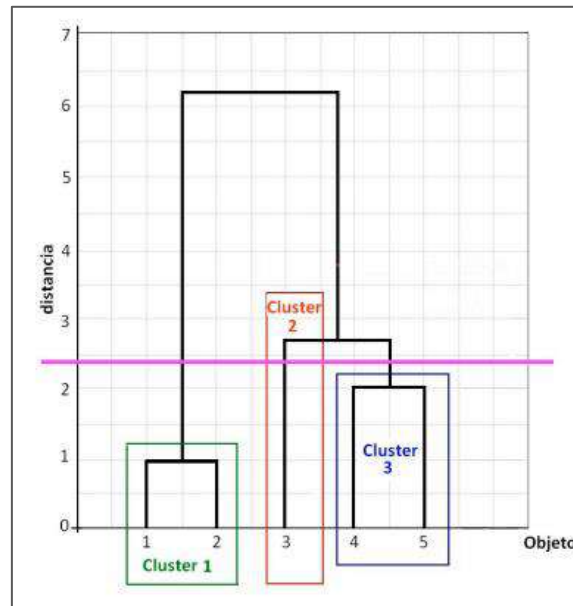
La SS de cada grupo es la sumatoria de la distancia euclídea al cuadrado de cada elemento respecto al centroide del clúster al que corresponde (Ward, 1963), y el SS total tiene el mismo sentido, pero suponiendo la fusión, es decir determinando un nuevo centroide y nuevas distancias euclídeas al cuadrado.

$$SCE = \sum_{j=1}^k \left( \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{1}{n_j} \left( \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij} \right)^2 \right) \dots (33)$$

### 1.8.3.5 Generación del dendrograma

Representa gráficamente la formación progresiva de los grupos, y ayuda a determinar visualmente el número de conglomerados que debe conservarse al cortarlo con una línea horizontal imaginaria. Por lo general, las líneas verticales representan a los elementos y las

horizontales las etapas de agrupamiento, así objetos homogéneos se conectan mediante enlaces, obteniendo la forma de árbol característica, tal como se observa en la Figura 5.



**Figura 5.** Ejemplo de dendrograma de 3 clústeres.

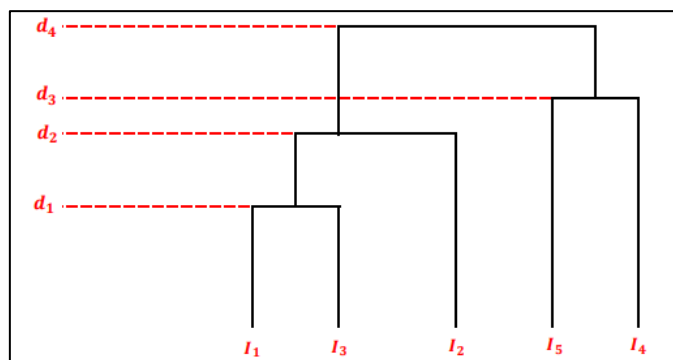
**Fuente:** De la Fuente (2011)

La decisión sobre el número de clústeres a seleccionar depende del criterio del investigador de tal manera que se trace la línea horizontal imaginaria en aquella distancia a partir de la cual se generen saltos considerables.

### 1.8.3.6 Validación de los datos: Coeficiente de correlación cofenético

En esta etapa se evalúa si el dendrograma y el número de grupos seleccionados representan adecuadamente las disimilaridades entre los elementos.

Para validar los resultados obtenidos por los métodos jerárquicos aglomerativos se puede emplear el coeficiente de correlación cofenético, propuesto por Sokal y Rohlf (1962), que mide la correlación entre los  $(n(n-1))/2$  elementos de la parte superior de la matriz de distancias inicial, y los elementos de la matriz cofenética, representados en un dendrograma por la altura del vínculo en el que se une por primera vez dos elementos en un mismo grupo (Ato, 1990). A manera de ejemplo se adjunta la Figura 6 y Figura 7.



**Figura 6.** Ejemplo de dendrograma de la agrupación en un clúster sobre 5 elementos.

**Fuente:** Santos (2015).

	Matriz Inicial					Matriz cofenética				
	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$
$I_1$	0	$d_{12}$	$d_{13}$	$d_{14}$	$d_{15}$	$I_1$	0	$d_2$	$d_1$	$d_4$
$I_2$		0	$d_{23}$	$d_{24}$	$d_{25}$	$I_2$		0	$d_2$	$d_4$
$I_3$			0	$d_{34}$	$d_{35}$	$I_3$			0	$d_4$
$I_4$				0	$d_{45}$	$I_4$				0
$I_5$					0	$I_5$				

**Figura 7.** Matriz de distancias inicial y matriz cofenética obtenida a partir del dendrograma de la figura anterior.

**Fuente:** Santos (2015).

La relación entre ambas matrices viene dada por el coeficiente de correlación de Pearson, y cuando adopta valores superiores a 0.8 indica una buena correlación, según sugieren Corlett y Fisher (1970). A continuación, se indica la ecuación que lo representa:

$$c = \frac{\sum_{i < j} (Y_{ij} - y) * (Z_{ij} - z)}{\sqrt{\sum_{i < j} (Y_{ij} - y)^2 * \sum_{i < j} (Z_{ij} - z)^2}} \quad \dots (34)$$

Donde:

$Y_{ij}$  : Valores de la matriz de distancias iniciales

$Z_{ij}$  : Valores de la matriz cofenética

$y$  : Valor medio de los elementos de la matriz de distancias iniciales

$z$  : Valor medio de los elementos de la matriz cofenética

Finalmente, es importante resaltar que si se emplea distintos métodos clústeres que conducen a soluciones parecidas, el método que se elegirá como definitivo será aquel que adopte un mayor coeficiente cofenético ya que representa menor distorsión en las relaciones originales existentes entre los elementos estudiados (Gallardo, Gutierrez, Gonzales, & Torres, 1994).



## **Capítulo 2**

### **Caso de estudio: Cuenca del río Chira**

#### **2.1 Metodología**

El área de estudio del presente trabajo comprende la parte peruana de la cuenca binacional Catamayo – Chira, conocida como cuenca del río Chira, pero que según lo explicado en el Capítulo 1 no obedece al concepto estricto de cuenca en sí. Como prefacio a los análisis generados, se desarrolla el marco teórico del área estudiada, las unidades hidrográficas (U.H.) con las que limita, su hidrografía, geomorfología, subcuencas, obras principales, entre otros.

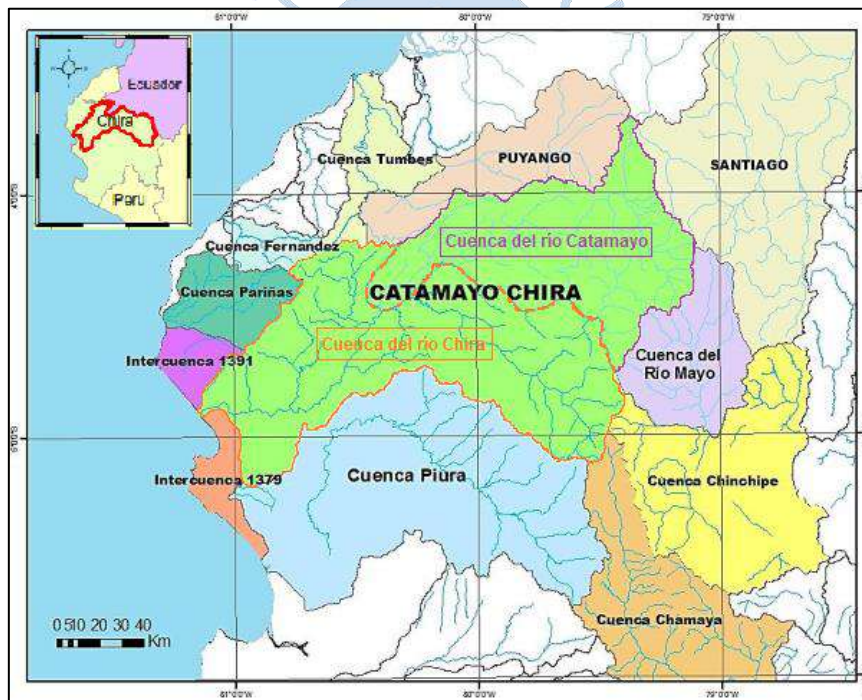
En la presente superficie se determina regiones hidrológicamente homogéneas mediante análisis clúster, como primer paso para la regionalización de cuencas. Para lo cual se define las subcuencas de la cuenca del río Chira como los elementos a agrupar, en base a variables definidas por los parámetros fisiográficos, obtenidos mediante un análisis geomorfológico, y las precipitaciones medias anuales y mensuales obtenidas mediante un análisis pluviométrico.

#### **2.2 Área de estudio**

La cuenca del río Chira forma parte de la cuenca binacional Catamayo – Chira que ocupa un área total de 17 199, 18  $km^2$  entre Ecuador y Perú. Se ubica al norte occidental del Perú entre los paralelos 4°15' y 5°10' de la latitud sur, y los meridianos 79°25' - 81°20' de longitud oeste, cubriendo un área de 9 986.81  $km^2$  en el departamento de Piura, donde abarca las provincias de Ayabaca (47.23%), Huancabamba (0.36%), Morropón (0.14%), Paita (4.08%), Piura (5.01%), Sullana (40.35%) y Talara (2.77%) (Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Chira - Piura (CRHC CHP), 2014).

Se conforma por 8 subcuencas y tiene un sistema hidrográfico compuesto por el río Chira y sus tributarios. La ubicación de la zona de estudio se puede observar en la Figura 8. A continuación se detallan sus límites hidrográficos (Universidad de Piura, 2015):

- **Por el norte:** Limita con la cuenca del río Catamayo, perteneciente a la cuenca binacional Catamayo – Chira, en territorio ecuatoriano. Además, con la cuenca del río Tumbes y Puyango.
- **Por el este:** Limita con las cuencas de los ríos Mayo y Chinchipe
- **Por el oeste:** Limita con el océano Pacífico, donde además desemboca. Además, con las intercuencas 1379 y 1391, y la cuenca del río Pariñas.
- **Por el sur:** Limita con la cuenca del río Piura y la cuenca Chamaya.



**Figura 8.** Ubicación y límites hidrográficos de la parte peruana de la cuenca binacional Catamayo – Chira, conocida como cuenca del río Chira.

**Fuente:** Varona (2018)

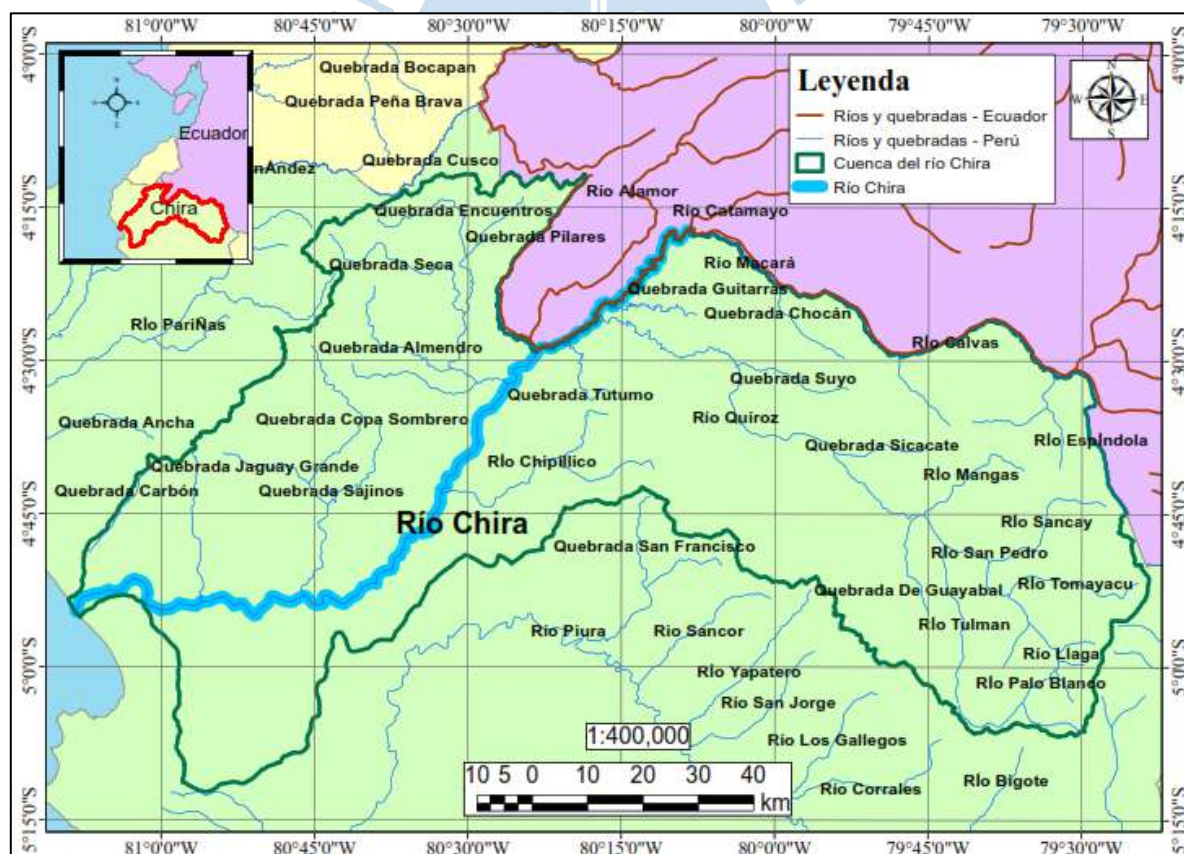
### 2.2.1 Hidrografía

El río Chira pertenece a la vertiente del Pacífico, nace en Ecuador con el nombre de Catamayo, tras la unión de los ríos El Arenal y El Guayabal, en las punas occidentales del parque nacional Podocarpus – Loja. Luego de recorrer 150 *km* hacia el sur, confluye con el río Macará,

y 50 km después, con el río Alamor. En este punto adopta el nombre de Chira, e ingresa al territorio peruano en dirección suroeste hasta la ciudad de Sullana, donde cambia el sentido de este a oeste hasta desembocar en el Océano Pacífico (INGEMMET, 2006).

El sistema de ríos Catamayo – Chira presenta características detríticas, lo que contribuye a un buen drenaje, y recorre aproximadamente 315 km en total, de los cuales 119 km se ubican en territorio peruano, significando un área representativa con los recursos hídricos más importantes de la región (Muñoz, 2013).

Sus principales afluentes o tributarios son el río Alamor, y las quebradas Pilares, Encuentros, Almendras, Seca, Copa Sombrero y Sajinos en la margen derecha; mientras que los ríos Macará, Quiroz y Chipillico, por la margen izquierda (INGEMMET, 2006), tal como se observa en la Figura 9.



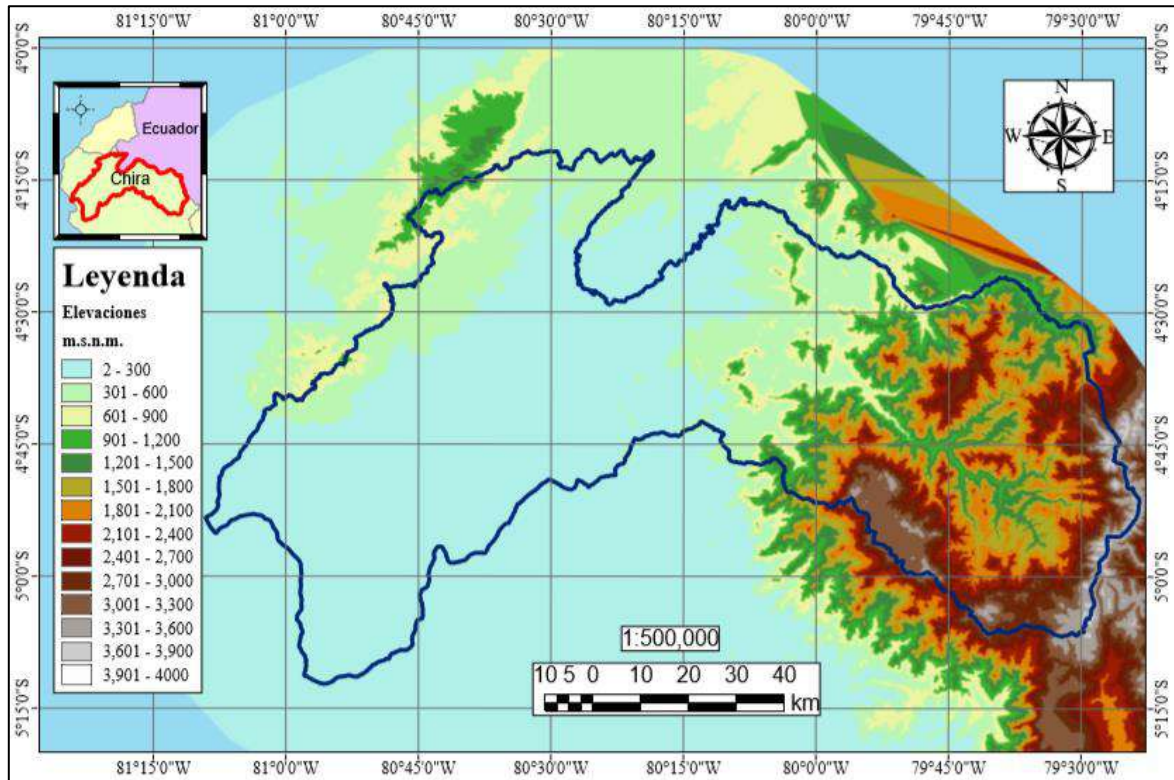
**Figura 9.** Ríos y quebradas principales de la parte peruana de la cuenca binacional Catamayo – Chira, conocida como cuenca del río Chira.

**Fuente:** INRENA (2012).

**Elaboración:** propia.

## 2.2.2 Geomorfología

En la cuenca del río Chira se observa una topografía accidentada, donde la altitud varía entre los 0 msnm hasta los 4000 msnm aproximadamente, como se observa en la Figura 10.



**Figura 10.** Topografía de la cuenca del río Chira.

**Fuente:** INRENA (2012)

**Elaboración:** propia.

En la misma, contrastan dos tipos de relieve. El primero presenta relieves planos conformados por lomadas, colinas bajas, bosques secos, llanuras costeras, playas, y acumulaciones de arenas presentes en todo el litoral costero principalmente en Paita, Sullana, Lancones, Las Lomas y otras localidades de la cuenca baja que alcanzan alturas de hasta 400 m.s.n.m. aproximadamente. (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2005).

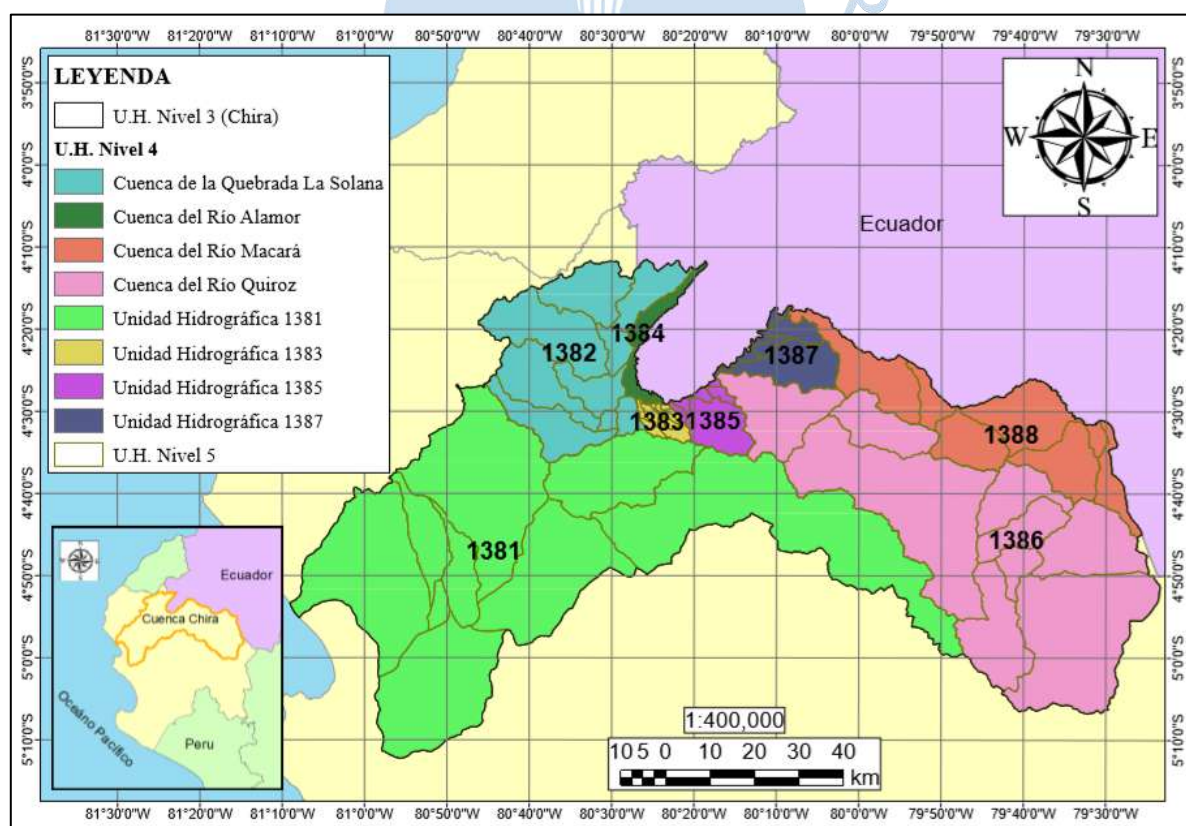
El segundo, por el contrario, abarca relieves escarpados e irregulares que pertenecen a la cordillera occidental de los Andes con alturas que varían entre los 1500 – 3900 m.s.n.m. y que originan los tributarios de la cuenca. Se distribuyen en laderas, montañas y valles, principalmente en Sicchez, Ayabaca, Sapillica, Pacaipampa y colinas altas como es el caso de Suyo que como mínimo presenta alturas de hasta 600 m.s.n.m. Además existen trampas de

neblina y bosques nublados en las cordilleras más altas, debido al régimen de lluvia y latitud geográfica, (Muñoz, 2013).

Asimismo, la cuenca posee terrenos de muy baja y baja pendiente en la denominada “cuenca baja”, y en algunos poblados de Suyo, Macará, Catamayo y El Lucero ubicados en la “cuenca alta”. Y terrenos de media y fuerte pendiente distribuidos en localidades pertenecientes a la “cuenca alta” (INGEMMET, 2006).

### 2.2.3 Subcuencas

La cuenca Catamayo - Chira pertenece a la subdivisión nivel 3 de la metodología Pfafstetter, dentro del continente sudamericano, codificada como U.H. 138. Dentro del territorio peruano está conformada por 8 unidades hidrográficas nivel 4, de las cuales 1384, 1385, 1387 y 1388, son compartidas con territorio ecuatoriano (INRENA, 2012). En la Figura 11, se observa las subcuencas de la cuenca del río Chira.



**Figura 11.** Mapa de las U.H. Nivel 4 en la cuenca del río Chira

**Fuente:** INRENA (2012)

**Elaboración:** Propia

#### 2.2.4 Infraestructura de ingeniería

Dentro del área delimitada por la cuenca existen puertos como el de Paita; la carretera de Sullana a Suyo, y la carretera de Sullana a Paimas (Ayabaca); también hay obras de infraestructura muy importante. De hecho, uno de los proyectos de infraestructura hidráulica más importantes de la región, es el Proyecto Especial Chira – Piura (PECHP), que promueve el uso eficiente y sostenible del recurso hídrico existente, mediante su almacenamiento, derivación y riego en los valles de Chira y Piura, con el objetivo de evitar inundaciones, incrementar la productividad agrícola, abastecer la demanda de la población, y aprovechar la energía hidroeléctrica (PECHP, 2016).

Entre las obras principales de las tres etapas del proyecto Chira – Piura, dentro del área de estudio, destacan la presa **Poechos**, que almacena los excedentes del río Chira durante el periodo lluvioso y regula anualmente sus caudales. Desde la presa parten dos canales, por la margen derecha del río, recorre el canal **Miguel Checa**; y por la margen izquierda, el canal de derivación **Daniel Escobal** hasta la **C.H. Curumuy** para posteriormente entregar aguas al río Piura, aumentando su caudal en su periodo más seco.

Así mismo, la presa **Sullana**, se ejecutó durante la tercera etapa con la finalidad de irrigar por gravedad 37 277.6 *ha* e incorporar a la agricultura 4 908.40 *ha* en el valle del Chira, eliminando el costoso sistema de riego por bombeo (Varona, 2018).

#### 2.2.5 Clima

Para Muñoz (2013) en la cuenca contrastan principalmente dos tipos de clima. En las zonas con cotas bajas predomina el clima cálido y seco, característico de la costa norte del Perú, con temperaturas elevadas y ausencia de periodos de precipitaciones prolongadas, excepto durante la ocurrencia del fenómeno El Niño. Por el contrario, en la parte alta de la cuenca el clima es temperado y muy húmedo, con precipitaciones durante los cuatro primeros meses del año.

Sin embargo, según el sistema de clasificación climática de Warren Thornthwaite (1948) aplicándolo a la cuenca Chira, se identifican seis tipos de clima, en base a la precipitación, temperatura, humedad, latitud, la altitud, la Cordillera de los andes, el anticiclón del Pacífico

Sur, la continentalidad, la posición geográfica de la zona ecuatorial, el efecto de la interacción océano Pacífico – Atmósfera (El Niño – Corriente fría marina peruana o de Humboldt), el relieve del norte del Perú, la radiación solar, la cobertura vegetal, etc. (INGEMMET, 2006), tal como se observa en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Tipos climáticos de la cuenca Chira, según la clasificación de W. Thornthwaite en la cuenca binacional Catamayo – Chira.

Tipo de clima	Cobertura	Rango altitudinal
		(m.s.n.m.)
<b>Cálido</b>	La Esperanza, Mallares, Lancones, Las Lomas, Suyo, Paimas, Sausal de Culucán, Las Canoas y El Huayco	Menor de 1000
<b>Semicálido</b>	Nazaino, Sapillica, Montero, Sicchez, Vizancio, Suquianda	1000 - 1700
<b>Templado cálido</b>	Palo Blanco, Lagunas, Pacaipampa, Mambazo	1700 - 2300
<b>Templado frío</b>	Los Alisos, Minas, Seise, Ayabaca, Pacaipampa	2300 - 3000
<b>Semifrío</b>	Arrendamiento, Las Pircas, Talaneo	3000 - 3500
<b>Frío moderado</b>	Las cumbres más altas de la cuenca	Mayor de 3500

**Fuente:** Estudio climático; Consorcio ATA-UNP-UNL, UNIGECC.

**Elaboración:** Propia

## 2.2.6 Precipitación

Según Muñoz (2013), la cuenca presenta patrones de lluvia distintos, que varían respecto al tiempo y espacio. La zona baja presenta precipitaciones medias anuales menores a 80 mm, con mayor concentración entre enero y abril, y el resto del año se comporta como un periodo seco. La zona media presenta precipitaciones medias anuales moderadas menores a 600 mm, con mayor concentración entre los meses de diciembre a mayo, y menor concentración el resto del año. Finalmente, la zona alta presenta precipitaciones medias anuales menores a 1100 mm, las máximas concentradas en los meses de enero a mayo. En los dos primeros tipos, el Fenómeno El Niño tiene un efecto importante, mientras que en el tercero no tiene mucha incidencia.



## **Capítulo 3**

### **Aplicación de la metodología de análisis clúster**

#### **3.1 Análisis geomorfológico**

El análisis de las características físicas y climáticas de una cuenca, que en gran medida influyen en la escorrentía, es uno de los pasos fundamentales para establecer regiones que poseen un comportamiento hidrológico semejante (Tucci, La Porto, & Barros, 1995).

En el presente capítulo, se realizó como primer paso, el análisis geomorfológico de las unidades hidrográficas de la cuenca Chira, evaluado los parámetros de forma, de relieve y de la red hídrica que se consideraron adecuados y fáciles de medir a partir de los mapas recopilados, tal como lo indican Chávez et al. (2016) y Zucarelli (2017)

##### **3.1.1 Recopilación de información**

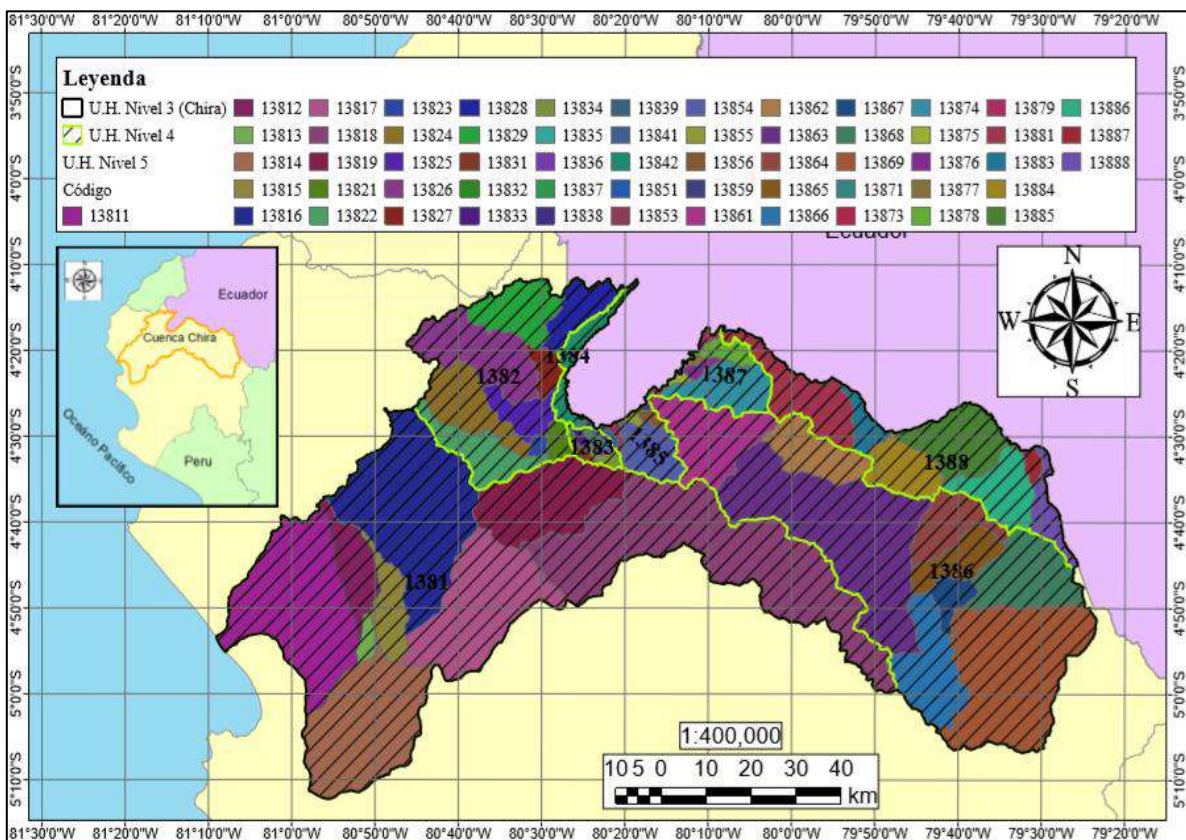
Las unidades hidrográficas (U.H.) a evaluar dentro de la cuenca Chira se establecieron en base a los mapas delimitados y codificados oficialmente por la Intendencia de Recursos Hídricos del Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en conjunto con el Ministerio de Agricultura (MINAGRI), mediante el espacio virtual Geo GPS Perú en formato shapefile, tal como se muestran en el Anexo A 1 y en el Anexo A2. Mediante estos mapas se determinó, además, los parámetros de forma de las unidades hidrográficas a evaluar.

Por otro lado, para determinar los parámetros de relieve y de la red hídrica de las unidades hidrográficas, se recopiló información topográfica, puntos geodésicos, y red hídrica en el sistema de coordenadas geográficas de las cartas nacionales generadas por el Instituto

Geográfico Nacional (IGN) y proporcionadas por el Ministerio de Educación (MINEDU), mediante el espacio virtual Geo GPS Perú en formato Shapefile, tal como se muestra en el Anexo A 3 y Anexo A 4.

### 3.1.2 Unidades hidrográficas de la cuenca Chira

Tal como se indicó en el Capítulo 2, la cuenca Chira, codificada dentro de territorio peruano como unidad hidrográfica (U.H.) 138 según la metodología Pfafstetter, está conformada por 8 U.H. nivel 4 y 59 U.H. nivel 5, tal como se observa en la Figura 12.



**Figura 12.** Mapa de U.H. nivel 5 de la cuenca Chira.

**Fuente:** INRENA (2012).

**Elaboración:** Propia.

### 3.1.3 Determinación de las características fisiográficas de las U.H. de estudio

Para llevar a cabo el estudio de estas unidades hidrográficas, se evaluaron 15 parámetros fisiográficos: 8 parámetros de forma, 5 parámetros de relieve y 2 parámetros de la red hídrica,

tal cual se indica en la Tabla 9. Se empleó el software ArcGIS para calcular los parámetros respectivos.

**Tabla 9.** Parámetros fisiográficos evaluados en las U.H. de la cuenca Chira.

Parámetros fisiográficos		ID	Und.
<b>Forma</b>	Área	(A)	km <sup>2</sup>
	Perímetro	(P)	km
	Factor de forma	(Kt)	(-)
	Ancho promedio	(Ap)	km
	Coefficiente de Gravelius	(Kc)	(-)
	Longitud mayor del cauce principal	(Lm)	km
	Lado mayor	(Lma)	km
	Lado menor	(Lme)	km
<b>Relieve</b>	Altura mínimo	(Hmin)	m.s.n.m
	Altura media	(Hm)	m.s.n.m
	Alturamáxima	(Hmax)	m.s.n.m
	Pendiente del cauce	(Sr)	%
	Pendiente de la cuenca	(Sg)	(-)
<b>Red hídrica</b>	Densidad de drenaje	(Dd)	km/km <sup>2</sup>
	Numero de orden de la red hídrica	(No)	(-)

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.4 Determinación de parámetros de forma

Aplicando herramientas del software ArcGIS se obtuvo los resultados agrupados en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Parámetros de forma de las U.H. de la cuenca Chira.

U.H. 3	Cód.	Cód.	U.H. 4	Cód.	ID	A	P	Lmay	Lmen	Ap	Kc	Kt	Lm
						(km <sup>2</sup> )	(km)	(km)	(km)	(km)	(-)	(-)	(km)
Chira	138	1381	Bajo Chira	13811	C1	712.72	133.20	53.20	13.40	13.23	1.41	0.25	53.89
				13812	C2	154.68	75.19	32.90	4.70	4.47	1.71	0.13	34.61
				13813	C3	34.72	27.53	10.44	3.32	5.92	1.32	1.01	5.87
				13814	C4	598.42	105.68	36.40	16.44	11.85	1.22	0.23	50.51
				13815	C5	140.85	74.31	32.87	4.29	3.54	1.77	0.09	39.80
				13816	C6	818.83	149.90	61.67	13.28	11.08	1.48	0.15	73.87
				13817	C7	556.47	116.03	45.89	12.13	10.10	1.39	0.18	55.11
				13818	C8	1183.55	274.07	127.77	9.26	8.93	2.25	0.07	132.50
				13819	C9	425.77	103.52	41.50	10.26	9.49	1.42	0.21	44.88
				1381	C10	4626.00	518.54	240.00	19.28	18.74	2.15	0.08	246.87
	1382	La Solana	13821	C11	40.88	29.34	10.93	3.74	3.59	1.29	0.31	11.39	
			13822	C12	176.26	86.18	38.52	4.58	3.89	1.83	0.09	45.28	
			13823	C13	15.92	16.75	5.46	2.92	3.12	1.18	0.61	5.10	
			13824	C14	200.99	80.02	34.12	5.89	5.09	1.59	0.13	39.49	
			13825	C15	105.59	59.46	25.61	4.12	3.69	1.63	0.13	28.59	
			13826	C16	297.72	95.68	40.49	7.35	5.82	1.56	0.11	51.17	
			13827	C17	55.20	37.27	14.94	3.69	3.10	1.42	0.17	17.83	

Fuente: Elaboración propia.

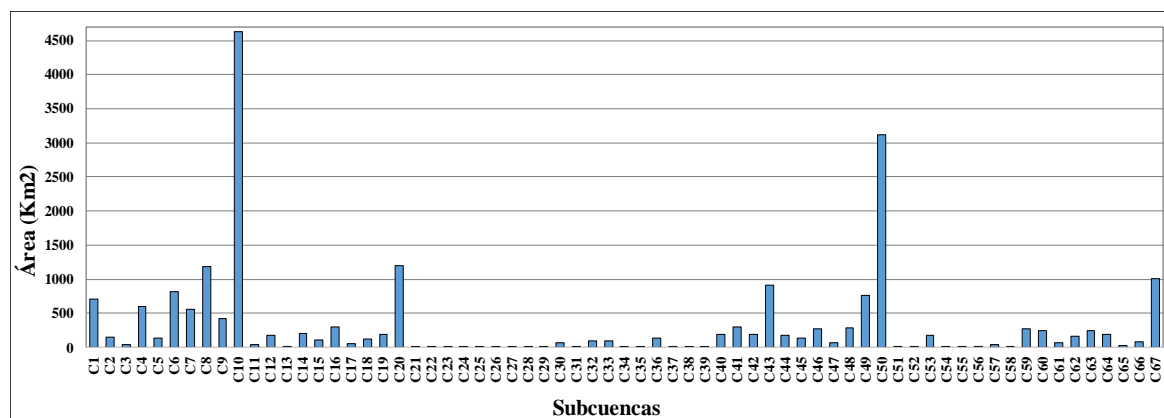
**Tabla 10.** Parámetros de forma de las U.H. de la cuenca Chira (continuación).

U.H. 3	Cód.	Cód.	U.H. 4	Cód.	ID	A	P	Lmay	Lmen	Ap	Kc	Kt	Lm
						(km <sup>2</sup> )	(km)	(km)	(km)	(km)	(-)	(-)	(km)
Chira	138	1382	La Solana	13828	C18	124.56	67.21	29.36	4.24	4.16	1.70	0.14	29.92
				13829	C19	188.55	70.33	28.57	6.60	5.36	1.44	0.15	35.21
				1382	C20	1205.66	199.78	85.85	14.04	15.56	1.62	0.20	77.49
		1383	Medio Bajo Chira	13831	C21	11.75	18.98	8.03	1.46	3.80	1.56	1.23	3.09
				13832	C22	5.49	13.85	6.01	0.91	0.77	1.67	0.11	7.16
				13833	C23	10.96	19.10	8.21	1.33	3.63	1.63	1.20	3.02
				13834	C24	19.90	24.85	10.54	1.89	1.50	1.57	0.11	13.26
				13835	C25	2.14	8.71	3.79	0.56	7.70	1.68	27.75	0.28
				13836	C26	6.03	12.74	5.21	1.16	1.15	1.46	0.22	5.24
				13837	C27	7.36	16.19	7.05	1.04	7.15	1.68	6.95	1.03
				13838	C28	5.35	13.62	5.91	0.91	0.75	1.66	0.10	7.16
				13839	C29	2.43	6.36	1.91	1.27	1.33	1.15	0.73	1.82
				1383	C30	71.40	39.55	15.02	4.75	3.73	1.32	0.19	19.14
		1384	Alamor	13841	C31	4.52	11.91	5.06	0.89	0.76	1.58	0.13	5.98
				13842	C32	96.75	101.14	48.58	1.99	2.08	2.90	0.04	46.56
				1384	C33	101.26	105.95	50.99	1.99	2.03	2.97	0.04	49.91
		1385	Medio Chira	13851	C34	7.25	15.20	6.48	1.12	0.98	1.59	0.13	7.40
				13853	C35	12.05	22.45	10.02	1.20	1.15	1.82	0.11	10.46
				13854	C36	138.31	57.46	22.62	6.12	4.42	1.38	0.14	31.27
				13855	C37	9.22	14.76	5.79	1.59	1.31	1.37	0.19	7.02
				13856	C38	14.91	22.29	9.59	1.55	1.44	1.63	0.14	10.32
				13859	C39	3.82	10.33	4.27	0.89	1.02	1.49	0.27	3.73
				1385	C40	185.56	66.57	26.20	7.08	5.05	1.38	0.14	36.77
		1386	Quiroz	13861	C41	301.05	99.23	42.54	7.08	6.85	1.61	0.16	43.98
				13862	C42	191.23	70.71	28.69	6.67	6.71	1.44	0.24	28.48
				13863	C43	912.09	184.42	80.94	11.27	10.75	1.72	0.13	84.85
				13864	C44	173.85	70.65	29.41	5.91	5.60	1.51	0.18	31.06
				13865	C45	142.28	61.48	25.06	5.68	5.96	1.45	0.25	23.85
		1386	Quiroz	13866	C46	278.78	91.91	38.76	7.19	7.65	1.55	0.21	36.44
				13867	C47	69.55	41.95	16.85	4.13	4.14	1.42	0.25	16.80
				13868	C48	291.99	81.84	31.72	9.21	9.07	1.35	0.28	32.20
				13869	C49	757.97	137.08	54.68	13.86	13.23	1.40	0.23	57.28
				1386	C50	3118.79	350.61	155.21	20.09	18.07	1.77	0.10	172.55
		1387	Medio Alto Chira	13871	C51	2.37	8.77	3.76	0.63	0.55	1.61	0.13	4.33
				13873	C52	2.88	7.36	2.56	1.12	1.56	1.23	0.85	1.84
				13874	C53	175.37	71.59	29.94	5.86	4.27	1.53	0.10	41.05
				13875	C54	10.37	20.26	8.98	1.15	0.96	1.78	0.09	10.77
				13876	C55	17.97	24.04	10.27	1.75	1.24	1.60	0.09	14.47
				13877	C56	8.54	18.97	8.48	1.01	0.80	1.83	0.07	10.70
				13878	C57	47.29	37.25	15.59	3.03	2.68	1.53	0.15	17.64
				13879	C58	10.44	22.55	10.26	1.02	0.91	1.97	0.08	11.46
				1387	C59	275.22	103.43	45.69	6.02	5.83	1.76	0.12	47.22
		1388	Macará	13881	C60	247.64	111.03	50.63	4.89	4.91	1.99	0.10	50.45
				13883	C61	63.59	46.26	19.94	3.19	3.28	1.64	0.17	19.37
				13884	C62	158.11	55.32	19.58	8.07	7.92	1.24	0.40	19.96
				13885	C63	240.21	80.59	33.02	7.27	4.54	1.47	0.09	52.95
				13886	C64	186.00	69.73	28.29	6.57	7.31	1.44	0.29	25.43
				13887	C65	24.61	23.12	8.75	2.81	2.25	1.32	0.21	10.92
				13888	C66	86.55	67.96	31.21	2.77	2.69	2.06	0.08	32.21
				1388	C67	1007.07	264.17	123.96	8.12	7.64	2.35	0.06	131.82

Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 13** se observa que las subcuencas evaluadas presentan áreas (A) dentro de un rango de 2.14 km<sup>2</sup> a 4626 km<sup>2</sup>. Las unidades hidrográficas que tienen mayor superficie

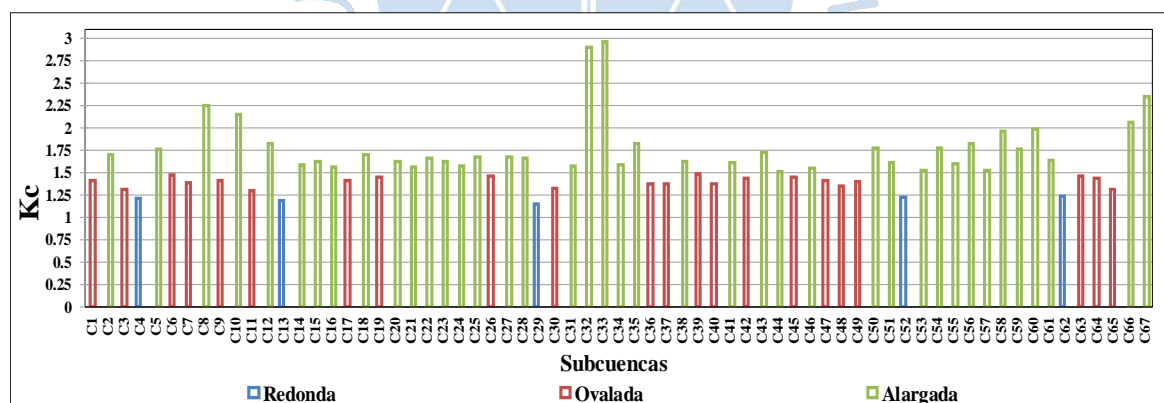
componen a las subcuencas bajo Chira y Quiroz; mientras que las más pequeñas conforman a la U.H. de nivel 4 medio bajo Chira.



**Figura 13.** Áreas (A) de las U.H. de la cuenca Chira.

Fuente: Elaboración propia.

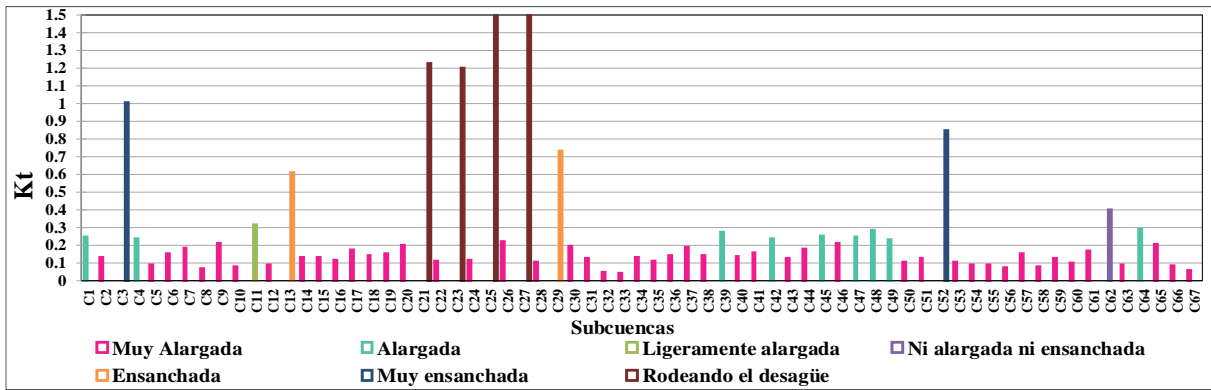
Según la Figura 14, las subcuencas presentan coeficientes de Gravelius ( $K_c$ ) en un rango de 1.15 a 2.97, lo que indica que está conformada por U.H redondas, ovaladas y alargadas. La U.H C29 presenta la forma más redonda; la C33, la más alargada; y la C39, la más ovalada. Sin embargo, la mayoría de las U.H de la cuenca Chira son de forma alargada e irregular.



**Figura 14.** Coeficiente de Gravelius ( $K_c$ ) de las U.H. de la cuenca Chira.

Fuente: Elaboración propia.

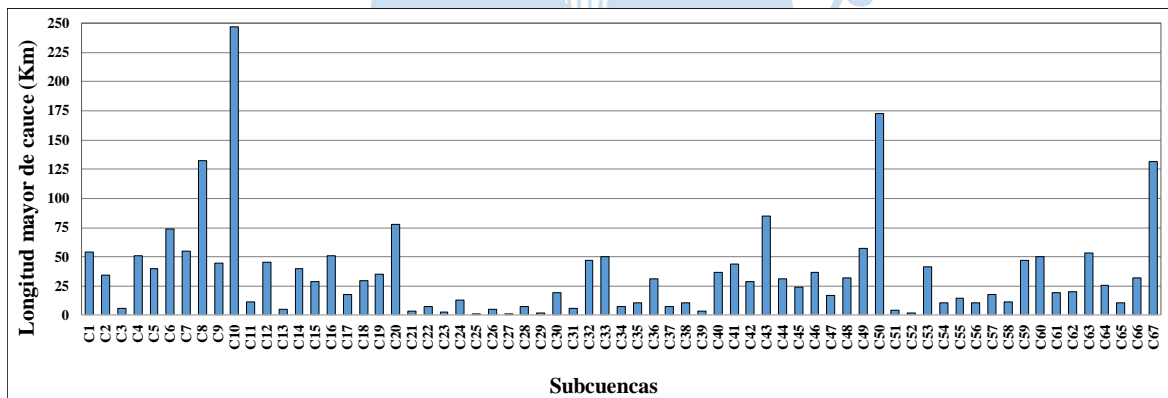
Respecto al factor forma ( $K_t$ ), la cuenca presenta valores entre 0.04 y 27.75. La Figura 15 indica que subcuencas como C21, C23, C25 y C27 presentan formas que rodean al desagüe y tienen mayor predisposición a las crecidas, mientras que subcuencas como C8, C32, C33, C56 y C67 pueden presentar menor volumen de descarga y las formas más alargadas en la cuenca del río Chira.



**Figura 15.** Coeficiente de forma (Kt) de las U.H. de la cuenca Chira.

**Fuente:** Elaboración propia.

Según se observa en la Figura 16, las U.H. de la cuenca Chira presentan longitudes de cauce (Lm) que van desde 0.28 km hasta 246.87 km. Las subcuencas con mayores longitudes de cauce son C10, C50, C67, C8, C43, y algunas subcuencas de la U.H Bajo Chira, Quiroz y Macará, mientras que C25, C27, C29, C52, y algunas del Medio Bajo Chira, presentan las longitudes de cauce más pequeñas de la cuenca Chira.



**Figura 16.** Longitud mayor del cauce (Lm) de las U.H. de la cuenca Chira

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.1.5 Determinación de parámetros de relieve

La información de las cartas nacionales, permitió generar el TIN observado en el Anexo A 5. En base al TIN se generó un Modelo de Elevación Digital - DEM (Anexo A 6). Y en base al DEM se determinaron los parámetros de relieve.

La altura media (Hm) se determinó mediante el desarrollo de las curvas hipsométricas, a partir de las áreas obtenidas entre las curvas representativas de cada U.H. En la Figura 17 se observa los resultados obtenidos para la cuenca Quiroz U.H. 1386.

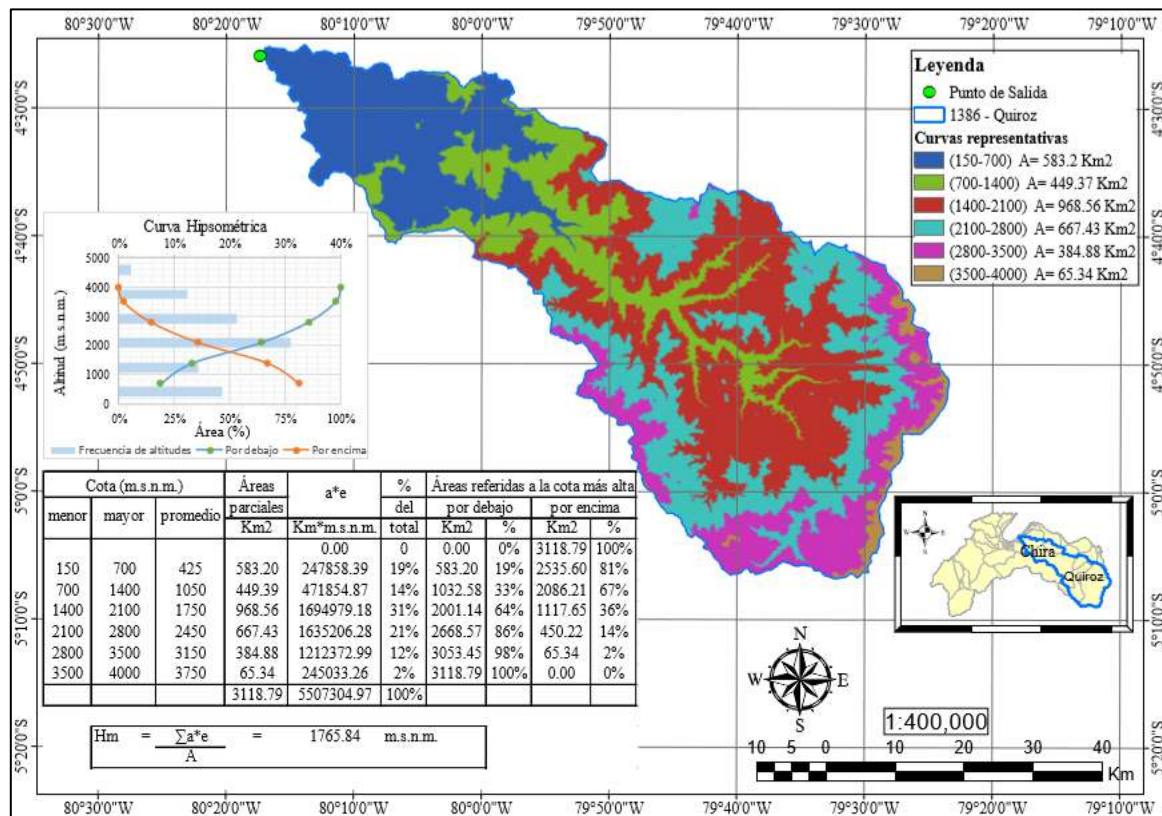


Figura 17. Curva hipsométrica y Hm de la cuenca Quiroz

Fuente: Elaboración propia.

Las pendientes de la subcuencas (Sg) y de los cauces (Sr) de las subcuencas se determinaron a partir de un mapa de pendientes generado con el software ArcGIS. La Figura 18 y Figura 19 muestran las pendientes obtenidas para la subcuenca U.H. 1386.

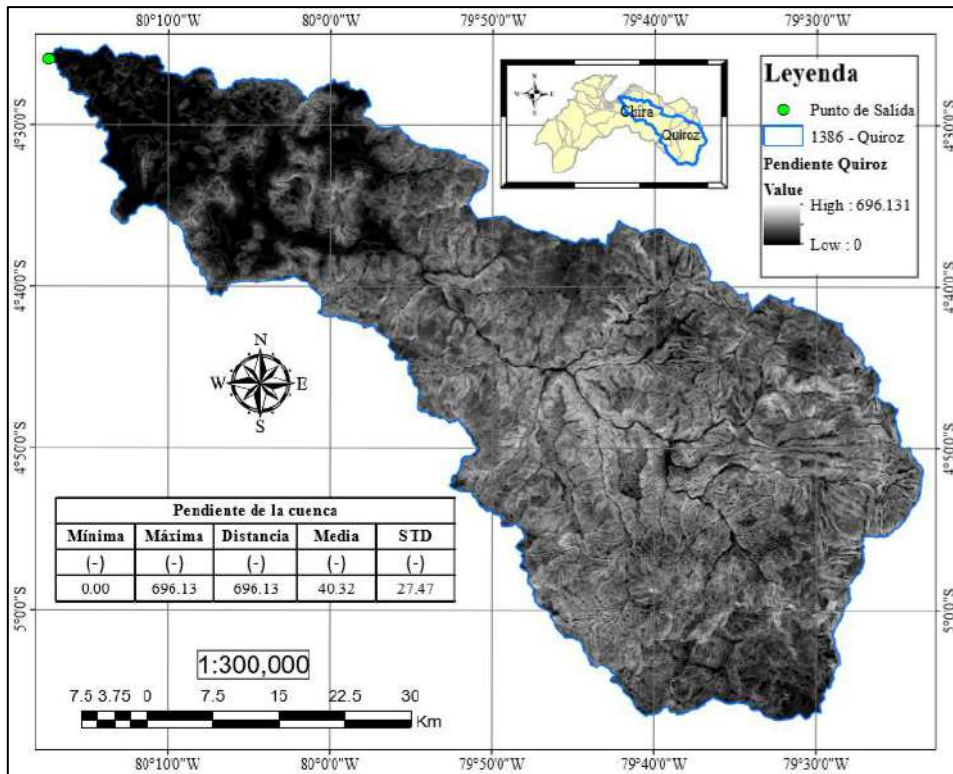


Figura 18. Mapa de pendientes (Sg) de la cuenca Quiroz.

Fuente: Elaboración propia.

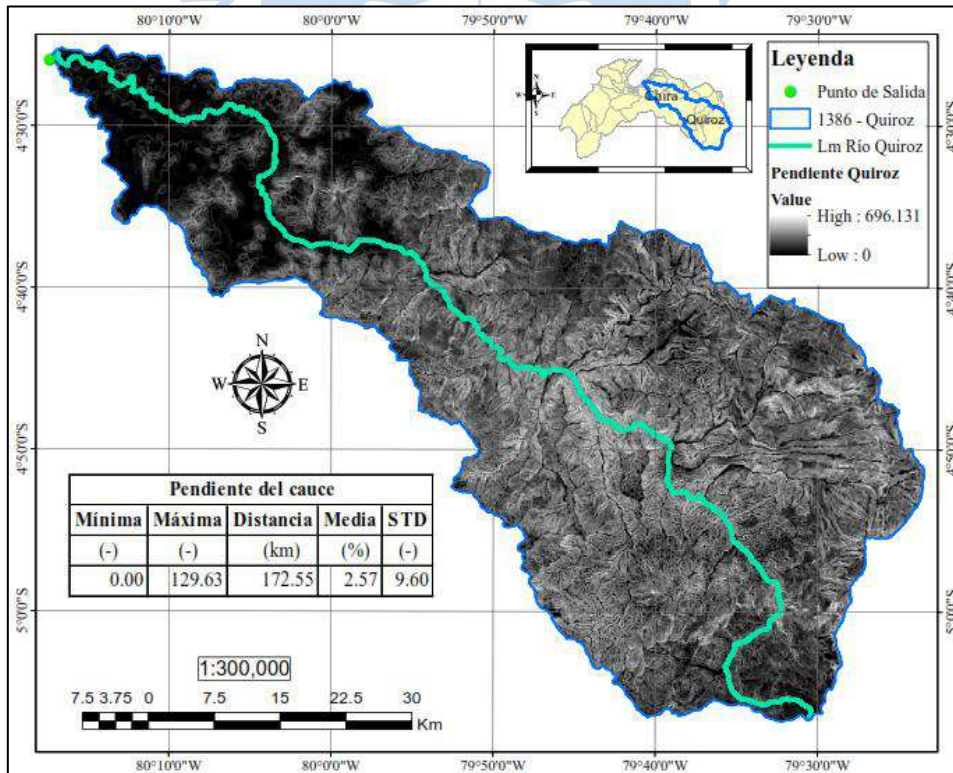


Figura 19. Mapa de pendiente del cauce (Sr) de la cuenca Quiroz.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se agrupó los resultados para cada subcuenca en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Parámetros de relieve de las U.H. de la cuenca Chira

U.H. 3	Cód.	Cód.	U.H. 4	Cód.	ID	Hmax	Hmin	Hm	Sr	Sg
						m.s.n.m.			%	(-)
Chira	138	1381	Bajo Chira	13811	C1	900	7	136	0.39	2.58
				13812	C2	950	34	201	2.71	2.97
				13813	C3	78	37	50	0.37	0.60
				13814	C4	244	49	78	0.38	0.43
				13815	C5	300	48	73	1.22	0.85
				13816	C6	1100	50	264	1.22	4.57
				13817	C7	204	50	93	0.29	1.20
				13818	C8	3700	84	1015	2.82	18.11
				13819	C9	511	88	166	0.89	2.34
				1381	C10	3700	7	530	1.63	6.38
		1382	La Solana	13821	C11	300	110	175	3.34	2.68
				13822	C12	625	150	282	1.31	1.82
				13823	C13	300	150	173	0.00	3.18
				13824	C14	800	150	390	2.10	6.77
				13825	C15	450	150	239	1.48	4.18
				13826	C16	1450	200	543	2.47	16.34
				13827	C17	350	200	263	1.14	6.08
				13828	C18	669	250	397	1.23	11.83
				13829	C19	1450	250	483	3.68	15.55
				1382	C20	1450	110	405	1.65	9.85
		1383	Medio Bajo Chira	13831	C21	250	109	137	1.47	2.15
				13832	C22	300	128	160	4.10	2.73
				13833	C23	300	125	150	1.48	2.11
				13834	C24	300	132	205	1.35	2.61
				13835	C25	163	140	148	1.35	0.75
				13836	C26	300	141	182	2.52	5.01
				13837	C27	250	143	160	0.44	1.40
				13838	C28	250	148	180	1.95	2.08
				13839	C29	150	135	148	0.88	0.53
				1383	C30	300	109	178	1.37	2.38
		1384	Alamor	13841	C31	188	140	152	0.98	0.83
				13842	C32	577	146	315	0.78	7.35
				1384	C33	577	140	312	0.75	7.07
		1385	Medio Chira	13851	C34	250	136	170	1.85	1.73
				13853	C35	304	150	177	1.25	2.16
				13854	C36	650	150	259	1.43	5.40
				13855	C37	400	150	182	0.84	3.23
				13856	C38	450	150	224	3.20	6.95
				13859	C39	200	150	160	0.00	1.66
		1385	C40	650	136	241	1.29	4.99		
		1386	Quiroz	13861	C41	1450	150	375	3.12	12.11
				13862	C42	2400	300	837	6.78	29.46
				13863	C43	3500	300	1488	4.35	39.79
				13864	C44	3000	1000	1922	6.26	46.09
				13865	C45	2900	1000	1728	7.82	49.17
				13866	C46	3700	1050	2236	7.09	53.23
				13867	C47	2550	1050	1791	9.93	54.39
				13868	C48	3950	1150	2352	9.84	47.76
				13869	C49	4000	1150	2455	4.73	43.12
				1386	C50	4000	150	1766	2.57	40.32

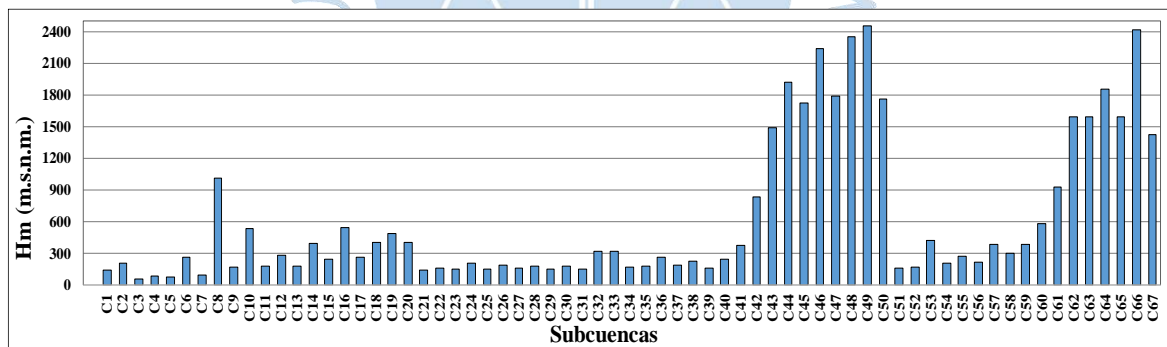
**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 11.** Parámetros de relieve de las U.H. de la cuenca Chira (continuación)

U.H. 3	Cód.	Cód.	U.H. 4	Cód.	ID	Hmax	Hmin	Hm	Sr	Sg
						m.s.n.m.			%	(-)
Chira	1387	Medio Alto Chira	13871	C51	200	150	160	0.00	3.38	
			13873	C52	200	150	167	0.00	4.12	
			13874	C53	1450	150	423	3.95	14.32	
			13875	C54	250	150	200	1.25	1.42	
			13876	C55	500	200	269	2.94	5.47	
			13877	C56	300	199	215	0.02	2.50	
			13878	C57	1000	200	387	3.40	15.27	
			13879	C58	450	200	300	0.65	17.02	
			1387	C59	1450	150	387	3.39	12.95	
	1388	Macará	13881	C60	1450	250	584	2.41	18.38	
			13883	C61	1950	450	929	4.31	39.62	
			13884	C62	2950	600	1590	13.08	46.08	
			13885	C63	2850	600	1595	7.49	44.90	
			13886	C64	3000	1000	1859	8.03	44.82	
			13887	C65	2450	1000	1590	14.93	45.29	
			13888	C66	3900	1001	2416	8.28	42.30	
			1388	C67	3900	250	1422	1.99	37.98	

Fuente: Elaboración propia.

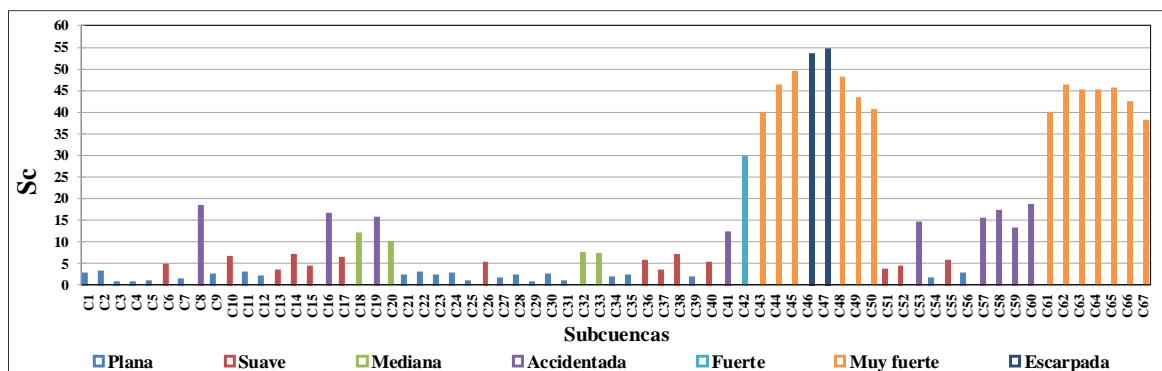
Según la Figura 20, las U.H presentan alturas medias (Hm) entre 50.42 y 2454.81 m.s.n.m. Las cuencas C44, C46, C48, C49, C64 y C66 presentan las mayores alturas medias de la cuenca, mientras que C3, C4, C5 y C7, las mínimas.



**Figura 20.** Alturas medias (Hm) de las U.H de la cuenca Chira.

Fuente: Elaboración propia.

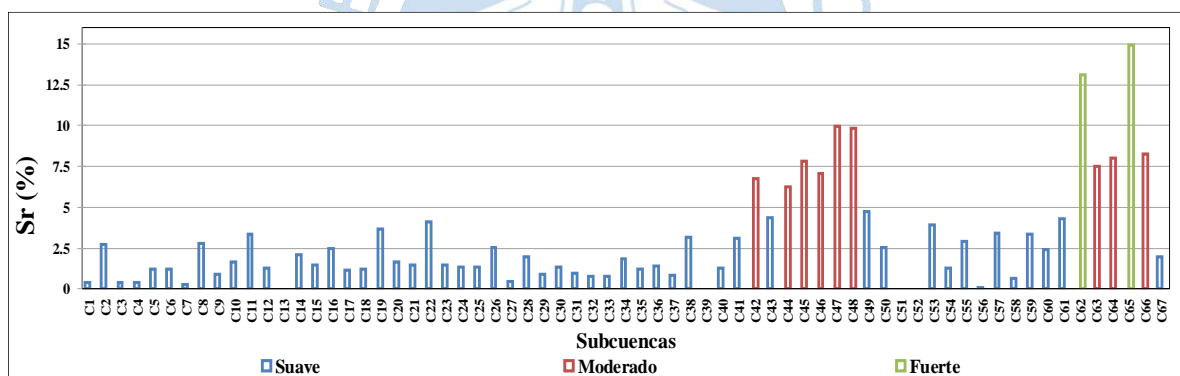
Por otro lado, en la Figura 21 se observa que las subcuencas presentan pendientes (Sg) que van de 0.43 a 54.39, lo que según la clasificación detallada en el Capítulo 1, indica la existencia de subcuencas planas, suaves, medianas, accidentadas, fuertes, muy fuertes y escarpadas. Con frecuencia presenta subcuencas planas, y en su minoría, fuertes. Sin embargo, la mayoría de la superficie de la cuenca en general, presenta pendientes suaves y muy fuertes.



**Figura 21.** Gráfico 6. Pendientes medias (Sg) de las U.H. de la cuenca Chira.

**Fuente:** Elaboración propia.

Según lo indicado en la **Figura 22**, las U.H. de la cuenca de estudio, presentan cauces con pendientes medias (Sr) que van desde 0% hasta 14.93%, lo que, según la clasificación descrita en el Capítulo 1, indica la presencia de cauces suaves, moderados y fuertes a lo largo de la cuenca. La mayoría de las subcuencas presenta cauces suaves.



**Figura 22.** Pendientes medias de los cauces (Sr) de las U.H. de la cuenca Chira

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.1.6 Determinación de los parámetros de la red hídrica

La densidad de drenaje (Dd) se calculó dividiendo la longitud de la red hídrica de la U.H. entre el área de la misma; y el orden de los cauces (NO), se determinó aplicando manualmente el método de Strahler. En la Tabla 12 se muestran los resultados del orden del cauce y la densidad de drenaje obtenidos para cada subcuenca.

**Tabla 12.** Parámetros de la red hídrica de las U.H. de la cuenca Chira

U.H. 3	Cód.	Cód.	U.H. 4	Cód.	ID	NO	Dd
						(-)	(km/km <sup>2</sup> )
Chira	138	1381	Bajo Chira	13811	C1	4	0.62
				13812	C2	3	1.02
				13813	C3	1	0.17
				13814	C4	4	0.46
				13815	C5	2	0.52
				13816	C6	4	0.77
				13817	C7	3	0.31
				13818	C8	4	0.54
				13819	C9	4	0.59
				1381	C10	5	0.57
		1382	La Solana	13821	C11	2	0.63
				13822	C12	4	0.75
				13823	C13	1	0.32
				13824	C14	4	0.99
				13825	C15	3	0.71
				13826	C16	4	0.77
				13827	C17	2	0.66
				13828	C18	3	0.78
				13829	C19	4	0.78
				1382	C20	5	0.78
		1383	Medio Bajo Chira	13831	C21	1	0.26
				13832	C22	1	1.30
				13833	C23	1	0.28
				13834	C24	2	0.86
				13835	C25	1	0.13
				13836	C26	2	1.53
				13837	C27	1	0.14
				13838	C28	1	1.34
				13839	C29	1	0.75
				1383	C30	3	0.65
		1384	Alamor	13841	C31	1	1.50
				13842	C32	2	0.78
				1384	C33	2	0.81
		1385	Medio Chira	13851	C34	2	1.13
				13853	C35	2	1.04
				13854	C36	3	0.70
				13855	C37	2	0.96
				13856	C38	2	0.81
				13859	C39	1	0.98
		1385	C40	3	0.74		
		1386	Quiroz	13861	C41	3	0.53
				13862	C42	3	0.52
				13863	C43	4	0.57
				13864	C44	4	0.71
				13865	C45	3	0.72
				13866	C46	4	0.76
				13867	C47	3	0.66
				13868	C48	4	0.75
				13869	C49	4	0.70
				1386	C50	5	0.64

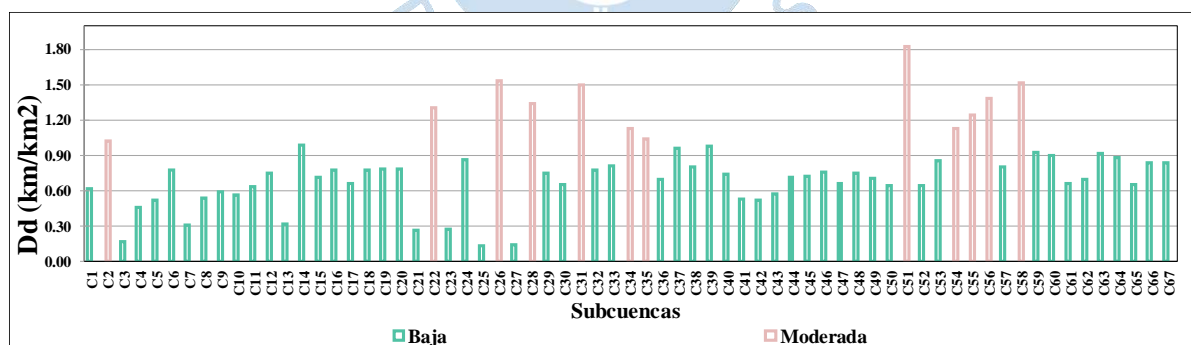
**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 12.** Parámetros de la red hídrica de las U.H. de la cuenca Chira (continuación).

U.H. 3	Cód.	Cód.	U.H. 4	Cód.	ID	NO	Dd
						(-)	(km/km <sup>2</sup> )
Chira	1387	Medio Alto Chira	13871	C51	1	1.83	
			13873	C52	1	0.64	
			13874	C53	4	0.85	
			13875	C54	2	1.13	
			13876	C55	2	1.25	
			13877	C56	2	1.39	
			13878	C57	3	0.81	
			13879	C58	2	1.52	
	1387	C59	4	0.93			
	1388	Macará	13881	C60	4	0.90	
			13883	C61	3	0.66	
			13884	C62	4	0.70	
			13885	C63	4	0.92	
			13886	C64	3	0.89	
			13887	C65	2	0.66	
			13888	C66	3	0.84	
			1388	C67	5	0.84	

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la densidad de drenaje (Dd), según lo que se observa en la **Figura 23** las U.H. como C25, C27, C3, C21 y C23 presentan las Dd más bajas y se clasifican como subcuencas pobremente drenadas. En contraste, existen cerca de 12 U.H. de la cuenca Chira que presentan una Dd moderada, entre 1.02 y 1.83  $km/km^2$ , según la clasificación presentada por Delgadillo y Páez (2008).

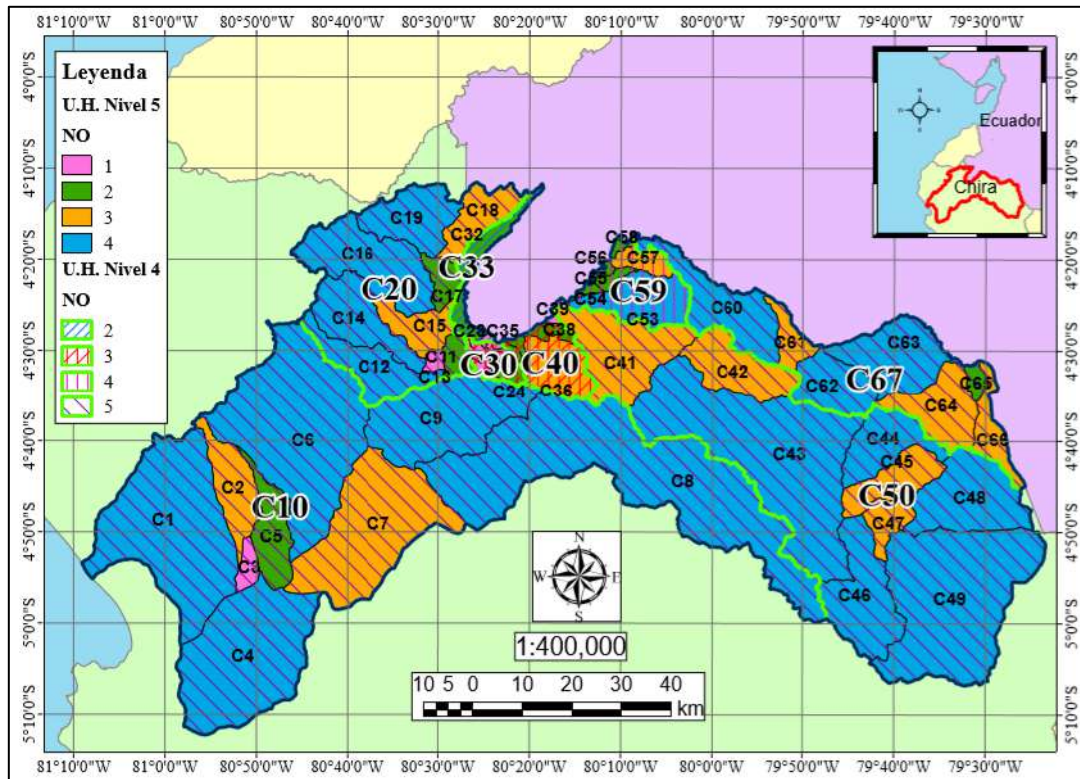


**Figura 23.** Densidad de drenaje (Dd) de las U.H. de la cuenca Chira.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la **Figura 24** y **Figura 25** se observa que la mayoría de las subcuencas son de orden 3 y 4, y que el cauce principal es de orden 6. La mayoría de las U.H. de la subcuenca Medio Bajo Chira (1383) son de NO 1, lo que significa que presentan bajas velocidades de

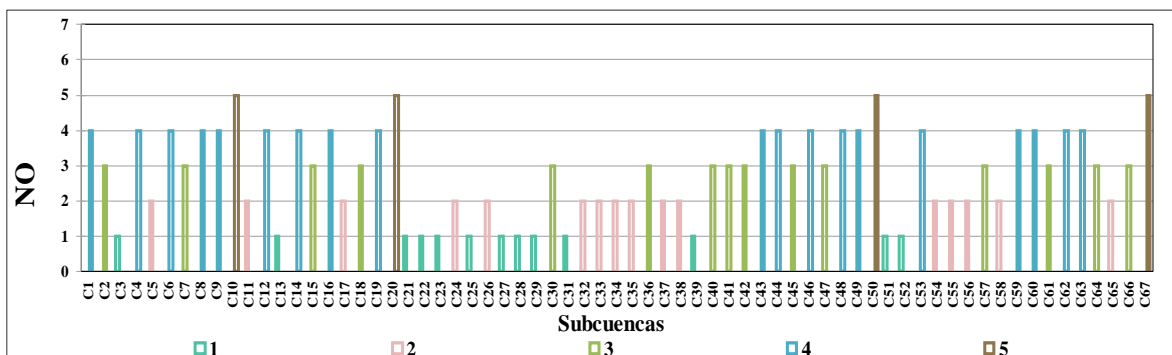
respuesta ante la precipitación, bajo potencial erosivo y suelen conformarse por suelos permeables.



**Figura 24.** Número de orden (NO) de las U.H. de nivel 4 y 5 de la cuenca Chira

**Fuente:** Elaboración propia.

Por el contrario, las U.H de la subcuenca Bajo Chira, Quiroz y Macará presentan mayor NO dentro del área de estudio, por lo que se puede asumir que estas subcuencas son las que adoptan mayor velocidad de respuesta ante las precipitaciones, suelos relativamente impermeables y presentan alto potencial erosivo y transporte de sedimentos.



**Figura 25.** Número de orden (NO) de las U.H. de la cuenca Chira.

**Fuente:** Elaboración propia.

## **3.2 Análisis pluviométrico**

### **3.2.1 Recopilación de información**

Para el presente análisis, se recopiló información meteorológica de estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca Piura, cuenca Chira, cuenca Tumbes, cuenca Pariñas, cuenca del río Mayo, cuenca Chinchipe, cuenca Chamaya y cuenca Catamayo, con el fin de que estaciones cercanas a la cuenca de estudio, sean referentes para completar datos faltantes en estaciones de la cuenca de interés.

La información se obtuvo de manera virtual en páginas web de las siguientes entidades: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Autoridad Nacional del Agua (ANA), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Plan de Desarrollo Regional del Sur (PREDESUR), Proyecto Especial Chira Piura (PECHP) y de la base de datos aportados por la Universidad de Piura (UDEP). En total se obtuvo información de 195 estaciones pluviométricas.

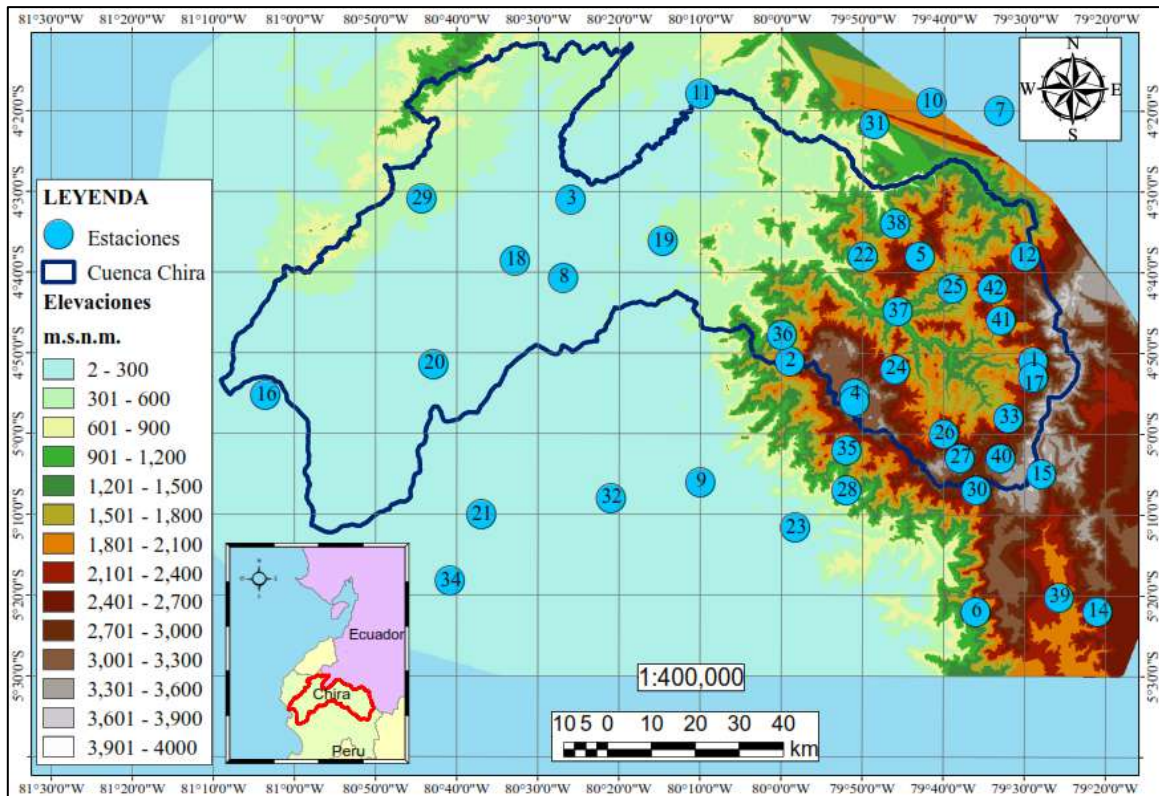
### **3.2.2 Selección de estaciones y periodo de estudio pluviométrico**

Para la selección de las estaciones y su periodo de estudio se tuvo en cuenta dos aspectos:

**Georreferenciación:** Se ubicó a las estaciones obtenidas en el plano del mapa oficial del Perú y se descartó las estaciones más alejadas de la cuenca Chira y que cuentan con poca información pluviométrica. (ver Anexo B 1, Anexo B 2 y Anexo B 3).

**Definición de un periodo de análisis:** De las estaciones restantes, se seleccionó las que cuentan con el mayor número de datos dentro de un periodo seleccionado de 25 años.

En base a ambos criterios, se obtuvo como resultado 42 estaciones procedentes de diferentes fuentes, cuyo periodo de medición varía desde 1966 hasta 1990, descritas en la Figura 26 y Tabla 13.



**Figura 26.** Ubicación de estaciones seleccionadas para análisis pluviométrico en la cuenca Chira.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 13.** Información de estaciones seleccionadas para análisis pluviométrico en cuenca Chira

Id	Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Periodo	Años completos en periodo seleccionado	Información	Fuente
				m.s.n.m.				
1	Ania-Cabullal	04°51'00"	81°03'35"	2450	1972 1996	14	PA diaria	ANA
2	Aranza	04°51'00"	80°40'50"	1300	1962 1992	20	PA diaria	ANA
3	Ardilla senamhi	04°31'00"	80°37'00"	150	1969 1992	12	PA diaria	SENAMHI
4	Arenales A	04°55'00"	80°42'53"	3010	1972 1991	18	PA diaria	UDEP
5	Ayabaca C	04°38'00"	80°26'55"	2709	1962 2014	23	PA diaria	SENAMHI
6	Canchaque	05°22'00"	80°10'00"	1200	1962 1994	23	PA diaria	ANA
7	Cariamanga	04°20'00"	80°21'00"	1950	1972 2012	8	PA mensual	INAMHI
8	Chilaco B	04°40'41"	79°58'16"	90	1966 1995	15	PA diaria	ANA
9	Chulucanas C	05°06'01"	80°26'00"	90	1971 2014	11	PA diaria	SENAMHI
10	Colaisaca	04°19'00"	80°32'50"	2410	1972 2012	13	PA mensual	INAMHI
11	El Ciruelo	04°17'57"	79°47'00"	222	1975 1996	11	PA diaria	ANA
12	Espindola	04°38'00"	80°10'01"	2300	1970 1996	18	PA diaria	ANA
13	Frías B	04°56'00"	80°14'38"	1700	1962 1995	21	PA diaria	ANA
14	Hacienda chumaya	05°22'00"	79°48'37"	2000	1962 2010	21	PA diaria	ANA
15	Huar Huar A	05°05'00"	79°52'00"	3150	1962 1997	18	PA diaria	UDEP
16	La Esperanza C	04°55'16"	79°45'42"	7	1965 2015	21	PA diaria	SENAMHI
17	Laguna Seca	04°53'00"	79°50'00"	2450	1971 1996	14	PA diaria	ANA
18	Lancones C	04°38'34"	79°36'00"	150	1962 2014	23	PA diaria	SENAMHI
19	Las Lomas B	04°36'12"	79°59'00"	265	1962 1987	13	PA diaria	ANA
20	Mallares pechp	04°51'26"	79°39'00"	47	1970 1992	19	PA diaria	PECHP
21	Miraflores pechp	05°10'00"	79°59'59"	30	1970 2016	15	PA diaria	PECHP
22	Montero	04°38'00"	79°46'00"	1070	1969 1996	17	PA diaria	ANA
23	Morropón C	05°11'41"	79°52'00"	136	1962 2014	15	PA diaria	SENAMHI

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13.** Información de estaciones seleccionadas para análisis pluviométrico en cuenca Chira (continuación).

Id	Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Periodo	Años completos en periodo seleccionado	Información	Fuente
				m.s.n.m.				
24	Nangay	04°52'00"	79°51'00"	2100	1962 1994	25	PA diaria	ANA
25	Olleros	04°42'00"	79°33'00"	1360	1962 1995	25	PA diaria	ANA
26	Pacaipampa A	04°60'00"	79°33'16"	1960	1961 1992	16	PA diaria	UDEP
27	Palo Blanco B	05°03'01"	79°40'00"	2736	1970 1991	14	PA diaria	ANA
28	Paltashaco B	05°07'00"	79°25'45"	900	1970 1994	15	PA diaria	ANA
29	Pananga	04°30'56"	79°21'00"	360	1962 2013	24	PA diaria	SENAMHI
30	Pasapampa B	05°07'00"	79°46'00"	2410	1962 1994	15	PA diaria	ANA
31	Sabiango INAMHI	04°21'40"	79°32'00"	700	1972 2012	14	PA mensual	INAMHI
32	San Joaquin	05°08'00"	79°30'00"	100	1972 1987	13	PA diaria	ANA
33	San Juan de los Alisos	04°58'00"	79°41'35"	2150	1971 1996	16	PA diaria	ANA
34	San Miguel C	05°18'14"	79°36'00"	20	1972 2015	14	PA diaria	SENAMHI
35	Santo Domingo A	05°02'00"	79°29'00"	1475	1962 1992	18	PA diaria	UDEP
36	Sapillica C	04°47'47"	79°29'00"	1406	1962 2013	21	PA diaria	SENAMHI
37	Sausal de Culucan C	04°44'52"	79°34'00"	980	1962 2014	19	PA diaria	SENAMHI
38	Sicchez	04°34'00"	79°43'00"	1435	1970 1994	19	PA diaria	ANA
39	Sondorillo	05°20'12"	79°38'01"	1960	1962 2014	23	PA diaria	SENAMHI
40	Talaneo B	05°03'00"	79°51'00"	3430	1962 1996	17	PA diaria	ANA
41	Tapal	04°46'00"	79°28'00"	1890	1962 1994	20	PA diaria	ANA
42	Tipulco	04°42'00"	79°33'00"	2600	1971 1994	12	PA diaria	ANA

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.3 Estimación de datos faltantes

Algunas estaciones seleccionadas no cuentan con registros completos de precipitación, ya sea por ausencia de datos mensuales o anuales debido a la falta de monitoreo o desperfectos en los equipos de medición. Sin embargo, existen métodos empleados para estimar los datos faltantes (ver Capítulo 1). Para el presente trabajo, se empleó el método de Regresión Lineal Múltiple (RLM).

Mediante la aplicación del método RLM, se determinó datos faltantes de una estación a partir de la correlación con dos estaciones cercanas que presentan registros completos en el periodo requerido. Una vez analizado el coeficiente de correlación de la estación a evaluar con todas las estaciones cercanas, se escogió las que mejor se correlacionaron con la estación de estudio, es decir, las que arrojaron un coeficiente de correlación ( $r$ ) y coeficiente de determinación ( $r^2$ ) mayores a 0.5.

La Tabla 14 detalla las estaciones completas que mejor se correlacionaron con las estaciones por completar, y la ecuación que describe dicha correlación necesaria para el relleno de datos pluviométricos.

**Tabla 14.** Aplicación del método de regresión lineal múltiple para completar data pluviométrica

<b>Id</b>	<b>Estación Incompleta</b>	<b>Estación Completa</b>	<b>R2</b>	<b>R</b>	<b>Variable</b>	<b>Ecuación</b>
1	Ania Cabullal	Espindola Nangay Matalacas	0.58 0.66	0.83	A1 A2	$Y = 27.26 + 0.3(A1) + 1.18(A2)$
2	Aranza	Nangay Matalacas Sausal de Culucán	0.67 0.58	0.82	A1 A2	$Y = 7.95 + 0.64(A1) + 0.30(A2)$
3	Ardilla SENAMHI	Lancones C Pananga	0.84 0.79	0.86	A1 A2	$Y = 10.39 + 0.71(A1) + 0.49(A2)$
4	Arenales A	Ayabaca C Palo Blanco B	0.84 0.75	0.93	A1 A2	$Y = -2.69 + 0.30(A1) + 0.33(A2)$
5	Ayabaca C	Espindola Nangay Matalacas	0.65 0.81	0.91	A1 A2	$Y = 12.41 + 0.27(A1) + 1.69(A2)$
7	Cariamanga	Olleros Sicchez	0.66 0.65	0.84	A1 A2	$Y = 13.72 + 0.71(A1) + 0.39(A2)$
8	Chilaco B	Ardilla Senamhi Lancones C	0.89 0.91	0.97	A1 A2	$Y = -2.37 + 0.38(A1) + 0.54(A2)$
9	Chulucanas C	Miraflores PECHP San Joaquín	0.91 0.92	0.96	A1 A2	$Y = 8.72 + 0.69(A1) + 0.73(A2)$
10	Colaisaca	Ayabaca C Espindola	0.72 0.64	0.87	A1 A2	$Y = 1.96 + 0.49(A1) + 0.34(A2)$
11	El Ciruelo	Ardilla Senamhi Las Lomas B	0.75 0.57	0.87	A1 A2	$Y = 18.87 + 0.91(A1) + 0.01(A2)$
12	Espíndola	Ayabaca C Tipulco	0.65 0.54	0.81	A1 A2	$Y = 16.22 + 0.57(A1) + 0.13(A2)$
13	Frías B	Pacaipampa A Sapillica C	0.70 0.72	0.90	A1 A2	$Y = -7.08 + 0.74(A1) + 0.98(A2)$
16	La Esperanza C	Mallares PECHP Pananga	0.84 0.73	0.92	A1 A2	$Y = -2.04 + 0.66(A1) + 0.08(A2)$
17	Laguna Seca	Ania Cabullal San Juan de Los Alisos	0.61 0.64	0.82	A1 A2	$Y = 28.94 + 0.43(A1) + 0.55(A2)$
18	Lancones C	Pananga Chilaco B	0.80 0.90	0.95	A1 A2	$Y = 0.64 + 0.27(A1) + 0.81(A2)$
19	Las Lomas B	Ardilla Senamhi Lancones C	0.79 0.87	0.93	A1 A2	$Y = 0.6 + 0.09(A1) + 0.95(A2)$
20	Mallares PECHP	Chilaco B Lancones C	0.91 0.92	0.97	A1 A2	$Y = -2.15 + 0.26(A1) + 0.36(A2)$
21	Miraflores PECHP	La Esperanza C Mallares PECHP	0.86 0.94	0.97	A1 A2	$Y = -0.67 + 0.16(A1) + 0.86(A2)$
22	Montero	Sausal de Culucán Sicchez	0.76 0.83	0.92	A1 A2	$Y = -6.91 + 1.24(A1) + 0.64(A2)$
23	Morropón C	Chulucanas C San Joaquín	0.83 0.74	0.91	A1 A2	$Y = 2.65 + 0.91(A1) - 0.20(A2)$
26	Pacaipampa A	Frías B Olleros	0.70 0.84	0.93	A1 A2	$Y = 6.53 + 0.15(A1) + 0.80(A2)$
27	Palo Blanco B	Nangay Matalacas San Juan de Los Alisos	0.69 0.75	0.88	A1 A2	$Y = 14.29 + 0.37(A1) + 0.33(A2)$
28	Paltashaco	Frías B Santo Domingo A	0.75 0.76	0.89	A1 A2	$Y = -12.05 + 0.35(A1) + 0.45(A2)$
29	Pananga	Ardilla Senamhi Lancones C	0.79 0.84	0.93	A1 A2	$Y = -0.32 + 0.16(A1) + 0.41(A2)$
30	Pasapampa	Palo Blanco B San Juan de Los Alisos	0.71 0.78	0.89	A1 A2	$Y = -6.15 + 0.37(A1) + 0.51(A2)$

**R2:** Coeficiente de determinación.

**R:** Coeficiente de correlación lineal múltiple.

**A1 y A2:** Variables independientes.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 14.** Aplicación del método de regresión lineal múltiple para completar data pluviométrica (continuación).

Id	Estación Incompleta	Estación Completa	R2	R	Variable	Ecuación
31	Sabiango	Montero Sicchez	0.77 0.79	0.90	A1 A2	$Y = -5.21 + 0.55(A1) + 0.70(A2)$
32	San Joaquín	Miraflores PECHP San Miguel C	0.95 0.96	0.98	A1 A2	$Y = 3.38 + 0.54(A1) + 1.23(A2)$
33	San Juan de Los Alisos	Ania Cabullal Nangay Matalacas	0.73 0.76	0.90	A1 A2	$Y = 21.81 + 0.43(A1) + 1.05(A2)$
34	San Miguel C	Mallares PECHP Miraflores C	0.94 0.97	0.98	A1 A2	$Y = -0.51 + 0.16(A1) + 0.58(A2)$
35	Santo Domingo A	Frías B Sapillica C	0.83 0.73	0.92	A1 A2	$Y = -5.09 + 0.58(A1) + 0.51(A2)$
36	Sapillica C	Montero Sausal de Culucán	0.70 0.60	0.84	A1 A2	$Y = 4.28 + 0.44(A1) + 0.39(A2)$
37	Sausal de Culucán C	Olleros Sicchez	0.82 0.80	0.93	A1 A2	$Y = 0.27 + 0.22(A1) + 0.10(A2)$
38	Sicchez	Olleros Sausal de Culucán	0.76 0.76	0.89	A1 A2	$Y = -11.64 + 0.77(A1) + 1.83(A2)$
39	Sondorillo	Palo Blanco B Pasapampa B	0.58 0.59	0.80	A1 A2	$Y = -0.28 + 0.23(A1) + 0.18(A2)$
41	Tapal	Olleros Sicchez	0.54 0.51	0.75	A1 A2	$Y = 18.21 + 0.54(A1) + 0.17(A2)$
42	Tipulco	Ayabaca C Nangay Matalacas	0.73 0.63	0.85	A1 A2	$Y = 36.27 + 0.91(A1) + 0.32(A2)$

**R2:** Coeficiente de determinación.

**R:** Coeficiente de correlación lineal múltiple.01

**A1 y A2:** Variables independientes.

**Fuente:** Elaboración propia.

Sin embargo, las estaciones: “Hacienda Shumaya”, “Huar Huar B”, “Canchaque” y “Talaneo B”, proyectaron una correlación menor a 0.5 con el comportamiento pluviométrico de estaciones cercanas, por lo que, en lugar de descartarlas, se completó su data mediante el análisis de consistencia con el método de Curva Doble Acumulada (CDA).

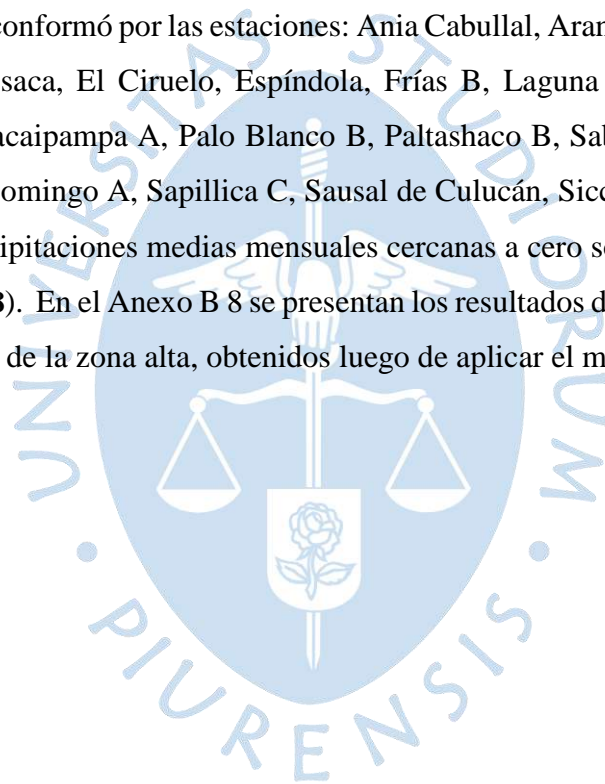
En efecto y bajo la premisa de que el comportamiento pluviométrico de la cuenca de estudio no es constante a lo largo de toda su área, debido a que se conforma por cotas ente 0 a 4000 m.s.n.m., se evaluaron ciertos criterios para determinar una óptima agrupación de las estaciones a evaluar.

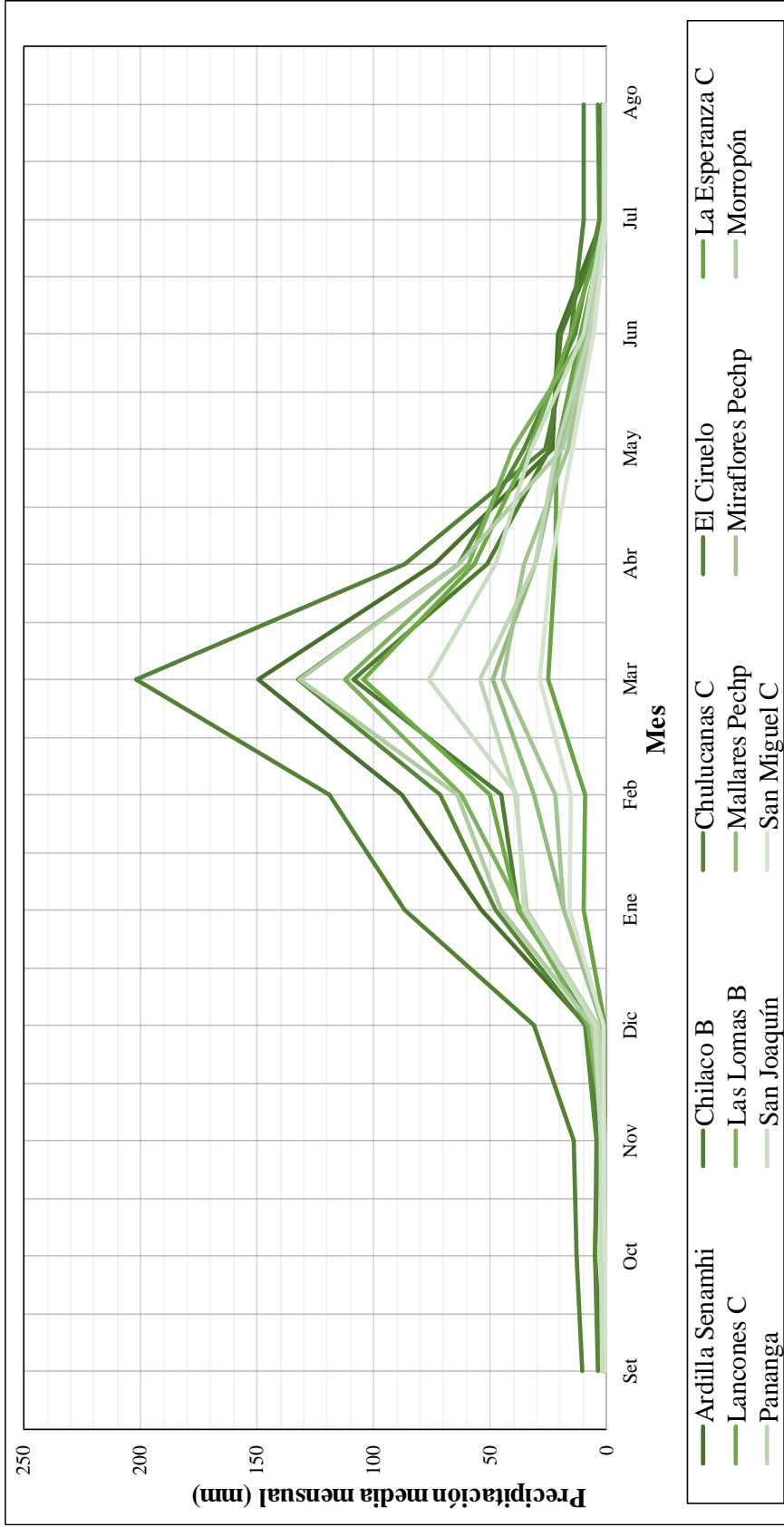
Se generaron dos gráficos de líneas continuas, el primero con el fin de evaluar el comportamiento de las precipitaciones medias mensuales de cada estación, y el segundo para evaluar el comportamiento de las precipitaciones anuales totales de cada estación con el fin de obtener uno o varios posibles PPA en la cuenca, para un posterior análisis de consistencia. Al

analizar ambos gráficos, así como las alturas respectivas de cada estación, se concluyó dividir las 42 estaciones en 2 grupos: zona baja (0 – 500 m.s.n.m.), y zona alta (500 – 4000 m.s.n.m.).

La zona baja se conformó por las estaciones: Ardilla SENAMHI, Chilaco B, Chulucanas C, El Ciruelo, La Esperanza C, Lancones C, Las Lomas B, Mallares PECHP, Miraflores C, Morropón C, Pananga, San Joaquín y San Miguel C y describe precipitaciones medias mensuales cercanas a cero entre los meses de setiembre a diciembre y de julio a agosto (ver **Figura 27**). En el Anexo B 7 se presentan los resultados de precipitación promedio mensual en estaciones de la zona baja, obtenidos luego de aplicar el método de RLM.

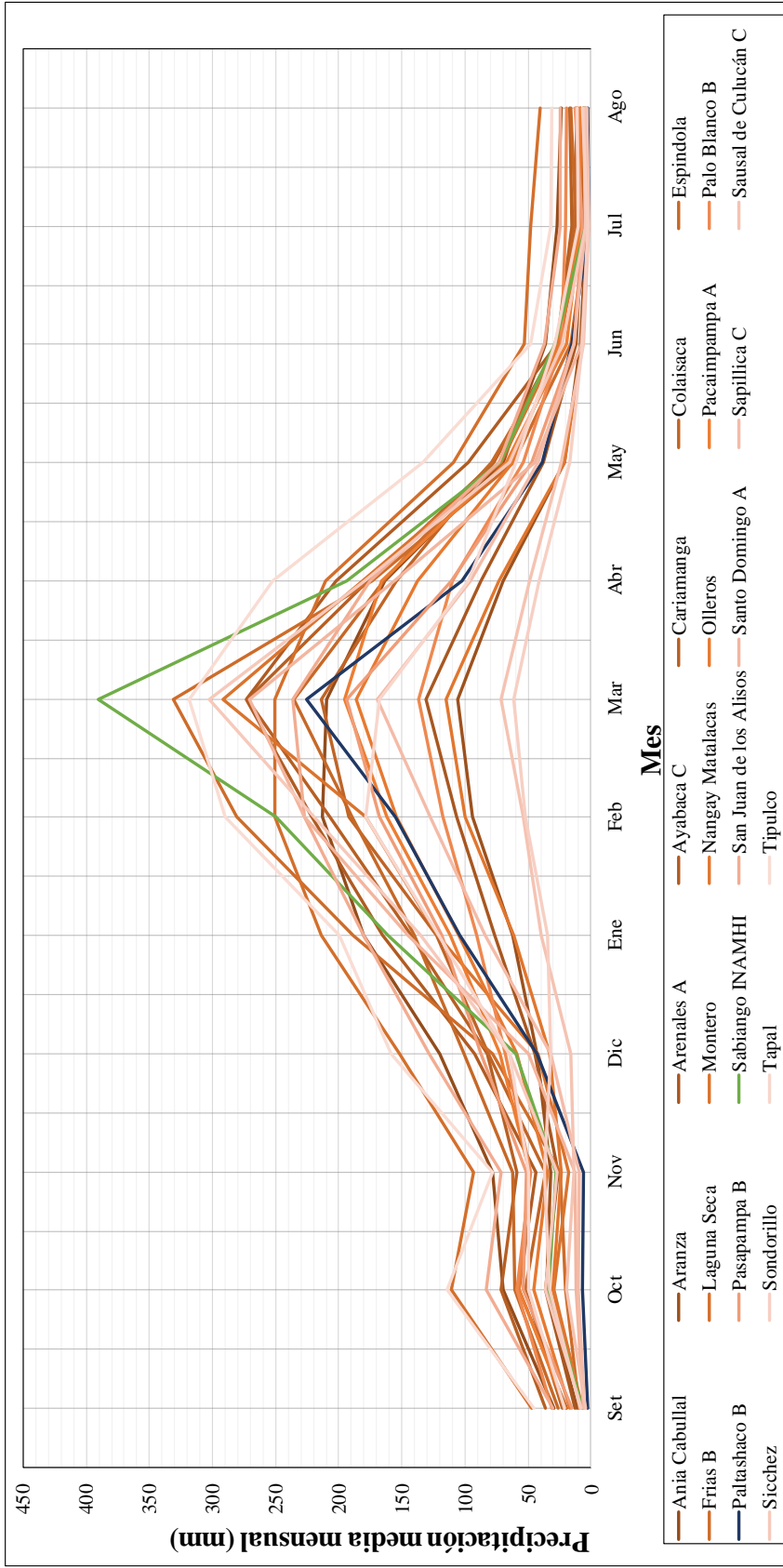
Y la zona alta se conformó por las estaciones: Ania Cabullal, Aranza, Arenales A, Ayabaca C, Cariamanga, Colaisaca, El Ciruelo, Espíndola, Frías B, Laguna Seca, Montero, Nangay Matalacas, Olleros, Pacaipampa A, Palo Blanco B, Paltashaco B, Sabiando Inamhi, San Juan de los Alisos, Santo Domingo A, Sapillica C, Sausal de Culucán, Sicchez, Sondorillo, Tapal y Tipulco, describe precipitaciones medias mensuales cercanas a cero solo entre setiembre, julio y agosto (ver **Figura 28**). En el Anexo B 8 se presentan los resultados de precipitación promedio mensual en estaciones de la zona alta, obtenidos luego de aplicar el método de RLM.





**Figura 27.** Precipitaciones promedio mensuales de estaciones de la zona baja.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 28.** Precipitaciones promedio mensuales de estaciones de la zona alta.

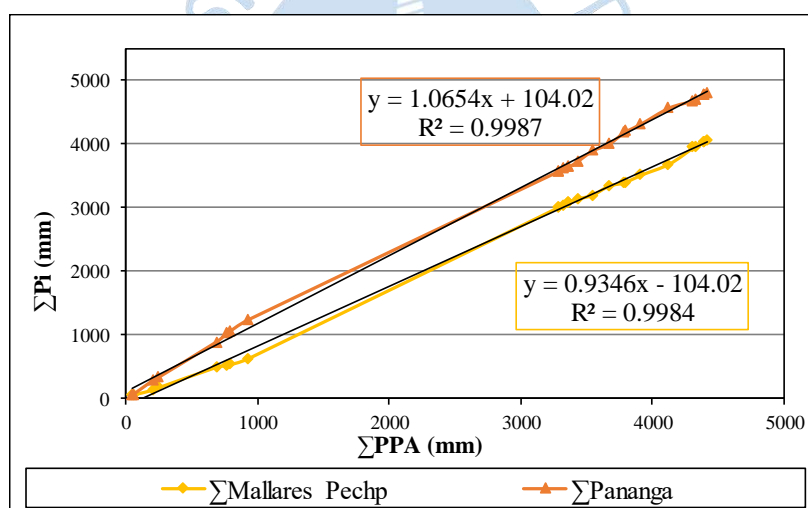
**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2.4 Análisis de consistencia

Una vez realizado el relleno de datos, se evaluó la consistencia de los mismos, para confirmar que la estación ha sido observada de la misma forma, con el mismo criterio y que su instalación no haya sufrido variaciones a lo largo del periodo de estudio establecido. Para el presente análisis, se aplicó el método de la Curva Doble Acumulada (CDA), descrito en el Capítulo 1.

#### 3.2.4.1 Análisis de consistencia de la zona baja

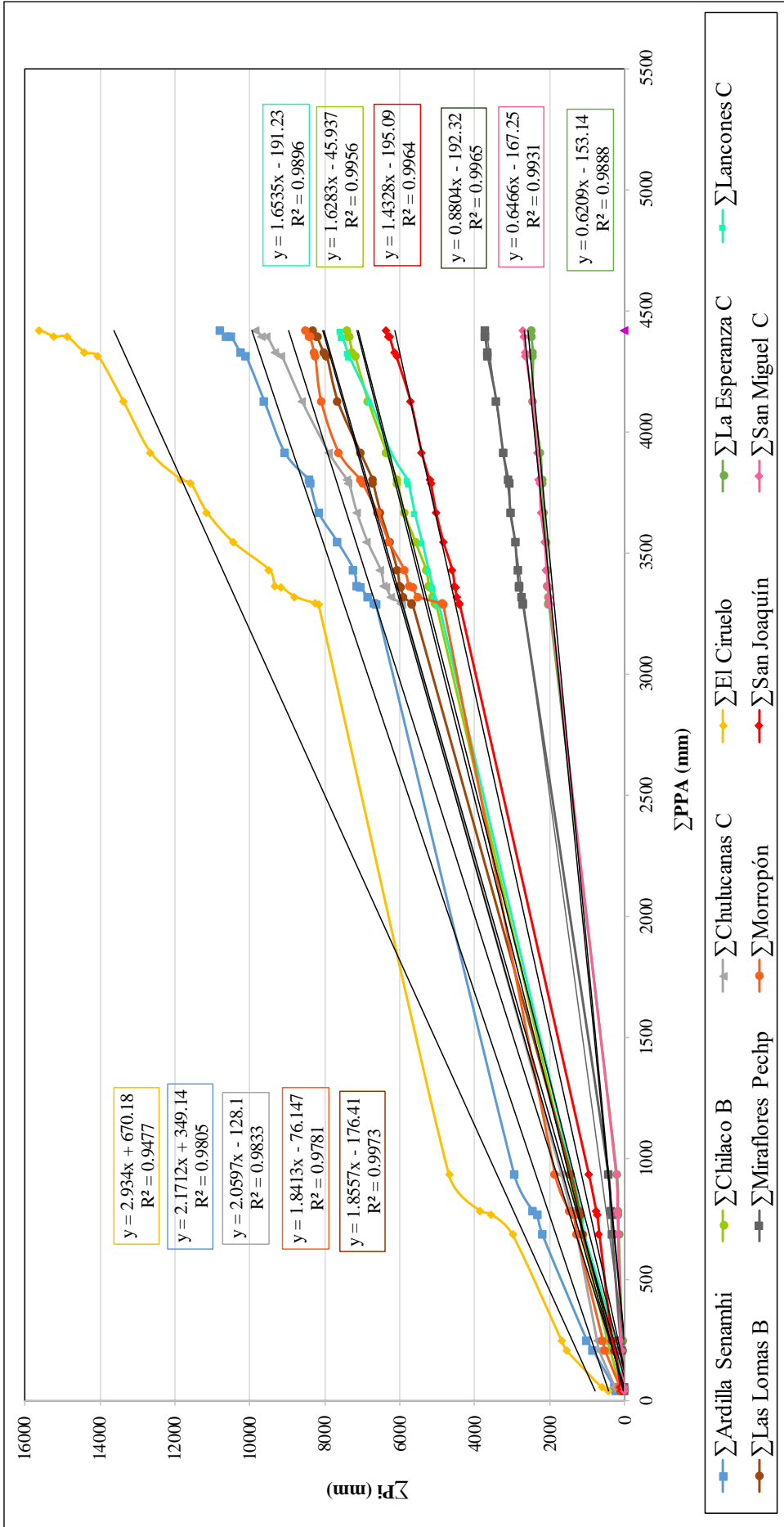
El PPA se conformó por las estaciones “Mallares PECHP” y “Pananga” cuya correlación es aceptable, 0.9984 y 0.9987 respectivamente (ver **Figura 29**).



**Figura 29.** Tendencia de estaciones que conforman el PPA de zona baja en periodo 1966 – 1990.

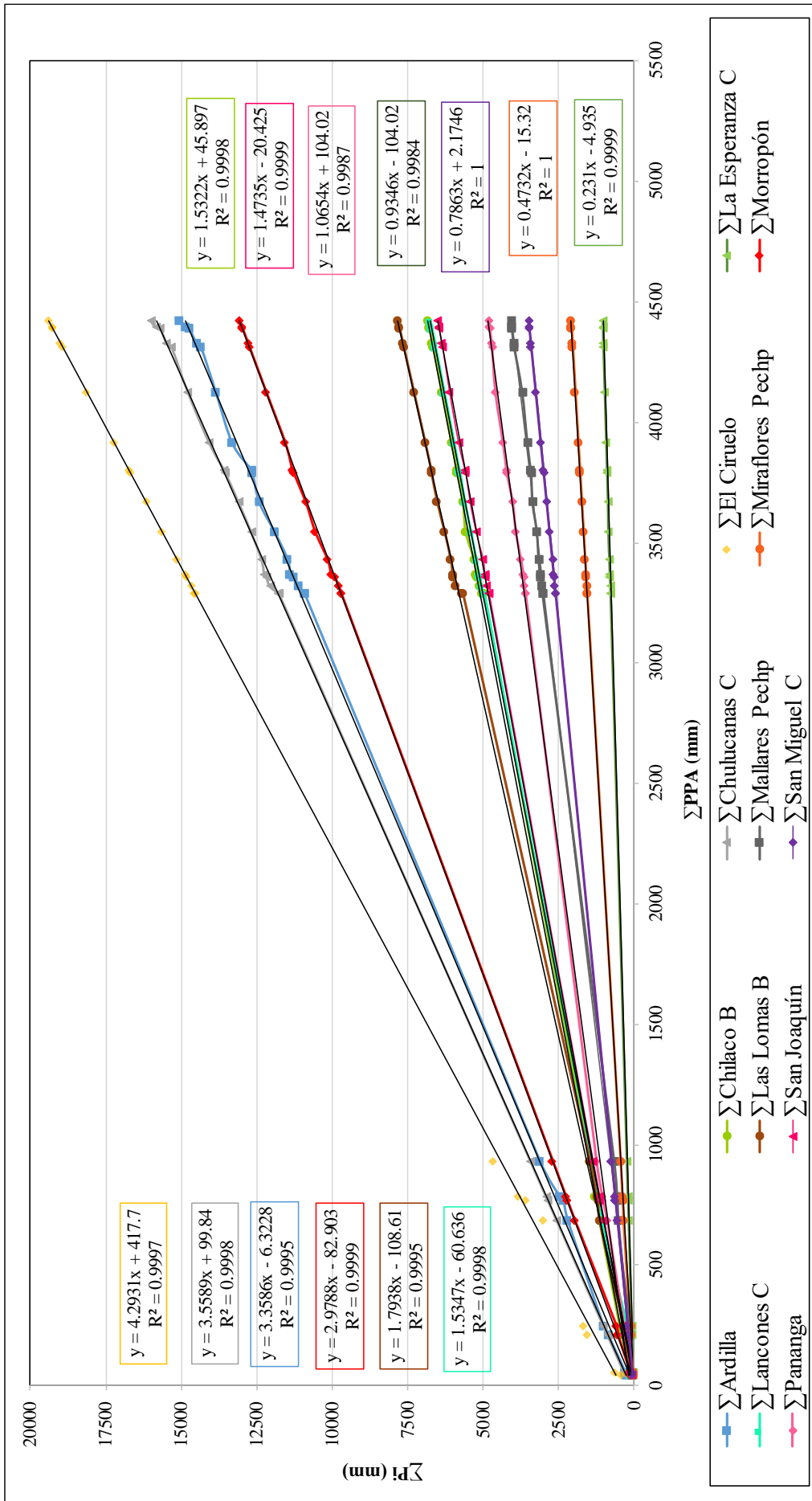
**Fuente:** Elaboración propia.

En base al PPA “Mallares Pechp” y “Pananga”, se analizó la tendencia de las PAA del resto de estaciones de esta zona de estudio, y se realizó el análisis de las CDA. La **Figura 30** y **Figura 31**, muestran las tendencias iniciales y finales de estaciones de la zona baja, respectivamente. Además, en el Anexo 9 se puede observar las precipitaciones acumuladas anuales antes de aplicar la metodología; y en Anexo 10, las precipitaciones luego de aplicar la metodología.



**Figura 30.** Tendencia inicial de las estaciones de la zona baja frente al PPA seleccionado.

Fuente: Elaboración propia

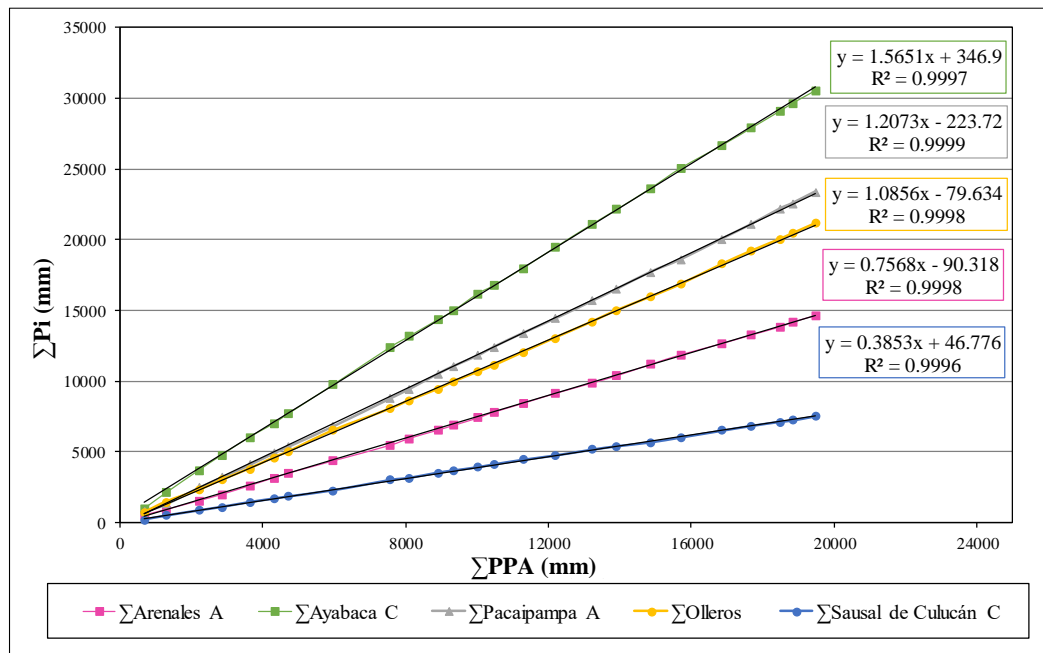


**Figura 31.** Tendencia final de estaciones que conforman la zona baja frente al PPA luego de aplicar el método CDA.

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4.2 Análisis de consistencia de la zona alta

Se seleccionó un PPA conformado por las estaciones “Arenales A”, “Ayabaca C”, “Pacaipampa A”, “Olleros” y “Sausal de Culucán C”, cuya correlación es aceptable 0.9998, 0.9997, 0.9999, 0.9998 y 0.9996, respectivamente (ver **Figura 32**).



**Figura 32.** Tendencia de estaciones que conforman el PPA de zona alta en periodo 1966 – 1990.

**Fuente:** Elaboración propia

Mediante el PPA obtenido se analizó la tendencia del resto de estaciones pertenecientes a la zona alta, y se realizó el análisis de consistencia de la data pluviométrica. La **Figura 33** y **Figura 34** muestran las tendencias iniciales y ajustadas, respectivamente. Además, en el Anexo 11 se puede observar las precipitaciones acumuladas anuales antes de aplicar la metodología; y en Anexo 12, las precipitaciones luego de aplicar la metodología.

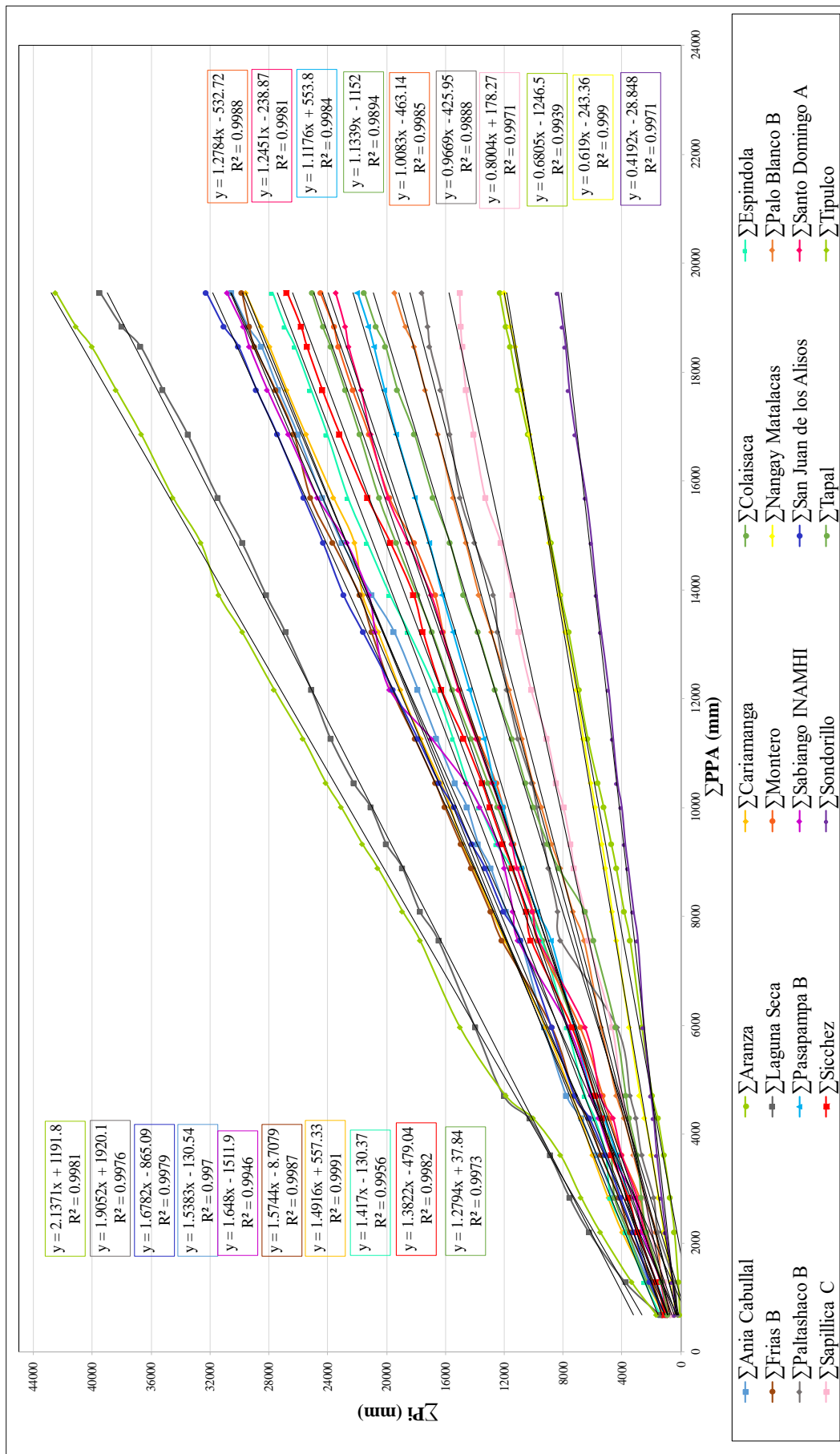
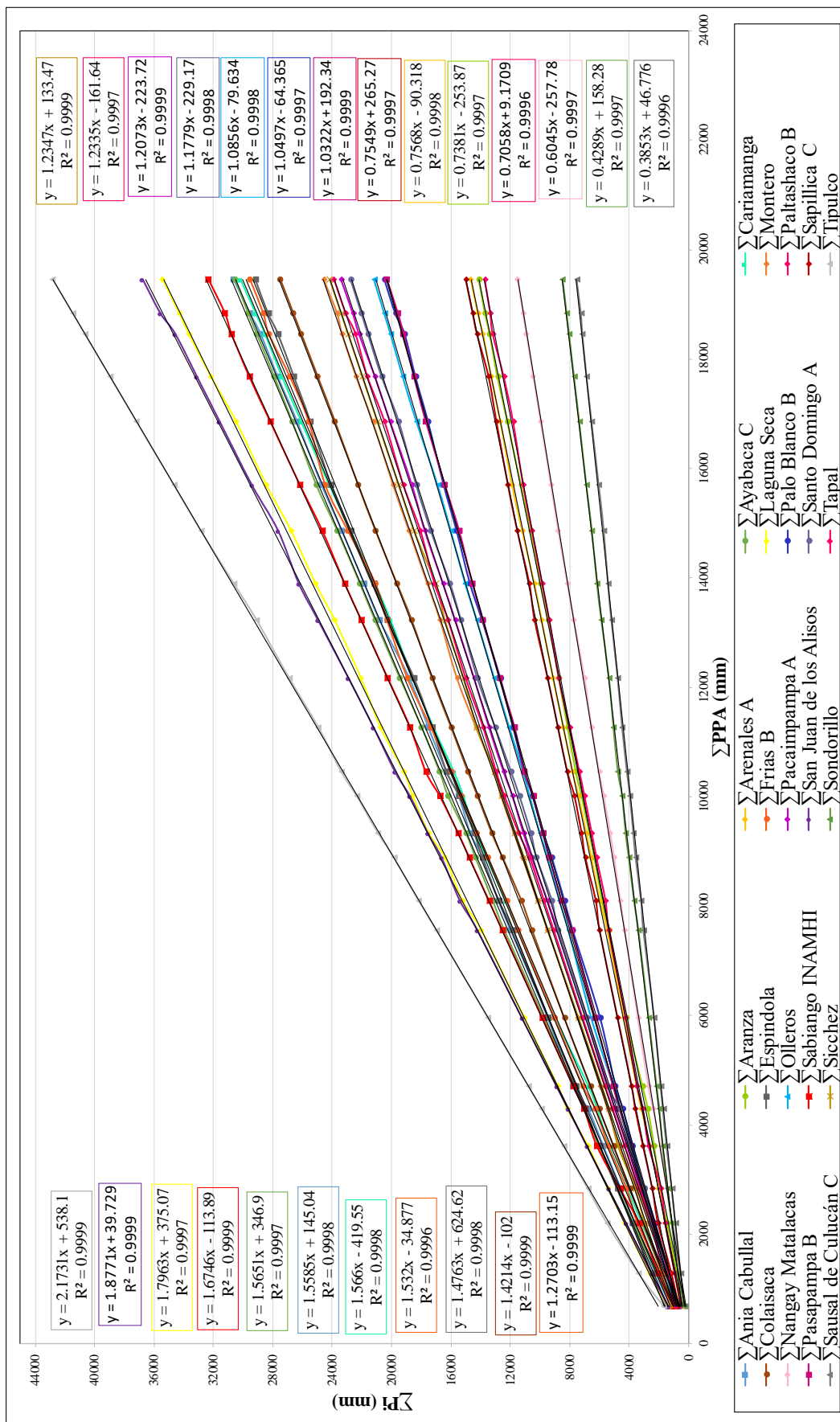


Figura 33. Tendencia inicial de las estaciones de la zona alta frente al PPA seleccionado.

Fuente: Elaboración propia.



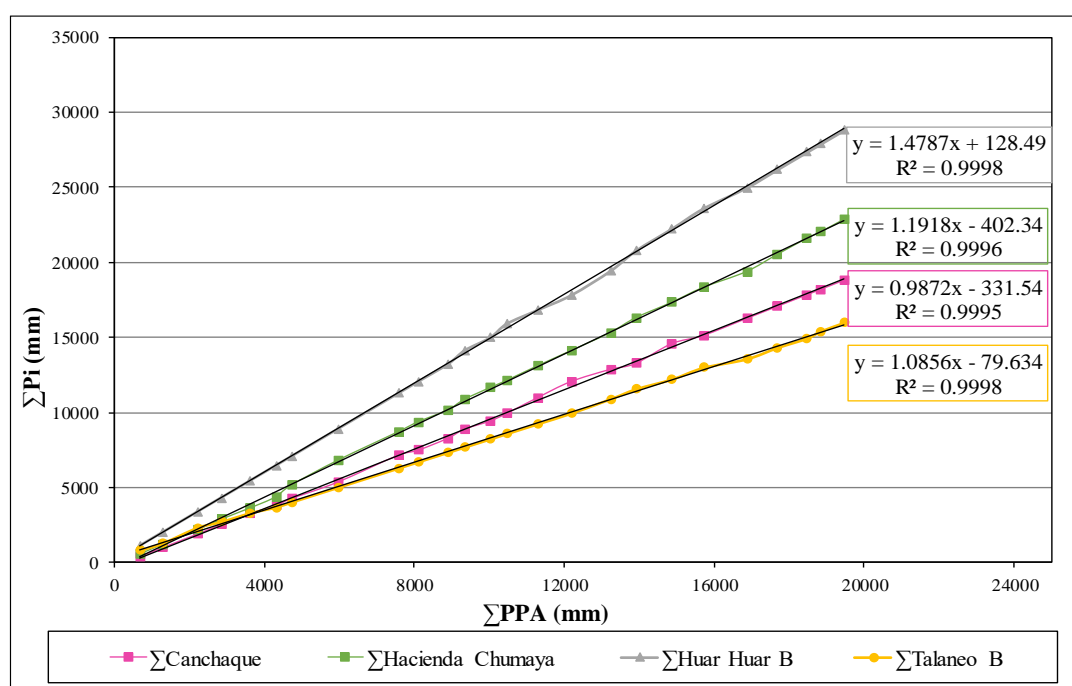
**Figura 34.** Tendencia final de estaciones que conforman la zona alta frente al PPA luego de aplicar el método CDA.

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4.3 Relleno de datos incompletos mediante método de CDA

Los datos faltantes de “Hacienda Chumaya”, “Huar Huar B”, “Canchaque” y “Talaneo B”, se estimaron mediante el método de CDA. En base a su altitud y correlación, se determinó que las estaciones en cuestión pertenecen a la zona alta, por consiguiente, se analizó su tendencia en base al PPA respectivo.

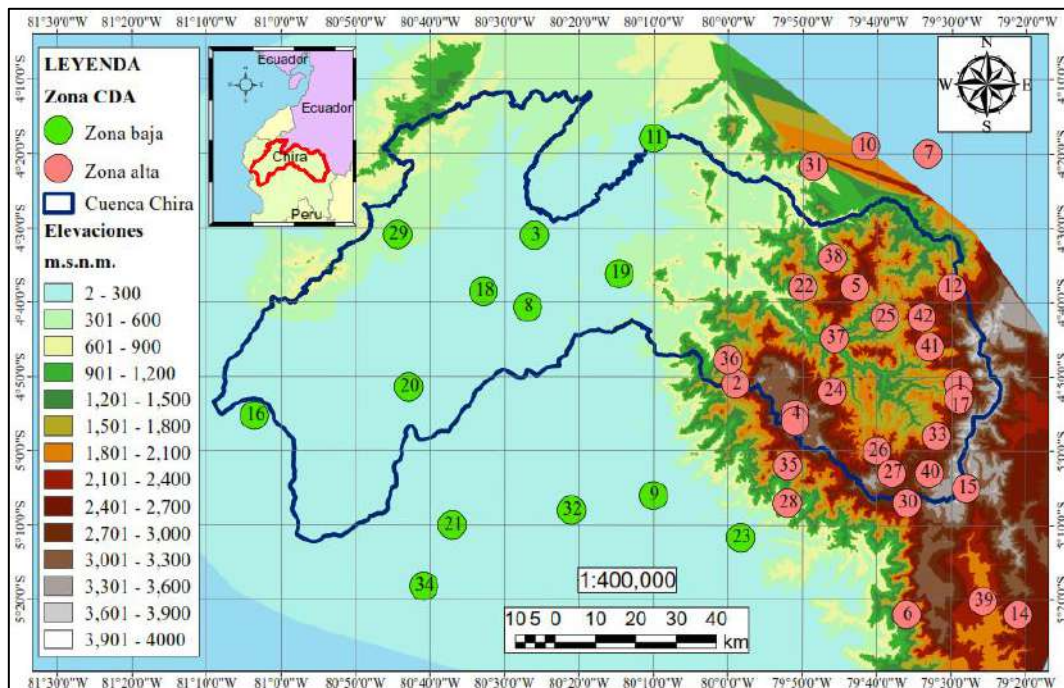
En la **Figura 35** se observa los resultados obtenidos luego a aplicar el análisis de consistencia.



**Figura 35.** Tendencia final de estaciones restantes frente al PPA luego de aplicar el método CDA.

**Fuente:** Elaboración propia

La Figura 36 resume la clasificación por zona de las estaciones analizadas en la cuenca Chira.



**Figura 36.** Mapa de estaciones seleccionadas agrupadas según zonas.

**Fuente:** Elaboración propia.

La Tabla 15 describe la precipitación promedio anual obtenida para cada estación perteneciente a la zona baja, luego de ajustar la data mediante el método CDA para definir la consistencia de las estaciones.

**Tabla 15.** Estaciones pertenecientes a la zona Baja.

Id	Estación	Latitud	Longitud	Altitud	PAM
				m.s.n.m.	(mm)
16	La Esperanza C	04°55'16"	79°45'42"	7	40.6
34	San Miguel C	05°18'14"	79°36'00"	20	138.9
21	Miraflores pechp	05°10'00"	79°59'59"	30	83.1
20	Mallares pechp	04°51'26"	79°39'00"	47	161.8
8	Chilaco B	04°40'41"	79°58'16"	90	272.9
9	Chulucanas C	05°06'01"	80°26'00"	90	639.6
32	San Joaquin	05°08'00"	79°30'00"	100	259.6
23	Morropon C	05°11'41"	79°52'00"	136	522.2
3	Ardilla senamhi	04°31'00"	80°37'00"	150	602.1
18	Lancones C	04°38'34"	79°36'00"	150	269.0
11	El Ciruelo	04°17'57"	79°47'00"	222	775.9
19	Las Lomas B	04°36'12"	79°59'00"	265	312.9
29	Pananga	04°30'56"	79°21'00"	360	191.9

**PAM:** Precipitación anual media

**Fuente:** Elaboración propia

Así mismo, la Tabla 16, detalla la precipitación promedio anual obtenida para cada estación perteneciente a la zona alta.

**Tabla 16.** Estaciones pertenecientes a la zona alta

Id	Estación	Latitud	Longitud	Altitud	PAM
				m.s.n.m.	(mm)
31	Sabiango INAMHI	04°21'40"	79°32'00"	700	1294.2
28	Paltashaco B	05°07'00"	79°25'45"	900	548.2
37	Sausal de Culucan C	04°44'52"	79°34'00"	980	301.5
22	Montero	04°38'00"	79°46'00"	1070	982.1
6	Canchaque	05°22'00"	80°10'00"	1200	752.8
2	Aranza	04°51'00"	80°40'50"	1300	564.5
25	Olleros	04°42'00"	79°33'00"	1360	846.6
36	Sapillica C	04°47'47"	79°29'00"	1406	600.2
38	Sicchez	04°34'00"	79°43'00"	1435	967.1
35	Santo Domingo A	05°02'00"	79°29'00"	1475	910.1
13	Frías B	04°56'00"	80°14'38"	1700	1182.5
41	Tapal	04°46'00"	79°28'00"	1890	955.2
7	Cariamanga	04°20'00"	80°21'00"	1950	1207.6
26	Pacaipampa A	04°60'00"	79°33'16"	1960	935.5
39	Sondorillo	05°20'12"	79°38'01"	1960	339.1
14	Hacienda chumaya	05°22'00"	79°48'37"	2000	914.9
24	Nangay	04°52'00"	79°51'00"	2100	461.2
33	San Juan de los Alisos	04°58'00"	79°41'35"	2150	1471.5
12	Espindola	04°38'00"	80°10'01"	2300	1167.3
10	Colaisaca	04°19'00"	80°32'50"	2410	1100.8
30	Pasapampa B	05°07'00"	79°46'00"	2410	813.6
1	Ania-Cabullal	04°51'00"	81°03'35"	2450	1226.8
17	Laguna Seca	04°53'00"	79°50'00"	2450	1417.5
42	Tipulco	04°42'00"	79°33'00"	2600	1713.7
5	Ayabaca C	04°38'00"	80°26'55"	2709	1221.7
27	Palo Blanco B	05°03'01"	79°40'00"	2736	818.9
4	Arenales A	04°55'00"	80°42'53"	3010	586.6
15	Huar Huar A	05°05'00"	79°52'00"	3150	1153.4
40	Talaneo B	05°03'00"	79°51'00"	3430	640.0

**PAM:** Precipitación anual media

**Fuente:** Elaboración propia

En la Tabla 17, se describen las precipitaciones promedio mensuales obtenidas.

**Tabla 17.** Resultados finales de precipitaciones promedio mensuales, ajustados mediante CDA.

ID	Estación	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	Ania-Cabullal	29.5	69.9	79.9	121.8	185.3	208.4	211.0	162.4	71.2	37.6	26.3	23.5
2	Aranza	13.7	40.4	36.7	53.7	72.2	104.6	118.0	82.1	25.1	10.1	4.3	5.9
3	Ardilla senamhi	2.2	5.7	4.5	12.3	84.9	102.2	191.8	110.9	42.1	41.4	2.1	2.1
4	Arenales A	12.9	36.2	26.5	44.6	76.6	107.0	130.5	87.2	37.7	11.7	6.9	9.0
5	Ayabaca C	19.3	57.2	43.9	92.6	165.6	221.6	273.3	201.8	97.6	26.7	10.1	12.0
6	Canchaque	3.9	13.9	12.9	43.7	107.8	178.7	227.9	110.3	25.1	8.3	2.4	3.3
7	Cariamanga	37.3	72.8	60.0	90.7	142.4	206.6	267.1	178.7	86.2	29.7	16.8	19.5
8	Chilaco B	0.4	1.5	1.1	4.6	33.6	40.3	95.8	52.5	23.5	18.9	0.3	0.3

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 17.** Resultados finales de precipitaciones promedio mensuales, ajustados mediante CDA (continuación).

ID	Estación	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
9	Chulucanas C	4.0	6.1	5.4	14.9	84.4	112.6	193.5	122.0	65.0	23.9	3.6	4.1
10	Colaisaca	24.9	60.6	42.7	109.0	132.8	201.6	226.6	159.2	79.2	29.4	20.8	14.0
11	El Ciruelo	6.6	8.6	12.7	54.4	137.9	133.3	219.3	129.7	43.8	16.9	7.1	5.6
12	Espindola	25.1	65.7	64.8	113.6	149.3	193.8	248.1	169.8	85.1	23.3	12.1	16.4
13	Frías B	9.9	20.4	23.5	75.9	187.4	285.6	328.5	170.7	56.0	14.7	3.9	6.0
14	Hacienda chumaya	53.3	67.8	64.6	81.3	82.8	95.2	114.7	96.7	69.7	75.7	58.1	55.1
15	Huar Huar A	45.1	69.0	47.6	77.9	144.6	164.5	175.3	112.5	84.1	89.6	59.6	59.4
16	La Esperanza C	0.3	0.9	0.3	0.6	3.9	6.2	10.4	7.5	6.7	3.5	0.1	0.4
17	Laguna Seca	40.2	94.8	85.4	141.9	191.5	230.1	226.9	188.9	92.4	47.5	42.9	35.1
18	Lancones C	0.0	1.0	0.5	3.4	32.0	45.4	83.4	55.4	32.5	15.1	0.2	0.0
19	Las Lomas B	0.4	2.0	1.2	7.0	34.2	59.1	101.3	58.3	39.9	9.0	0.2	0.2
20	Mallares pechp	0.3	1.1	0.6	1.6	18.1	31.1	48.8	30.8	19.3	9.5	0.2	0.3
21	Miraflores pechp	0.1	0.7	0.9	0.9	9.8	14.7	25.7	18.0	8.1	4.1	0.1	0.1
22	Montero	7.6	30.9	18.8	40.2	123.0	189.7	277.3	186.9	71.7	24.8	5.1	6.2
23	Morropon C	0.9	2.5	0.5	12.5	79.2	82.4	164.4	128.0	38.6	11.6	0.8	0.9
24	Nangay	7.8	28.5	22.7	31.5	59.8	95.8	108.9	71.4	20.8	6.7	2.8	4.4
25	Olleros	17.3	45.9	34.2	59.2	104.9	154.5	185.8	137.7	62.0	25.2	9.5	10.5
26	Pacaipampa A	20.0	57.3	48.5	72.0	111.2	162.2	195.5	165.7	67.0	19.2	8.3	8.6
27	Palo Blanco B	32.9	60.5	51.2	75.6	97.4	119.6	146.0	114.8	55.6	25.1	20.7	19.6
28	Paltashaco B	2.2	6.9	5.3	27.8	76.5	128.1	192.3	77.7	20.5	7.0	1.6	2.2
29	Pananga	0.1	0.7	0.8	3.7	34.1	39.3	54.5	30.3	21.1	7.2	0.1	0.0
30	Pasapampa B	22.9	68.6	70.2	129.6	156.2	191.5	270.6	127.7	66.0	20.6	9.7	11.0
31	Sabiango INAMHI	8.7	35.8	27.3	60.5	152.9	277.6	407.8	211.7	74.2	26.8	4.3	6.7
32	San Joaquin	1.6	2.3	1.9	4.8	36.9	43.8	76.4	48.0	32.0	9.6	1.1	1.2
33	San Juan de los Alisos	34.0	93.4	81.3	152.9	204.6	257.4	272.0	198.3	84.1	41.3	26.4	25.9
34	San Miguel C	0.3	1.4	2.2	2.3	20.7	29.4	33.8	27.0	15.9	5.8	0.0	0.2
35	Santo Domingo A	6.0	13.2	13.2	46.4	146.7	226.5	257.8	147.2	39.8	7.4	2.2	3.7
36	Sapillica C	5.9	17.7	8.9	30.6	85.3	122.8	164.7	93.7	45.2	13.8	5.0	6.4
37	Sausal de Culucan C	4.1	19.4	13.4	16.5	39.9	53.5	71.1	48.5	23.4	6.4	1.8	3.4
38	Sicchez	6.6	32.5	24.1	57.5	121.4	201.9	268.6	166.6	58.3	20.4	3.8	5.3
39	Sondorillo	8.9	33.8	35.0	33.8	35.5	53.4	61.9	44.2	16.2	6.8	2.9	6.8
40	Talaneo B	30.8	54.0	39.5	63.4	74.4	77.3	96.7	66.9	39.9	39.6	32.6	24.7
41	Tapal	25.5	54.7	51.8	74.1	133.7	190.0	181.7	112.4	73.0	31.4	13.2	13.7
42	Tipulco	43.8	114.3	81.7	150.0	199.7	291.5	327.0	255.4	134.3	51.5	33.8	30.6

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2.5 Deducción de la precipitación media para cada subcuenca

Se determinó la precipitación media anual y mensual de cada subcuenca, mediante el método de las isoyetas, descrito en el Capítulo 1.

Debido a que el objetivo de este capítulo radica en determinar el patrón de lluvias en la cuenca Chira, el mismo que se ha visto afectado durante las últimas décadas por el cambio climático, generando la acentuación y recurrencia de fenómenos extremos que han tenido fuertes impactos en la región (Berrú, Gómez, & Torres, 2008), como El Niño Global y El Niño Costero; se evaluó el comportamiento y distribución de lluvias bajo tres escenarios distintos, permitiendo evaluar en qué medida estos fenómenos afectan la homogeneidad hidrológica de las regiones determinadas.

- **Con fenómenos (CF):** Se determinó el mapa de isoyetas en función al registro pluviométrico, considerando todos los años hidrológicos del periodo seleccionado (1966 – 1990).
- **Sin fenómenos (SF):** Por el contrario, para este escenario se determinó el mapa de isoyetas en función al registro pluviométrico del periodo seleccionado, sin considerar los años en los que se registró la presencia de El Niño Global y El Niño Costero. De acuerdo al Capítulo 1, entre 1966 y 1990 ocurrieron 3 Niños Globales: 1972/1973, 1982/1983 y 1986/1987, de intensidad moderada, extraordinaria y moderada respectivamente, y un Niño Costero: 1971/1972 de fuerte intensidad.
- **Sólo fenómenos (SLF):** Por último, para este escenario se trabajó solamente con el registro pluviométrico de los años en los que se produjo El Niño Costero y El Niño Global.

#### 3.2.5.1 Primer escenario: Con fenómenos (CF)

Las máximas precipitaciones a nivel general de cuenca se generan en la cuenca Macará (1388), durante marzo en la U.H. C61, durante febrero en la U.H C63, durante abril en la U.H. C64 y durante enero en la U.H. C66, y las mínimas en la cuenca Bajo Chira (1381), por lo general en la U.H C4 durante julio, agosto y setiembre. Tal cual se describe en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Precipitaciones medias anuales y medias mensuales en la cuenca Chira en un escenario CF.

Cód.	ID	PA	P9	P10	P11	P12	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
1381	13811	C1	62.7	1.0	2.5	2.5	2.5	11.2	16.7	23.1	14.5	12.8	7.6	1.0	1.0	
	13812	C2	137.9	1.0	2.5	2.5	2.5	15.8	23.8	33.8	19.6	16.4	9.0	1.0	1.0	
	13813	C3	77.2	1.0	2.5	2.5	2.5	11.7	15.8	27.3	15.0	12.5	8.4	1.0	1.0	
	13814	C4	56.0	1.0	2.5	2.5	2.5	8.2	15.3	22.1	15.6	12.5	7.3	1.0	1.0	
	13815	C5	150.0	1.0	2.5	2.5	2.5	14.7	24.3	35.8	24.5	16.8	9.1	1.0	1.0	
	13816	C6	169.7	1.0	2.5	2.5	2.8	26.5	34.2	53.5	30.6	20.9	11.8	1.0	1.0	
	13817	C7	177.1	1.0	2.5	2.5	2.5	21.9	32.6	58.3	35.6	22.4	12.0	1.0	1.0	
	13818	C8	453.8	4.4	12.2	9.9	22.4	62.1	91.8	135.0	77.6	38.5	15.5	2.8	3.4	
	13819	C9	334.5	1.0	2.5	2.5	5.8	43.5	56.4	108.1	64.4	31.4	17.9	1.0	1.0	
	1381	C10	225.0	1.9	5.0	4.4	7.9	31.1	44.9	69.8	41.2	23.9	11.9	1.5	1.6	
	1382	13821	C11	541.0	1.0	3.7	2.5	12.0	71.5	83.7	158.3	98.7	36.7	21.7	1.0	1.0
		13822	C12	309.5	1.0	2.5	2.5	7.1	46.3	55.7	95.5	57.2	28.6	16.1	1.0	1.0
		13823	C13	463.2	1.0	2.5	2.5	9.9	63.7	75.4	140.8	87.3	32.6	20.4	1.0	1.0
		13824	C14	356.9	1.0	2.5	2.5	9.8	55.7	62.6	105.7	62.0	29.0	16.3	1.0	1.0
		13825	C15	484.8	1.1	2.5	2.5	12.9	68.6	78.5	140.0	85.3	33.7	19.3	1.1	1.0
		13826	C16	444.8	1.7	2.5	2.5	15.9	70.4	76.5	129.2	76.1	31.7	17.4	1.2	1.0
		13827	C17	550.0	3.0	2.5	4.3	19.6	83.5	91.9	160.6	96.3	37.5	20.8	2.8	1.8
		13828	C18	629.5	4.1	7.2	7.9	31.2	101.0	106.2	179.6	106.8	39.9	21.0	3.8	3.0
		13829	C19	538.0	3.1	5.0	7.0	23.9	87.1	93.6	157.1	92.0	35.8	18.8	2.9	2.5
		1382	C20	455.6	1.9	3.4	3.8	16.1	70.5	78.0	133.4	79.3	32.9	18.1	1.7	1.5
	1383	13831	C21	548.4	1.0	4.5	2.5	12.5	71.1	86.0	162.7	100.1	37.5	22.1	1.0	1.0
		13832	C22	555.0	1.5	7.5	2.5	12.5	77.5	95.0	172.1	105.0	37.5	23.0	1.0	1.0
		13833	C23	550.0	2.1	7.2	2.5	12.5	77.0	93.7	173.4	105.0	37.5	23.0	1.0	1.0
		13834	C24	496.3	1.0	2.6	2.5	12.5	66.8	82.8	153.5	91.9	37.5	21.1	1.1	1.0
		13835	C25	550.0	3.0	7.5	2.5	13.8	78.5	95.0	174.9	105.0	37.5	23.0	1.6	1.0
		13836	C26	550.0	1.0	2.7	2.5	12.5	72.2	85.4	161.9	97.6	37.5	21.3	1.0	1.0
		13837	C27	550.0	2.2	4.5	2.5	13.3	76.4	91.1	168.6	102.5	37.5	22.1	2.5	1.0
		13838	C28	550.0	2.2	2.5	2.5	15.5	75.1	89.3	164.0	99.6	37.5	21.2	3.0	1.0
		13839	C29	550.0	3.0	4.3	2.5	17.4	77.5	95.0	174.8	105.0	37.5	22.7	3.0	1.0
		1383	C30	535.1	1.6	4.4	2.5	13.0	72.7	88.3	163.9	99.3	37.5	22.0	1.4	1.0
1384	13841	C31	550.0	3.0	7.4	2.5	17.1	82.1	95.0	175.0	105.0	37.5	23.0	2.8	1.0	
	13842	C32	603.9	3.4	5.9	6.0	25.2	93.5	101.5	176.8	106.9	39.0	21.2	3.1	2.4	
	1384	C33	601.5	3.4	6.0	5.9	24.8	93.0	101.2	176.7	106.8	38.9	21.3	3.1	2.4	
1385	13851	C34	550.0	2.6	2.5	2.5	17.0	76.0	90.9	166.1	99.8	37.5	21.0	3.0	1.4	
	13853	C35	544.8	2.6	2.5	2.5	16.8	76.1	91.3	164.5	99.5	37.9	21.0	3.0	2.5	
	13854	C36	471.1	2.0	2.5	3.7	16.9	67.2	86.2	150.3	85.4	41.1	19.3	2.9	2.5	
	13855	C37	550.0	3.0	2.5	7.3	22.2	82.9	95.0	171.8	101.8	42.5	21.0	3.0	3.0	
	13856	C38	550.0	3.0	2.5	7.5	22.5	84.3	97.9	172.9	100.1	42.5	20.5	3.0	3.0	
	13859	C39	550.0	3.0	4.6	7.5	25.4	88.4	105.0	175.3	105.0	42.5	21.0	3.0	3.0	
1385	C40	490.7	2.2	2.6	4.1	17.8	70.7	88.4	155.2	89.3	41.0	19.7	2.9	2.6		

**PA:** Precipitaciones medias anuales

**P9, P10, P11, P12, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8:** Precipitaciones medias mensuales, el número corresponde al mes.

**Elaboración:** propia

**Tabla 18.** Precipitaciones medias anuales y medias mensuales en la cuenca Chira en un escenario CF (continuación).

Cód.	ID	PA	P9	P10	P11	P12	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
1386	13861	C41	601.1	3.3	7.4	8.3	28.2	87.5	116.2	186.8	106.7	45.9	19.3	3.5	3.4
	13862	C42	896.1	5.3	19.4	16.1	41.2	114.2	176.8	263.1	159.8	58.0	19.5	5.3	5.5
	13863	C43	648.5	6.8	22.7	17.5	36.0	89.4	135.2	186.7	115.5	49.4	17.1	5.0	6.1
	13864	C44	993.6	17.9	52.2	38.9	72.9	125.3	168.3	218.3	159.9	72.8	24.9	10.9	11.8
	13865	C45	786.6	18.5	48.1	39.3	65.5	108.3	156.5	178.1	121.5	66.5	25.2	12.4	12.6
	13866	C46	785.4	15.5	40.8	35.7	59.8	103.9	150.5	177.8	127.1	48.6	19.3	10.7	10.4
	13867	C47	615.9	15.9	39.4	37.3	57.2	95.4	137.8	150.4	94.0	57.3	23.6	12.4	12.1
	13868	C48	1150.7	29.7	69.1	64.9	105.5	158.1	209.1	221.8	154.6	83.0	33.8	21.1	20.6
	13869	C49	1084.0	30.1	70.3	61.2	101.8	145.2	180.4	197.8	145.6	69.0	35.9	24.6	23.3
	1386	C50	848.6	16.3	41.7	35.8	64.0	115.0	158.5	197.1	131.6	59.7	24.7	12.5	12.4
1387	13871	C51	650.0	3.0	4.1	7.5	27.5	95.1	105.0	185.0	105.1	42.5	21.0	3.0	3.0
	13873	C52	650.0	3.0	6.4	7.5	27.5	97.5	105.2	185.0	105.8	42.5	21.0	3.0	3.0
	13874	C53	751.0	2.8	9.6	11.1	40.1	113.3	140.9	225.2	129.4	49.3	21.0	5.0	4.7
	13875	C54	650.0	2.5	7.5	7.5	35.6	106.7	118.4	199.2	115.0	44.5	21.0	5.0	3.2
	13876	C55	719.1	5.0	7.5	10.2	40.8	116.4	129.1	212.3	122.6	47.5	21.0	5.0	5.0
	13877	C56	743.9	5.0	7.5	11.6	41.9	98.6	127.1	212.1	124.4	47.5	21.0	5.0	5.0
	13878	C57	797.5	4.1	10.2	12.5	48.3	127.5	146.4	234.1	135.3	49.8	21.0	5.5	5.0
	13879	C58	759.3	2.5	8.0	12.5	50.3	130.8	137.6	224.2	128.9	47.5	21.0	5.4	5.0
	1387	C59	751.5	3.0	9.3	11.2	41.6	116.2	139.1	223.8	128.9	48.9	21.0	5.0	4.7
	1388	13881	C60	955.9	6.1	18.7	17.4	49.3	127.6	187.2	282.7	164.6	58.6	21.2	6.6
13883		C61	1075.3	7.3	28.3	22.7	54.5	133.0	218.1	314.3	185.6	65.8	23.0	7.0	7.1
13884		C62	1046.8	10.4	37.2	28.4	62.8	132.5	207.7	281.5	182.0	70.4	23.7	8.0	8.5
13885		C63	1195.4	21.0	56.9	44.5	89.1	146.6	218.6	282.5	188.7	81.2	27.1	12.1	12.8
13886		C64	1301.2	27.2	73.3	57.4	105.8	155.4	217.7	267.3	197.6	88.4	29.6	15.5	16.5
13887		C65	1250.0	29.0	67.5	62.4	110.5	155.2	215.0	265.0	185.0	87.8	30.5	16.5	17.9
13888		C66	1249.4	30.2	72.2	68.1	117.4	162.9	217.2	256.6	178.8	91.5	32.6	19.2	20.1
1388		C67	1131.2	16.9	47.3	38.8	79.0	142.1	208.8	278.9	182.2	75.4	25.9	11.1	11.6

PA: Precipitaciones medias anuales

P9, P10, P11, P12, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8: Precipitaciones medias mensuales, el número corresponde al mes.

Elaboración: propia.

Mensualmente, se registran las máximas precipitaciones en las U.H. de las cuencas Macará (1388) y Quiroz (1386): durante septiembre – enero y mayo en C66, C65, C64, C48 y C49, durante febrero en C63, C61, C64, C48 y C49, durante marzo en C61, C60, C63, C42 y C48 y además en algunas U.H. de la cuenca Medio Alto Chira (1387), durante abril en C64, C63, C61, C44 y C42 y durante junio – agosto en C49, C48, C66, C65 y C64. En contraste, las mínimas precipitaciones se registran en las UH de Bajo Chira (1381) y La Solana (1382) durante septiembre – agosto, por lo general en C4, C1, C3 y C12.

Evaluando los resultados anuales, se concluye que las U.H. de las cuencas Macará (1388) y Quiroz (1386) registran las máximas precipitaciones, en C64, C65, C66 y C48; mientras que

las mínimas se registran en las U.H. de las subcuencas Bajo Chira (1381) y La Solana (1382), en C4, C1, C3 y C12.

### 3.2.5.2 Segundo escenario: Sin fenómenos (SF)

En el segundo escenario, se registran las máximas precipitaciones en la cuenca Macará (1388) durante marzo, en C61, durante febrero y abril en C64 y durante enero en C66; y las mínimas, en varias U.H de la cuenca Bajo Chira (1381) durante julio, agosto y setiembre. Tal como se observa en la Tabla 19.

**Tabla 19.** Precipitaciones medias anuales y medias mensuales en la cuenca Chira en un escenario SF.

Cód.	ID	PA	P9	P10	P11	P12	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
1381	13811	C1	50.0	1.0	2.5	2.5	2.5	2.6	7.7	9.7	5.0	2.5	1.5	1.0	1.0	
	13812	C2	50.0	1.0	2.5	2.5	2.5	2.8	14.8	15.0	5.0	2.5	1.5	1.0	1.0	
	13813	C3	50.0	1.0	2.5	2.5	2.5	2.5	9.1	14.5	5.0	2.5	1.5	1.0	1.0	
	13814	C4	50.0	1.0	2.5	2.5	2.5	2.5	5.8	7.1	5.0	2.5	1.5	1.0	1.0	
	13815	C5	50.0	1.0	2.5	2.5	2.5	2.5	15.0	15.0	5.0	2.5	1.5	1.0	1.0	
	13816	C6	50.0	1.0	2.5	2.5	2.5	5.5	18.3	25.3	5.0	2.5	1.5	1.0	1.0	
	13817	C7	50.0	1.0	2.5	2.5	2.5	2.6	16.2	26.2	5.3	2.5	1.5	1.0	1.0	
	13818	C8	334.2	4.3	12.3	8.9	15.8	40.3	72.6	96.3	50.1	19.9	5.9	2.3	3.2	
	13819	C9	115.2	1.0	2.5	2.5	2.5	7.5	32.1	53.0	13.7	4.4	1.5	1.0	1.0	
	1381	C10	128.7	1.8	5.0	4.1	5.9	13.2	29.7	40.6	17.4	7.1	2.6	1.3	1.6	
	1382	13821	C11	219.1	1.4	2.5	2.5	2.5	16.5	56.3	82.5	25.0	7.5	1.0	1.0	1.0
		13822	C12	121.7	1.0	2.5	2.5	2.5	10.1	33.1	47.6	13.4	3.2	1.0	1.0	1.0
		13823	C13	150.0	1.0	2.5	2.5	2.5	12.9	49.6	73.0	21.9	7.5	1.0	1.0	1.0
		13824	C14	149.9	1.0	2.5	2.5	2.5	12.7	40.0	54.1	15.0	2.7	1.0	1.0	1.0
		13825	C15	160.4	1.3	2.5	2.5	2.5	15.5	50.3	72.0	19.2	3.9	1.0	1.0	1.0
		13826	C16	150.0	1.7	2.5	2.5	2.5	17.0	49.2	66.5	15.0	2.5	1.0	1.0	1.0
		13827	C17	227.3	3.0	2.5	2.5	2.5	15.0	55.6	82.4	23.6	2.5	1.0	1.0	1.4
		13828	C18	250.0	4.1	5.5	2.5	6.4	24.4	67.3	92.7	25.0	6.0	4.4	2.6	3.0
		13829	C19	224.2	3.1	3.1	2.5	4.1	20.8	59.9	81.6	21.6	3.0	3.3	1.3	2.2
		1382	C20	174.4	1.9	2.9	2.7	3.1	16.4	49.5	68.5	18.0	3.4	2.1	1.2	1.4
	1383	13831	C21	221.5	1.5	2.5	2.5	2.5	16.0	57.1	84.5	25.0	7.5	1.5	1.0	1.0
		13832	C22	250.0	3.0	2.5	2.5	2.5	17.5	65.0	89.4	25.0	7.5	1.5	1.0	1.0
		13833	C23	250.0	2.9	2.5	2.5	2.5	17.5	63.3	89.3	25.0	7.5	1.5	1.0	1.0
		13834	C24	163.4	1.1	2.5	2.5	2.5	13.2	48.0	76.5	76.5	7.5	1.5	1.0	1.0
		13835	C25	250.0	3.0	2.5	2.5	2.5	17.5	63.9	85.0	25.0	7.5	1.5	1.0	1.0
		13836	C26	194.4	2.0	2.5	2.5	2.5	15.6	54.6	82.2	25.0	7.5	1.5	1.0	1.0
		13837	C27	233.6	3.0	2.5	2.5	2.5	17.3	57.5	84.6	25.0	7.5	1.5	1.0	1.0
		13838	C28	208.7	2.8	2.5	2.5	2.5	16.5	54.3	82.9	25.0	7.5	1.5	1.0	1.0
		13839	C29	250.0	3.0	2.5	2.5	2.5	17.5	55.4	85.0	25.0	7.5	1.5	1.0	1.0
		1383	C30	211.7	2.1	2.5	2.5	2.5	15.8	55.9	83.1	24.9	7.5	1.5	1.0	1.0

**PA:** Precipitaciones medias anuales

**P9, P10, P11, P12, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8:** Precipitaciones medias mensuales, el número corresponde al mes.

**Elaboración:** propia.

**Tabla 19.** Precipitaciones medias anuales y medias mensuales en la cuenca Chira en un escenario SF (continuación).

Cód.	ID	PA	P9	P10	P11	P12	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
1384	13841	C31	250.0	3.0	2.5	2.5	2.5	17.5	64.6	85.0	25.0	7.5	1.5	1.0	1.0
	13842	C32	250.3	3.4	3.7	3.3	4.5	21.2	64.0	89.8	25.0	5.7	3.3	2.0	2.3
	1384	C33	250.3	3.4	3.6	3.3	4.4	21.0	64.0	89.6	25.0	5.8	3.3	1.9	2.3
1385	13851	C34	205.9	3.0	2.5	2.5	2.5	16.5	54.5	82.6	25.0	7.5	1.5	1.0	1.3
	13853	C35	202.6	2.8	2.5	2.5	2.5	16.2	52.5	81.5	25.0	7.5	1.5	1.0	2.5
	13854	C36	167.9	2.2	2.5	2.5	3.6	14.9	43.9	72.8	22.6	7.7	2.7	1.4	2.5
	13855	C37	250.0	3.0	2.5	2.5	2.5	17.5	55.0	85.0	25.0	7.5	4.3	2.8	3.0
	13856	C38	250.0	3.0	2.5	2.5	4.4	18.4	55.0	85.0	25.0	7.5	4.5	3.0	3.0
	13859	C39	250.0	3.0	2.5	2.5	6.8	21.2	55.0	85.0	25.0	7.5	4.5	3.0	3.0
1386	1385	C40	183.9	2.4	2.5	2.5	3.6	15.6	46.6	75.6	23.2	7.7	2.8	1.6	2.6
	13861	C41	329.5	3.4	7.7	5.7	9.5	35.3	78.3	118.1	48.6	17.2	6.4	3.0	3.4
	13862	C42	752.3	5.7	21.7	13.7	23.2	86.9	171.2	236.2	131.9	46.1	14.7	4.7	5.5
	13863	C43	568.5	7.0	24.6	15.8	24.5	68.8	122.5	155.8	99.1	39.2	12.8	4.1	5.8
	13864	C44	927.6	17.7	50.7	34.2	57.9	115.0	184.3	201.9	151.9	66.7	23.3	9.8	11.5
	13865	C45	744.0	18.1	45.1	35.1	53.0	91.6	149.9	152.2	115.2	50.0	23.7	11.2	12.3
	13866	C46	737.9	15.7	41.4	30.9	46.7	94.8	156.0	168.5	118.6	42.8	15.7	9.9	10.6
	13867	C47	588.0	15.8	38.2	33.4	44.8	76.4	122.2	118.6	86.5	35.2	20.6	11.6	11.9
	13868	C48	1081.1	28.4	64.8	58.2	87.8	145.6	211.8	208.1	146.4	69.1	36.4	19.5	20.3
	13869	C49	1018.8	28.0	68.0	53.6	85.0	134.9	182.8	184.5	134.7	60.8	37.4	22.8	23.5
1387	1386	C50	757.4	15.7	41.2	31.5	49.1	96.0	151.8	170.7	114.4	47.8	22.0	11.3	12.4
	13871	C51	250.0	3.0	2.5	2.5	7.5	22.5	65.0	95.0	25.0	7.5	4.5	3.0	3.0
	13873	C52	250.0	3.0	2.5	2.5	7.5	22.5	65.0	95.0	25.0	7.5	4.5	3.0	3.0
	13874	C53	417.0	4.6	9.7	7.4	11.5	45.7	103.1	150.8	59.4	19.3	8.3	4.0	4.6
	13875	C54	250.0	4.2	7.2	5.9	7.5	28.0	72.7	106.4	31.7	8.2	4.5	3.0	3.0
	13876	C55	326.0	5.0	7.5	7.5	7.5	34.3	81.6	120.5	37.0	11.6	7.1	3.6	4.3
	13877	C56	320.0	5.0	7.5	7.5	7.5	32.3	79.7	114.9	35.0	9.1	7.0	3.4	4.6
	13878	C57	415.2	5.5	9.9	7.5	12.5	45.4	103.3	148.1	52.1	16.8	8.7	5.0	5.0
	13879	C58	350.0	5.4	7.5	7.5	10.2	36.5	87.7	122.6	36.8	9.9	7.5	5.0	5.0
	1387	C59	396.4	4.8	9.2	7.3	11.1	43.1	98.7	143.7	53.5	17.1	8.0	4.1	4.5
1388	13881	C60	741.1	6.6	20.5	13.4	22.8	83.7	173.6	244.2	121.3	40.6	14.1	5.1	6.0
	13883	C61	958.4	7.7	30.3	18.1	33.8	112.0	222.6	300.4	168.5	55.9	19.4	6.8	7.1
	13884	C62	968.1	10.6	38.3	24.7	44.4	117.5	211.0	259.0	166.2	61.4	21.1	7.0	8.5
	13885	C63	1108.5	19.4	55.3	36.6	66.8	133.3	224.6	263.8	176.7	74.0	25.2	10.7	12.4
	13886	C64	1207.1	26.0	69.7	49.4	86.1	146.1	229.2	254.4	199.3	87.7	29.1	13.8	16.2
	13887	C65	1150.0	27.0	67.5	52.5	88.2	140.0	209.4	239.9	174.9	82.5	28.5	15.2	17.3
	13888	C66	1162.7	29.1	69.7	60.5	96.7	147.6	210.1	226.0	169.0	83.5	32.4	17.9	20.0
	1388	C67	1010.5	16.4	46.7	32.6	57.0	121.1	209.0	255.0	162.6	66.2	22.9	9.8	11.4

**PA:** Precipitaciones medias anuales

**P9, P10, P11, P12, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8:** Precipitaciones medias mensuales, el número corresponde al mes.

**Elaboración:** propia.

Mensualmente, se registran las máximas precipitaciones en las U.H. de las cuencas Macará (1388) y Quiroz (1386): durante septiembre – enero y mayo en C66, C65, C64, C48 y C49, durante febrero en C64, C63, C61, C48 y C44, durante marzo en C61, C62, C63, C48 y C44, durante abril en C64, C63, C65, C44 y C48 y durante junio – agosto en C49, C48, C66 y

C65. En contraste, las mínimas precipitaciones se registran en las U.H. de la cuenca Bajo Chira (1381) durante septiembre – agosto, por lo general en C4, C1, C3.

Evaluando los resultados anuales, se concluye que las U.H. de las cuencas Macará (1388) y Quiroz (1386) registran las máximas precipitaciones, en C64, C66, C65 y C48; mientras que las mínimas se registran en las U.H. de las cuencas Bajo Chira (1381).

### 3.2.5.3 Tercer escenario: Sólo fenómenos (SLF)

El último escenario y el más crítico describe perfectamente la alteración del patrón de lluvia con la incidencia del Niño Global y Niño Costero, con mayor repercusión en estaciones de la zona baja, al noroeste de la cuenca Chira. Las máximas precipitaciones a nivel general de cuenca se registran durante enero - abril en C58, y las mínimas durante julio, agosto y setiembre, en las U.H. de la cuenca Bajo Chira (1381). La Tabla 20 describe los resultados obtenidos para este escenario.

**Tabla 20.** Precipitaciones medias anuales y medias mensuales en la cuenca Chira en un escenario SLF.

Cód.	ID	PA	P9	P10	P11	P12	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
1381	13811	C1	476.7	1.5	2.5	2.5	7.5	60.4	99.4	105.8	86.0	84.4	25.4	1.0	1.0
	13812	C2	611.2	1.5	2.5	2.5	7.5	84.4	107.9	134.1	123.9	109.8	34.0	1.0	1.0
	13813	C3	423.3	1.5	2.5	2.5	7.5	40.3	82.5	88.0	98.5	94.7	34.9	1.0	1.0
	13814	C4	417.7	1.5	2.5	2.5	7.5	40.4	86.7	99.6	105.5	87.5	27.7	1.0	1.0
	13815	C5	561.2	1.5	2.5	2.5	7.5	70.6	95.6	130.9	125.2	108.1	41.8	1.0	1.0
	13816	C6	828.5	1.5	2.5	2.6	13.4	129.0	130.5	193.3	164.9	130.8	49.1	1.0	1.0
	13817	C7	843.6	1.5	2.5	2.5	8.7	109.5	121.8	217.0	187.3	119.5	62.6	1.0	1.0
	13818	C8	1192.8	5.1	15.3	17.4	54.1	157.6	177.8	323.7	216.1	130.7	54.8	5.1	3.7
	13819	C9	1455.9	1.5	3.5	3.9	26.5	227.9	183.3	396.1	328.9	174.3	126.7	1.5	1.0
	138	1381	C10	855.7	2.4	5.9	6.5	22.4	117.2	133.8	218.0	173.0	119.0	52.1	2.1
1382	13821	C11	2065.2	1.5	6.3	9.3	54.5	388.6	226.3	588.1	501.6	209.5	213.3	3.0	1.0
	13822	C12	1339.4	1.5	2.5	4.7	32.6	237.9	167.8	344.2	287.3	157.1	103.7	1.1	1.0
	13823	C13	1873.5	1.5	2.5	7.5	47.2	343.4	210.5	521.6	448.2	193.4	183.8	3.0	1.0
	13824	C14	1422.1	1.5	2.5	8.2	51.8	276.8	172.1	404.1	293.7	149.3	105.6	2.8	1.0
	13825	C15	1870.1	1.5	3.9	10.3	63.6	361.9	206.3	507.6	426.8	182.5	165.3	3.0	1.0
	13826	C16	1472.6	1.5	3.5	13.8	83.8	336.5	189.8	426.3	339.1	147.8	117.3	3.6	1.3
	13827	C17	2137.3	1.5	7.5	21.7	102.0	439.4	234.4	578.2	486.3	188.8	165.0	4.8	2.7
	13828	C18	2346.8	4.2	10.4	27.1	160.9	505.4	251.7	603.6	521.2	181.0	133.9	7.8	4.1
	13829	C19	1960.1	2.5	7.7	20.8	123.6	417.4	219.1	512.0	417.9	156.2	124.7	5.6	3.0
	1382	C20	1740.1	1.9	4.8	13.6	82.6	350.9	199.6	456.6	376.4	161.8	126.8	3.8	1.8

**PA:** Precipitaciones medias anuales

**P9, P10, P11, P12, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8:** Precipitaciones medias mensuales, el número corresponde al mes.

**Elaboración:** propia.

**Tabla 20.** Precipitaciones medias anuales y medias mensuales en la cuenca Chira en un escenario SLF (continuación).

Cód.	ID	PA	P9	P10	P11	P12	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
138	1383	13831 C21	2115.8	1.5	7.5	8.1	52.5	383.9	232.5	603.4	501.8	219.8	217.6	3.0	1.0
		13832 C22	2300.0	1.5	7.5	12.5	61.5	423.6	232.5	640.9	525.0	220.5	231.9	3.0	1.0
		13833 C23	2277.6	1.5	7.5	12.3	64.0	423.3	234.3	643.7	525.0	224.3	227.7	3.0	1.0
		13834 C24	2235.1	1.5	7.5	8.5	58.0	354.8	232.7	571.3	465.6	222.9	179.0	3.0	1.0
		13835 C25	2300.0	1.5	7.5	12.5	67.5	431.6	247.4	647.5	525.0	225.0	217.3	3.0	1.0
		13836 C26	2110.8	1.5	7.5	11.9	67.0	387.6	232.7	602.8	500.2	225.0	198.8	3.0	1.0
		13837 C27	2228.1	1.5	7.5	12.5	68.3	412.9	246.8	647.5	520.0	225.0	206.0	3.0	1.0
		13838 C28	2193.7	1.5	7.5	12.5	71.0	400.5	246.7	610.4	512.2	225.0	191.1	3.0	1.8
		13839 C29	2300.0	1.5	7.5	12.5	77.2	429.0	247.5	647.5	525.0	225.0	208.7	3.0	1.4
	1383 C30	2161.1	1.5	7.5	10.6	62.0	392.4	236.3	609.2	501.1	223.1	204.6	3.0	1.1	
	1384	13841 C31	2300.0	1.5	7.5	12.5	78.8	437.5	247.1	647.5	525.0	225.0	215.9	3.0	1.3
		13842 C32	2345.7	3.1	8.5	21.2	129.4	487.3	249.8	626.0	536.6	199.0	163.5	6.0	2.9
		1384 C33	2343.7	3.1	8.5	20.8	127.2	485.1	249.7	627.0	536.1	200.2	165.8	5.9	2.8
	1385	13851 C34	2215.2	1.5	7.5	12.5	79.7	407.0	247.5	615.4	511.5	225.0	184.4	4.5	3.0
		13853 C35	2218.9	1.5	7.5	12.6	82.6	405.3	247.5	606.3	507.4	225.0	174.2	4.7	3.0
		13854 C36	1975.8	1.8	7.5	12.4	81.2	328.1	244.6	535.1	422.9	225.0	114.7	4.9	2.9
		13855 C37	2300.0	1.5	7.5	17.5	107.7	431.5	262.5	614.6	524.3	225.0	151.4	5.0	3.0
		13856 C38	2282.8	4.4	7.5	17.5	118.0	425.3	252.5	605.4	507.1	228.1	128.0	6.9	3.0
		13859 C39	2300.0	4.5	7.5	20.7	128.1	462.0	252.5	634.9	525.0	226.0	136.6	7.0	3.0
	1385 C40	2048.1	2.0	7.5	13.3	86.4	351.7	247.6	554.4	445.7	222.9	124.5	5.1	3.0	
	1386	13861 C41	2011.3	4.5	13.1	22.2	125.2	353.2	252.9	538.3	417.0	203.3	72.2	8.0	4.1
		13862 C42	1648.8	6.4	23.1	32.0	131.3	269.9	213.3	480.3	321.8	134.0	48.8	11.5	6.4
		13863 C43	1143.3	7.3	25.8	29.7	91.3	165.1	166.0	316.6	208.5	93.0	29.8	10.1	6.7
		13864 C44	1324.4	18.9	58.3	63.9	152.1	188.4	160.0	307.3	207.2	127.0	34.4	18.2	13.3
		13865 C45	1153.2	21.1	62.8	65.3	126.7	142.0	151.1	242.0	141.9	107.5	23.4	19.3	14.7
		13866 C46	1048.3	16.6	46.0	62.6	125.7	151.2	153.2	247.7	186.6	73.8	15.2	16.0	10.0
		13867 C47	1007.5	19.9	57.9	62.6	113.9	111.6	148.1	206.4	111.5	75.8	7.7	18.5	14.0
		13868 C48	1573.6	36.6	89.1	99.6	195.9	212.2	184.4	310.4	185.2	149.4	26.7	28.8	21.1
		13869 C49	1406.1	40.5	83.4	97.7	192.4	206.5	172.8	268.3	207.0	111.0	33.6	33.0	21.2
		1386 C50	1361.1	20.1	50.3	59.3	139.7	201.9	178.1	323.2	222.4	116.3	33.8	18.8	12.5
	1387	13871 C51	2500.0	4.5	11.5	22.5	144.7	489.8	275.4	647.5	565.3	225.0	132.6	7.3	3.2
		13873 C52	2500.0	4.5	12.5	22.5	153.5	491.2	277.5	647.5	566.7	225.0	124.8	8.6	4.7
		13874 C53	2385.0	6.4	16.3	34.2	186.9	475.8	276.2	625.0	508.4	204.0	72.1	11.3	5.6
13875 C54		2513.7	4.5	12.5	29.7	182.3	530.6	279.8	668.2	575.0	225.0	103.8	9.7	5.0	
13876 C55		2663.3	6.7	14.1	34.6	210.7	560.3	292.5	681.4	575.0	222.3	85.5	11.6	5.5	
13877 C56		2700.0	7.4	12.5	35.9	159.4	583.1	292.5	683.4	599.4	225.0	88.2	11.6	5.3	
13878 C57		2649.5	7.5	17.5	42.0	235.1	572.0	292.5	675.6	577.9	207.6	69.3	13.0	7.0	
13879 C58		2884.6	7.5	17.5	42.5	257.9	638.7	306.8	717.1	625.0	220.4	74.5	13.1	7.0	
1387 C59		2482.8	6.6	16.1	35.5	199.4	509.3	281.8	644.5	535.1	208.1	75.2	11.5	5.9	
1388	13881 C60	2048.7	7.3	24.5	42.3	183.0	373.5	250.5	561.1	404.5	154.8	54.6	13.1	7.0	
	13883 C61	1651.6	8.5	31.9	46.7	145.0	250.3	210.1	475.9	299.4	113.3	43.7	14.5	8.8	
	13884 C62	1483.8	11.8	39.7	48.5	157.8	214.7	181.3	416.6	272.9	111.2	33.8	15.1	9.5	
	13885 C63	1677.2	28.1	62.7	86.3	207.1	224.8	181.8	388.9	267.5	134.4	35.4	19.6	14.8	
	13886 C64	1689.0	32.2	81.1	96.3	215.4	237.9	177.5	381.7	256.9	149.3	42.2	23.6	17.6	
	13887 C65	1700.0	40.0	86.0	109.6	227.5	213.8	178.9	389.0	275.0	130.7	26.4	24.5	19.2	
	13888 C66	1700.0	37.7	91.7	105.4	231.2	225.3	191.4	388.5	275.0	132.4	64.5	26.8	22.0	
	1388 C67	1741.1	21.0	54.2	71.1	194.9	263.5	200.3	439.7	297.7	137.0	40.5	18.4	12.7	

PA: Precipitaciones medias anuales

P9, P10, P11, P12, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8: Precipitaciones medias mensuales, el número corresponde al mes.

Elaboración: propia.

A nivel mensual, las máximas precipitaciones durante setiembre – noviembre y julio – agosto se registran en las U.H. de las cuencas Macará (1388) y Quiroz (1386), en C65, C66, C48 y C49; durante diciembre, en Medio Alto Chira (1387) y Macará (1388) en la C66, C65, C58 y C57. Durante el periodo enero - abril en Medio Alto Chira (1387), en Alamor (1384) y en Medio Chira (1385) la C58, C56, C31, C32, C39 y C38. Durante el mes de mayo se registran las máximas precipitaciones en varias U.H de Medio Chira (1385) y Medio Bajo Chira (1383), finalmente durante junio, en U.H. Medio Bajo Chira (1383) y Alamor (1384) en C22, C23 y C31.

En contraste durante el periodo septiembre – diciembre y julio - agosto, se registran las mínimas precipitaciones en Bajo Chira (1381) y Medio Bajo Chira (1383), durante enero - junio en Bajo Chira (1381) y Quiroz (1386).

Evaluando los resultados anuales, se concluye que las U.H. de las subcuencas Medio Alto Chira (1387) y Alamor (1384) registran las máximas precipitaciones de la cuenca, en C58, C56, C55, C32 y C31; mientras que las U.H. de las subcuencas Bajo Chira (1381) y Quiroz (1386) registran las mínimas en C4, C3 y C1.

### **3.3 Análisis clúster**

Entre los métodos de agrupación de elementos en base a ciertas variables de estudio, se encuentra el análisis clúster, detallado en el Capítulo 1.

En el presente trabajo se buscó agrupar elementos definidos por las subcuencas U.H. Nivel 5 pertenecientes a la cuenca Chira, en función a un conjunto de variables que influyen en gran medida en su comportamiento hidrológico, dadas por los 15 parámetros fisiográficos de las subcuencas y por sus respectivas precipitaciones medias mensuales y anuales. Las variables se obtuvieron previamente, mediante el análisis geomorfológico y pluviométrico.

Se analizó la agrupación de las subcuencas de manera mensual y anual, en los 3 escenarios descritos anteriormente, es decir se realizó 39 análisis clúster correspondientes a 3 análisis anuales y 36 análisis mensuales, con el objetivo de determinar alguna alteración en la conformación de estas agrupaciones.

### **3.3.1 Matriz de estudio**

Se evaluaron los grupos generados para cada muestra de 59 elementos en función a 16 variables, es decir, se evaluó una matriz de estudio de 59x16, mensual y anual en los 3 escenarios descritos, generando un total de 39 matrices de estudio (resultados o análisis clúster). Ver ejemplo en Anexo C 1.

### **3.3.2 Elección de la metodología y técnica clúster**

Bajo la hipótesis de que se desconoce un número posible de grupos hidrológicamente semejantes en la cuenca, se seleccionó evaluar los distintos escenarios, aplicando alguno de los métodos jerárquicos aglomerativos.

De los 7 métodos jerárquicos aglomerativos con los que cuenta el paquete de datos estadísticos del software SPSS, para determinar la distancia entre grupos, se seleccionó trabajar con el método de los promedios o enlace entre grupos, en base a los altos índices cofenéticos, obtenidos para un estudio similar, realizado para la cuenca Piura por Chávez et. al (2016).

Chávez et. al (2016), además compararon los resultados considerando variables estandarizadas y sin estandarizar, concluyendo que el segundo caso proyecta mejores coeficientes cofenéticos, a pesar de que la estandarización de variables sea recomendable para evitar errores por la diferencia de unidades. Por consiguiente, para el presente estudio se consideró trabajar con variables no estandarizadas.

### **3.3.3 Elección de las medidas de asociación**

Como medida de asociación entre elementos, se seleccionó la distancia Euclideana por ser un método de distancia aplicada con frecuencia para esta clase de análisis (Gong & Richman, 1995).

### **3.3.4 Aplicación del método**

Para cada análisis clúster se generó un dendrograma, donde se observa la agrupación progresiva de los clústeres, y un gráfico “distancias vs pasos” que describe las distancias a las

que se genera un nuevo clúster por cada paso, como herramienta de apoyo para escoger un número apropiado de clústeres. Se seleccionó el número de clústeres obtenidos hasta el paso que describa un salto brusco o una pendiente elevada en el gráfico, deteniendo finalmente el proceso.

En los gráficos mencionados, se observa detalladamente la manera en la que las 59 U.H. se agruparon progresivamente en 58 pasos hasta obtener un único clúster final. En la mayoría de escenarios, como lo describe la Figura 37, se observó que a partir del paso 53, cuando los elementos se agrupan hasta en 6 clústeres, existe una pendiente elevada; sin embargo para el escenario CF anual como se observa en la Figura 38, la pendiente varía notablemente a partir del paso 52, cuando los elementos se agrupan hasta en 7 clústeres.

Para determinar una solución óptima, a partir del escenario CF anual, se evaluó la agrupación de los elementos en 7, 6, 5 y 4 clústeres, que según el gráfico “distancias vs pasos” es cuando se generan las máximas pendientes. Para ello se trazan 4 líneas horizontales imaginarias en el dendrograma del escenario CF anual tal como se indica en la Figura 39, con el fin de determinar las distancias a las cuales se debe cortar el dendrograma para obtener 7, 6, 5 y 4 grupos, resultando 7.5, 8.5, 9.5, 10.5 respectivamente. Estas distancias se emplean en los escenarios restantes para seleccionar clústeres adecuados y comparables en un mismo mes o año, tal como se observa en la Figura 40.

Finalmente, se selecciona la opción 2 como adecuada, ya que a una distancia de 8.5, se obtienen 6 clústeres en la mayoría de los dendrogramas de los escenarios estudiados y en la mayoría de gráficos “distancias vs pasos” existe un salto brusco y una pendiente elevada, además los grupos generados se componen por más de un elemento.

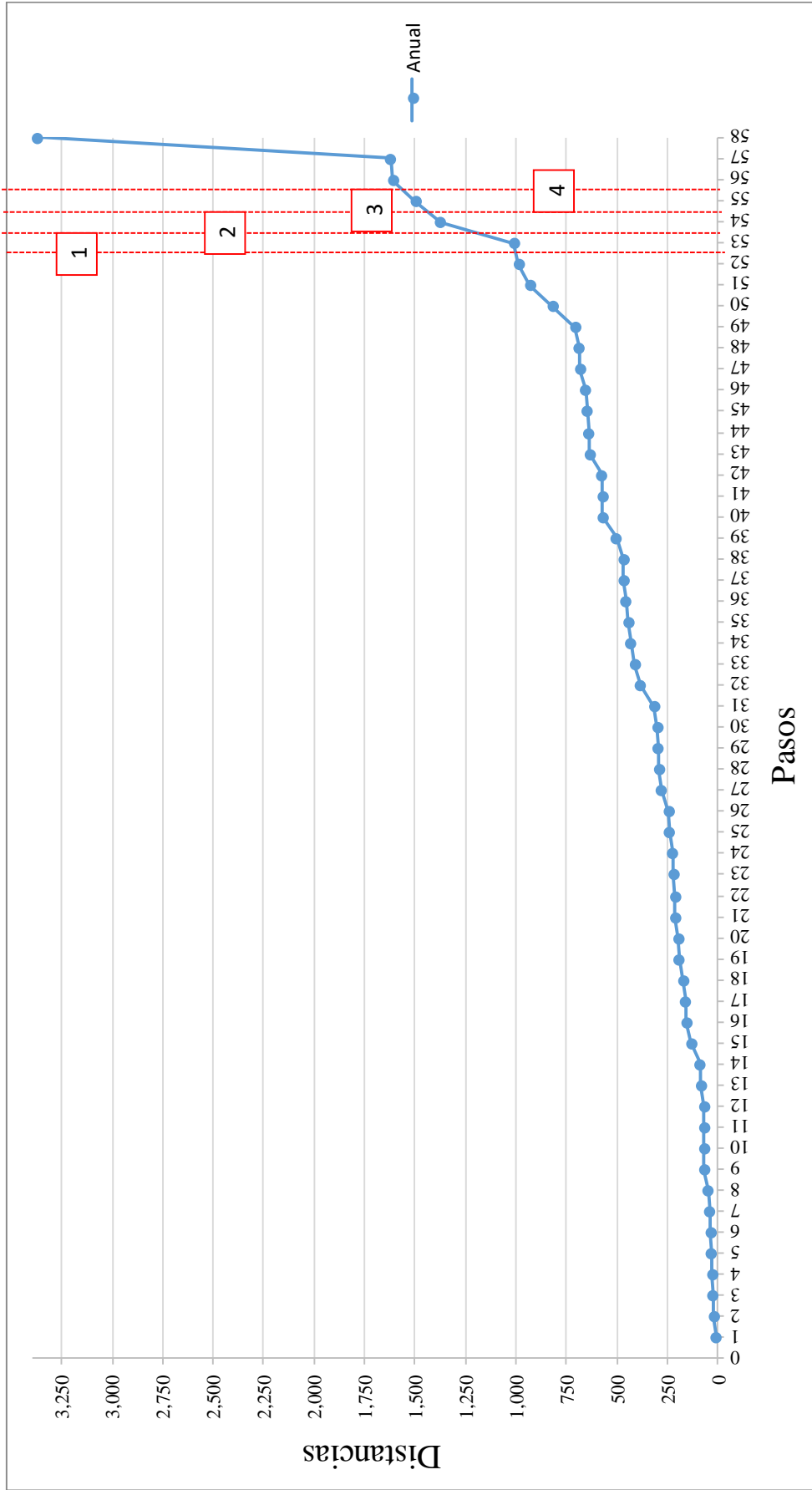
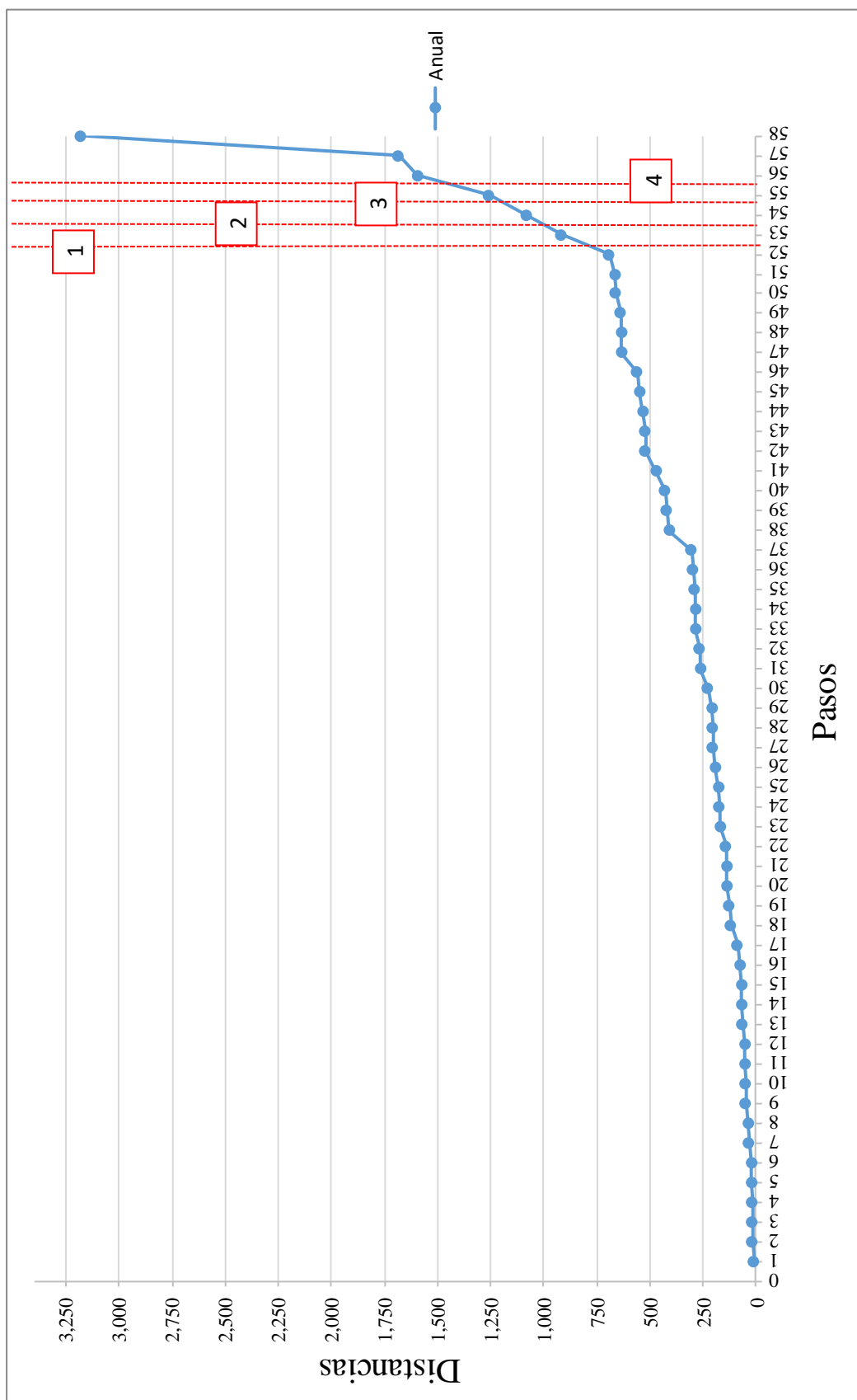


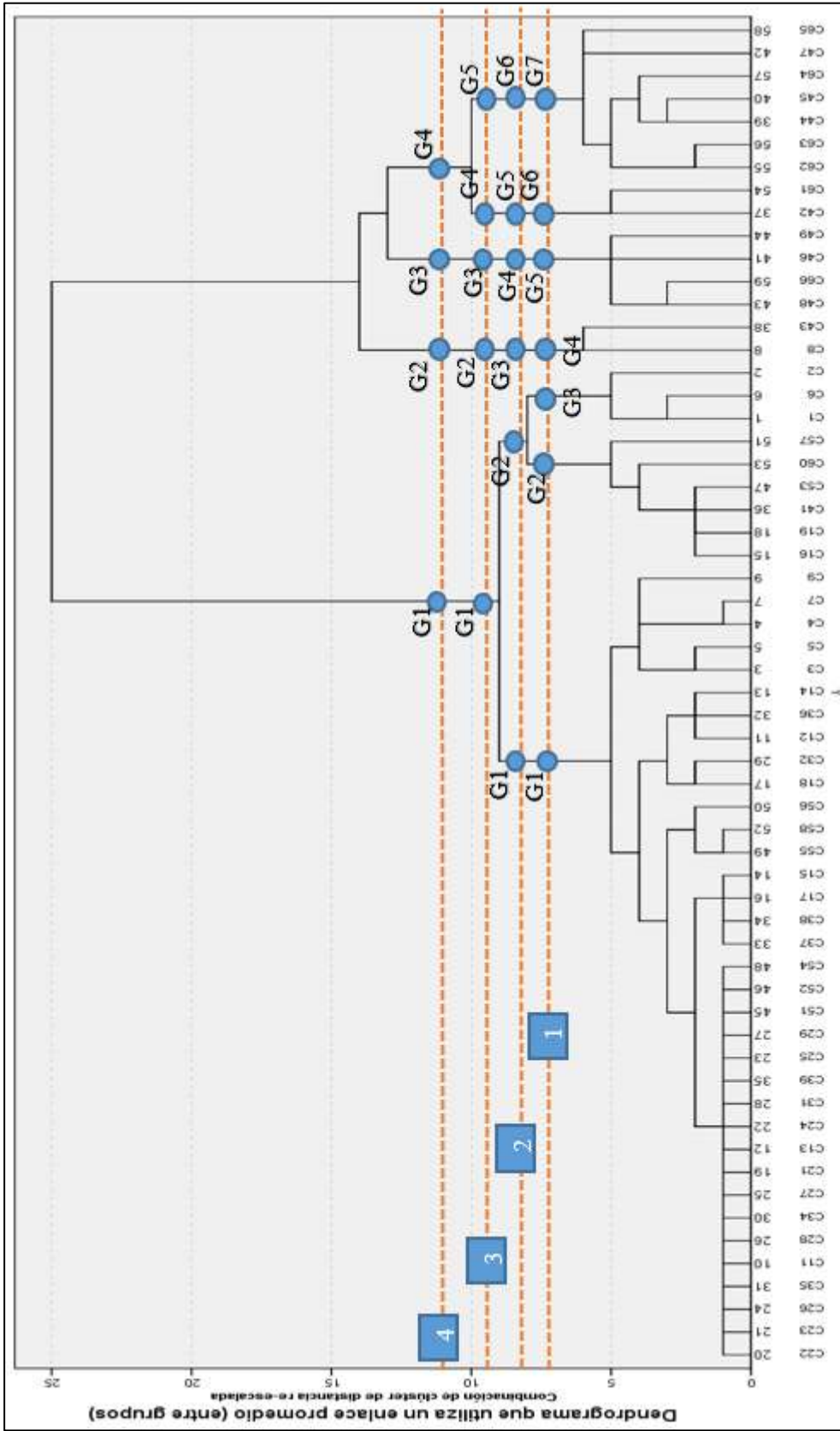
Figura 37. Distancias de agrupación vs pasos para un escenario de precipitación media anual SLF.

Elaboración: propia.



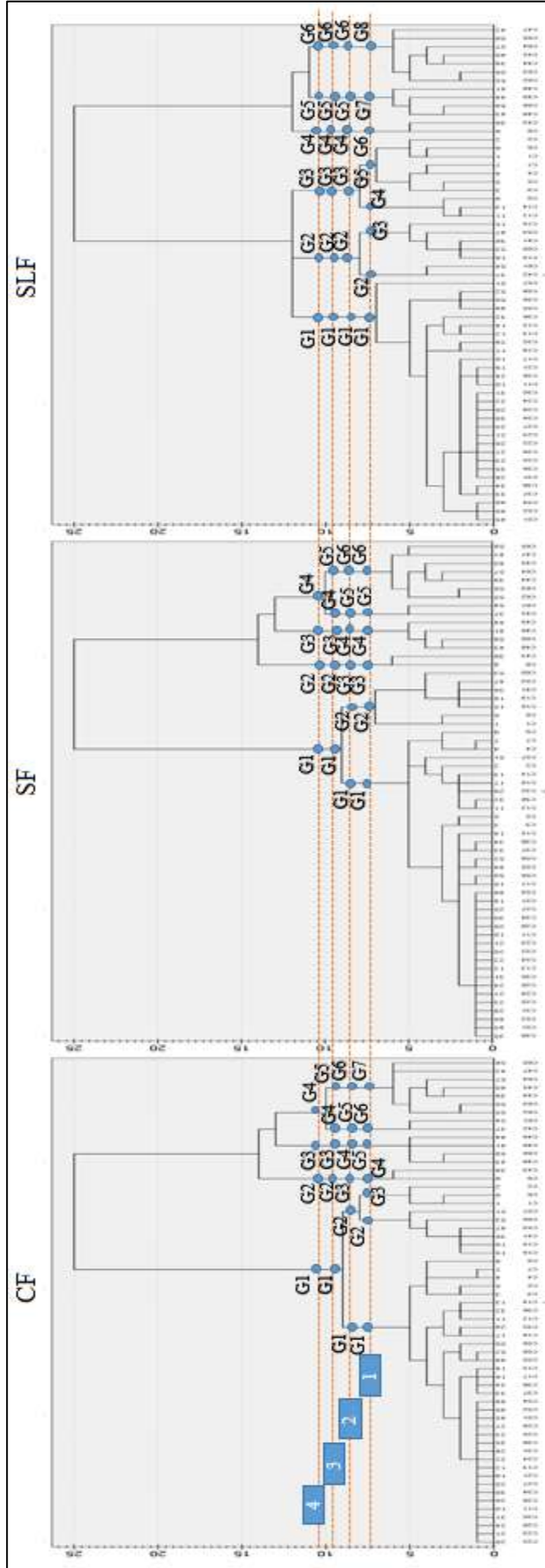
**Figura 38.** Distancias de agrupación vs pasos para un escenario de precipitación media anual CF.

**Elaboración:** propia.



**Figura 39.** Dendrograma con 4 posibles soluciones para un escenario precipitación media anual CF.

Elaboración: propia.



**Figura 40.** Determinación de un corte adecuado en dendrogramas comparando 4 posibles soluciones en 3 análisis clúster anuales CF, SF Y SLF.  
**Elaboración:** propia.

### 3.3.5 Regiones hidrológicamente homogéneas obtenidas

En la cuenca Chira se determinó 6 regiones hidrológicamente homogéneas:  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$ ,  $G_4$ ,  $G_5$  y  $G_6$ , en los 39 análisis clúster evaluados, correspondientes a 36 análisis clúster mensuales, y 3 análisis clúster anuales. En la **Tabla 21** se detalla las U.H. que conforman a cada grupo, y los diferentes colores (por ejemplo:  $G_1$ : rosado, anaranjado, fuxia, morado) indican las variaciones en la conformación de los grupos. Los mismos colores se han colocado en la **Tabla 22**, para indicar en qué mes y en qué escenario se generan las variaciones. En ambas tablas se observa que  $G_1$  y  $G_2$  presentan 3 variaciones, mensualmente varían en enero y marzo en el escenario SLF, y anualmente varían en los escenarios CF y SLF. Así mismo, se observa que  $G_4$  presenta 1 variación, anualmente varía en el escenario SLF. En contraste,  $G_3$ ,  $G_5$  y  $G_6$  no presentan variaciones en los análisis clúster evaluados.

**Tabla 21.** Agrupación de las U.H de la cuenca del río Chira mediante análisis clúster.

U.H.	
G1	C1 C6 C16 C19 C41 C53 C60
	C1 C2 C6 C16 C19 C41 C53 C57 C60
	C1 C2 C6 C16 C19 C41 C53 C60
	C1 C2 C3 C4 C5 C7 C9 C12 C14
G2	C2 C4 C7 C11 C13 C15 C18 <b>C33</b> <b>C40</b> C54 C56 C58
	C3 C5 C9 C12 C14 C17 <b>C30</b> C52 C51 C55 C57
	C3 C5 C9 C12 C14 C17 <b>C30</b> <b>C40</b> C52 C55 C58
	C4 C7 C11 C13 C15 C18 <b>C33</b> C51 C54 C56
	C3 C5 C9 C12 C14 C17 <b>C30</b> <b>C40</b> C52 C55 C57
	C4 C7 C11 C13 C15 C18 <b>C33</b> C51 C54 C56 C58
	C11 C15 C18 <b>C33</b> C51 C54 C56 C58
	C13 C17 <b>C30</b> <b>C40</b> C52 C55 C57
G3	C8 C43
G4	C42 C61
	C16 C19 C41 C42 C53 C60 C61
G5	C44 C45 C47 C62 C63 C64 C65
G6	C46 C48 C49 C66

**Elaboración:** propia.

\*Los números marcados con fondo gris indican las U.H. que varían de grupo, por ejemplo, la conformación del  $G_1$  con variación de color rosado, no abarca la C2 ni la C57, sin embargo, la variación de color anaranjado, si las abarca.

\*Los números resaltados con negrita indican U.H. que son de nivel 4, que agrupan otras U.H. de nivel 5.

**Tabla 22.** Variación de las regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca del río Chira.

	SF						CF						SLF					
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Set																		
Oct																		
Nov																		
Dic																		
Ene																		
Feb																		
Mar																		
Abr																		
may																		
Jun																		
Jul																		
Ago																		
Anual																		

Elaboración: propia.

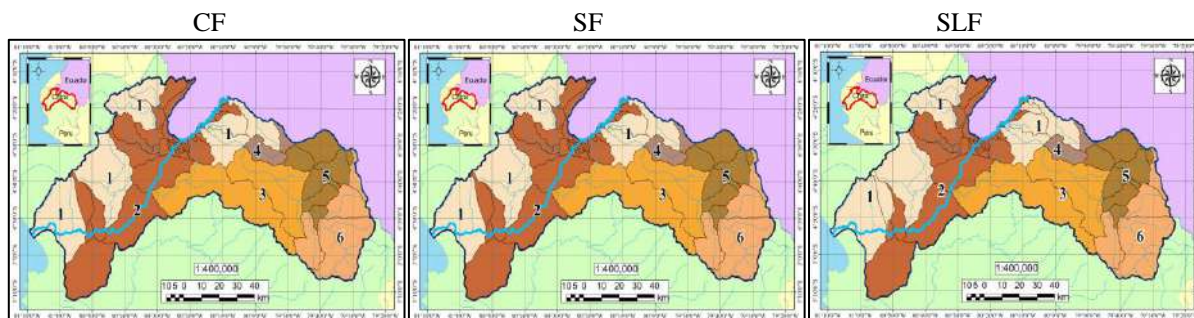
Durante septiembre - diciembre las 6 regiones conformadas no sufrieron variaciones en los escenarios evaluados: CF, SF y SLF, como se observa en la Figura 41.



**Figura 41.** Regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira durante los meses de septiembre a diciembre.

Elaboración: propia.

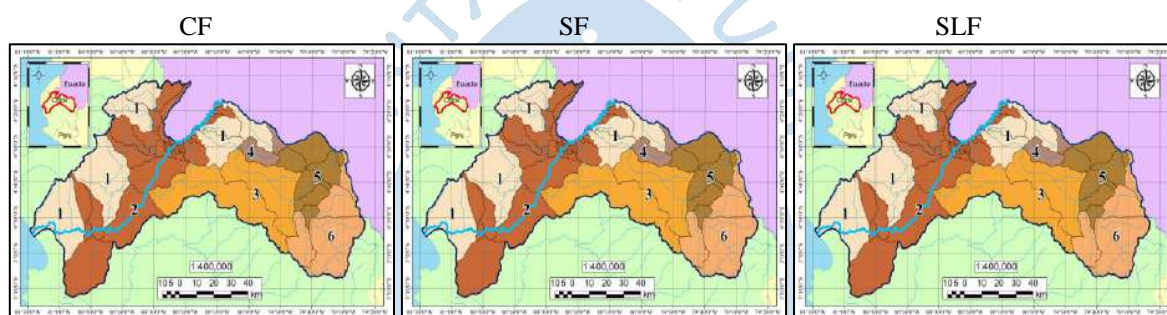
Durante enero para los escenarios CF y SF se generaron regiones idénticas a las conformadas en los meses anteriores, en los mismos escenarios. En contraste, para un escenario SLF, las regiones conformadas presentaron variaciones. Las U.H. C2 y C57 pertenecientes al  $G_2$  para los escenarios CF y SF, conforman el  $G_1$  para este escenario. Ver Figura 42.



**Figura 42.** Regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira durante el mes de enero.

**Elaboración:** propia.

Las regiones agrupadas durante febrero son similares a las agrupadas durante septiembre - diciembre, según se observa en la Figura 43.



**Figura 43.** Regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira durante febrero.

**Elaboración:** propia.

Durante marzo en los escenarios CF y SF se conforman regiones idénticas a las generadas durante septiembre - diciembre y febrero, en los mismos tipos de escenario. Sin embargo, ante un escenario SLF se generaron regiones con ciertas variaciones, la U.H. C2 perteneciente al  $G_2$  para los escenarios CF y SF, conforman el  $G_1$  en este escenario. Ver la Figura 44.



**Figura 44.** Regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira durante marzo.

**Elaboración:** propia

Durante abril - agosto se generan las mismas regiones formadas durante septiembre - diciembre y febrero, en los tres escenarios. Ver Figura 45 .



**Figura 45.** Regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira durante mayo – agosto.

**Elaboración:** propia

Por otro lado, al evaluar la formación de regiones considerando la variable de precipitación media anual en los escenarios CF, SF y SLF, se concluyó que durante un escenario CF se generan 6 regiones, con elementos agrupados de manera similar a las regiones obtenidas durante el mes de enero para un escenario SLF. Durante un escenario SF se generaron 6 regiones homogéneas, agrupadas de manera similar a las regiones obtenidas durante setiembre – agosto para un escenario SF. Mientras que durante un escenario SLF se generaron 6 regiones homogéneas con variaciones en el  $G_1$ ,  $G_2$  y  $G_4$  respecto a los clústeres generados para un escenario SF, de manera que U.H. como C3, C4, C5, C7, C9, C16, C12 y C14 que conforman el  $G_2$  durante un escenario SF, para un escenario SLF conforman el  $G_1$ , y U.H. como C16, C16, C41, C53 y C60 que conforman el  $G_1$  para un escenario SF, conforman el  $G_4$  para este escenario. Ver Figura 46.



**Figura 46.** Regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira – evaluaciones anuales.

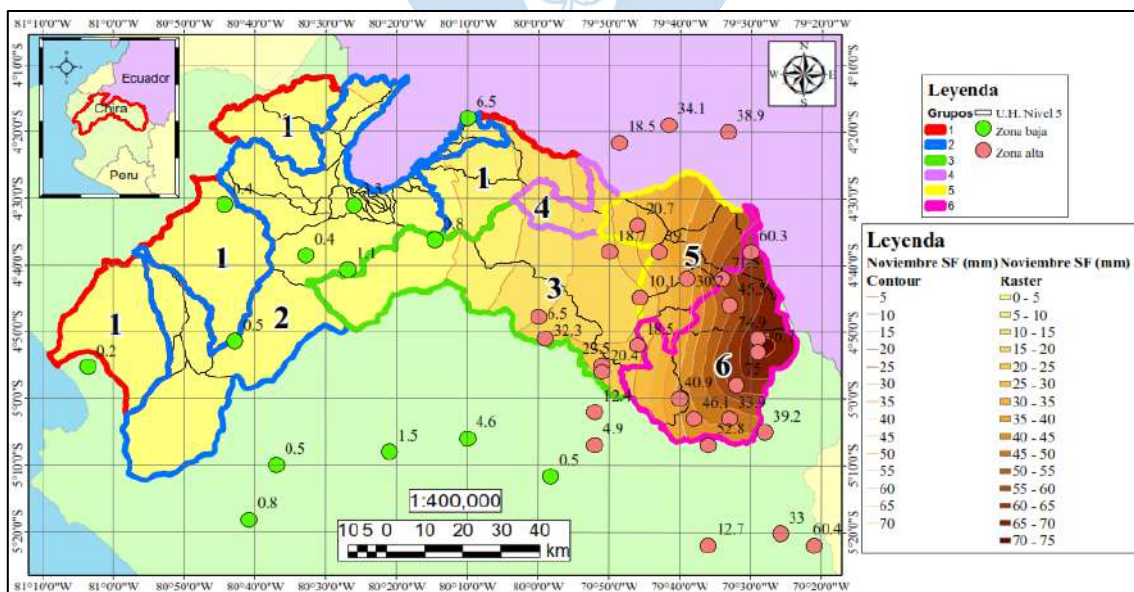
**Elaboración:** propia

## Capítulo 4 Análisis de resultados

### 4.1 Caracterización de las regiones a nivel mensual

#### 4.1.1 Escenario CF y SF

La cuenca del río Chira está conformada por 6 regiones hidrológicamente homogéneas que no presentan variaciones en su conformación durante todos los meses del año hidrológico (de septiembre a agosto) para escenarios CF y SF. En la Figura 47 y Figura 48, a manera de ejemplo, se observa que durante noviembre, las mayores precipitaciones se generan en el  $G_6$ ; y las mínimas, en el  $G_1$  y  $G_2$ . El mismo comportamiento ocurre durante junio, tal cual se observa en la Figura 49 y Figura 50. En la Tabla 23, se detalla las precipitaciones medias mensuales mínimas, máximas y promedio en las regiones conformadas a lo largo del periodo de estudio.



**Figura 47.** Grupos e isoyetas generadas para el escenario SF durante noviembre.

**Elaboración:** propia.

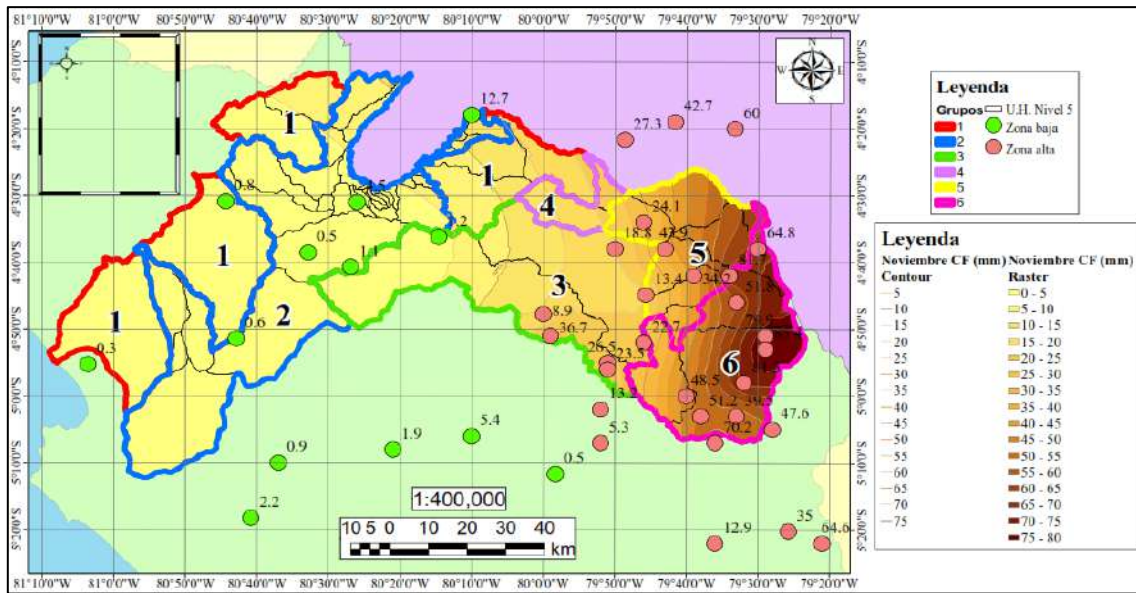


Figura 48. Grupos e isoyetas generadas para el escenario CF durante noviembre.

Elaboración: propia

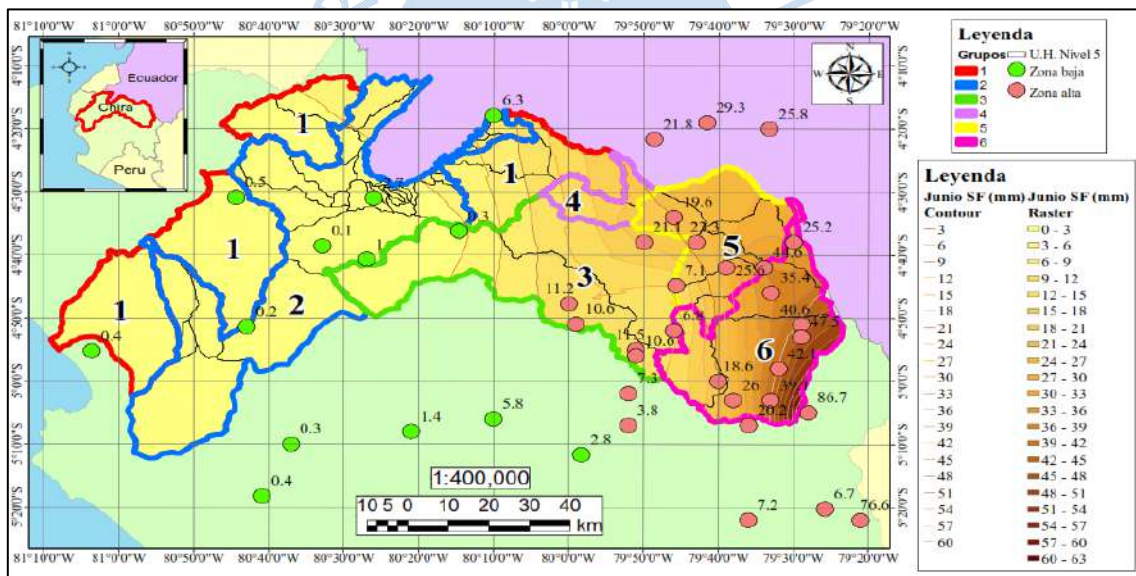


Figura 49. Grupos e isoyetas generadas para el escenario SF durante junio.

Elaboración: propia

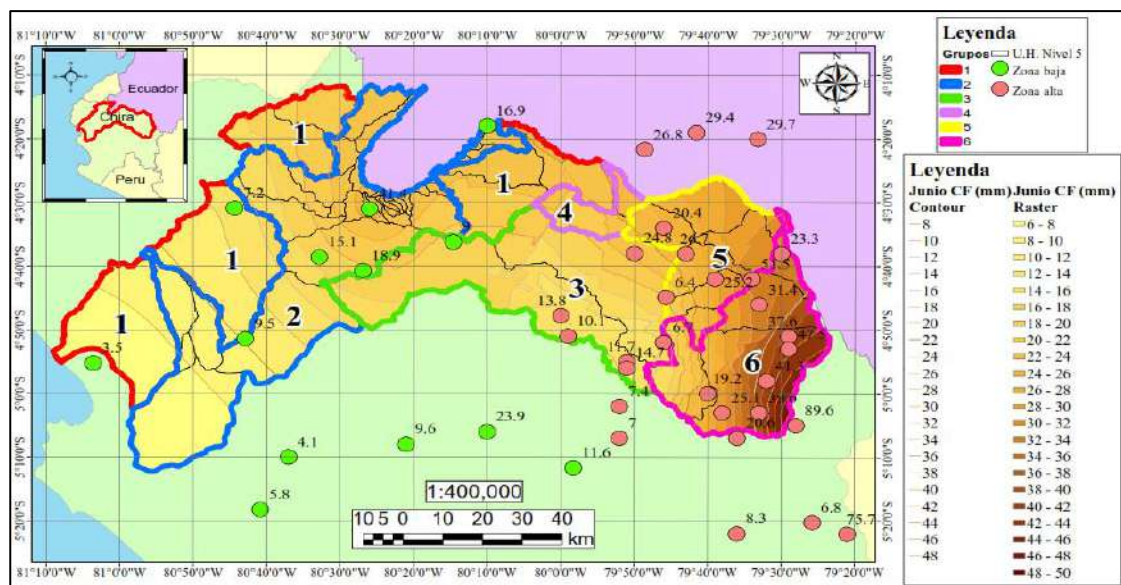


Figura 50. Grupos e isoyetas generadas para el escenario CF durante junio.

Elaboración: propia

Tabla 23. Precipitaciones mensuales medias mínimas, promedio y máximas de las U.H agrupadas en 6 regiones para escenarios CF y SF.

	Lim	G1			G2			G3			G4			G5			G6		
		Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max
Sep	CF	1.0	2.7	6.1	1.0	2.2	5.0	4.4	5.6	6.8	5.3	6.3	7.3	10.4	20.0	29.0	15.5	26.4	30.2
	SF	1.0	3.1	6.6	1.0	2.6	5.5	4.3	5.6	7.0	5.7	6.7	7.7	10.6	19.2	27.0	15.7	25.3	29.1
Oct	CF	2.5	6.9	18.7	2.5	4.4	10.2	12.2	17.5	22.7	19.4	23.8	28.3	37.2	53.5	73.3	40.8	63.1	72.2
	SF	2.5	6.9	20.5	2.5	3.3	9.9	12.3	18.4	24.6	21.7	26.0	30.3	38.2	52.1	69.7	41.4	60.9	69.7
Nov	CF	2.5	7.3	17.4	2.5	4.6	12.5	9.9	13.7	17.5	16.1	19.4	22.7	28.4	44.0	62.4	35.7	57.5	68.1
	SF	2.5	5.2	13.4	2.5	3.2	7.5	8.9	12.3	15.8	13.7	15.9	18.1	24.7	38.0	52.5	30.9	50.8	60.5
Dic	CF	2.5	23.3	49.3	2.5	18.3	50.3	22.4	29.2	36.0	41.2	47.9	54.5	57.2	80.5	110.5	59.8	96.1	117.4
	SF	2.5	7.9	22.8	2.5	4.0	12.5	15.8	20.1	24.5	23.2	28.5	33.8	44.4	63.0	88.2	46.7	79.0	96.7
Ene	CF	11.2	74.8	127.6	8.2	73.0	130.8	62.1	75.8	89.4	114.2	123.6	133.0	95.4	131.3	155.4	103.9	142.5	162.9
	SF	2.6	30.1	83.7	2.5	17.3	45.4	40.3	54.5	68.8	86.9	99.5	112.0	76.4	117.1	146.1	94.8	130.7	147.6
Feb	CF	16.7	95.0	187.2	15.3	85.6	146.4	91.8	113.5	135.2	176.8	197.5	218.1	137.8	188.8	218.6	150.5	189.3	217.2
	SF	7.7	70.0	173.6	5.8	53.1	103.3	72.6	97.6	122.5	171.2	196.9	222.6	122.2	190.1	229.2	156.0	190.2	211.8
Mar	CF	23.1	151.1	282.7	22.1	150.7	234.1	135.0	160.9	186.7	263.1	288.7	314.3	150.4	234.7	282.5	177.8	213.5	256.6
	SF	9.7	99.5	244.2	7.1	77.4	148.1	96.3	126.0	155.8	236.2	268.3	300.4	118.6	212.8	263.8	168.5	196.8	226.0
Abr	CF	14.5	87.7	164.6	15.0	89.7	135.3	77.6	96.6	115.5	159.8	172.7	185.6	94.0	161.2	197.6	127.1	151.5	178.8
	SF	5.0	39.4	121.3	5.0	24.3	76.5	50.1	74.6	99.1	131.9	150.2	168.5	86.5	153.0	199.3	118.6	142.2	169.0
May	CF	12.8	36.4	58.6	12.5	35.9	49.8	38.5	43.9	49.4	58.0	61.9	65.8	57.3	74.9	88.4	48.6	73.0	91.5
	SF	2.5	12.5	40.6	2.5	6.7	16.8	19.9	29.6	39.2	46.1	51.0	55.9	35.2	65.3	87.7	42.8	64.1	83.5
Jun	CF	7.6	16.7	21.2	7.3	19.3	23.0	15.5	16.3	17.1	19.5	21.3	23.0	23.6	26.4	30.5	19.3	30.4	35.9
	SF	1.0	5.2	14.1	1.0	2.7	8.7	5.9	9.4	12.8	14.7	17.1	19.4	20.6	24.5	29.1	15.7	30.5	37.4
Jul	CF	1.0	3.0	6.6	1.0	2.4	5.5	2.8	3.9	5.0	5.3	6.2	7.0	8.0	12.5	16.5	10.7	18.9	24.6
	SF	1.0	2.3	5.1	1.0	1.8	5.0	2.3	3.2	4.1	4.7	5.8	6.8	7.0	11.3	15.2	9.9	17.5	22.8
Ago	CF	1.0	2.8	6.1	1.0	2.0	5.0	3.4	4.7	6.1	5.5	6.3	7.1	8.5	13.2	17.9	10.4	18.6	23.3
	SF	1.0	2.7	6.0	1.0	1.9	5.0	3.2	4.5	5.8	5.5	6.3	7.1	8.5	12.9	17.3	10.6	18.6	23.5

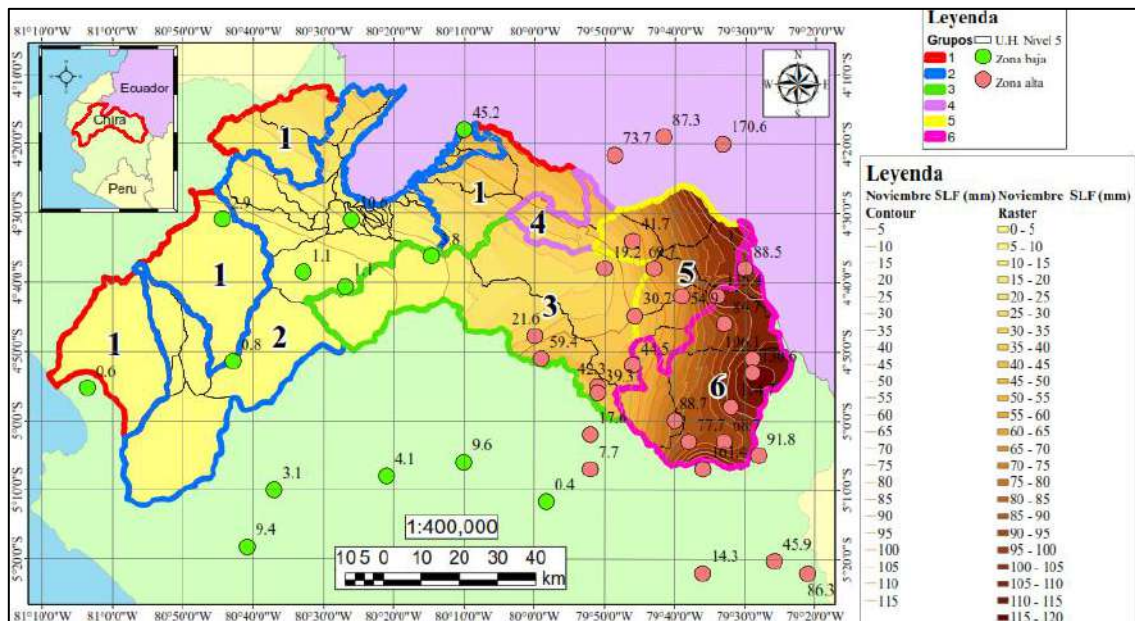
\*Min, Prom y Max: Precipitaciones mensuales medias mínimas, promedio y máximas (mm)

Elaboración: propia.

#### 4.1.2 Escenario SLF

Entre septiembre – diciembre, febrero y abril – agosto, la cuenca se agrupa en 6 regiones similares a los grupos generados para los escenarios CF y SF.

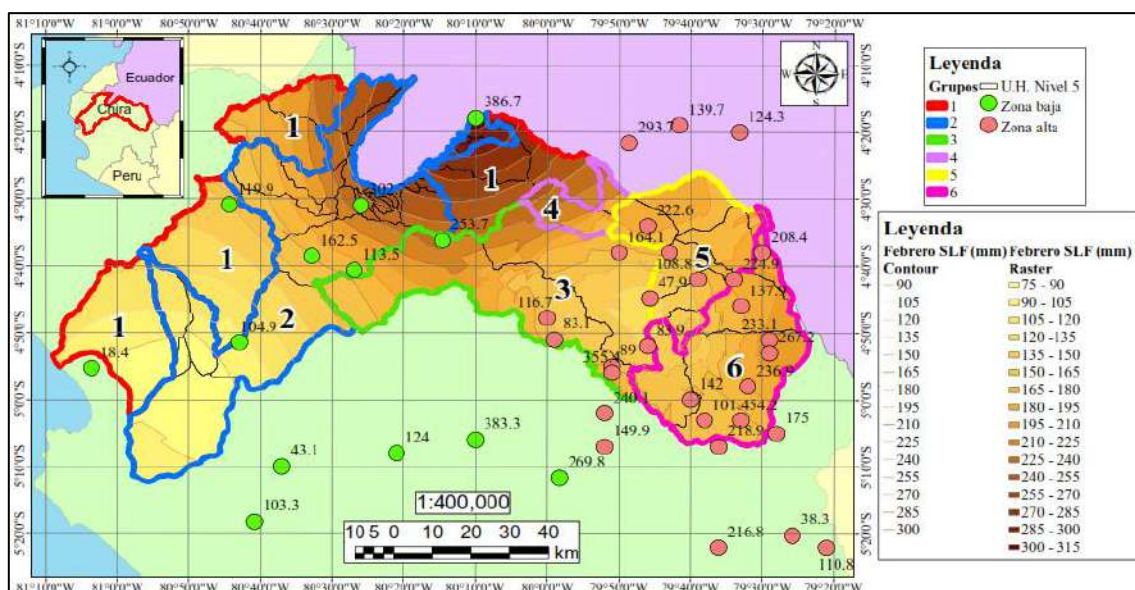
La mayoría de U.H. del  $G_1$  y  $G_2$  presentan las mínimas precipitaciones en la cuenca durante los meses de setiembre – diciembre y julio - agosto, mientras que las U.H. del  $G_5$  y  $G_6$  presentan las máximas, como se observa a manera de ejemplo en la Figura 51.



**Figura 51.** Grupos e isoyetas generadas durante noviembre en un escenario SLF.

**Elaboración:** propia.

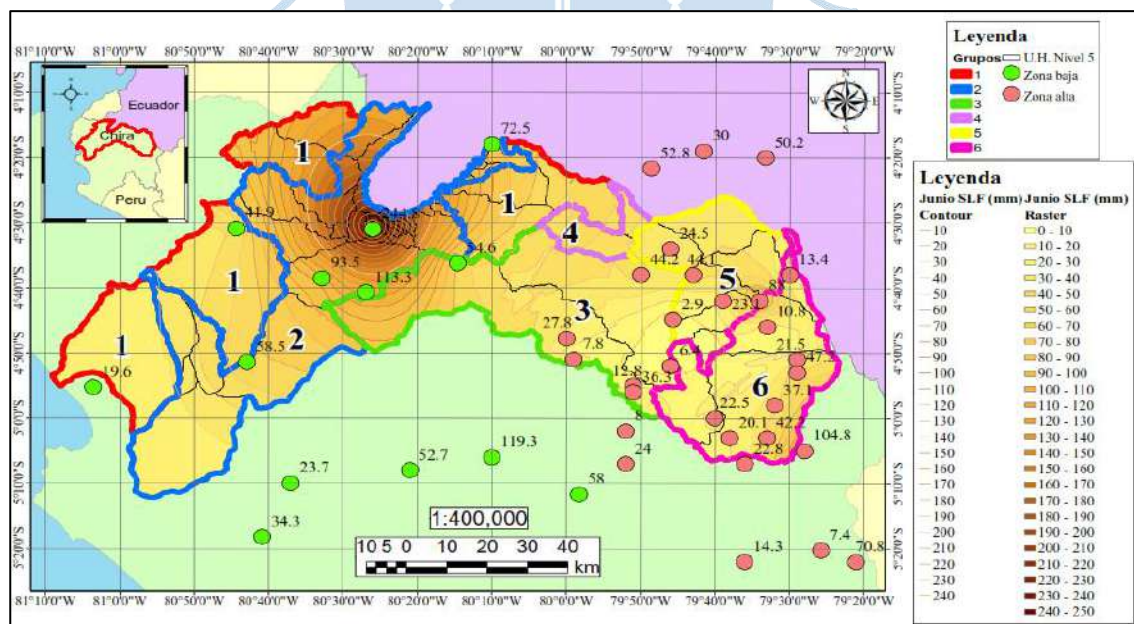
Durante febrero las máximas precipitaciones se desarrollan en las U.H. del  $G_1$  y  $G_2$  que se encuentran ubicadas al norte de la cuenca Chira, y las mínimas en las U.H. del  $G_6$ ,  $G_5$ ,  $G_3$ ,  $G_2$  y  $G_1$  que se ubican al sur, como se observa a manera de ejemplo en la Figura 52.



**Figura 52.** Grupos e isoyetas generadas durante febrero en un escenario SLF.

Elaboración: propia.

Y durante abril – junio las máximas precipitaciones se registran en la mayoría de U.H del  $G_1$  y  $G_2$ , mientras que las mínimas en las U.H. del  $G_6$  y  $G_5$ , como se observa a manera de ejemplo en la Figura 53.



**Figura 53.** Grupos e isoyetas generadas durante junio en un escenario SLF.

Elaboración: propia.

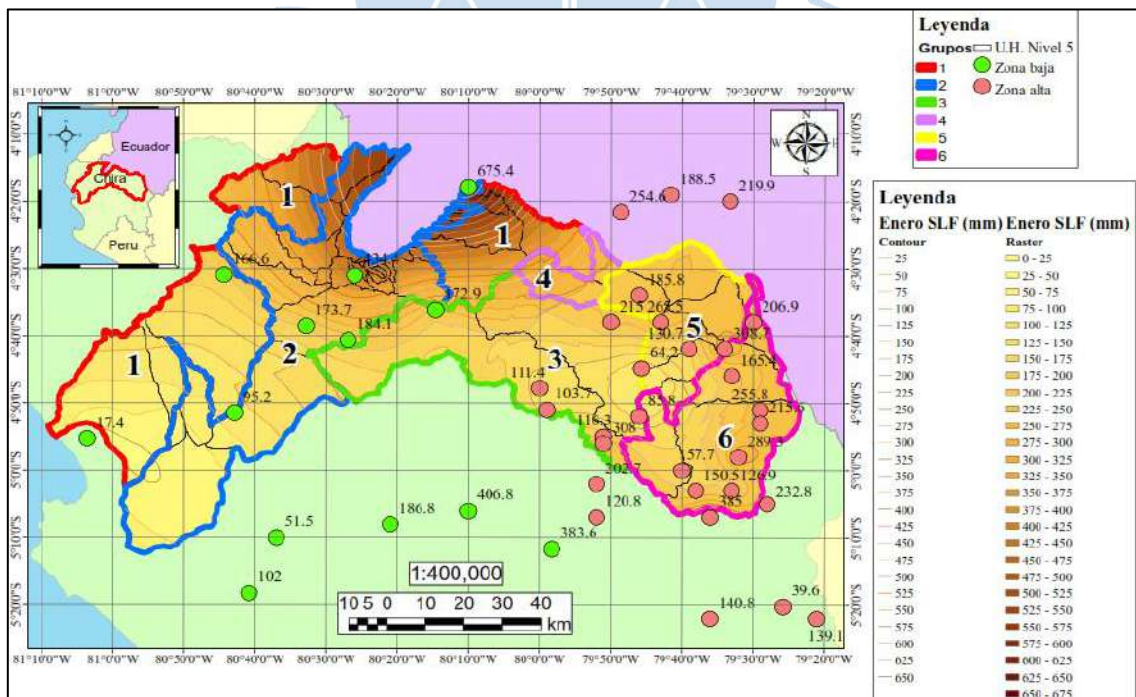
La Tabla 24 describe las precipitaciones medias mensuales mínimas, máximas y promedio en las regiones agrupadas durante el periodo estudiado.

**Tabla 24.** Precipitaciones para escenarios SLF septiembre – diciembre/ febrero/ abril - agosto

		G1			G2			G3			G4			G5			G6		
		Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max
SLF	Sep	1.5	3.6	7.3	1.5	2.7	7.5	5.1	6.2	7.3	5.3	6.4	8.5	11.8	24.6	40.0	16.6	32.8	40.5
	Oct	2.5	10.0	24.5	2.5	7.5	17.5	15.3	20.5	25.8	19.4	23.1	31.9	39.7	64.1	86.0	46.0	77.6	91.7
	Nov	2.5	19.8	42.3	2.5	15.3	42.5	17.4	23.6	29.7	16.1	32.0	46.7	48.5	76.1	109.6	62.6	91.3	105.4
	Dic	7.5	103.3	186.9	7.5	89.6	257.9	54.1	72.7	91.3	41.2	131.3	145.0	113.9	171.5	227.5	125.7	186.3	231.2
	Feb	99.4	202.6	276.2	82.5	224.9	306.8	166.0	171.9	177.8	176.8	210.1	213.3	148.1	168.4	181.8	153.2	175.5	191.4
	Abr	86.0	334.0	508.4	98.5	450.8	625.0	208.5	212.3	216.1	159.8	299.4	321.8	111.5	219.0	275.0	185.2	213.4	275.0
	May	84.4	154.5	204.0	87.5	197.2	228.1	93.0	111.8	130.7	58.0	113.3	134.0	75.8	119.4	149.3	73.8	116.6	149.4
	Jun	25.4	73.6	124.7	27.7	141.2	231.9	29.8	42.3	54.8	19.5	43.7	48.8	7.7	29.0	42.2	15.2	35.0	64.5
	Jul	1.0	6.2	13.1	1.0	4.8	13.1	5.1	7.6	10.1	5.3	11.5	14.5	15.1	19.8	24.5	16.0	26.1	33.0
	Ago	1.0	3.3	7.0	1.0	2.4	7.0	3.7	5.2	6.7	5.5	6.4	8.8	9.5	14.7	19.2	10.0	18.6	22.0

Elaboración: propia.

Durante enero se registran las máximas precipitaciones en las U.H. que conforman el  $G_1$  y  $G_2$  y que se ubican al norte de la cuenca. Las mínimas, por el contrario, se registran en las U.H. ubicadas al sur de la cuenca y que conforman el  $G_1$ ,  $G_5$  y  $G_6$ , tal como se observa en la Figura 54.



**Figura 54.** Grupos e isoyetas generadas durante enero en un escenario SLF.

Elaboración: Propia.

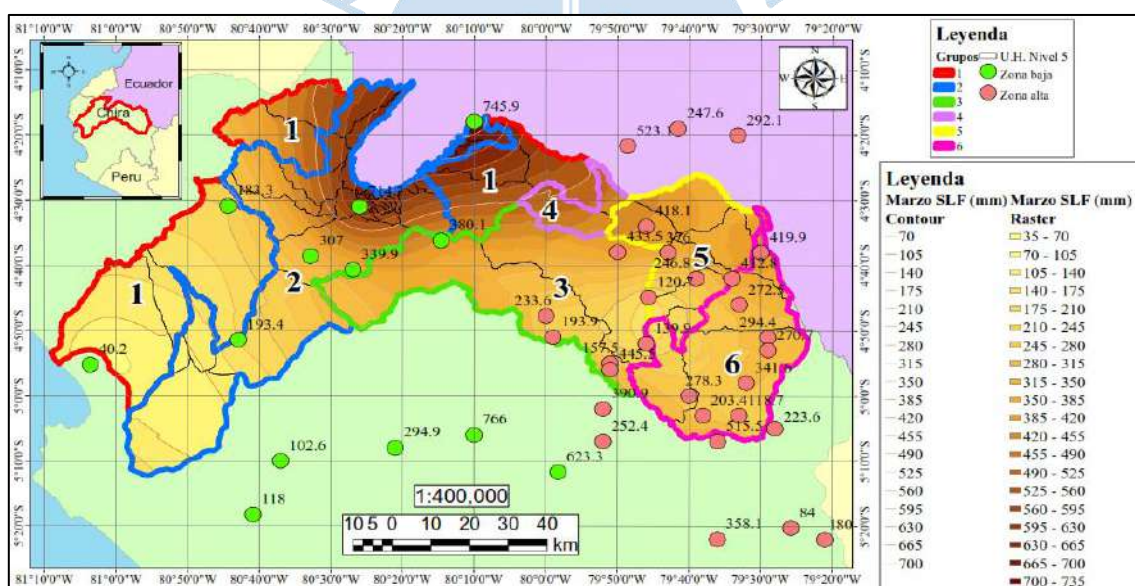
La Tabla 25 describe las precipitaciones medias mensuales mínimas, máximas y promedio en las regiones agrupadas durante el periodo estudiado.

**Tabla 25.** Características fisiográficas en las regiones para SLF mensual (enero).

		G1			G2			G3			G4			G5			G6		
		Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max
SLF	Ene	60.4	311.4	572.0	40.3	381.9	638.7	157.6	161.3	165.1	250.3	260.1	269.9	111.6	190.5	237.9	151.2	198.8	225.3

**Elaboración:** propia.

Durante marzo el  $G_1$  presenta mayor expansión territorial y el  $G_2$ , menor, respecto a la agrupación anterior. En la Figura 55, se observa que las mayores precipitaciones se generan al norte del  $G_1$  y  $G_2$ ; y las mínimas en el  $G_5$ ,  $G_6$  y al sur – oeste del  $G_1$ . Asimismo, la Tabla 26 describe las precipitaciones medias mensuales mínimas, máximas y promedio en las regiones agrupadas durante el periodo estudiado.



**Figura 55.** Grupos e isoyetas generadas durante marzo en un escenario SLF.

**Elaboración:** Propia.

**Tabla 26.** Características fisiográficas en las regiones para SLF mensual (marzo).

		G1			G2			G3			G4			G5			G6		
		Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max
SLF	Mar	105.8	387.0	625.0	88.0	547.2	717.1	316.6	320.2	323.7	475.9	478.1	480.3	206.4	333.1	416.6	247.7	303.7	388.5

**Elaboración:** propia.

## 4.2 Caracterización de las regiones a nivel anual

### 4.2.1 Escenario SF

Las máximas precipitaciones se registran en el  $G_5$  y  $G_6$ , y las mínimas al sur – oeste del  $G_1$  y  $G_2$ , según lo que se observa en la Figura 56 y se detalla en la Tabla 27.



**Figura 56.** Grupos e isoyetas generadas durante un escenario SF anual.

Elaboración: propia

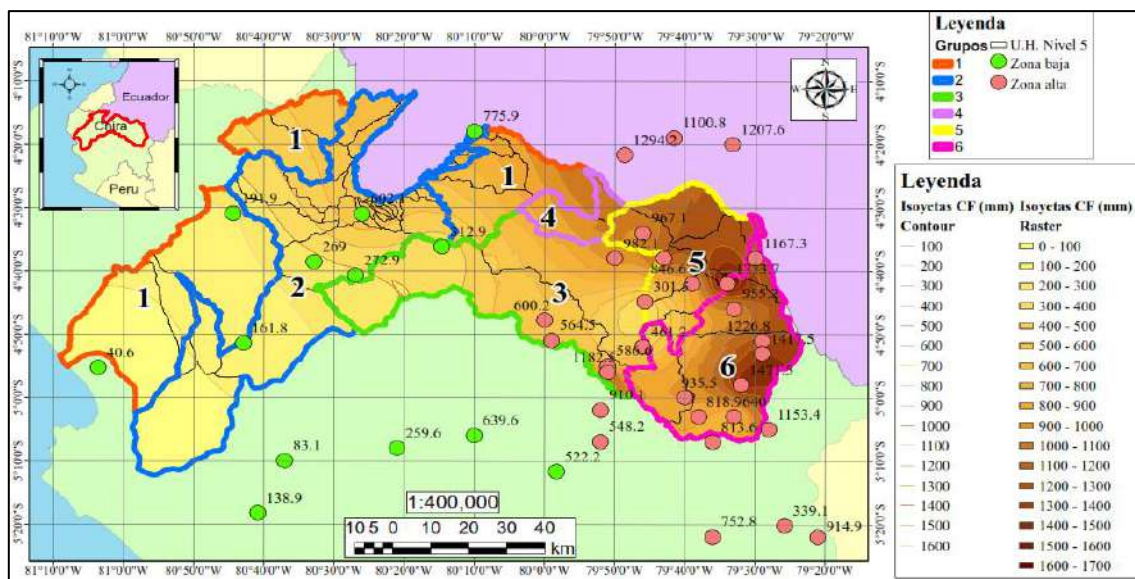
**Tabla 27.** Precipitaciones de las U.H para escenarios SF anuales.

	G1			G2			G3			G4			G5			G6		
	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max
SF	50.0	280.3	741.1	50.0	206.8	415.2	334.2	451.4	568.5	752.3	855.4	958.4	588.0	956.2	1207.1	737.9	1000.1	1162.7

Elaboración: propia.

### 4.2.2 Escenario CF

En este escenario las máximas precipitaciones se registran en el  $G_5$  y  $G_6$ , y en el  $G_3$ , se intensifica esta tendencia respecto a un escenario SF. En ambos casos las mínimas precipitaciones son captadas al oeste de la cuenca, pero para un escenario CF se intensifican. como se observa en la Figura 57 y se detalla en la Tabla 28.



**Figura 57.** Grupos e isoyetas generadas durante un escenario CF anual.

**Elaboración:** propia

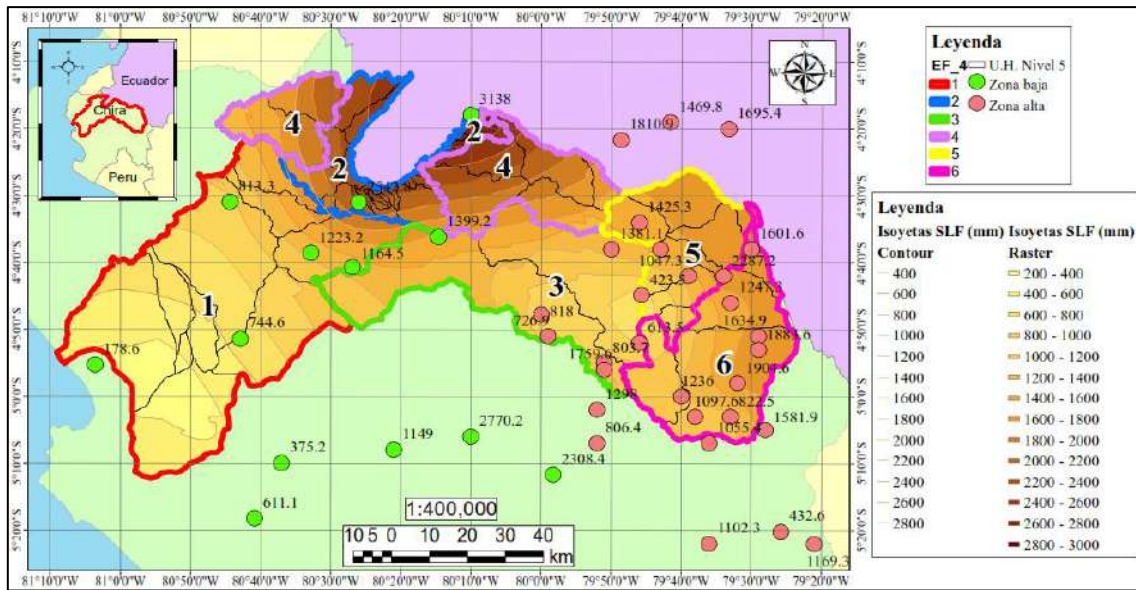
**Tabla 28.** Precipitaciones de las U.H para escenarios CF anuales.

CF	G1			G2			G3			G4			G5			G6		
	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max
CF	62.7	495.4	955.9	56.0	502.0	759.3	453.8	551.2	648.5	896.1	985.7	1075.3	615.9	1027.1	1301.2	785.4	1067.4	1249.4

**Elaboración:** propia.

#### 4.2.3 Escenario SLF

En el escenario más crítico, las máximas precipitaciones se registran en el  $G_2$  y al norte del  $G_4$ . Y las mínimas, se desarrollan al sur – oeste de  $G_1$  y  $G_5$ , al sur – este del  $G_3$  y al este del  $G_6$ , tal como se observa en la Figura 58.



**Figura 58.** Grupos e isoyetas generadas durante un escenario SLF anual.

**Elaboración:** propia.

La Tabla 29 describe las precipitaciones medias anuales mínimas, máximas y promedio en las regiones agrupadas.

**Tabla 29.** Precipitaciones de las U.H para escenarios SLF anuales.

	G1			G2			G3			G4			G5			G6		
	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max
SLF	417.7	838.0	1455.9	1870.1	2300.1	2884.6	1143.3	1168.0	1192.8	1472.6	1882.6	2385.0	1007.5	1433.6	1700.0	1048.3	1432.0	1700.0

**Elaboración:** propia.

A manera de conclusión, se plantea asumir las regiones hidrológicamente homogéneas resultantes de un análisis clúster anual en el escenario más crítico (SLF anual) como definitivo para la cuenca del río Chira. Por consiguiente, la Tabla 30 describe cada clúster obtenido según los parámetros fisiográficos de las U.H. que los conforman.

**Tabla 30.** Parámetros fisiográficos de las U.H en las regiones hidrológicamente homogéneas para escenarios SLF anuales.

		Parámetros fisiográficos										Características
		Kc	Kt	Sr	Sg	Hmax	Hmin	Hm	Dd	A		
	Lim	(-)	(-)	%	(-)	(m.s.n.m)	(m.s.n.m)	(m.s.n.m)	km/km2	km2	En general:	
G1	Min	1.22	0.09	0.29	0.43	78	7	50	0.17		- Kt: U.H. muy alargadas - Sg: Pendientes planas	
	Prom	1.51	0.25	1.09	2.41	571	66	173	0.62	3819.70	- Dd: Pobremente drenadas - Kc: Formas largas y ovaladas	
	Max	1.83	1.01	2.71	6.77	1100	150	390	1.02		- Sr: Pendientes suaves - Alturas promedio 173 m.s.n.m.	
G2	Min	1.15	0.04	0.00	0.53	150	109	137	0.13		- Kt: U.H. Entre muy alargadas y ensanchadas - Sg: Pendientes planas y suaves	
	Prom	1.61	1.46	1.42	4.34	353	155	209	0.90	800.22	- Dd: Entre baja y moderada - Kc: Formas largas y ovaladas	
	Max	2.90	27.75	4.10	17.02	1000	250	397	1.83		- Sr: Pendientes suaves - Alturas promedio 209 m.s.n.m.	
G3	Min	1.72	0.067	2.819	18.11	3500	84.2	1015	0.54		- Kt: U.H. muy alargadas - Sg: Pendientes accidentadas y muy fuertes	
	Prom	1.99	0.097	3.583	28.95	3600	192	1252	0.55	2095.64	- Dd: Pobremente drenadas - Kc: Formas largas	
	Max	2.25	0.127	4.346	39.79	3700	300	1488	0.57		- Sr: Pendientes suaves - Alturas promedio 1252 m.s.n.m.	
G4	Min	1.44	0.097	2.412	12.11	1450	150	375	0.52		- Kt: U.H. muy alargadas - Sg: Pendientes accidentadas y muy fuertes	
	Prom	1.6	0.147	3.817	20.83	1657	250	596	0.72	1465.16	- Dd: Pobremente drenadas - Kc: Formas largas	
	Max	1.99	0.236	6.778	39.62	2400	450	929	0.90		- Sr: Pendientes suaves y moderadas - Alturas promedio 596 m.s.n.m.	
G5	Min	1.24	0.086	6.257	44.82	2450	600	1590	0.66		- Kt: U.H. ligeramente alargadas a muy alargadas - Sg: Pendientes muy fuertes y escarpadas.	
	Prom	1.41	0.236	9.647	47.25	2814	893	1725	0.75	994.96	- Dd: Pobremente drenadas - Kc: Formas largas y ovaladas	
	Max	1.51	0.397	14.93	54.39	3000	1050	1922	0.92		- Sr: Pendientes moderadas y fuertes - Alturas promedio 1725 m.s.n.m.	
G6	Min	1.35	0.083	4.726	42.3	3700	1001	2236	0.70		- Kt: U.H. alargadas a muy alargadas - Sg: Pendientes muy fuertes y escarpadas.	
	Prom	1.59	0.202	7.483	46.6	3888	1088	2365	0.76	1415.29	- Dd: Pobremente drenadas - Kc: Formas largas y ovaladas	
	Max	2.06	0.282	9.835	53.23	4000	1150	2455	0.84		- Sr: Pendientes moderadas - Alturas promedio 2365 m.s.n.m.	

**Elaboración:** propia.



## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

- Se demuestra que el primer paso para la regionalización debe ser un proceso minucioso, para obtener los correctos resultados que permitan identificar regiones con comportamientos hidrológicos semejantes que permitan transferir información de zonas aforadas a zonas con información limitada. Con las formulaciones planteadas se puede determinar caudales u otras variables que dependan del comportamiento hidrológico similar de cuencas o subcuencas.
- Los resultados obtenidos en el análisis geomorfológico dependen de la información disponible y del correcto manejo del software empleado para su procesamiento. Asimismo, los resultados obtenidos en el análisis pluviométrico dependen de la distancia y correlación entre estaciones completas y estaciones incompletas. Finalmente, la agrupación obtenida mediante análisis clúster depende de los parámetros fisiográficos y precipitaciones medias mensuales y promedios anuales seleccionadas para caracterizar correctamente el comportamiento hidrológico de las U.H estudiadas, del método de agrupación, además de la estandarización y de la identificación de grandes distancias, para elaborar el dendrograma y dividirlo.
- Al aplicar el método de isoyetas para determinar la precipitación media mensual de las subcuencas, en los escenarios: CF, SF y SLF se concluye que, durante septiembre a diciembre, no existen grandes variaciones en los escenarios mencionados. Las mayores precipitaciones se generan en la margen izquierda de la cuenca al sur - este, y las mínimas en la margen derecha, al sur - oeste. Durante enero a junio, en un escenario SLF, las mayores precipitaciones se generan al norte de la cuenca, y las mínimas al sur – este y sur - oeste de la cuenca. Durante enero a mayo para un escenario CF, las

mayores precipitaciones se generan al nor - este y las mínimas al sur - este de la cuenca. Y en general, las mayores precipitaciones medias mensuales se generan durante los meses de enero a abril.

- Al aplicar el método de isoyetas para determinar la precipitación media anual de las subcuencas, en los 3 tipos de escenario: CF, SF y SLF se concluye que las mayores precipitaciones para un escenario SLF se generan al norte y parte baja de la cuenca, y las mínimas en las U.H. del oeste y parte alta de la cuenca; para un escenario CF y SF, las mayores precipitaciones se presentan al nor – este, en zonas limítrofes con Ecuador, y las mínimas, al oeste, en zonas bajas cercanas al Pacífico. A pesar de las mínimas precipitaciones se presenten al oeste de la cuenca, si se compara un escenario SLF respecto a un CF, y CF respecto a SF, se obtienen mayores efectos en las U.H. del oeste y del norte, que cuadriplica y hasta septuplica los valores de precipitación. Por otro lado, los menores efectos se registran en el nor – este y sur – este, que contiene las máximas alturas.
- Para un periodo de estudio de 25 años, entre 1969 y 1990, anualmente se determinaron 6 regiones hidrológicamente homogéneas frente a los escenarios SF, CF y SLF, que presentan variaciones en la estructura de agrupación, marcadas sobre todo al asumir un escenario SLF.
- Para un periodo de estudio de 25 años, entre 1969 y 1990, mensualmente se determinaron 6 regiones hidrológicamente homogéneas en cada análisis clúster evaluado. Bajo análisis clúster en escenarios CF y SF a lo largo de todo el año hidrológico (septiembre – agosto) se obtuvo regiones sin variación en la estructura de agrupación y que coinciden con el escenario SF anual. Los mismos resultados se obtuvieron al evaluar los análisis clúster en un escenario SLF entre septiembre – diciembre, febrero y abril – agosto. Sin embargo, durante enero y marzo las agrupaciones variaron.
- El Niño global y el Niño costero alteran la formación de regiones hidrológicamente homogéneas, generando variaciones en la estructura de agrupación, en regiones que agrupan subcuencas de las zonas bajas ubicadas en su mayoría en la margen derecha

del río Chira al oeste de la cuenca. En contraste existen grupos bien marcados que no varían en cuanto a estructura de agrupación ubicados en las zonas altas.

- Los análisis clúster mensuales y anuales bajo escenarios SLF, determinan regiones de agrupación a las que la cuenca Chira tiende en el futuro, debido a que el cambio climático genera la intensificación y recurrencia de los fenómenos estudiados, por ello, se plantea asumir las 6 regiones hidrológicamente homogéneas resultantes para el análisis más crítico (SLF anual) como definitivo para la cuenca Chira durante el periodo de estudio de 1969 a 1990.

### **Recomendaciones**

- Se debe considerar la posibilidad de gestionar la instalación de una mayor cantidad de estaciones meteorológicas o el mantenimiento de las existentes, de tal manera que se encuentren bien distribuidas en toda la superficie de estudio para obtener resultados más certeros, ya que ninguno de los métodos estudiados puede sustituir una adecuada red de monitoreo. Además, para un próximo estudio se debería tener en cuenta emplear data que pueda ser registrada en satélites para determinar variables en alguna región de la cuenca.
- La variación en la agrupación de regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira, reafirma la idea de que al determinar caudales de diseño para estructuras hidráulicas no se debe excluir de la estadística valores atípicos generados por el ENSO y El Niño costero pues son eventos que al transcurrir el tiempo se vuelven recurrentes e intensos, al excluirlos se obtendrían caudales menores que no serían representativos ocasionando subdimensionamientos en las estructuras.
- Para determinar caudales correctos de diseño, es recomendable, además, considerar los años más actuales, aunque no se tenga un registro extenso conformado por datos antiguos, en lugar de aplicar coeficientes para evitar los valores atípicos.



## Referencias bibliográficas

- Aguirre, M., Torres, H., & Ruiz, R. (2003). *Manual de procedimientos para la delimitación y codificación de cuencas hidrográficas en el Perú*. Lima: INRENA.
- Alfaro, R., & Pacheco, R. (2000). Aplicación de algunos métodos de relleno a series anuales de lluvia de diferentes regiones de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 7(1), 1-20.
- Álvarez, G., Hotait, N., & Sustaita, F. (2011). Identificación de regiones hidrológicas homogéneas mediante análisis multivariado. *IIT (Ingeniería, Investigación y Tecnología)*, 12(3), 277-284. doi:10.22201/fi.25940732e.2011.12n3.027
- Andrade, E., & Hawkins, R. (2000). Aplicação da função de Andrews na avaliação da regionalização de bacias em regiões áridas e semi-áridas. *RBRH (Revista Brasileira de Recursos)*, 5(4), 17–24. doi:10.21168/rbrh.v5n4.p17-24
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México, D.F.: Limusa.
- Ato, M. (1990). *Estadística avanzada con el paquete SYSTAT*. Murcia: Secretariado de Publicaciones. Universidad de Murcia. doi:9788476848821
- Autoridad Autónoma de la Cuenca Hidrográfica Chira Piura (AACHCHP). (2005). *Evaluación Local Integrada y Estrategia de Adaptación al Cambio Climático en la Cuenca del Río Piura*. Lima: CONAM - Consejo Nacional del Ambiente.
- Berrú, M., Gómez, A., & Torres, J. (2008). *Gestión de cuencas para enfrentar el cambio climático y el fenómeno El Niño* (1ª ed. ed.). Lima: Soluciones Prácticas-ITDG. doi:9972471764
- Bland, J., & Altman, D. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *stat methods med res (Statistical Methods in Medical Research)*, 8(2), 135–160. doi:10.1191/096228099673819272

- Burbano, E., & Moreno, E. (2018). Análisis de Conglomerados del Norte del Valle del Cauca. Caso estudio. *Ingeniería Industrial*, 39(1), 78-91. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6311884.pdf>
- Burn, D., & Goel, N. (2000). The formation of groups for regional flood frequency analysis. *Hydrological Sciences Journal*, 45(1), 97-112.
- Busch, G., Suttmoller, J., & Kruger, G. (1999). Regionalization of runoff formation by aggregation of hydrological response units: a regional comparison. *Regionalization in Hydrology*, 45-51.
- Cahuana, A., & Yugar, W. (2009). Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología. (*Trabajo dirigido por adscripción, presentado para optar al diploma académico de Licenciatura en Ingeniería Civil*). Universidad Mayor de San Simon, Cochabamba, Bolivia.
- Calvo, D. (09 de marzo de 2018). *Cluster Jerárquicos y No Jerárquicos*. Recuperado el 25 de julio de 2019, de <http://www.diegocalvo.es/cluster-jerarquicos-y-no-jerarquicos/>
- Camino, M., Bó, M., Cionchi, J., López, A., Del Río, J., & De Marco, S. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1), 73 - 97.
- Cárdenas, J. (1994). Importancia de los registros hidrológicos en el diseño y proyección de estructuras hidráulicas. *Revista de Ingeniería Civil*, 2(1), 50-65.
- Carrillo, C. (1892). Hidrografía oceánica. *Boletín de la sociedad geográfica del Perú*(2), 72-110.
- Castro, L., Carbajal, Y., & Ávila, A. (2012). Análisis Clúster como técnica de análisis exploratorio de registros múltiples en datos meteorológicos. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*(11).
- Chávez, A. (2009). Aplicación del método de regionalización para la determinación de caudales en el puente Carrasquillo. (*Tesis de Master en Ingeniería Civil con Mención en Recursos Hídricos*). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Chávez, A., Farías, M., Sordo, Á., & Gonzáles, D. (28-30 de setiembre de 2016). Efecto del fenómeno El Niño en el comportamiento hidrológico de la cuenca alta del Piura. *En: XXVII Congreso latinoamericano de hidráulica* . Lima, Perú.
- Chereque, W. (1989). *Hidrología: para estudiantes de ingeniería civil*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial.
- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (2000). *Hidrología Aplicada*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del Recurso Agua –Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [en línea]*. Recuperado el 03 de agosto de 2019, de <http://www.semarnat.gob.mx/leyesyformas/normasoficialesmexicanasvigentes/CNA/NOM-011-CNA.pdf>
- Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Chira - Piura (CRHC CHP). (2014). *Plan de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica - PADH cuenca Chira - Piura*. Piura: Autoridad Nacional del Agua.
- CONSORCIO ATA-UNL-UNP. (2005). *Caracterización hídrica y adecuación entre la oferta y demanda en el ámbito de la cuenca binacional Catamayo - Chira*. Piura.
- Córdova, M. (30 de 04 de 2016). *Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas*. Recuperado el 20 de 08 de 2018, de Prontubeam: [http://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id\\_articulo=26](http://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26)
- Corduas, M. (2011). Clustering streamflow time series for regional classification. *Journal of Hydrology*, 407(1-4), 73–80. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.07.008
- Corlett, W. J., & Fisher, W. D. (1970). Clustering and Aggregation in Economics. *The Economic Journal*, 80(320), 939. doi:10.2307/2229910
- De la Fuente, S. (2011). *Análisis de conglomerados*. (U. A. Madrid, Ed.) Obtenido de [http://www.estadistica.net/Master-Econometria/Analisis\\_Cluster.pdf](http://www.estadistica.net/Master-Econometria/Analisis_Cluster.pdf)
- Delgadillo, A., & Páez, G. (2008). *Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo por crecidas*. Mérida, Venezuela.
- Dinpashoh, Y., Fakheri-Fard, A., Moghaddam, M., Jahanbakhsh, S., & Mirnia, M. (2004). Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climate using multivariate methods. *Journal of Hydrology*, 297(1-4), 109-123. doi:10.1016/j.jhydrol.2004.04.009
- Eischeid, J. K., Bruce Baker, C., Karl, T. R., & Diaz, H. F. (1995). The Quality Control of Long-Term Climatological Data Using Objective Data Analysis. *J. Appl. Meteor.* (*Journal of Applied Meteorology*), 34(12), 2787–2795. doi:10.1175/1520-0450(1995)034<2787:TQCOLT>2.0.CO;2
- Eischeid, J., Pasteris, P., Diaz, H., Plantico, M., & Lott, N. (2000). Creating a Serially Complete, National Daily Time Series of Temperature and Precipitation for the Western

- United States. *J. Appl. Meteor. (Journal of Applied Meteorology)*, 39(9), 1580–1591. doi:10.1175/1520-0450(2000)039<1580:CASCND>2.0.CO;2
- Fierro, I. (2018). Determinación de zonas homogéneas en la región del Biobío, Chile, para estimar caudales disponibles para dilución en cuencas sin control fluviométrico. (*Tesis para optar el título de Ingeniero Civil*). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago de Chile.
- Franquet, J. (2009). *El caudal mínimo medioambiental del tramo inferior del río Ebro* (1° ed.). Tortosa: UNED-Tortosa. doi:9788493067175
- Fuentes, J. (julio de 2004). *Análisis Morfométrico de Cuencas: Caso de Estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro*. Michoacán: Instituto Nacional de Ecología. Obtenido de [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2009/02/morfometria\\_pico\\_tancitaro.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2009/02/morfometria_pico_tancitaro.pdf)
- Gallardo, J., Gutierrez, R., Gonzales, A., & Torres, F. (1994). *Técnicas de Análisis de datos multivariable. Tratamiento computacional*. (U. d. Granada, Ed.) Obtenido de <https://www.ugr.es/~gallardo/pdf/cluster-3.pdf>
- Gámez, W. (2009). *Texto básico de hidrología*. Managua, Nicaragua: Editronic, S.A.
- Gingras, D., & Adamowski, K. (1993). Homogeneous region delineation based on annual flood generation mechanisms. *Hydrological Sciences Journal*, 38(2), 103–121. doi:10.1080/02626669309492649
- Golden Gate Weather Services. (abril de 2019). *El Niño and La Niña Years and Intensities*. Recuperado el 14 de junio de 2019, de <https://ggweather.com/enso/oni.htm>.
- Gong, X., & Richman, M. B. (1995). On the Application of Cluster Analysis to Growing Season Precipitation Data in North America East of the Rockies. *J. Climate (Journal of Climate)*, 8(4), 897–931. doi:10.1175/1520-0442(1995)008<0897:OTAOCA>2.0.CO;2
- Gower, J. (1967). A comparison of some methods of cluster analysis. *Biometrics*, 23(4), 623–637.
- Gravelius, H. (1914). *Flusskunde*. Goschen Verlagshan dlug Berlin. En Zavoianu, I., 1985. *Morphometry of drainage Basins*. Elsevier, Amsterdam.
- Halkidi, M. (2001). On Clustering Validation Techniques. *Journal of Intelligent Information System*, 107–145.
- Hall, M., & Minns, A. (1999). The classification of hydrologically homogeneous regions. *Hydrological Sciences Journal*, 44(5), 693–704. doi:10.1080/02626669909492268
- Henao, J. (1988). *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas* (1 ed.). Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás.

- Heredia-Calderón, E., & Siccardi, F. (1999). Regional analysis short duration precipitation annual maxima in Liguria (Italy). *Regionalization in Hydrology*, 71-78.
- Herrera, C., Campos, J., & Carrillo, F. (2017). Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México. *Investigación y Ciencia - REDALYC*, 25(71).
- Hocquenghem, A., & Ortlieb, L. (1992). Eventos El Niño y lluvias anormales en la costa del Perú: Siglos XVI - XIX. *Bulletin de l'Institut francais d'Etudes Andines*, 21(1), 197-278. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/39861379.pdf>
- Hooker, Y. (12 de febrero de 2017). Lluvias e inundaciones en la costa de Perú: científicos explican las causas. (M. Lopez, Entrevistador)
- Horton, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology. *GSA Bulletin (GSA Bulletin)*, 56(3), 275-370. doi:10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2
- Hubbard, K. (2001). Automated weather stations for applications in agriculture and water resources management. *Multiple station quality control procedures*.
- IBAL S.A. (2009). Recuperado el 08 de junio de 2019, de [http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documentos/estudios/cuenca\\_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS\\_BIOFISICOS.pdf](http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS_BIOFISICOS.pdf).
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (2006). *Estudio geoambiental de la Cuenca del río Chira - Catamayo*. Boletín N°31 serie C, Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA]. (2012). *Memoria descriptiva del proceso de delimitación y codificación de las unidades hidrológicas del Perú*. Lima.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2002). *Cambio climático y biodiversidad*. Documento técnico.
- Kashani, M., & Dinpashoh, Y. (2012). Evaluation of efficiency of different estimation methods for missing climatological data. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 26(1), 59-71.
- Lopez Cadenas de Llano, F. (1998). *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión : ingeniería medioambiental*. Madrid, España: TRAGSA.
- Martinez, A., & Takahashi, K. (2017). El Niño Costero o fenómeno El Niño. *La Moneda*(137), 34-37.
- Maturana, J., Bello, M., & Manley, M. (2004). Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. En S. Avaria, *El Niño-La Niña 1997-2000*. Sus

- efectos en Chile* (págs. 13 - 27). Valparaíso, Chile: Comité Oceanográfico Nacional - Chile. doi:9789562350242
- McCuen, R. (1998). *Hydrologic analysis and design* (2nd ed. ed.). Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall. doi:0131349589
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (s.f.). *Ministerio de Agricultura y Riego*. Recuperado el 03 de agosto de 2019, de Principales cuencas a nivel nacional: <https://www.minagri.gob.pe/portal/54-sector-agrario/cuencas-e-hidrografia/372-principales-cuencas-a-nivel-nacional?start=1>
- Monsalve, G. (1995). *Hidrología en la Ingeniería* (1era Edición ed.). Santafé de Bogotá, Colombia: Grupo Editorial 87.
- Montero, K. (2019). Caracterización de ENSO y El Niño Costero entre los años 1950-2018 en la región Piura. (*Tesis para optar el título de Ingeniero Civil*). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa académico de Ingeniería Civil, Piura, Perú.
- Muñoz, D. (2013). Gestión de la calidad del agua del río Catamayo (Ecuador) y sus tributarios: propuesta de monitoreo. (*Tesis de maestría en Gestión del Agua*). Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Veterinarias, Buenos Aires, Argentina.
- Muñoz-Díaz, D., & Rodrigo, F. (2004). Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912-2000) using cluster and principal component analysis: comparison. *Ann. Geophys. (Annales Geophysicae)*, 22(5), 1435–1448. doi:10.5194/angeo-22-1435-2004
- Nathan, R., & McMahon, T. (1990). Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalisation. *Journal of Hydrology*, 121(1), 217–238.
- Ortiz, O. (2004). Evaluación hidrológica. *HIDRORED - Red latinoamericana de micro energía*, 1, 2-6.
- Ouarda, T., Bâ, K., Diaz-Delgado, C., Cârsteanu, A., Chokmani, K., Gingras, H., . . . Bobée, B. (2008). Intercomparison of regional flood frequency estimation methods at ungauged sites for a Mexican case study. *Journal of Hydrology*, 348(1), 40–58. doi:10.1016/j.jhydrol.2007.09.031
- Paulhus, J., & Kohler, M. (1952). Interpolation of missing precipitation records. *Mon. Wea. Rev. (Monthly Weather Review)*, 80(8), 129–133. doi:10.1175/1520-0493(1952)080<0129:IOMPR>2.0.CO;2
- PECHP. (19 de agosto de 2016). *Proyecto Especial Chira Piura*. Recuperado el 07 de agosto de 2019, de El Proyecto: <http://www.chirapiura.gob.pe/proyecto/nosotros>
- Perez, J. (1979). *Fundamentos del ciclo hidrológico*. (F. d. Hidrología, Ed.) Caracas: Universidad Central de Venezuela.

- Perú21. (27 de marzo de 2017). *¿Qué distingue a El Niño costero de los fenómenos anteriores?* Recuperado el 21 de marzo de 2018, de <https://peru21.pe/lima/distingue-nino-costero-fenomenos-antteriores-70501>
- Peterson, L. (2002). CLUSFAVOR 5.0: hierarchical cluster and principal-component analysis of microarray-based transcriptional profiles. *Genome Biology*, 3(7), software0002.1-8. doi:10.1186/gb-2002-3-7-software0002
- Philander, S. (1983). El Niño Southern Oscillation phenomena. *Nature*, 302(5906), 295-301.
- Pizarro, R., Ausensi, P., Aravena, D., & Sangüesa, C. (2009). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones pluviográficas de la VII región del Maule, Chile. (P. h. internacional, Ed.) *Revista Aqua Lac*, 1(2), 172-185. Obtenido de [http://eias.utalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/articulos\\_cientificos/pizarro\\_ausensi\\_aravena\\_sanguesa.pdf](http://eias.utalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/articulos_cientificos/pizarro_ausensi_aravena_sanguesa.pdf)
- Pizarro, R., González, P., Witterssheim, M., Saavedra, J., & Soto, C. (1993). *Elementos técnicos de hidrología III. Proyecto regional mayor sobre uso y conservación de recursos hídricos en áreas rurales de América latina y el Caribe*. Talca, Chile: Universidad de Talca.
- Presti, R., Barca, E., & Passarella, G. (2010). A methodology for treating missing data applied to daily rainfall data in the Candelaro River Basin (Italy). *Environmental Monitoring and Assessment*, 160(1-4), 1-22.
- Quinn, W., Neal, V., & Antunez de Mayolo, S. (1987). *El Niño occurrences ever the past four and half centuries*. *Journal of Geophysical*.
- Rao, A., & Srinivas, V. (2006). Regionalization by Hybrid Cluster Analysis. *Journal of Hydrology*, 37–56. doi:10.1007/978-1-4020-6852-2\_2
- Robles, R. [ElComander Geo]. (18 de febrero de 2018). *Tipos de cuencas (Endorreicas, Exorreicas, Arreicas)*(ElComander Geo) Clase 38. Recuperado el 14 de enero de 2019, de <https://youtu.be/OvZ03oYVNvc>
- ROSTLAC (Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe). (1982). *Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur*. Montevideo, Uruguay: Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe ROSTLAC. doi:9233020746
- Sánchez, F. (junio de 2008). *Precipitaciones*. Recuperado el 13 de 05 de 2019, de Hidrología: <http://ocw.usal.es/ciencias-experimentales/hidrologia/contenidos/02.Precipitaciones.pdf>

- Santos, C. (2015). "Two-step Clúster" en SPSS y técnicas relacionadas. (*Tesis de Máster en Análisis Avanzado de Datos Multivariantes*). Universidad de Salamanca, Salamanca, España.
- SENAMHI PERÚ. (23 de enero de 2019). *Aprende con el SENAMHI - Año hidrológico*. Recuperado el 23 de junio de 2019, de <https://www.youtube.com/watch?v=hcSZzSb7xJc>
- Smakhtin, V. (2001). Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, 240(3), 147–186. doi:10.1016/S0022-1694(00)00340-1
- Smithers, J., & Schulze, R. (2001). A methodology for the estimation of short duration design storms in South Africa using a regional approach based on L-moments. *Journal of Hydrology*, 241(1), 42–52. doi:10.1016/S0022-1694(00)00374-7
- Sneath, P., & Sokal, R. (1973). *Numerical taxonomy: The principles and practice of numerical classification*. San Francisco, California: W.H. Freeman and Co.
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1962). The comparison of dendrograms by objective methods. *TAXON*, 11(2), 33 - 40.
- Sorensen, T. (1948). *A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analysis of vegetation on Danish commons*. I kommission hos E. Munksgaard.
- SPSS. (2016). *Guía breve de SPSS 15.0 para Windows*. Recuperado el 29 de julio de 2019, de Análisis de conglomerados (II): El procedimiento conglomerados jerárquicos: <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/GuiaSPSS/22conglj.pdf>
- Strahler, A. (1952). Hypsometric (area - altitude) Analysis of erosional Topography. *GSA Bulletin (GSA Bulletin)*, 63(11), 1117. doi:10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2
- Strahler, A. (1964). Handbook of Applied Hydrology. En *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks* (págs. 439-476). McGraw-Hill, New York.
- Takahashi, K. (12 de febrero de 2017). Lluvias e inundaciones en la costa de Perú: científicos explican las causas. (M. Lopez, Entrevistador)
- Tavakkoli, A., & Hashem-Hosseini, S. (2014). Hydrological Regionalization in Relation to Accuracy of Maximum Discharge Estimation. *Current World Environment*, 9(3), 903-912.
- Thiessen, A. (1911). Precipitation averages for large areas. *Mon. Wea. Rev. (Monthly Weather Review)*, 39(7), 1082–1089. doi:10.1175/1520-0493(1911)39<1082b:PAFLA>2.0.CO;2

- Tucci, C., La Porto, R., & Barros, M. (1995). *Drenagem urbana* (1. ed. ed.). Porto Alegre, RS: Editora da Universidade (Universidade Federal do Rio Grande do Sul; ABRH). doi:9788570253644
- Tucci, M., & Carlos, E. (2002). *Regionalización de caudales*. Brasil: Editorial de Universidades.
- Tyndall Centre for Climate Change Research. (2004). *New Indicators of Vulnerability and Adaptive Capacity*. Technical Report 7: Norwich: Tyndall Centre.
- Unal, Y., Kindap, T., & Karaca, M. (2003). Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. *Int. J. Climatol. (International Journal of Climatology)*, 23(9), 1045–1055. doi:10.1002/joc.910
- Universidad de Piura. (2015). *Desarrollo de una metodología de descolmatación de un reservorio utilizando la misma energía del agua y a un bajo costo. Caso piloto: Reservorio Poechos Piura, Hito 1: Informe de avance sobre la recopilación de información*. Piura.
- Varona, M. (2018). Modelo hidrológico de la cuenca Catamayo - Chira hasta el ingreso al reservorio Poechos usando Hec - Hms. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa académico de Ingeniería Civil, Piura, Perú.
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Lima, Perú: Editorial Villón.
- Wade, C. (1987). A quality control program for surface mesometeorological data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 4(3), 435-453.
- Walker, G. (1925). Correlation in seasonal variations of wather - A further study of world weather 1. *Mon. Wea. Rev. (Monthly Weather Review)*, 53(6), 252-254. doi:10.1175/1520-0493(1925)53<252:CISVOW>2.0.CO;2
- Ward, J. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236–244. doi:10.1080/01621459.1963.10500845
- Zucarelli, G. (2017). Regionalización hidrológica con métodos estadísticos multivariados. (Tesis Doctoral). Universidade Da Coruña, Programa Oficial de Doctorado en Ciencia y Tecnología Ambiental.
- Zucarelli, G., & Paris, M. (2004). Regionalización de caudales. Propuesta metodológica para la identificación de regiones homogéneas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 19(4), 5–20.



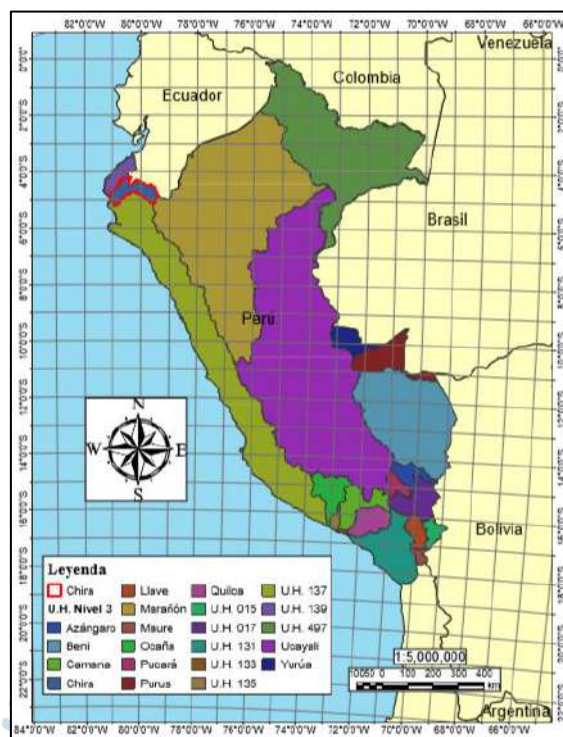
## **Anexos**





## Anexo A - Análisis geomorfológico

### Anexo A 1 - Mapa de las Unidades Hidrográficas nivel 3 del Perú



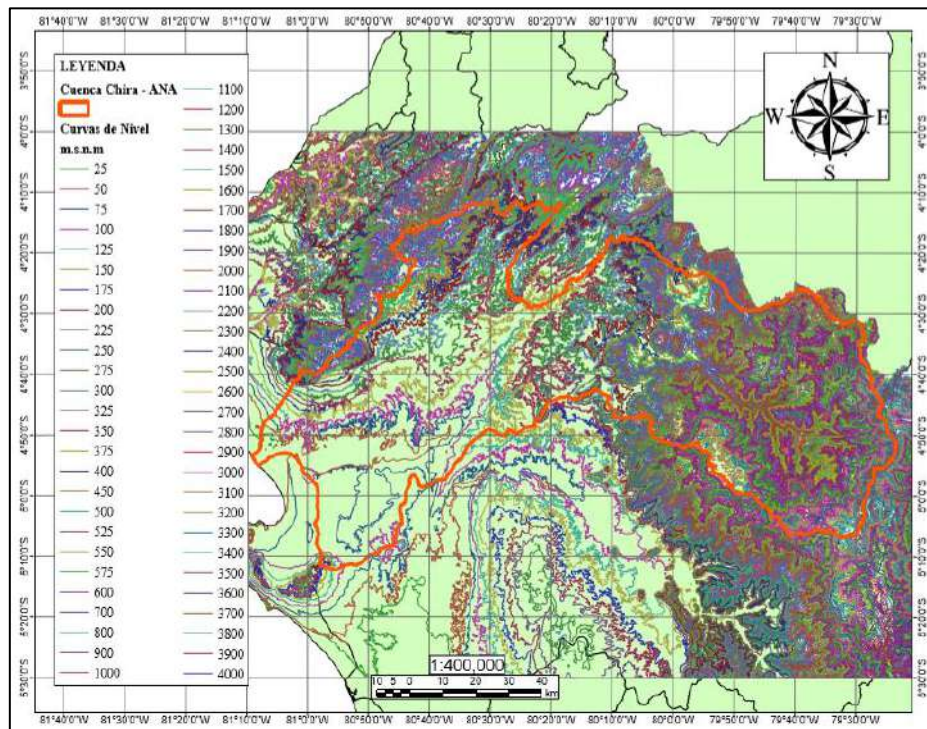
Fuente: Elaboración propia.

### Anexo A 2 - Mapa de las Unidades Hidrográficas nivel 5 del Perú



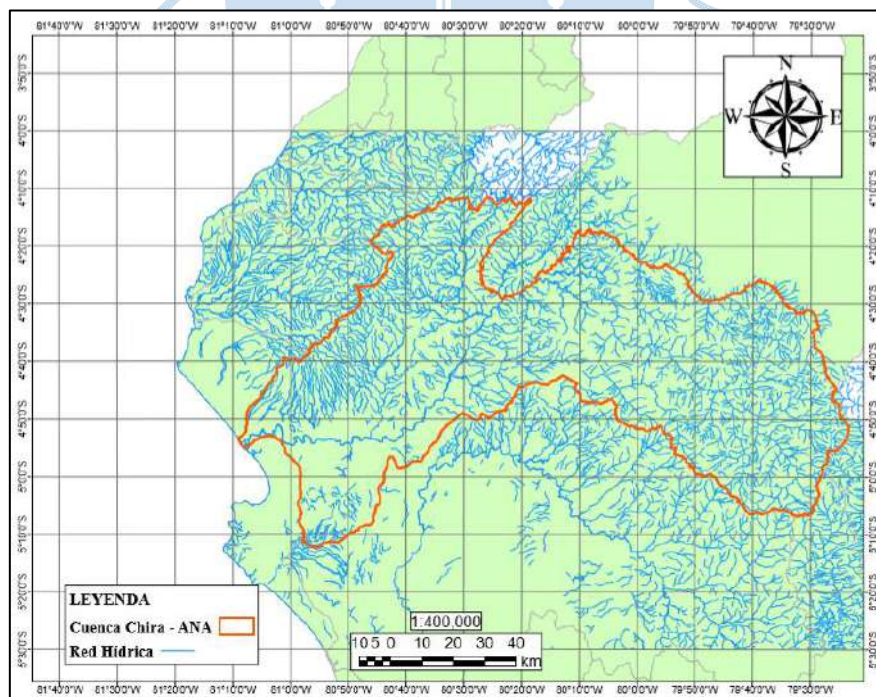
Fuente: Elaboración propia

**Anexo A 3 - Curvas de nivel de las cartas nacionales en la cuenca Chira**



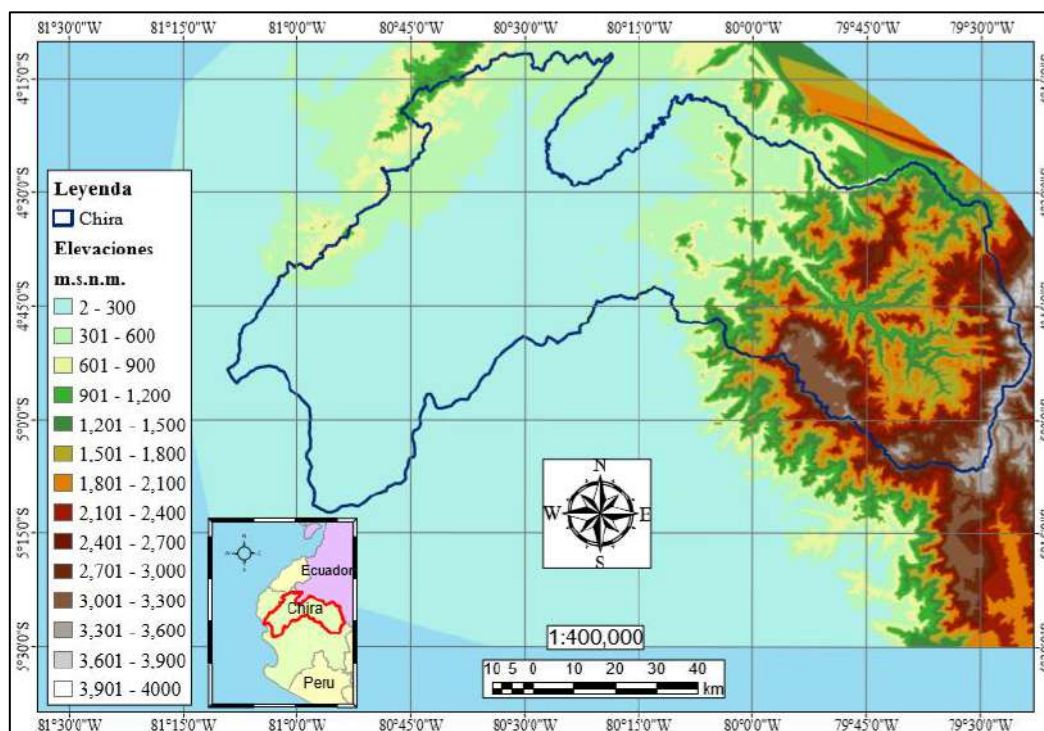
Fuente: Elaboración propia

**Anexo A 4 - Información de la red hídrica en las cartas nacionales para la cuenca Chira**



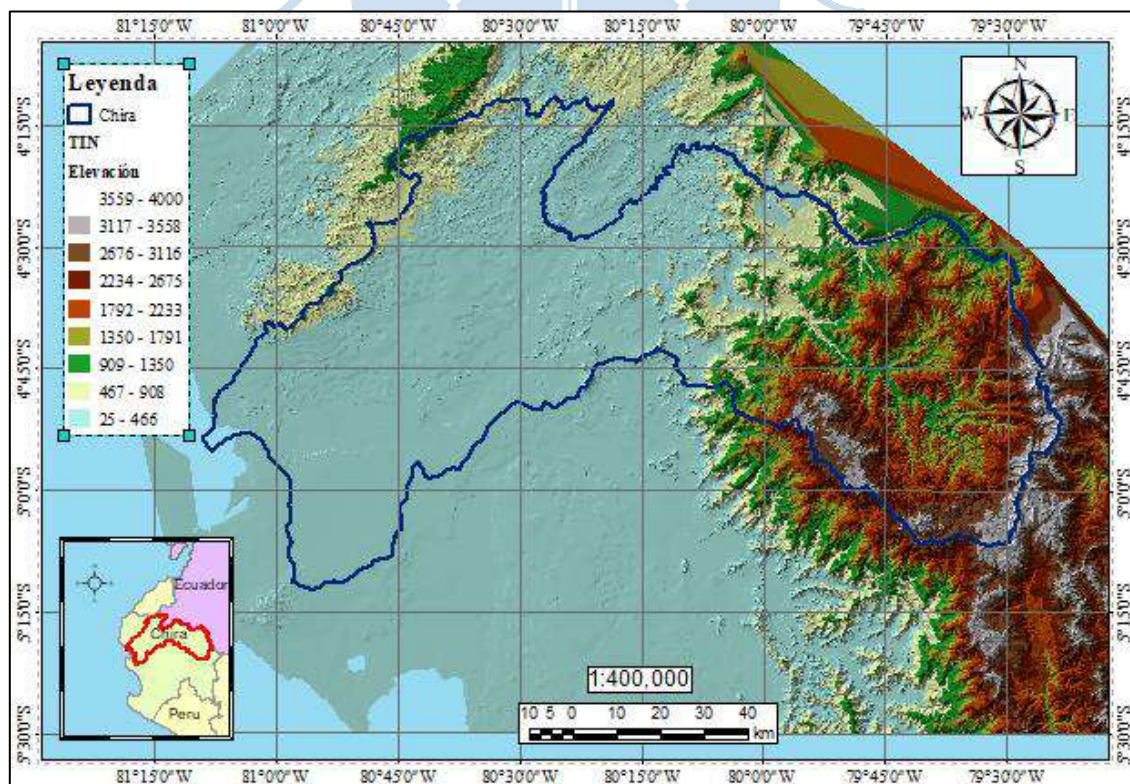
Fuente: Elaboración propia

### Anexo A 5 - TIN generado con información obtenida de las cartas nacionales

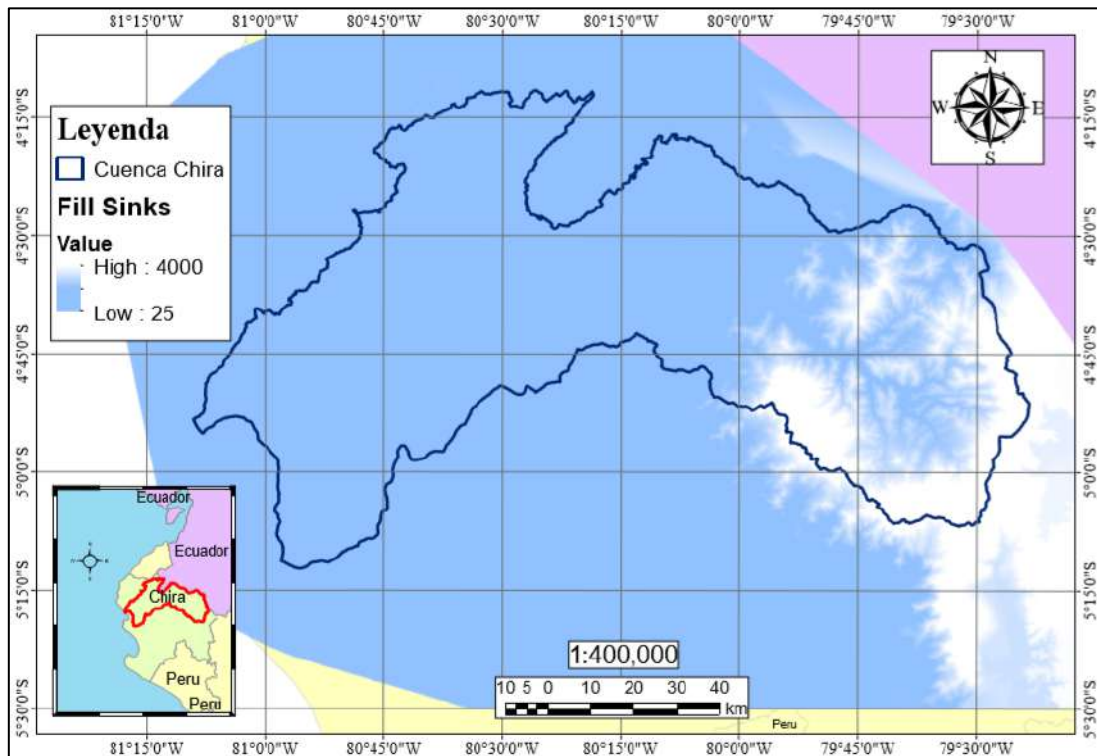


Fuente: Elaboración propia

### Anexo A 6 - DEM obtenido a partir del TIN



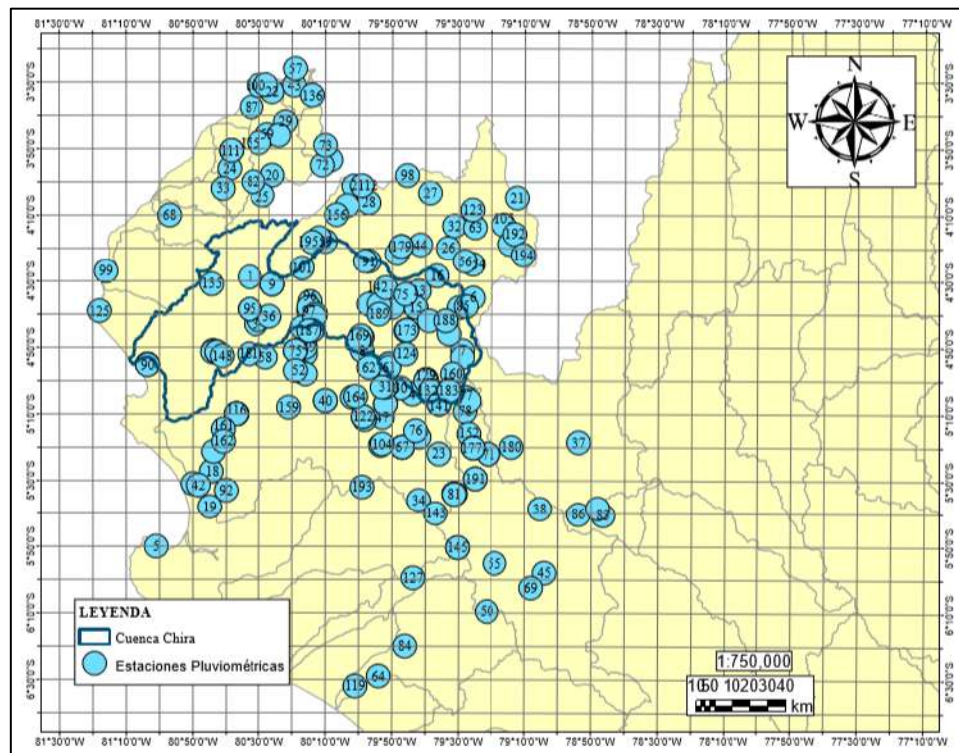
Fuente: Elaboración propia.

**Anexo A 7 - Fill sinks generado a partir del DEM.**

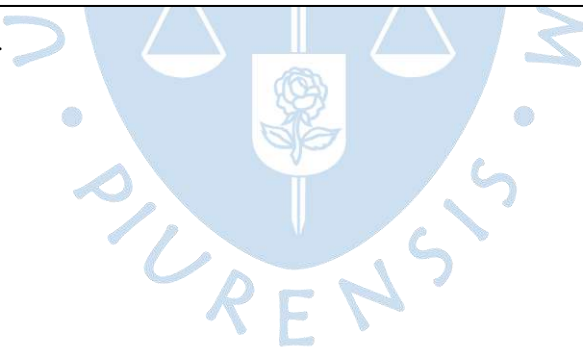
Fuente: Elaboración propia.

## Anexo B – Análisis pluviométrico

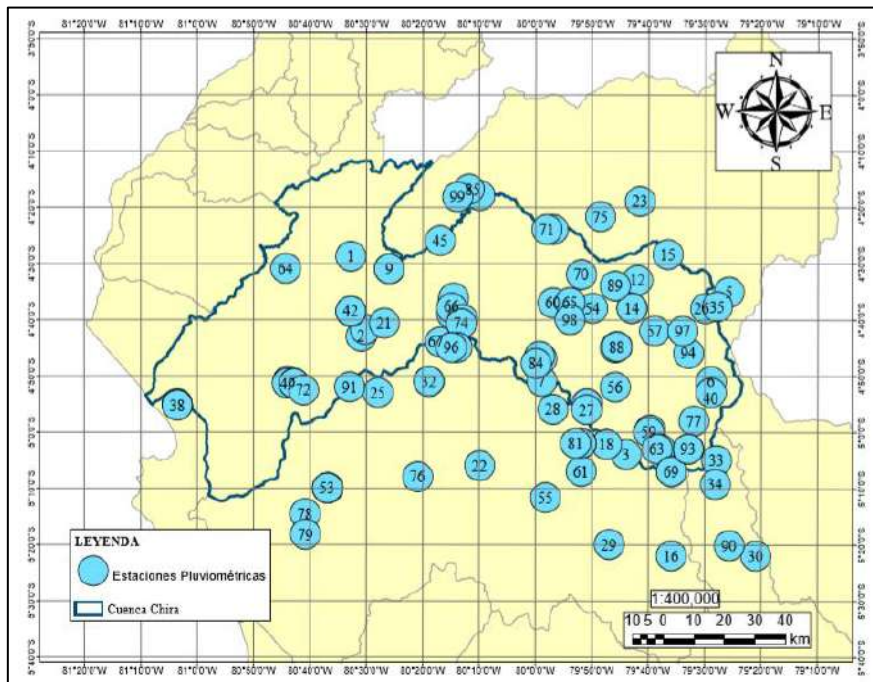
### Anexo B 1 - Ubicación de todas las estaciones pluviométricas recopilados de diferentes fuentes.



Fuente: Elaboración propia.



**Anexo B 2 - Ubicación de estaciones pluviométricas con la mayor información pluviométrica completa.**



Fuente: Elaboración propia.



### Anexo B 3 - Información de estaciones pluviométricas con la mayor información pluviométrica completa.

Nº	Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Periodo	Años	Años Completos	Data	Fuente	
1	Alamor	04°28'48.41"	80°32'49.77"	149	2000	2006	7	6	PA diaria	ANA
2	Aliviadero	04°43'00"	80°31'00"	74	1987	1988	2	0	PA diaria	ANA
3	Altamiza B	05°04'00"	79°43'59.99"	2600	1998	2007	10	0	PA diaria	ANA
4	Altamiza A	05°05'00"	81°01'00"	9	1973	1992	20	14	PA diaria	UDEP
5	Amaluzá INAMHI	04°35'4.87"	79°25'49"	1672	1990	2012	23	17	PA diaria	INAMHI
6	Ania-Cabullal	04°51'00"	79°28'59.99"	2450	1973	1996	24	13	PA diaria	ANA
7	Aranza	04°51'00"	79°58'59.99"	1300	1963	1992	30	22	PA diaria	ANA
8	Ardilla pechp	04°31'00"	80°25'59.99"	150	2013	2014	2	2	PA diaria	PECHP
9	Ardilla senamhi	04°31'00"	80°25'59.99"	150	1970	1992	23	11	PA diaria	SENAMHI
10	Arenales A	04°55'00"	79°51'00"	3010	1973	1991	19	17	PA diaria	UDEP
11	Arenales B	04°55'00"	79°50'59.99"	3010	1973	1991	19	9	PA diaria	ANA
12	Aul.C-Membrillo	04°33'00"	79°42'00"	640	1972	1990	19	12	PA diaria	ANA
13	Ayabaca B	04°37'59.99"	79°43'00"	2700	1998	2007	10	9	PA diaria	ANA
14	Ayabaca C	04°38'00"	79°43'00"	2709	1963	2014	52	45	PA diaria	SENAMHI
15	Bado Grande	04°28'25.88"	79°36'39.6"	900	1972	1996	25	17	PA diaria	ANA
16	Canchaque	05°22'00"	79°35'59.99"	1200	1963	1994	32	28	PA diaria	ANA
17	Cariamanga	04°20'00.2"	79°33'15.60"	1950	1973	2012	40	23	PA mensual	INAMHI
18	Chalaco B	05°02'12.99"	79°47'30"	2276	1998	2007	10	0	PA diaria	ANA
19	Chalaco A	05°02'00"	79°52'00"	1475	1963	2003	41	15	PA diaria	UDEP
20	Chilaco A	04°41'44"	80°30'18"	90	1972	2003	32	28	PA diaria	UDEP
21	Chilaco B	04°40'40.72"	80°26'54.99"	90	1967	1995	29	16	PA diaria	ANA
22	Chulucanas C	05°06'01"	80°10'00"	90	1972	2014	43	25	PA diaria	SENAMHI
23	Colaisaca	04°19'00"	79°41'35"	2410	1973	2012	40	29	PA mensual	INAMHI
24	El Ciruelo	04°17'56.56"	80°10'01.34"	222	1976	1996	21	14	PA diaria	ANA
25	El Tablazo	04°52'59.99"	80°28'00"	148	1963	1974	12	7	PA diaria	ANA
26	Espindola	04°37'59.99"	79°30'00"	2300	1971	1996	26	21	PA diaria	ANA
27	Frías B	04°55'59.99"	79°50'59.99"	1700	1963	1995	33	24	PA diaria	ANA
28	Frías A	04°56'00"	79°57'00"	1700	1963	2003	41	25	PA diaria	UDEP
29	Hacienda Bigote C	05°19'59.99"	79°46'59.99"	200	1963	2013	51	41	PA diaria	SENAMHI
30	Hacienda chumaya	05°22'00"	79°20'59.99"	2000	1963	2010	48	45	PA diaria	ANA
31	Hualtaco B	04°51'01"	80°19'01"	112	1970	1973	4	0	PA diaria	ANA
32	Hualtaco A	04°51'01"	80°19'00"	150	1968	1972	5	2	PA diaria	UDEP
33	Huar Huar A	05°05'00"	79°28'00"	3150	1963	1987	25	12	PA diaria	UDEP
34	Huar Huar B	05°09'16.13"	79°28'12.2"	3150	1963	1997	35	20	PA diaria	ANA
35	Jimburá	04°37'41"	79°27'54"	2100	1990	2012	23	18	PA diaria	INAMHI
36	La Esperanza B	04°55'04"	81°03'38"	12	1971	1999	29	21	PA diaria	UDEP
37	La Esperanza A	04°55'04"	81°03'38"	12	1971	1999	29	21	PA diaria	UDEP
38	La Esperanza C	04°55'16.09"	81°03'34.89"	7	1966	2015	50	38	PA diaria	SENAMHI
39	La Tina	04°24'00"	79°57'00"	427	1963	1980	18	5	PA diaria	ANA
40	Laguna Seca	04°52'59.99"	79°28'59.99"	2450	1972	1996	25	15	PA diaria	ANA
41	Lancones B	04°38'34.43"	80°32'49.77"	149	1998	2007	10	8	PA diaria	ANA
42	Lancones C	04°38'34"	80°32'49.99"	150	1963	2014	52	44	PA diaria	SENAMHI
43	Las Lomas B	04°36'12.45"	80°14'37.6"	265	1963	1987	25	17	PA diaria	ANA
44	Las Lomas A	04°39'00"	80°15'00"	265	1972	1987	16	10	PA diaria	UDEP
45	Los Encuentros	04°25'59.99"	80°16'59.99"	150	1972	1977	6	3	PA diaria	ANA
46	Mallares A	04°51'00"	80°44'00"	45	1971	2008	38	25	PA diaria	UDEP
47	Mallares C	04°51'20.67"	80°44'08"	44	1961	2014	54	28	PA diaria	SENAMHI
48	Mallares pechp	04°51'25.59"	80°42'52.89"	47	1971	1992	22	20	PA diaria	PECHP
49	Mallares senamhi	04°51'25.59"	80°42'52.89"	47	1998	2007	10	8	PA diaria	SENAMHI
50	Miraflores A	05°10'00"	80°36'51"	30	1971	2003	33	27	PA diaria	UDEP
51	Miraflores C	05°10'00"	80°37'00"	30	1971	2013	43	32	PA diaria	SENAMHI
52	Miraflores pechp	05°10'00"	80°37'00"	30	1971	2016	46	35	PA diaria	PECHP
53	Miraflores senamhi	05°10'00"	80°37'00"	30	1998	2007	10	9	PA diaria	SENAMHI
54	Montero	04°37'59.99"	79°49'59.99"	1070	1970	1996	27	20	PA diaria	ANA
55	Morropon C	05°11'40.86"	79°58'16.02"	136	1963	2014	52	38	PA diaria	SENAMHI
56	Nangay	04°52'00"	79°46'00"	2100	1963	1994	32	29	PA diaria	ANA
57	Olleros	04°42'00"	79°39'00"	1360	1963	1995	33	29	PA diaria	ANA
58	Pacaipampa B	04°59'35"	79°39'46"	1960	2003	2007	5	3	PA diaria	ANA
59	Pacaipampa A	04°60'00"	79°40'00"	1960	1962	1992	31	22	PA diaria	UDEP
60	Paimas	04°37'01"	79°57'01"	504	1970	1972	3	1	PA diaria	ANA

Fuente: Elaboración propia.

### Anexo B 3 - Información de estaciones pluviométricas con la mayor información pluviométrica completa. (continuación).

N°	Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Periodo	Años	Años Completos	Data	Fuente
61	Paltashaco B	05°07'00"	79°52'00"	900	1971	1991	21	15	PA diaria ANA
62	Palo Blanco B	05°03'01"	79°38'01"	2736	1971	1994	24	14	PA diaria ANA
63	Palo Blanco A	05°03'00"	79°38'32"	2800	1972	1992	21	12	PA diaria UDEP
64	Pananga	04°30'56.03"	80°44'22"	360	1963	2013	51	49	PA diaria SENAMHI
65	Paraje-Grande	04°37'00"	79°54'00"	555	1978	1996	19	8	PA diaria ANA
66	Partidor B	04°37'59.99"	80°15'00"	265	1998	2007	10	5	PA diaria ANA
67	Partidor A	04°44'00"	80°17'00"	250	1973	1978	6	6	PA diaria UDEP
68	Pasapampa B	05°07'00"	79°35'59.99"	2410	1963	1994	32	18	PA diaria ANA
69	Pasapampa A	05°07'00"	79°36'00"	2410	1963	1992	30	19	PA diaria UDEP
70	Pico de Loro	04°31'59.99"	79°52'00"	1325	1971	1983	13	5	PA diaria ANA
71	Puente Int.	04°23'59.45"	79°58'06.07"	408	1998	2007	10	9	PA diaria ANA
72	Puente Sullana	04°52'33.57"	80°41'13.19"	32	1983	1996	14	6	PA diaria ANA
73	Represa San Lorenzo B	04°40'00"	80°13'00"	300	1964	1971	8	0	PA diaria ANA
74	Represa San Lorenzo A	04°40'46"	80°13'16"	300	1973	2003	31	15	PA diaria UDEP
75	Sabiango INAMHI	04°21'40"	79°48'37"	700	1990	2012	23	16	PA diaria INAMHI
76	San Joaquín	05°07'59.99"	80°20'59.99"	100	1973	1987	15	12	PA diaria ANA
77	San Juan de los Alisos	04°58'00"	79°31'59.99"	2150	1972	1996	25	18	PA diaria ANA
78	San Miguel B	05°14'35"	80°40'54.99"	29	1998	2007	10	7	PA diaria ANA
79	San Miguel C	05°18'14"	80°40'50.3"	20	1973	2015	43	34	PA diaria SENAMHI
80	Santo Domingo A	05°02'00"	79°52'00"	1475	1963	1992	30	22	PA diaria UDEP
81	Santo Domingo B	05°01'59.99"	79°52'59.99"	1475	1971	1991	21	15	PA diaria ANA
82	Sapillica B	04°46'59.99"	79°58'59.99"	1450	1998	2007	10	9	PA diaria ANA
83	Sapillica A	04°46'31"	79°59'24"	1446	1972	1989	18	10	PA diaria UDEP
84	Sapillica C	04°47'47"	79°59'59"	1406	1963	2013	51	45	PA diaria SENAMHI
85	Saucillo	04°16'51"	80°11'55"	328	1973	2012	40	30	PA diaria INAMHI
86	Sausal de Culucan B	04°44'52"	79°45'42"	980	1998	2007	10	2	PA diaria ANA
87	Sausal de Culucan A	04°45'00"	79°46'00"	980	1972	1993	22	9	PA diaria UDEP
88	Sausal de Culucan C	04°44'52"	79°45'42"	980	1963	2014	52	37	PA diaria SENAMHI
89	Sicchez	04°34'00"	79°46'00"	1435	1971	1994	24	20	PA diaria ANA
90	Sondorillo	05°20'11.9"	79°25'44.5"	1960	1963	2014	52	46	PA diaria SENAMHI
91	Tablazo	04°52'00"	80°33'00"	147	1964	1973	10	7	PA diaria UDEP
92	Talaneo B	05°02'59.99"	79°32'59.99"	3430	1963	1996	34	22	PA diaria ANA
93	Talaneo A	05°03'00"	79°33'00"	3430	1963	1992	30	16	PA diaria UDEP
94	Tapal	04°46'00"	79°32'59.99"	1890	1963	1994	32	23	PA diaria ANA
95	Tejedores B	04°45'00"	80°13'59.99"	230	1963	1981	19	4	PA diaria ANA
96	Tejedores A	04°45'00"	80°15'00"	230	1962	1981	20	9	PA diaria UDEP
97	Tipulco	04°42'00"	79°34'00"	2600	1972	1994	23	13	PA diaria ANA
98	Toma de Zamba	04°40'00"	79°54'00"	585	1963	1979	17	11	PA diaria ANA
99	Zapotillo	04°18'13.32"	80°13'56.83"	223	1990	2011	22	9	PA diaria INAMHI

Fuente: Elaboración propia.

### Anexo B 4 - Tabla para evaluar meses completos en cada estación.

1983	Precipitación total diaria (mm) - Ania Cabullal											
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.20	0.00	0.00	0.00	3.90	T	T
2	20.20	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	T
3	16.40	0.00	20.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	T
4	3.40	0.00	21.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	0.00	T	T
5	4.30	16.50	47.50	0.00	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	T
6	15.00	6.90	11.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.10	0.00	T	T
7	8.00	9.50	1.20	43.60	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	T	T
8	0.00	33.00	11.20	15.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	T
9	0.00	3.60	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	T
10	0.00	0.00	1.20	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	T
11	0.00	9.00	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	T	T
12	0.00	6.40	0.00	8.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	T	T
13	26.20	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.70	T	T
14	20.20	20.70	15.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	T	T
15	0.00	15.40	0.00	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.20	T	T
16	4.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	4.70	0.00	0.00	30.00	T	T
17	0.00	0.00	51.90	0.00	31.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.20	T	T
18	0.00	0.00	0.00	0.00	11.20	0.00	0.00	0.00	13.50	0.00	T	T
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.90	T	T
20	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	T
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	T	T
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	T	T
23	0.00	0.00	0.00	18.90	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.70	T	T
24	0.00	1.40	0.00	1.00	7.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	T
25	80.40	11.60	11.30	0.00	9.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	T
26	59.10	0.00	6.40	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	T
27	48.30	0.00	3.90	7.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	T
28	70.90	0.00	36.90	10.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	T
29	23.30		33.60	18.90	16.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	T
30	20.70		9.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	T
31	0.00		4.40		0.00		0.00	0.00		0.00		T
Total	420.40	135.80	307.20	144.30	91.90	7.20	5.90	0.00	18.00	112.80	T	T
M día	13.56	4.85	9.91	4.81	2.96	0.24	0.19	0.00	0.60	3.64	T	T
CO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	31.00

**T:** Traza

**Total:** Precipitación mensual acumulada

**M día:** Precipitación mensual media

**CO:** Contabilizador de datos ausentes durante el mes indicado

**Fuente:** Elaboración propia.

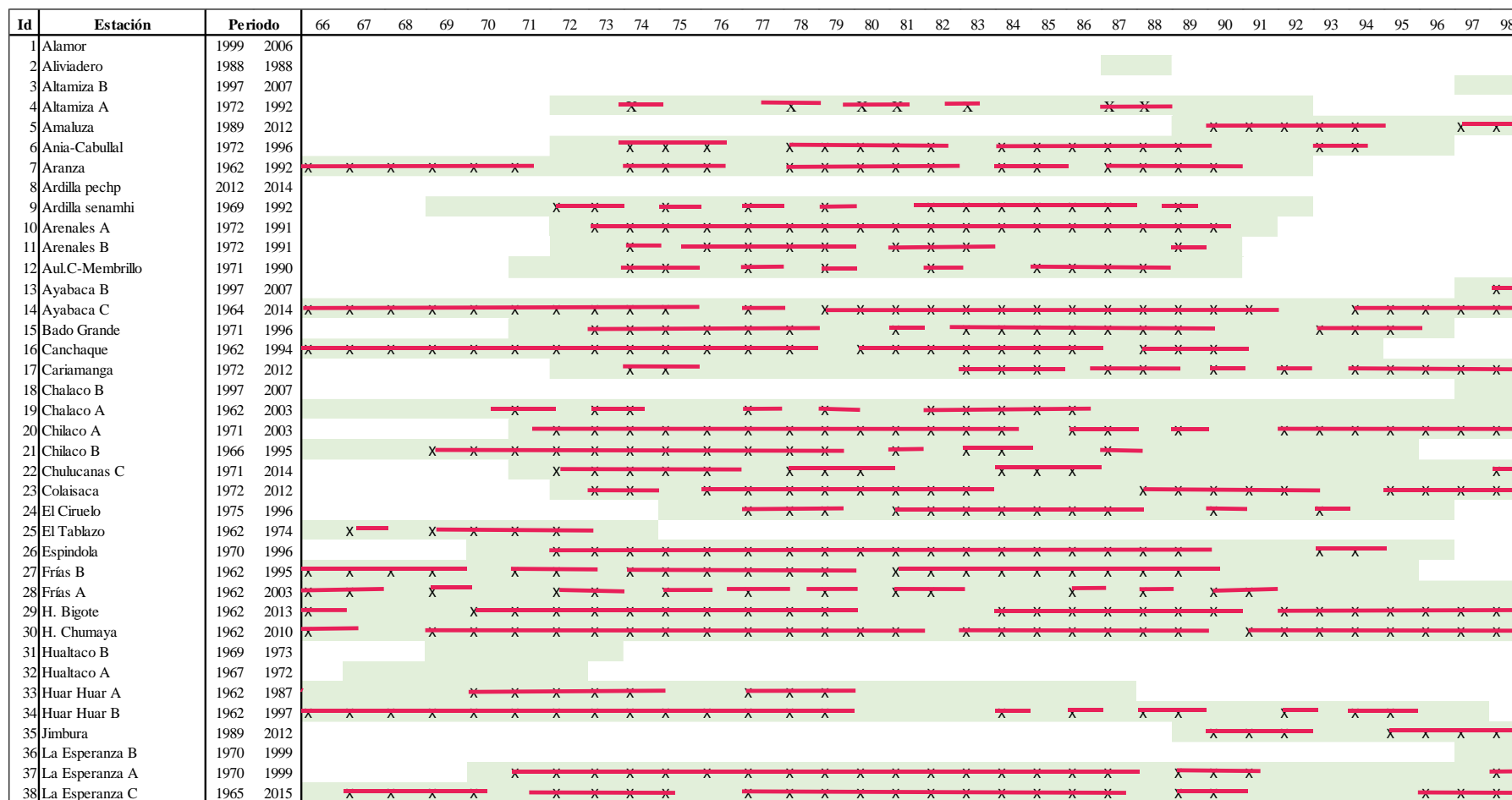
**Anexo B 5 - Tabla para evaluar información años completos en cada estación**

Precipitación Anual - Ania Cabullal (mm)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	PAA
1973	181.20	697.20	144.60	477.00	41.80	40.00	36.60	42.70	45.50	41.20	93.70	322.90	2164.40
1974	185.40	T	312.90	97.40	12.20	30.90	67.30	4.30	31.90	54.60	192.20	122.70	1111.80
1975	101.50	316.80	103.50	215.10	103.40	203.60	78.20	82.00	7.30	75.20	65.10	35.30	1387.00
1976	267.00	268.30	251.30	147.30	21.60	41.60	38.10	66.00	14.00	26.10	96.70	121.20	1359.20
1977	293.40	108.10	218.50	280.20	26.90	48.50	1.20	1.00	22.10	12.70	26.10	102.60	1141.30
1978	61.40	121.10	T	156.40	72.40	49.40	16.20	18.00	30.40	40.80	4.20	53.40	623.70
1979	222.30	84.70	144.10	162.30	12.30	0.00	1.00	24.40	14.50	29.80	4.40	33.60	733.40
1980	129.30	242.70	88.20	224.90	49.90	0.00	11.40	0.00	4.20	42.80	134.50	104.60	1032.50
1981	143.80	138.10	262.10	135.10	41.00	13.50	25.00	19.60	3.20	69.00	62.10	156.30	1068.80
1982	138.60	181.00	105.00	139.40	93.20	0.00	4.00	3.70	32.30	84.30	112.20	292.50	1186.20
1983	420.40	135.80	307.20	144.30	91.90	7.20	5.90	0.00	18.00	112.80	T	T	1243.50
1984	128.40	320.70	319.90	172.00	68.00	69.10	14.80	10.70	61.10	98.90	100.00	89.90	1453.50
1985	311.50	70.80	102.30	43.40	107.00	7.20	4.90	29.70	3.80	27.80	39.90	155.10	903.40
1986	174.40	241.00	72.20	214.60	60.50	0.00	13.20	20.60	33.70	64.40	101.30	136.40	1132.30
1987	124.20	51.20	250.00	136.80	210.80	12.20	64.20	1.80	0.00	42.50	98.80	48.00	1040.50
1988	161.50	257.00	100.60	153.10	17.20	6.30	34.00	3.20	23.60	23.80	88.50	204.50	1073.30
1989	386.30	273.90	218.10	84.40	63.10	39.50	1.20	11.50	20.10	132.00	0.00	41.20	1271.30
1990	174.50	229.30	110.00	180.40	108.70	15.00	11.70	2.20	1.00	75.00	113.10	114.80	1135.70
1991	79.70	183.20	T	T	T	39.00	8.90	25.20	5.60	52.90	117.70	89.80	602.00
1992	72.80	112.60	160.00	126.10	8.10	T	T	T	T	T	T	T	479.60
1993	T	T	T	126.80	8.10	0.00	3.90	9.60	42.40	82.70	62.90	290.10	626.50
1994	282.30	291.10	286.80	186.20	54.60	62.40	26.70	61.40	52.40	13.50	93.90	127.20	1538.50
1995	65.60	110.30	173.20	99.50	66.20	0.00	24.40	0.00	T	T	168.20	202.90	910.30
1996	T	T	T	T	T	T	16.10	20.50	T	T	T	T	36.60

**PPA:** Precipitación anual acumulada.

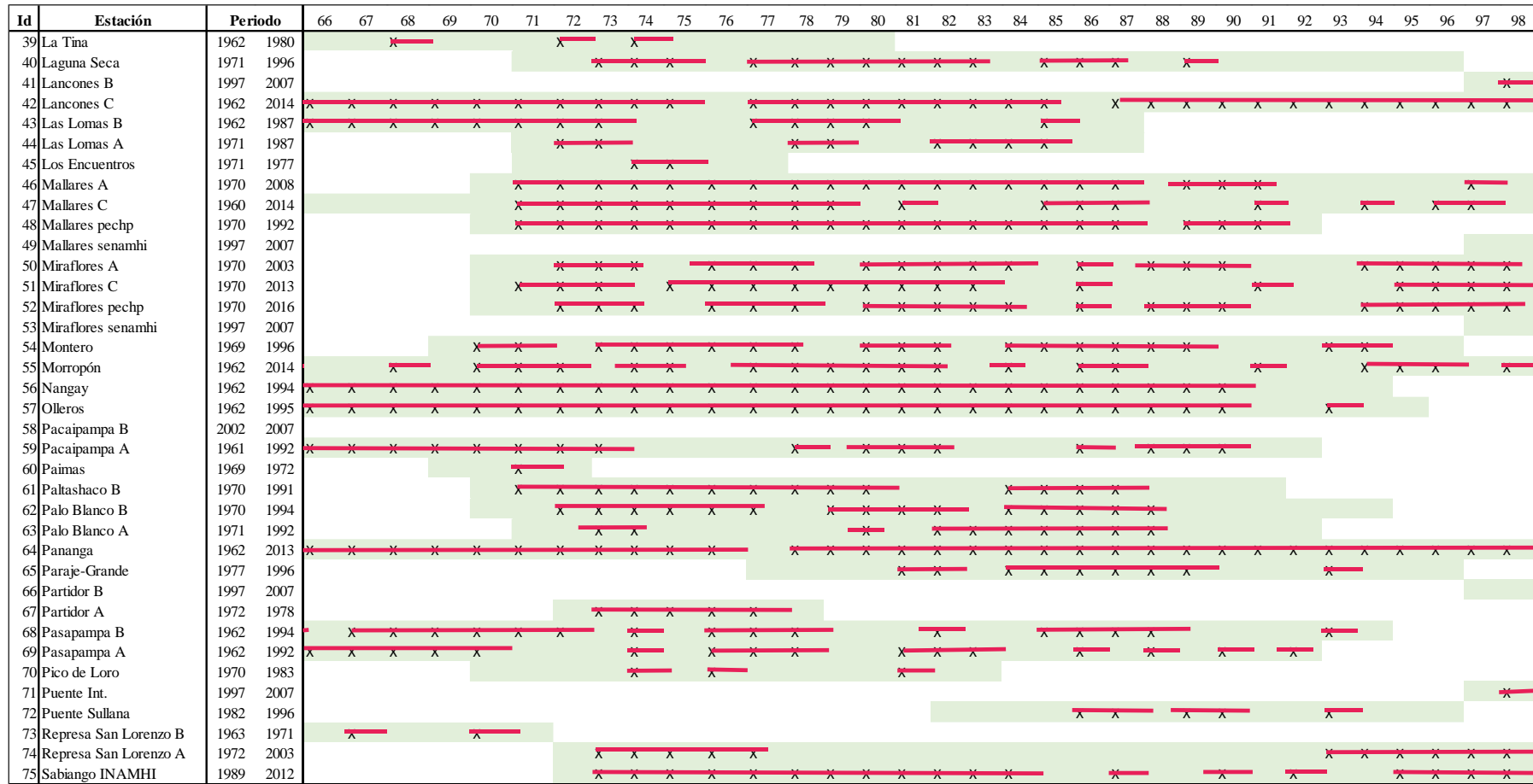
**Fuente:** Elaboración propia.

### Anexo B 6 - Gráfico para definir el periodo de estudio pluviométrico en la cuenca Chira



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo B 6 - Gráfico para definir el periodo de estudio pluviométrico en la cuenca Chira (continuación).**



Fuente: Elaboración propia



**Anexo B 7 - Precipitaciones mensuales promedio de la zona baja, luego de aplicar RLM, previo al análisis CDA.**

Mes	Und.	Ardilla Senamhi	Chilaco B	Chulucanas C	El Ciruelo	La Esperanza C	Lancones C	Las Lomas B	Mallares Pechp	Miraflores Pechp	Morropón	Pananga	San Joaquín	San Miguel C
Set	mm	2.1	0.4	3.6	10.5	0.2	0.0	0.4	0.3	0.2	1.3	0.1	1.9	0.2
Oct	mm	4.8	1.7	4.9	12.9	0.5	1.2	2.7	1.1	0.9	1.7	0.7	2.8	0.9
Nov	mm	3.9	1.8	4.6	13.8	0.2	0.7	1.5	0.6	1.4	1.0	0.8	2.2	1.1
Dic	mm	8.6	5.1	9.4	31.0	0.4	3.7	8.1	1.6	1.3	6.4	3.7	5.1	1.3
Ene	mm	53.5	37.7	47.6	86.9	9.6	38.2	36.9	18.1	18.7	45.2	34.1	35.4	16.0
Feb	mm	88.0	45.1	71.5	118.8	9.3	50.2	62.5	31.1	21.8	64.3	39.3	38.3	15.1
Mar	mm	149.3	108.8	132.6	202.2	25.0	104.2	112.4	48.8	44.7	131.9	54.5	76.4	29.0
Abr	mm	73.6	51.6	63.6	86.5	21.9	56.7	59.2	30.8	35.6	63.2	30.3	47.4	23.7
May	mm	23.0	24.5	35.4	26.3	21.6	32.7	40.1	19.3	16.4	18.8	21.1	32.3	15.0
Jun	mm	21.1	19.3	13.6	15.3	10.8	15.1	9.0	9.5	8.0	5.7	7.2	10.0	5.4
Jul	mm	2.1	0.3	3.4	9.8	0.0	0.2	0.2	0.2	0.1	0.4	0.1	1.4	0.0
Ago	mm	2.0	0.3	3.6	10.0	0.2	0.0	0.2	0.3	0.1	1.1	0.0	1.6	0.1

**Fuente:** Elaboración propia.

**Anexo B 8 - Precipitaciones mensuales promedio de la zona alta, luego de aplicar RLM, previo al análisis CDA.**

Mes	Und.	Ania Cabullal	Aranza	Arenales A	Ayabaca C	Cariamanga	Colaisaca	Espindola	Frias B	Laguna Seca	Montero	Nangay Matalacas	Olleros	Pacaimpampa A
Set	mm	29.7	10.8	12.9	19.3	36.0	23.2	26.5	9.8	47.0	7.1	8.0	17.3	20.0
Oct	mm	69.8	35.4	36.2	57.2	71.6	52.3	60.6	20.0	111.1	29.7	30.7	45.9	57.3
Nov	mm	78.2	31.7	26.5	43.9	58.5	36.3	62.1	24.2	93.1	18.1	23.7	34.2	48.5
Dic	mm	120.4	43.2	44.6	92.6	82.6	81.7	100.5	78.4	152.1	42.3	33.1	59.2	72.0
Ene	mm	180.4	62.2	76.6	165.6	142.6	122.9	140.0	188.3	213.8	121.7	61.6	104.9	111.2
Feb	mm	213.3	94.1	107.0	221.6	206.8	191.7	189.6	281.1	250.2	178.8	99.8	154.5	162.2
Mar	mm	209.5	105.9	130.5	273.3	272.6	213.7	235.4	330.6	250.5	291.8	115.2	185.8	195.5
Abr	mm	163.9	70.1	87.2	201.8	176.7	154.5	164.6	173.8	210.7	181.1	72.9	137.7	165.7
May	mm	69.5	21.5	37.7	97.6	77.4	76.9	79.2	61.4	108.8	71.2	21.5	62.0	67.0
Jun	mm	36.2	8.7	11.7	26.7	27.0	25.3	23.8	16.4	53.0	26.2	7.1	25.2	19.2
Jul	mm	26.9	3.2	6.9	10.1	14.9	13.5	12.1	3.8	48.2	5.6	3.0	9.5	8.3
Ago	mm	23.6	5.7	9.0	12.0	17.0	10.8	16.5	6.1	40.6	6.0	4.5	10.5	8.6

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo B 8 - Precipitaciones mensuales promedio de la zona alta, luego de aplicar RLM, previo al análisis CDA (continuación).**

Mes	Und.	Palo Blanco B	Paltashaco B	Pasapampa B	Sabiango INAMHI	San Juan de los Alisos	Santo Domingo A	Sapillica C	Sausal de Culucán C	Sicchez	Sondorillo	Tapal	Tipulco
Set	mm	31.4	2.5	15.7	7.3	30.2	6.1	5.3	4.1	7.6	8.8	21.5	45.1
Oct	mm	58.9	6.8	53.7	33.7	83.1	11.9	10.2	19.4	36.3	32.6	50.0	114.4
Nov	mm	47.9	6.2	51.7	27.7	71.6	12.6	9.6	13.4	27.2	36.8	49.3	77.9
Dic	mm	68.4	43.4	87.1	59.9	128.3	49.9	32.1	16.5	64.6	32.1	64.7	158.2
Ene	mm	90.6	104.0	118.3	161.1	180.2	145.3	84.1	39.9	135.5	34.6	121.0	199.3
Feb	mm	117.4	155.4	168.0	250.1	227.4	227.2	127.7	53.5	219.7	52.4	178.9	289.7
Mar	mm	136.8	225.8	193.4	390.5	236.2	270.7	169.4	71.1	302.3	61.5	168.1	318.8
Abr	mm	110.3	102.3	111.0	194.0	174.9	155.6	95.8	48.5	179.8	41.3	97.4	252.1
May	mm	54.0	38.6	47.2	72.2	73.1	44.5	42.5	23.4	65.0	16.7	59.9	133.2
Jun	mm	23.7	14.9	13.9	28.6	36.9	7.9	13.9	6.4	23.1	7.0	28.6	47.8
Jul	mm	20.3	1.7	7.0	4.1	24.4	2.2	4.6	1.8	4.7	3.0	10.1	31.7
Ago	mm	19.3	2.4	12.5	5.2	24.5	3.9	5.2	3.4	5.7	6.8	11.2	31.1

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo B 9 - Precipitaciones acumuladas anuales de la zona baja de la cuenca Chira, previo al análisis CDA.**

Año	Und.	Ardilla Senamhi	Chilaco B	Chulucanas C	El Ciruelo	La Esperanza C	Lancones C	Las Lomas B	Mallares Pechp	Miraflores Pechp	Morropón	Pananga	San Joaquín	San Miguel C
1966	mm	174.0	63.1	163.5	386.5	3.7	48.7	126.3	21.3	17.0	100.3	30.4	64.4	11.8
1967	mm	134.7	9.1	136.8	349.1	6.0	12.0	4.3	2.0	1.7	36.6	3.1	42.4	0.8
1968	mm	251.6	81.0	224.7	457.7	44.0	129.2	168.0	55.6	52.2	105.9	72.7	114.9	37.3
1969	mm	150.5	76.4	163.0	364.6	2.7	43.6	90.0	23.1	17.0	32.8	10.8	63.9	11.4
1970	mm	487.3	353.3	539.1	673.8	0.4	564.9	291.5	262.3	229.2	156.6	109.5	378.0	172.5
1971	mm	543.4	488.1	711.6	729.1	194.6	554.6	601.5	171.4	179.7	468.6	250.4	297.8	129.3
1972	mm	643.3	272.9	489.0	816.2	40.0	438.2	326.9	111.1	137.0	579.3	112.1	209.3	59.7
1973	mm	33.1	23.9	56.0	256.7	9.6	34.5	14.3	14.3	15.8	55.5	15.5	32.8	10.6
1974	mm	221.7	170.4	207.4	430.8	35.5	154.7	191.5	49.0	40.6	393.3	192.1	140.9	27.9
1975	mm	510.9	302.6	286.2	694.6	63.8	201.9	243.0	140.1	125.2	314.2	104.3	194.1	99.8
1976	mm	430.1	279.1	345.2	962.6	32.9	172.1	201.3	60.6	58.2	406.4	168.1	231.6	54.2
1977	mm	76.3	76.3	90.5	150.6	17.8	101.8	67.0	45.2	43.0	122.0	86.2	64.6	37.3
1978	mm	106.6	21.3	62.5	184.3	4.4	19.2	25.9	9.9	14.4	116.8	4.6	14.9	8.6
1979	mm	183.8	74.1	127.5	356.2	12.5	42.7	86.8	47.4	50.0	128.9	29.2	36.7	10.2
1980	mm	187.9	85.4	283.7	555.8	10.1	101.8	201.7	25.9	37.5	636.3	30.5	76.2	34.2
1981	mm	37.2	14.5	21.6	74.0	3.7	7.4	30.9	3.3	9.1	30.4	4.1	10.3	11.4
1982	mm	3692.5	3547.7	4247.7	3484.1	1816.0	3557.8	4221.7	2375.5	2283.6	2985.7	2335.8	3437.0	1763.7
1983	mm	494.1	207.5	243.1	833.4	19.2	240.6	212.6	100.0	50.9	371.9	195.8	192.3	28.2
1984	mm	113.9	108.5	118.2	274.8	14.9	45.6	53.0	11.9	25.0	131.9	16.4	32.1	14.2
1985	mm	142.1	37.0	52.3	584.9	14.4	40.0	46.1	27.2	18.8	79.3	142.6	57.4	9.1
1986	mm	1188.7	670.8	535.3	1313.3	97.4	844.4	803.7	320.4	224.7	691.5	555.0	336.8	63.9
1987	mm	156.3	75.1	48.4	123.3	7.6	30.3	49.6	35.3	21.7	52.1	41.7	83.4	25.2
1988	mm	571.5	255.0	438.6	945.0	32.1	109.2	160.9	78.4	62.0	406.6	230.6	145.9	58.1
1989	mm	29.4	6.5	98.6	174.3	2.6	4.8	14.3	9.5	6.7	35.9	16.2	49.8	4.6
1990	mm	243.4	117.5	151.1	429.7	9.1	71.3	96.2	44.2	7.1	82.6	39.4	56.9	10.1

Fuente: Elaboración propia

**Anexo B 10 - Precipitaciones acumuladas anuales de la zona baja de la cuenca Chira, luego de aplicar CDA.**

Año	Und.	Ardilla Senamhi	Chilaco B	Chulucanas C	El Ciruelo	La Esperanza C	Lancones C	Las Lomas B	Mallares Pechp	Miraflores Pechp	Morropón	Pananga	San Joaquín	San Miguel C
1966	mm	174.0	39.6	163.5	111.1	6.0	39.7	46.4	21.3	12.2	76.9	30.4	38.1	11.8
1967	mm	134.7	3.9	136.8	11.0	0.6	3.9	4.6	2.0	1.2	7.6	3.1	3.8	0.8
1968	mm	251.6	98.2	224.7	275.3	14.8	98.4	115.0	55.6	30.3	190.6	72.7	94.4	37.3
1969	mm	150.5	26.0	163.0	72.9	3.9	26.1	30.5	23.1	8.0	50.5	10.8	25.0	11.4
1970	mm	487.3	284.7	539.1	798.1	42.8	285.3	333.5	262.3	88.0	552.6	109.5	229.8	172.5
1971	mm	543.4	323.0	711.6	905.4	48.6	323.7	378.3	171.4	99.8	626.9	250.4	297.8	165.4
1972	mm	643.3	170.9	489.0	479.0	25.7	167.0	192.9	111.1	52.8	230.9	112.1	209.3	88.6
1973	mm	33.1	22.8	56.0	64.0	3.4	34.5	14.3	14.3	7.1	55.5	15.5	32.8	10.6
1974	mm	221.7	184.6	426.3	517.4	27.8	154.7	191.5	49.0	57.0	393.3	192.1	140.9	90.6
1975	mm	510.9	90.0	412.0	524.6	12.5	201.9	243.0	140.1	57.8	314.2	104.3	194.1	99.8
1976	mm	430.1	279.1	345.2	490.9	32.9	172.1	201.3	60.6	54.1	406.4	168.1	231.6	100.2
1977	mm	76.3	76.3	90.5	282.1	17.8	101.8	67.0	45.2	31.1	122.0	86.2	64.6	37.3
1978	mm	106.6	20.8	62.5	31.0	4.4	19.2	25.9	9.9	3.4	116.8	4.6	14.9	8.6
1979	mm	183.8	75.9	127.5	164.5	12.5	42.7	86.8	47.4	18.1	128.9	29.2	36.7	10.2
1980	mm	187.9	84.8	283.7	121.1	6.5	101.8	201.7	25.9	13.3	83.8	30.5	76.2	34.2
1981	mm	12.3	85.1	21.6	15.9	0.9	7.4	30.9	3.3	1.8	11.0	4.1	10.3	11.4
1982	mm	7795.9	3497.5	8332.1	9854.3	542.7	3557.8	4221.7	2375.5	1123.6	7001.9	2335.8	3437.0	1847.3
1983	mm	663.7	187.3	523.1	833.4	34.1	240.6	212.6	100.0	50.9	439.6	195.8	217.8	116.0
1984	mm	113.9	108.0	50.0	274.8	13.3	45.6	53.0	11.9	25.0	42.1	16.4	20.8	11.1
1985	mm	142.1	41.1	300.4	584.9	14.4	40.0	46.1	27.2	18.8	252.4	142.6	125.1	66.6
1986	mm	1188.7	666.6	1548.1	1313.3	97.4	844.4	803.7	320.4	224.7	1374.1	555.0	651.7	343.2
1987	mm	156.3	75.7	136.2	123.3	7.6	30.3	49.6	35.3	21.7	52.1	41.7	83.4	30.2
1988	mm	571.5	253.4	546.4	945.0	32.1	109.2	160.9	78.4	62.0	406.6	230.6	145.9	121.1
1989	mm	29.4	23.6	45.4	174.3	2.6	4.8	14.3	9.5	6.7	35.9	16.2	49.8	10.1
1990	mm	243.4	103.8	254.3	429.7	9.1	71.3	96.2	44.2	7.1	82.6	39.4	56.9	36.7

\*Los cuadros de color amarillo indican la información corregida luego de aplicar CDA.

**Fuente:** Elaboración propia

**Anexo B 11 - Precipitaciones acumuladas anuales de la zona alta de la cuenca Chira, previo al análisis CDA.**

Año	Und.	Ania Cabullal	Aranza	Arenales A	Ayabaca C	Canchaque	Cariamanga	Colaisaca	Espindola	Frias B	Hacienda Chumaya	Huar Huar B	Laguna Seca	Montero	Nangay Matalacas	Olleros
1966	mm	1116.3	428.6	472.2	876.9	626.5	1036.9	752.0	872.2	483.7	844.3	1430.0	1492.5	909.0	451.4	702.1
1967	mm	900.5	306.4	341.4	573.4	243.3	617.5	529.9	657.8	360.0	-	1095.0	1274.5	329.8	321.9	416.4
1968	mm	1159.5	529.1	561.9	1184.3	671.9	1155.5	974.9	1083.3	1428.0	-	1078.0	1511.9	952.1	435.2	826.6
1969	mm	1310.5	666.4	605.6	1210.7	453.4	1291.6	995.8	1106.4	1266.5	1138.5	1469.0	1682.8	1113.4	557.6	925.0
1970	mm	1659.5	916.4	797.1	1623.1	818.5	1898.3	1298.2	1399.6	1114.3	1062.0	2463.0	2043.1	1379.8	780.4	1423.9
1971	mm	1352.4	643.2	669.8	1407.6	1257.7	1411.5	1165.6	1320.5	1527.5	903.8	1339.0	1654.4	1664.5	539.5	884.5
1972	mm	2039.8	665.2	816.1	1518.6	1323.9	565.1	1435.6	1553.1	1841.2	1032.2	1467.0	1642.0	1429.5	670.9	967.2
1973	mm	1508.1	539.0	505.5	1023.9	390.9	1048.9	1011.6	1270.8	802.2	982.9	1353.0	1306.8	574.6	442.9	795.2
1974	mm	1605.5	693.2	749.8	1667.3	816.6	1501.3	1365.7	1798.0	1357.9	1210.3	1625.0	1755.1	1083.5	712.5	1156.4
1975	mm	1284.1	605.0	702.6	1469.5	1087.4	1398.4	1292.6	1212.2	1582.9	1022.1	999.0	1313.6	1287.9	479.9	1021.2
1976	mm	1235.8	697.2	620.7	1216.9	1045.6	1380.3	1140.8	999.0	1388.3	1125.8	911.0	1582.7	1216.5	512.0	940.1
1977	mm	819.1	382.7	404.0	566.0	495.6	628.5	649.1	843.3	661.1	847.2	916.0	1145.4	477.8	305.9	437.9
1978	mm	779.9	517.7	520.6	1201.7	543.2	805.5	952.8	1117.1	1064.5	776.6	850.0	1071.9	706.7	441.0	691.2
1979	mm	828.7	335.0	338.7	638.7	-	750.2	721.0	1002.2	720.7	698.9	901.0	1089.5	512.1	258.8	525.7
1980	mm	1064.3	544.1	585.4	1177.4	803.5	1301.3	699.6	1140.7	1300.2	807.6	-	1198.1	802.8	435.6	799.4
1981	mm	955.5	403.2	479.8	762.7	330.2	856.6	693.2	939.7	778.7	655.6	-	1252.6	305.8	288.5	589.4
1982	mm	1634.0	802.8	1110.9	2666.3	2694.8	2781.0	2170.0	1724.3	3422.8	-	-	2495.6	2919.3	885.6	1540.3
1983	mm	1494.9	709.0	865.5	2029.6	1113.2	1789.5	1426.8	1212.6	1526.8	1163.6	-	1945.1	1521.6	714.4	1494.5
1984	mm	1026.7	364.8	331.3	706.7	478.1	591.1	672.0	676.4	922.5	788.4	508.0	1741.8	483.6	326.5	418.9
1985	mm	1023.1	421.4	557.7	965.8	498.7	814.5	392.7	739.1	890.6	726.0	-	1409.2	814.9	477.9	789.6
1986	mm	1187.0	413.4	617.9	1265.9	1320.5	1057.5	225.8	333.4	1227.9	764.3	670.0	1341.4	1197.3	455.4	797.0
1987	mm	922.2	300.3	438.0	1061.3	-	959.8	884.6	1005.1	730.4	707.4	-	1320.3	449.1	357.2	701.3
1988	mm	1418.4	254.4	624.5	1589.9	1604.3	1690.3	1295.7	1324.0	1554.1	941.1	1149.0	2449.4	1028.5	519.8	836.9
1989	mm	1025.1	103.2	378.2	1110.7	385.5	1121.2	1429.3	1040.8	630.9	648.1	786.0	2384.0	568.1	262.8	735.6
1990	mm	1185.4	74.3	570.4	1026.4	661.6	1140.0	890.7	1399.5	1260.0	-	-	1380.4	759.9	388.2	749.7

Fuente: Elaboración propia

**Anexo B 11 - Precipitaciones acumuladas anuales iniciales de la zona alta de la cuenca Chira (continuación).**

Año	Und.	Pacaimpampa A	Palo Blanco B	Paltashaco B	Pasapampa B	Sabiango INAMHI	San Juan de los Alisos	Santo Domingo A	Sapillica C	Sausal de Culucán C	Sicchez	Sondorillo	Talaneo B	Tapal	Tipulco
1966	mm	804.0	742.8	371.3	756.8	1126.7	1214.8	654.6	78.3	291.0	958.0	338.0	576.2	797.3	1377.1
1967	mm	408.4	619.0	165.2	360.6	427.9	986.1	241.2	88.6	101.1	403.8	175.0	471.5	647.9	1059.8
1968	mm	1078.1	737.3	739.8	715.2	1209.7	1216.3	817.9	257.6	288.1	1035.8	247.0	478.9	808.9	1650.6
1969	mm	1021.7	846.8	628.6	805.7	1412.0	1409.7	663.2	527.9	334.7	1205.4	426.0	505.4	1153.2	1714.2
1970	mm	1468.9	1056.6	681.0	1286.7	2000.9	1793.6	1174.5	778.3	485.4	1852.6	723.0	585.5	1269.4	2160.6
1971	mm	862.8	863.9	996.5	953.7	1970.7	1325.3	1368.8	1058.6	337.9	1584.5	378.0	763.5	1144.4	1887.0
1972	mm	1222.2	898.2	1287.5	896.5	1508.2	1391.3	1576.3	806.5	283.7	1578.4	339.0	661.7	946.9	1242.5
1973	mm	836.2	822.5	271.0	717.5	446.2	1315.6	747.5	366.0	235.4	645.1	302.0	660.7	926.9	1563.8
1974	mm	1258.4	1215.8	637.7	1112.9	955.7	2038.1	1093.0	871.6	421.8	1237.2	509.0	956.3	1174.9	2168.8
1975	mm	1014.7	873.3	734.6	1015.6	2852.0	1689.6	1201.5	1090.0	304.5	1535.1	306.0	-	1181.5	1973.7
1976	mm	989.6	747.3	955.2	673.2	2358.6	1466.4	1072.5	632.2	326.8	1224.4	303.0	539.1	883.0	1564.7
1977	mm	591.5	564.3	333.2	590.8	933.5	992.3	564.0	476.1	195.5	559.1	282.0	-	555.6	1020.3
1978	mm	739.8	708.1	492.9	639.1	1242.5	1208.9	763.7	480.0	234.0	868.8	238.0	-	964.0	1438.3
1979	mm	552.5	571.5	309.2	623.3	426.9	914.0	384.4	247.4	149.5	624.8	209.0	-	731.3	1059.1
1980	mm	1079.5	862.6	618.7	1073.7	591.3	1263.2	1041.7	718.3	376.6	951.7	362.0	-	1810.9	1690.2
1981	mm	653.2	752.2	214.1	944.1	328.1	1162.8	422.7	241.8	146.8	341.2	286.0	-	558.3	1167.9
1982	mm	1978.2	1181.2	3853.0	1569.4	3442.8	2095.3	3141.3	1621.8	729.8	2785.2	414.0	828.6	1523.2	2732.0
1983	mm	1427.1	1028.6	886.7	1223.7	1507.9	1566.0	1037.3	586.0	433.3	1569.7	480.0	583.8	689.6	3099.7
1984	mm	473.5	512.2	385.1	801.9	557.3	1025.0	860.9	492.7	157.3	481.6	191.0	-	231.7	1872.1
1985	mm	826.1	644.9	396.0	853.0	868.5	1073.9	602.7	519.2	246.8	623.7	209.0	-	543.9	1856.0
1986	mm	880.7	781.4	821.0	802.0	1544.1	1042.8	1040.0	626.3	342.7	1154.4	324.0	587.0	281.7	1410.4
1987	mm	718.7	746.9	289.9	634.0	512.3	880.4	490.4	385.8	242.0	649.0	294.0	396.2	366.2	1287.3
1988	mm	1157.6	410.0	1098.0	1289.7	1275.5	1088.2	1085.8	901.0	369.1	1238.2	452.0	1023.2	984.5	2125.5
1989	mm	532.4	623.6	193.1	770.6	474.4	1064.4	387.9	483.0	274.1	624.8	196.0	1021.6	447.6	1702.5
1990	mm	811.7	663.6	242.5	877.0	888.4	1047.1	1012.1	674.6	228.7	1056.0	360.0	917.1	892.6	1657.8

Fuente: Elaboración propia

### Anexo B 12 - Precipitaciones acumuladas anuales de la zona alta de la cuenca Chira, luego de aplicar CDA.

Año	Und.	Ania Cabullal	Aranza	Arenales A	Ayabaca C	Canchaque	Cariamanga	Colaisaca	Espindola	Frias B	Hacienda Chumaya	Huar Huar B	Laguna Seca	Montero	Nangay Matalacas	Olleros	Pacaimpampa A
1966	mm	1116.3	428.6	472.2	876.9	617.1	1036.9	893.0	872.2	904.0	844.3	928.7	1135.5	909.0	376.7	702.1	804.0
1967	mm	702.0	306.4	341.4	573.4	361.0	617.5	522.4	657.8	360.0	435.1	543.3	630.2	329.8	220.4	416.4	408.4
1968	mm	1159.5	529.1	561.9	1184.3	772.6	1155.5	1118.0	1083.3	1428.0	1069.5	1162.7	1511.9	952.1	471.6	826.6	1078.1
1969	mm	1310.5	666.4	605.6	1210.7	803.7	1291.6	1163.1	1106.4	1266.5	1138.5	1209.6	1682.8	1113.4	490.6	925.0	1021.7
1970	mm	1659.5	916.4	797.1	1623.1	1137.3	1898.3	1565.6	1399.6	1114.3	1062.0	1390.9	2043.1	1379.8	694.2	1423.9	1468.9
1971	mm	1352.4	643.2	669.8	1407.6	535.9	1411.5	1165.6	1320.5	1527.5	983.8	1339.0	1654.4	1064.7	498.3	884.5	862.8
1972	mm	1498.7	665.2	816.1	1518.6	1323.9	1665.1	1435.6	1553.1	1841.2	1032.2	1467.0	1642.0	1229.7	614.5	967.2	1222.2
1973	mm	1058.7	539.0	505.5	1023.9	390.9	1048.9	1011.6	907.9	802.2	982.9	1353.0	1306.8	868.7	442.9	795.2	836.2
1974	mm	1988.6	693.2	749.8	1667.3	816.6	1501.3	1365.7	1798.0	1357.9	1210.3	1625.0	1755.1	1124.4	712.5	1156.4	1258.4
1975	mm	1284.1	605.0	702.6	1469.5	1087.4	1398.4	1292.6	1212.2	1582.9	1022.1	999.0	1313.6	1287.9	479.9	1021.2	1014.7
1976	mm	1235.8	555.6	620.7	1216.9	1045.6	1380.3	1140.8	999.0	1388.3	967.7	911.0	1582.7	1216.5	512.0	940.1	989.6
1977	mm	819.1	382.7	404.0	566.0	495.6	628.5	649.1	843.3	661.1	473.7	916.0	598.4	477.8	305.9	437.9	591.5
1978	mm	779.9	517.7	520.6	1201.7	543.2	805.5	952.8	1003.1	1064.5	776.6	850.0	1071.9	866.4	441.0	691.2	739.8
1979	mm	828.7	335.0	338.7	638.7	603.2	750.2	721.0	542.0	720.7	698.9	901.0	1089.5	564.0	258.8	525.7	552.5
1980	mm	1064.3	544.1	585.4	1177.4	803.5	1301.3	1302.3	1140.7	1300.2	807.6	1186.1	1198.1	1027.8	435.6	799.4	1079.5
1981	mm	820.4	403.2	479.8	762.7	330.2	856.6	693.2	939.7	778.7	655.6	776.9	1252.6	673.2	288.5	589.4	653.2
1982	mm	2501.7	1185.8	1110.9	2666.3	1783.6	2492.4	2170.0	2376.7	2441.7	1896.9	2369.0	2896.4	2032.7	885.6	1540.3	1978.2
1983	mm	1702.0	1109.5	865.5	2029.6	1113.2	2235.3	1774.0	1850.9	1901.5	1664.2	1844.9	2255.6	1521.6	714.4	1494.5	1427.1
1984	mm	1026.7	364.8	331.3	706.7	478.1	591.1	592.6	618.3	826.1	788.4	616.3	633.9	483.6	326.5	418.9	473.5
1985	mm	1023.1	421.4	557.7	965.8	498.7	814.5	961.1	1002.7	890.6	726.0	999.5	1409.2	814.9	477.9	789.6	826.1
1986	mm	1187.0	413.4	617.9	1265.9	765.8	1212.5	1108.2	1156.2	1227.9	764.3	1152.5	1341.4	1197.3	455.4	797.0	880.7
1987	mm	922.2	467.1	438.0	1061.3	620.1	981.8	897.3	1033.7	730.4	707.4	933.2	1140.9	808.6	357.2	701.3	718.7
1988	mm	1418.4	676.5	624.5	1589.9	897.9	1421.8	1299.4	1324.0	1554.1	941.1	1351.3	1652.2	1281.8	519.8	836.9	1157.6
1989	mm	1025.1	447.9	378.2	1110.7	594.5	941.3	860.3	1040.8	630.9	648.1	894.7	1260.1	568.1	262.8	735.6	532.4
1990	mm	1185.4	295.3	570.4	1026.4	401.4	751.8	865.3	1399.5	1260.0	576.3	1114.7	1380.4	759.9	287.4	749.7	811.7

\*Los cuadros de color amarillo indican la información corregida luego de aplicar CDA.

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo B 12 - Precipitaciones acumuladas anuales de la zona alta de la cuenca Chira, luego de aplicar CDA (continuación).**

Año	Und.	Palo Blanco B	Paltashaco B	Pasapampa B	Sabiango INAMHI	San Juan de los Alisos	San Miguel C	Santo Domingo A	Sapillica C	Sausal de Culucán C	Sicchez	Sondorillo	Talaneo B	Tapal	Tipulco
1966	mm	742.8	371.3	756.8	1126.7	1214.8	11.8	739.4	476.4	291.0	777.8	270.3	576.2	797.3	1367.1
1967	mm	619.0	165.2	360.6	427.9	986.1	0.8	432.6	278.7	101.1	455.0	158.1	471.5	647.9	799.8
1968	mm	737.3	739.8	715.2	1209.7	1473.1	37.3	925.7	788.7	288.1	973.8	338.4	627.1	808.9	1711.6
1969	mm	846.8	628.6	805.7	1412.0	1532.4	11.4	1151.3	527.9	334.7	1013.0	352.0	752.9	1153.2	1780.5
1970	mm	1056.6	681.0	1286.7	2000.9	2168.5	172.5	1174.5	778.3	485.4	1433.5	477.1	585.5	1269.4	2519.5
1971	mm	863.9	588.9	953.7	1499.9	1765.5	165.4	978.3	624.0	337.9	1029.1	378.0	763.5	1144.4	1808.7
1972	mm	898.2	680.2	896.5	1508.2	1391.3	88.6	1287.6	806.5	283.7	1444.7	339.0	661.7	946.9	2213.9
1973	mm	822.5	489.9	717.5	1138.9	1315.6	10.6	747.5	366.0	235.4	645.1	302.0	660.7	926.9	1563.8
1974	mm	1215.8	637.7	1112.9	1761.8	2038.1	90.6	1093.0	871.6	421.8	1237.2	509.0	956.3	1174.9	2168.8
1975	mm	873.3	734.6	1015.6	1513.2	1689.6	99.8	1201.5	693.6	304.5	903.3	306.0	718.4	1181.5	1973.7
1976	mm	747.3	653.8	673.2	1068.9	1466.4	100.2	1072.5	632.2	326.8	1224.4	303.0	651.8	883.0	1564.7
1977	mm	564.3	333.2	590.8	933.5	992.3	37.3	564.0	476.1	195.5	473.3	282.0	349.4	555.6	1020.3
1978	mm	708.1	492.9	639.1	1242.5	1208.9	8.6	763.7	480.0	234.0	868.8	238.0	539.3	964.0	1438.3
1979	mm	571.5	309.2	452.7	739.4	914.0	10.2	384.4	247.4	149.5	624.8	209.0	351.0	731.3	1059.1
1980	mm	862.6	618.7	825.0	1347.5	1263.2	34.2	1041.7	718.3	376.6	951.7	362.0	639.7	976.0	1690.2
1981	mm	545.8	214.1	677.9	882.6	1162.8	11.4	422.7	241.8	146.8	650.7	286.0	419.0	639.3	1167.9
1982	mm	1846.9	1135.4	1569.4	2691.3	3001.4	1847.3	1886.2	1215.2	729.8	2073.1	689.4	1277.7	1949.4	3487.2
1983	mm	1028.6	766.3	1223.7	2095.9	2337.4	116.0	1412.0	946.4	433.3	1569.7	537.3	995.0	1518.1	2715.8
1984	mm	512.2	385.1	428.6	732.3	780.8	11.1	860.9	245.9	157.3	481.6	191.0	332.4	507.1	907.2
1985	mm	644.9	396.0	709.7	868.5	1266.3	66.6	602.7	519.2	246.8	623.7	209.0	386.3	822.5	1471.3
1986	mm	781.4	821.0	802.0	1544.1	1460.1	343.2	1040.0	626.3	342.7	1154.4	324.0	587.0	948.3	1638.8
1987	mm	746.9	289.9	634.0	1319.8	1182.3	30.2	490.4	385.8	242.0	649.0	294.0	396.2	1009.0	1287.3
1988	mm	948.9	647.7	844.5	1275.5	1712.1	121.1	1085.8	901.0	369.1	1238.2	452.0	1023.2	984.5	2125.5
1989	mm	623.6	428.8	770.6	1016.4	1133.5	10.1	712.4	483.0	274.1	624.8	311.3	482.5	447.6	1702.5
1990	mm	663.6	495.8	877.0	998.6	1330.9	36.7	680.7	674.6	228.7	1056.0	360.0	796.0	892.6	1657.8

\*Los cuadros de color amarillo indican la información corregida luego de aplicar CDA.

**Fuente:** Elaboración propia

## Anexo C - Análisis clúster

### Anexo C 1 - Matriz de estudio de un escenario CF anual.

ID	A	P	Lmay	Lmen	Ap	Kc	Kt	Lm	Hmax	Hmin	Hm	Sr	Sg	NO	Dd	PA
C1	712.72	133.20	53.20	13.40	13.23	1.41	0.25	53.89	900	7	136	0.39	2.58	4	0.62	62.65
C2	154.68	75.19	32.90	4.70	4.47	1.71	0.13	34.61	950	34	201	2.71	2.97	3	1.02	137.92
C3	34.72	27.53	10.44	3.32	5.92	1.32	1.01	5.87	78	37	50	0.37	0.60	1	0.17	77.20
C4	598.42	105.68	36.40	16.44	11.85	1.22	0.23	50.51	244	49	78	0.38	0.43	4	0.46	55.99
C5	140.85	74.31	32.87	4.29	3.54	1.77	0.09	39.80	300	48	73	1.22	0.85	2	0.52	149.98
C6	818.83	149.90	61.67	13.28	11.08	1.48	0.15	73.87	1100	50	264	1.22	4.57	4	0.77	169.65
C7	556.47	116.03	45.89	12.13	10.10	1.39	0.18	55.11	204	50	93	0.29	1.20	3	0.31	177.08
C8	1183.55	274.07	127.77	9.26	8.93	2.25	0.07	132.50	3700	84	1015	2.82	18.11	4	0.54	453.83
C9	425.77	103.52	41.50	10.26	9.49	1.42	0.21	44.88	511	88	166	0.89	2.34	4	0.59	334.51
C11	40.88	29.34	10.93	3.74	3.59	1.29	0.31	11.39	300	110	175	3.34	2.68	2	0.63	540.95
C12	176.26	86.18	38.52	4.58	3.89	1.83	0.09	45.28	625	150	282	1.31	1.82	4	0.75	309.52
C13	15.92	16.75	5.46	2.92	3.12	1.18	0.61	5.10	300	150	173	0.00	3.18	1	0.32	463.24
C14	200.99	80.02	34.12	5.89	5.09	1.59	0.13	39.49	800	150	390	2.10	6.77	4	0.99	356.92
C15	105.59	59.46	25.61	4.12	3.69	1.63	0.13	28.59	450	150	239	1.48	4.18	3	0.71	484.84
C16	297.72	95.68	40.49	7.35	5.82	1.56	0.11	51.17	1450	200	543	2.47	16.34	4	0.77	444.77
C17	55.20	37.27	14.94	3.69	3.10	1.42	0.17	17.83	350	200	263	1.14	6.08	2	0.66	550.00
C18	124.56	67.21	29.36	4.24	4.16	1.70	0.14	29.92	669	250	397	1.23	11.83	3	0.78	629.53
C19	188.55	70.33	28.57	6.60	5.36	1.44	0.15	35.21	1450	250	483	3.68	15.55	4	0.78	538.05
C21	11.75	18.98	8.03	1.46	3.80	1.56	1.23	3.09	250	109	137	1.47	2.15	1	0.26	548.37
C22	5.49	13.85	6.01	0.91	0.77	1.67	0.11	7.16	300	128	160	4.10	2.73	1	1.30	554.97
C23	10.96	19.10	8.21	1.33	3.63	1.63	1.20	3.02	300	125	150	1.48	2.11	1	0.28	550.00
C24	19.90	24.85	10.54	1.89	1.50	1.57	0.11	13.26	300	132	205	1.35	2.61	2	0.86	496.27
C25	2.14	8.71	3.79	0.56	7.70	1.68	27.75	0.28	163	140	148	1.35	0.75	1	0.13	550.00
C26	6.03	12.74	5.21	1.16	1.15	1.46	0.22	5.24	300	141	182	2.52	5.01	2	1.53	550.00
C27	7.36	16.19	7.05	1.04	7.15	1.68	6.95	1.03	250	143	160	0.44	1.40	1	0.14	550.00
C28	5.35	13.62	5.91	0.91	0.75	1.66	0.10	7.16	250	148	180	1.95	2.08	1	1.34	550.00
C29	2.43	6.36	1.91	1.27	1.33	1.15	0.73	1.82	150	135	148	0.88	0.53	1	0.75	550.00
C31	4.52	11.91	5.06	0.89	0.76	1.58	0.13	5.98	188	140	152	0.98	0.83	1	1.50	550.00
C32	96.75	101.14	48.58	1.99	2.08	2.90	0.04	46.56	577	146	315	0.78	7.35	2	0.78	603.92
C34	7.25	15.20	6.48	1.12	0.98	1.59	0.13	7.40	250	136	170	1.85	1.73	2	1.13	550.00
C35	12.05	22.45	10.02	1.20	1.15	1.82	0.11	10.46	304	150	177	1.25	2.16	2	1.04	544.76
C36	138.31	57.46	22.62	6.12	4.42	1.38	0.14	31.27	650	150	259	1.43	5.40	3	0.70	471.06
C37	9.22	14.76	5.79	1.59	1.31	1.37	0.19	7.02	400	150	182	0.84	3.23	2	0.96	550.00
C38	14.91	22.29	9.59	1.55	1.44	1.63	0.14	10.32	450	150	224	3.20	6.95	2	0.81	550.00
C39	3.82	10.33	4.27	0.89	1.02	1.49	0.27	3.73	200	150	160	0.00	1.66	1	0.98	550.00
C41	301.05	99.23	42.54	7.08	6.85	1.61	0.16	43.98	1450	150	375	3.12	12.11	3	0.53	601.08
C42	191.23	70.71	28.69	6.67	6.71	1.44	0.24	28.48	2400	300	837	6.78	29.46	3	0.52	896.07
C43	912.09	184.42	80.94	11.27	10.75	1.72	0.13	84.85	3500	300	1488	4.35	39.79	4	0.57	648.49
C44	173.85	70.65	29.41	5.91	5.60	1.51	0.18	31.06	3000	1000	1922	6.26	46.09	4	0.71	993.60
C45	142.28	61.48	25.06	5.68	5.96	1.45	0.25	23.85	2900	1000	1728	7.82	49.17	3	0.72	786.56
C46	278.78	91.91	38.76	7.19	7.65	1.55	0.21	36.44	3700	1050	2236	7.09	53.23	4	0.76	785.38
C47	69.55	41.95	16.85	4.13	4.14	1.42	0.25	16.80	2550	1050	1791	9.93	54.39	3	0.66	615.90
C48	291.99	81.84	31.72	9.21	9.07	1.35	0.28	32.20	3950	1150	2352	9.84	47.76	4	0.75	1150.73
C49	757.97	137.08	54.68	13.86	13.23	1.40	0.23	57.28	4000	1150	2455	4.73	43.12	4	0.70	1083.99
C51	2.37	8.77	3.76	0.63	0.55	1.61	0.13	4.33	200	150	160	0.00	3.38	1	1.83	650.00
C52	2.88	7.36	2.56	1.12	1.56	1.23	0.85	1.84	200	150	167	0.00	4.12	1	0.64	650.00
C53	175.37	71.59	29.94	5.86	4.27	1.53	0.10	41.05	1450	150	423	3.95	14.32	4	0.85	751.02
C54	10.37	20.26	8.98	1.15	0.96	1.78	0.09	10.77	250	150	200	1.25	1.42	2	1.13	650.00
C55	17.97	24.04	10.27	1.75	1.24	1.60	0.09	14.47	500	200	269	2.94	5.47	2	1.25	719.12
C56	8.54	18.97	8.48	1.01	0.80	1.83	0.07	10.70	300	199	215	0.02	2.50	2	1.39	743.91
C57	47.29	37.25	15.59	3.03	2.68	1.53	0.15	17.64	1000	200	387	3.40	15.27	3	0.81	797.52
C58	10.44	22.55	10.26	1.02	0.91	1.97	0.08	11.46	450	200	300	0.65	17.02	2	1.52	759.25
C60	247.64	111.03	50.63	4.89	4.91	1.99	0.10	50.45	1450	250	584	2.41	18.38	4	0.90	955.92
C61	63.59	46.26	19.94	3.19	3.28	1.64	0.17	19.37	1950	450	929	4.31	39.62	3	0.66	1075.31
C62	158.11	55.32	19.58	8.07	7.92	1.24	0.40	19.96	2950	600	1590	13.08	46.08	4	0.70	1046.78
C63	240.21	80.59	33.02	7.27	4.54	1.47	0.09	52.95	2850	600	1595	7.49	44.90	4	0.92	1195.40
C64	186.00	69.73	28.29	6.57	7.31	1.44	0.29	25.43	3000	1000	1859	8.03	44.82	3	0.89	1301.24
C65	24.61	23.12	8.75	2.81	2.25	1.32	0.21	10.92	2450	1000	1590	14.93	45.29	2	0.66	1250.00
C66	86.55	67.96	31.21	2.77	2.69	2.06	0.08	32.21	3900	1001	2416	8.28	42.30	3	0.84	1249.39

Fuente: Elaboración propia.