



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Evaluación de la red hidrometeorológica y conformación
de base de datos de la cuenca del río Chira**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

**Haaron Mariano Chavez Lupu
Alvaro Gabriel Coronado Gomez**

Asesor(es):
Mgtr. Ing. Clara Marina Farias de Reyes; Ing. Luis Ángel Noblecilla Palomino

Piura, diciembre de 2020





*A Dios, a la Virgen,
a mi familia y amigos cercanos por su apoyo
incondicional.*

Alvaro Coronado Gomez

*A Dios por ser siempre mi compañía
y guía a lo largo de mi vida,
a mi familia y a mis abuelos en el cielo,
por su apoyo y consejos para llegar a mis
objetivos de vida.*

Haaron Chavez Lupu



Esta tesis forma parte del proyecto denominado: “Modelación hidrológica de los caudales de los ríos Chira y Piura: evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción”, a cargo de la Universidad de Piura e IRAGER, financiado por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) y el Banco Mundial, mediante el CP N°8682-PE-BM-FONDECYT contrato N° 060-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV, cuyo objetivo principal es desarrollar modelos estadísticos para la predicción a corto plazo (24, 48, 72 horas) de los caudales de avenida de los ríos Chira y Piura, partiendo de un estudio exhaustivo de la red hidrometeorológica actual que garantice la calidad de la información empleada en la predicción.

Se agradece al FONDECYT por el financiamiento brindado para el desarrollo de la presente tesis; asimismo, al Proyecto Especial Chira Piura y al SENAMHI, por la información y las facilidades dadas para la conformación de la base de datos hidrometeorológica.



Resumen Analítico - Informativo

Evaluación de la red hidrometeorológica y conformación de base de datos de la cuenca del río Chira

Chavez Lupu, Haaron Mariano; Coronado Gomez, Alvaro Gabriel

Asesor(es): Mgtr. Ing. Clara Marina Farias Zegada de Reyes; Ing. Luis Ángel Noblecilla Palomino

Tesis

Ingeniero Civil

Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

Piura, diciembre de 2020

Palabras claves: Cuenca/ hidrometeorológica/ evaluación/ Chira/ ARCGIS.

Introducción: La cuenca hidrográfica del río Chira está fuertemente influenciada por anomalías climáticas como El Niño- Oscilación del Sur (ENSO), entre otras; las cuales pueden causar grandes pérdidas en la región tanto materiales como humanas. Además de esto la cuenca cuenta con el reservorio Poechos, estructura que regula los caudales evitando así inundaciones y daños en los valles, sin embargo, esta estructura está perdiendo su capacidad por la sedimentación, haciendo sumamente necesario contar con una herramienta de predicción de caudales. Con este motivo se realizó una evaluación exhaustiva de la red hidrometeorológica, así como una recopilación de la información existente que luego fue procesada y analizada en el presente trabajo para contar con una base de datos actualizada, operativa y fiable necesaria para elaborar dicha herramienta.

Metodología: Primero se realizó una evaluación de la red hidrometeorológica mediante visitas de campo programadas para conocer la realidad en la que se encuentra el sistema de estaciones, para después realizar una recopilación de datos y un análisis de dicha información, generando así una base de datos y un mapeo de la red mediante el software ArcGIS pro.

Resultados: Mediante las visitas programadas se logró conocer la situación de la red hidrometeorológica, donde la mayoría de estaciones convencionales están en mal estado por falta de mantenimiento y seguridad mientras que las estaciones automáticas se encuentran en mejor estado, por el menor tiempo que llevan funcionando. Con la información recopilada de SENAMHI y PECHP se obtuvo una base de datos diarios tanto de las estaciones pluviométricas e hidrométricas en un periodo de 47 años hidrológicos de 1973 a 2019.

Conclusiones: La red pluviométrica de la cuenca, sobre todo en su parte alta, cuenta con una baja densidad de estaciones, lo que se debería mejorar para controlar mejor las épocas de lluvia, mientras que la red hidrométrica si bien es cierto está dejando de lado las mediciones convencionales, deben modernizar los métodos de aforo para llevar un mejor control en las épocas de fuertes avenidas. La base de datos elaborada posee una gran consistencia y confiabilidad que será de gran ayuda en la elaboración de una herramienta de predicción.

Fecha de elaboración del resumen: 3 de diciembre de 2020

Analytical – Informative Summary

Evaluación de la red hidrometeorológica y conformación de base de datos de la cuenca del río Chira

Chavez Lupu, Haaron Mariano; Coronado Gomez, Alvaro Gabriel

Asesor(es): Mgtr. Ing. Clara Marina Farias Zegada de Reyes; Ing. Luis Ángel Noblecilla Palomino

Tesis

Ingeniero Civil

Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

Piura, diciembre de 2020

Keywords: Basin/ hydrometeorological / evaluation / Chira/ ARCGIS.

Introduction: The hydrographic basin of the Chira river is strongly influenced by climatic anomalies such as El Niño- Southern Oscillation (ENSO), among others; which can cause great losses in the region, both material and human. In addition to this, the basin has the Poechos reservoir, a structure that regulates flows, thus preventing flooding and damage to the valleys. However, this structure is losing its capacity due to sedimentation, making it extremely necessary to have a flow prediction tool. For this reason, an exhaustive evaluation of the hydrometeorological network was carried out, as well as a compilation of the existing information that was then processed and analyzed in this work to have an updated, operational and reliable database necessary to elaborate said tool.

Methodology: First, an evaluation of the hydrometeorological network was made through scheduled field visits to know the reality in which the station system is located, and then perform a data collection and analysis of said information, thus generating a database and a network mapping using ArcGIS pro software.

Results: Through the scheduled visits, it was possible to know the situation of the hydrometeorological network, where the majority of conventional stations are in poor condition due to lack of maintenance and security, while the automatic stations are in better condition, because of the shorter time they have been in use. With the information collected by SENAMHI and PECHP, a daily database of both pluviometric and hydrometric stations was obtained over a period of 47 hydrological years, from 1973 to 2019.

Conclusions: The pluviometric network of the basin, especially in its upper part, has a low density of stations, which should be improved to better control rainy seasons, while the hydrometric network, although it is true, is neglecting the measurements. Conventional, they must modernize the methods of gauging to have a better control in the times of strong water discharges. The database developed has great consistency and reliability that will be of great help in the development of a prediction tool.

Summary date: December 3rd, 2020

Tabla de contenido

Introducción.....	1
Capítulo 1.....	3
Marco teórico.....	3
1.1. Cuenca hidrográfica.....	3
1.1.1. Tipos de cuenca.....	3
1.1.2. Elementos de una Cuenca	4
1.1.3. Características geomorfológicas de una cuenca.....	7
1.2. Estación hidrometeorológica y análisis de información	13
1.2.1. Estaciones pluviométricas.....	14
1.2.2. Estaciones hidrométricas	29
1.2.3. Sistema de información geográfica: ArcGIS Pro.....	39
Capítulo 2.....	43
Cuenca del río Chira.....	43
2.1. Ubicación	43
2.2. Hidrografía.....	44
2.3. Climatología.....	46
2.4. Suelos	47
2.5. Características fisiográficas de la cuenca	48
2.6. Subcuencas y su geomorfología principal	48
Capítulo 3.....	51
Red pluviométrica de la cuenca del río Chira	51

3.1. Descripción	51
3.2. Evaluación de estaciones	52
3.2.1. Reporte general de las estaciones visitadas	52
3.2.2. Descripción de estaciones sin visita de campo	58
3.3. Recopilación de información	60
3.4. Análisis pluviométrico	69
3.4.1. Relleno de datos faltantes	70
3.4.2. Análisis de consistencia	82
3.5. Base de datos y mapas en ARCGIS	89
3.5.1. Base de datos anuales	89
3.5.2. Mapas en ARCGIS	93
Capítulo 4	99
Red hidrométrica de la cuenca del río Chira	99
4.1. Descripción	99
4.2. Evaluación de estaciones	100
4.2.1. Reporte general de las estaciones visitadas	100
4.2.2. Descripción de estaciones sin visita de campo	103
4.3. Recopilación de información	103
4.4. Análisis de la información hidrométrica	108
4.4.1. Relleno de datos faltantes	108
4.4.2. Análisis de consistencia	115
4.5. Base de datos y mapas en ARCGIS	121
4.5.1. Base de datos anuales	121
4.5.2. Mapas en ARCGIS	123
Conclusiones	131
Recomendaciones	133
Referencias bibliográficas	135

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación de estaciones de observaciones meteorológicas, hidrológicas y agrometeorológicas según finalidad.....	16
Tabla 2. Tabla para ploteo de las CDA	21
Tabla 3. Subcuencas de la cuenca Catamayo-Chira.....	48
Tabla 4. Pendiente media de los cauces principales.....	49
Tabla 5. Pendiente media de las subcuencas.....	49
Tabla 6. Condiciones de drenaje de la cuenca	49
Tabla 7. Estaciones activas del SENAMHI en la cuenca del río Chira	51
Tabla 8. Estaciones del Sistema de alerta y monitoreo de quebradas (SAMQ) del ANA	52
Tabla 9. Datos generales estación Quebrada Cantera Panamericana.....	53
Tabla 10. Datos generales estación Quebrada El Niño	53
Tabla 11. Datos generales estación Quebrada Mocho Delgado.....	54
Tabla 12. Datos generales estación La Esperanza.....	54
Tabla 13. Datos generales estación Mallares	55
Tabla 14. Datos generales estación Lancones	55
Tabla 15. Datos generales estación Puente Simón Rodríguez	56
Tabla 16. Datos generales estación Puente Internacional	56
Tabla 17. Datos generales estación Alamor	57
Tabla 18. Datos generales estación El Ciruelo.....	57
Tabla 19. Datos generales estación Sausal de Culucan.....	58
Tabla 20. Datos generales estación Ayabaca	58

Tabla 21. Datos generales estación Pananga.....	58
Tabla 22. Datos generales estación Sapillica	58
Tabla 23. Datos generales estación Hualcuy.....	59
Tabla 24. Datos generales estación Paimas.....	59
Tabla 25. Datos generales estación Chipillico	59
Tabla 26. Datos generales estación Ardilla	59
Tabla 27. Datos generales estación Partidor	60
Tabla 28. Tabla general recopilación de registros pluviométricos.....	61
Tabla 29. Estaciones pluviométricas convencionales de SENAMHI con registro consistente pluviométrico recopilado para creación de base de datos	62
Tabla 30. Número de registros pluviométricos mensuales recopilados de las estaciones convencionales de SENAMHI para creación de base de datos.....	63
Tabla 31. Estaciones pluviométricas automáticas de SENAMHI.....	65
Tabla 32. Número de registros pluviométricos mensuales recopilados de	66
Tabla 33. Precipitaciones registradas y faltantes por estación	70
Tabla 34. Correlaciones lineales con los registros diarios de cada estación	71
Tabla 35. Correlaciones lineales con los registros mensuales de cada estación	72
Tabla 36. Datos generales de las estaciones pluviométricas convencionales del SENAMHI para jerarquización clúster	75
Tabla 37. Datos generales estandarizados de las estaciones pluviométricas convencionales del SENAMHI para jerarquización clúster.....	76
Tabla 38. Ecuaciones de regresión lineal simple y múltiple obtenidas con clústeres.	77
Tabla 39. Ecuaciones de regresión lineal simple y múltiple obtenidas fuera de clústeres.....	79
Tabla 40. Datos rellenados por cada ecuación obtenida por clústeres	80
Tabla 41. Datos rellenados por cada ecuación obtenida	82
Tabla 42. R^2 ajustado de ecuaciones de relleno.	82
Tabla 43. Base de datos de precipitación final.....	90
Tabla 44. Precipitación promedio	92

Tabla 45. Precipitación promedio	92
Tabla 46. Precipitación anual FEN 1983, 1998 y 2017 en mm	93
Tabla 47. Estaciones activas en la cuenca del Chira	99
Tabla 48. Datos generales estación Puente Simón Rodríguez	100
Tabla 49. Datos generales estación Paraje Grande	101
Tabla 50. Datos generales estación Puente internacional Macará	101
Tabla 51. Datos generales estación Puente internacional Alamor	102
Tabla 52. Datos generales estación El Ciruelo.....	102
Tabla 53. Datos generales estación Ardilla.....	103
Tabla 54. Datos generales estación Puente Sullana	103
Tabla 55. Datos hidrométricos históricos recopilados	104
Tabla 56. Datos recopilados de estaciones convencionales activas	105
Tabla 57. Datos recopilados de estaciones automáticas activas.....	106
Tabla 58. Resumen de datos generales de estaciones convencionales.....	107
Tabla 59. Resumen de datos generales de estaciones automáticas	107
Tabla 60. Datos faltantes por estación	108
Tabla 61. Correlaciones entre estaciones	108
Tabla 62. Ecuaciones de regresión lineal simples y múltiples, estación Ardilla	110
Tabla 63. Ecuaciones de regresión lineal simples y múltiples, estación El Ciruelo	111
Tabla 64. Ecuaciones de regresión lineal simples y múltiples, estación Puente Internacional.....	112
Tabla 65. Ecuaciones de regresión lineal simples y múltiples, estaciones Paraje Grande y Puente Sullana.....	113
Tabla 66. Resumen de ecuaciones usadas de mayor a menor R^2	114
Tabla 67. Patrón de caudales anuales.....	116
Tabla 68. Base de datos final: Caudales anuales.....	122
Tabla 69. Influencia de años con FEN	123

Tabla 70. Áreas de subcuencas definidas por estaciones	124
Tabla 71. Caudales específicos de cada estación	124
Tabla 72. Caudales para cada periodo de interés incluyendo canal de derivación y Poechos.....	124
Tabla 73. Caudales específicos definitivos por cada estación	125



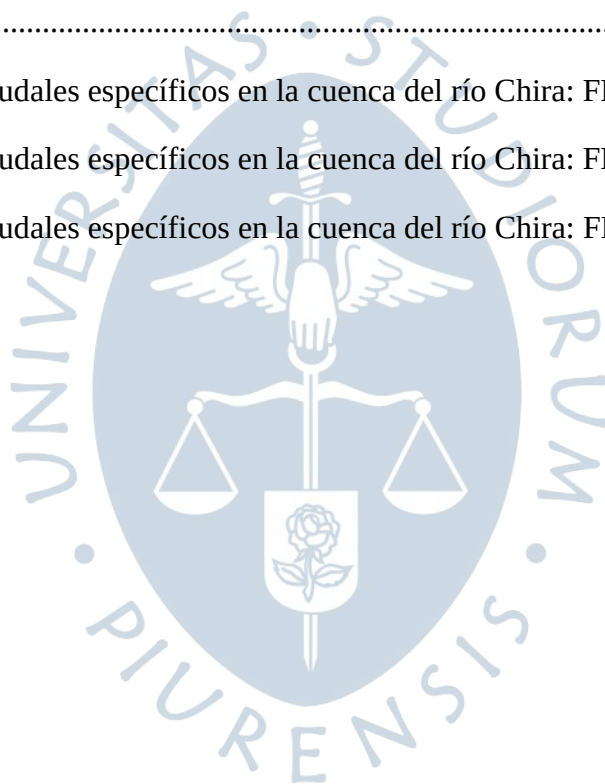
Lista de figuras

Figura 1. Tipo de cuencas según la evacuación de las aguas: a) Abiertas, b) Cerradas,.....	4
Figura 2. Delimitación cartográfica	5
Figura 3. Red de drenaje, río principal y tributarios	6
Figura 4. Longitud del cauce principal (L) y perímetro (P)	7
Figura 5. Variación del hidrograma con la forma de la cuenca	8
Figura 6. Rectángulo equivalente.....	9
Figura 7. Método de la pendiente uniforme	10
Figura 8. Método de la compensación de áreas	11
Figura 9. Franja de influencia	11
Figura 10. Relación de curva hipsométrica y madurez de los ríos.....	13
Figura 11. Relación entre curva hipsométrica y polígono de frecuencias.....	13
Figura 12. Diagrama de funcionamiento del radar escáner de lluvias “Ramón Mugica”	20
Figura 13. Alcance geográfico actual del.....	20
Figura 14. Curva doble acumulada	22
Figura 15. Método utilizado por el U.S. National Weather Service.	24
Figura 16. Análisis de regresión en Microsoft Excel.	26
Figura 17. Polígonos de Thiessen	27
Figura 18. Isoyetas de precipitación.....	28
Figura 19. Reglas limnimétricas de modelo topográfico	31
Figura 20. Equipos limnigráficos	31
Figura 21. Aforo por suspensión desde carro huaro en río Rimac	33

Figura 22. Aforo por vadeo en río Mala.....	34
Figura 23. Aforo con ADCP en río Piura.....	35
Figura 24. Pantalla de salida gráfica de resultados del aforo con ADCP M-9.....	35
Figura 25. Esquema del principio de funcionamiento del radar de velocidad SVR	36
Figura 26. Aforo del río Chancal-Huaral en Pte. Cuchuanca con pistola radar SVR	36
Figura 27. Método de la semisección.....	37
Figura 28. Curva caudal-nivel del río Chira en la estación Puente Internacional Macará.....	38
Figura 29. Capas temáticas de un SIG	40
Figura 30. Logo de ArcGIS desktop.	41
Figura 31. Módulo de ArcMAP.	41
Figura 32. Ubicación de la cuenca en territorio peruano	44
Figura 33. Hidrografía de la cuenca del río Chira.....	45
Figura 34. Precipitación media anual por rango de colores	47
Figura 35. Subcuencas de la cuenca Catamayo-Chira.	50
Figura 36. Distribución espacial de estaciones pluviométricas activas.	52
Figura 37. Correlación de la precipitación mensual entre las estaciones automática y convencional en Alamor.....	66
Figura 38. Correlación de la precipitación mensual entre las estaciones automática y convencional en Ayabaca.....	67
Figura 39. Correlación de la precipitación mensual entre las estaciones automática y convencional en Lancones.	67
Figura 40. Correlación de la precipitación mensual entre las estaciones automática y convencional en Puente Internacional.....	68
Figura 41. Correlación de la precipitación mensual entre las estaciones automática y convencional en El Ciruelo.	68
Figura 42. Correlación de la precipitación mensual entre las estaciones automática y convencional en Sapollica.....	69
Figura 43. Clústeres para el cálculo de las ecuaciones de regresión.....	73

Figura 44. Cálculo de Clústeres en Minitab con vectores distancia estandarizados	74
Figura 45. Curvas dobles acumuladas del clúster 1 de la cuenca del río Chira.	83
Figura 46. Precipitaciones anuales del clúster 1 de la cuenca del río Chira.	84
Figura 47. Curvas dobles acumuladas del clúster 2 de la cuenca del río Chira.	84
Figura 48. Curvas dobles acumuladas del clúster 2A de la cuenca del río Chira.	85
Figura 49. Corrección de Alamor.....	85
Figura 50. Curvas dobles acumuladas del clúster 2A corregido de la cuenca del río Chira.....	86
Figura 51. Precipitaciones anuales del clúster 2A corregido de la cuenca del río Chira	86
Figura 52. Curvas dobles acumuladas del clúster 2B de la cuenca del río Chira.....	87
Figura 53. Precipitaciones anuales del clúster 2B de la cuenca del río Chira.....	87
Figura 54. Curvas dobles acumuladas del clúster 3 de la cuenca del río Chira	88
Figura 55. Corrección de Sapillica.....	88
Figura 56. Curvas dobles acumuladas del clúster 2A corregido de la cuenca del río Chira.....	89
Figura 57. Precipitaciones anuales del clúster 3 corregido de la cuenca del río Chira	89
Figura 58. Distribución pluviométrica en la cuenca del río Chira, Período 1972-2019. Con FEN 1983, 1998 y 2017.....	94
Figura 59. Distribución pluviométrica en la cuenca del río Chira. Período 1972-2019. Sin FEN 1983, 1998 y 2017.....	95
Figura 60. Distribución pluviométrica en la cuenca del río Chira. FEN 1983.....	96
Figura 61. Distribución pluviométrica en la cuenca del río Chira. FEN 1998.....	97
Figura 62. Distribución pluviométrica en la cuenca del río Chira. FEN 2017.....	98
Figura 63. Distribución espacial de estaciones hidrométricas activas.	99
Figura 64. Criterios para aceptación de ecuaciones	109
Figura 65. Determinación del PQA.....	115
Figura 66. PQA entre Ardilla y Puente Internacional	117
Figura 67. Curva doble acumulada de estación El Ciruelo	117

Figura 68. Caudales anuales versus año hidrológico	118
Figura 69. Curva doble acumulada de estación El Ciruelo sin 1983 ni 1998	118
Figura 70. Curva doble acumulada de estación Paraje Grande.....	119
Figura 71. Curva doble acumulada de estación Puente Sullana.....	120
Figura 72. Caudales anuales versus año hidrológico	120
Figura 73. Curvas dobles acumuladas de estaciones corregidas.....	121
Figura 74. Mapa de caudales específicos en la cuenca del río Chira: periodo 1973-2019	126
Figura 75. Mapa de caudales específicos en la cuenca del río Chira: periodo 1973-2019 sin FEN.....	127
Figura 76. Mapa de caudales específicos en la cuenca del río Chira: FEN 1983	128
Figura 77. Mapa de caudales específicos en la cuenca del río Chira: FEN 1998	129
Figura 78. Mapa de caudales específicos en la cuenca del río Chira: FEN 2017	130



Introducción

La cuenca hidrográfica del río Chira está fuertemente influenciada por anomalías climáticas como El Niño- Oscilación del Sur (ENSO), la oscilación Madden-Julian y otras ondas oceánicas y atmosféricas. Asimismo, en los últimos años se ha observado la ocurrencia más frecuente de estos eventos, tal como se vivió en el verano del 2017, donde los estragos producidos trajeron consigo grandes pérdidas económicas y lamentables pérdidas humanas.

Por otro lado, se cuenta con el reservorio Poechos, estructura hidráulica que permite la regulación de los caudales en la cuenca, evitando de esta forma inundaciones y daños en los valles del Medio y Bajo Chira. Sin embargo, dicho reservorio está perdiendo capacidad debido a la acumulación de sedimentos que ingresan sobre todo en años lluviosos.

Si se contara con una herramienta de predicción del caudal de entrada al reservorio Poechos, sería posible aplicar operaciones de limpieza y descolmatación factibles y de bajo costo, y así se aprovecharían las velocidades del agua para el arrastre de los sedimentos, tal como lo plantea la metodología de descolmatación de la Universidad de Piura (UDEP). Pero para que dicha herramienta de predicción logre tener óptimos resultados, es necesario contar con una base de datos actualizada, operativa y fiable mediante la evaluación exhaustiva de las estaciones hidrometeorológicas existentes, objetivo principal de la presente tesis.

Para la evaluación de la información recolectada se procedió a realizar los respectivos análisis hidrológicos de precipitación y de caudales como análisis de consistencia de datos, relleno de información faltante, entre otros. Por último, se utilizó ArcGIS® (*software by Environmental Systems Research Institute*) para la elaboración de mapas de ubicación de las estaciones activas y mapas de distribución pluviométrica espacial.

El estudio se presenta en 5 capítulos: en el primero se define una cuenca hidrográfica con sus parámetros más relevantes, así como la metodología de las observaciones meteorológicas; en el segundo, se describe la cuenca del río Chira; en el tercer y cuarto capítulo se procede con la evaluación de las estaciones pluviométricas e hidrométricas respectivamente y finalmente, en el quinto y último capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones, producto de la investigación.



Capítulo 1

Marco teórico

1.1. Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica se define como toda la extensión de una superficie en la cual las aguas aportadas por una precipitación pluvial, deshielo o cualquier otra fuente, son escurridas hacia un mismo punto (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2011).

Otra definición de cuenca hidrográfica se deduce durante el ciclo hidrológico, donde parte del agua precipitada se infiltra en los suelos, otra se evapora en la misma área y una tercera escurre a través de los ríos y quebradas, avenando el terreno. Esta porción de superficie que es drenada por los ríos y quebradas es lo que se llama cuenca hidrográfica, la cual está delimitada por la línea divisoria de las aguas (Reyes, 1992).

Para poder comprender bien el funcionamiento de una cuenca y así poder planificar de forma correcta el buen uso del recurso hídrico, es necesario conocer desde su definición, hasta las partes que la conforman y las características que describen su comportamiento.

1.1.1. Tipos de cuenca

Las cuencas hidrográficas se pueden clasificar de numerosas maneras, dependiendo del criterio usado. A continuación, se detallarán los más importantes. (Ordoñez, 2011).

1.1.1.1. Por su ecosistema

Según el medio donde están ubicadas, la cuenca presentará una condición natural existiendo 4 posibilidades:

- Cuencas áridas
- Cuencas tropicales
- Cuencas frías
- Cuencas húmedas

1.1.1.2. Por su relieve

Considerando las condiciones del terreno, se pueden encontrar:

- Cuencas planas
- Cuencas de alta montaña
- Cuencas accidentadas

1.1.1.3. Por la dirección de la evacuación de las aguas

Se distinguen 3 clases (Figura 1):

- Exorreicas o abiertas: evacuan sus aguas al mar.
- Endorreicas o cerradas: tienen como punto de cierre lagos, lagunas o cuerpos de agua sin conexión al mar.
- Arreicas: donde las precipitaciones pluviales se evaporan o infiltran antes de drenar a algún punto. Típico de zonas planas y desérticas.

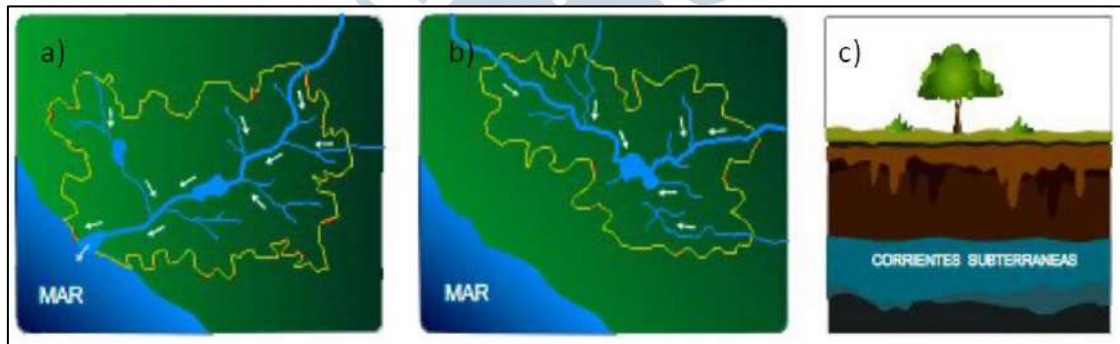


Figura 1. Tipo de cuencas según la evacuación de las aguas: a) Abiertas, b) Cerradas, c) Arreicas

Fuente: (Ordoñez, 2011)

1.1.2. Elementos de una Cuenca

Toda cuenca hidrográfica está formada por los siguientes elementos:

1.1.2.1. Divisoria de aguas

Es la delimitación topográfica de una cuenca hidrográfica. La precipitación a cada lado de esta línea divisoria drena comúnmente a ríos distintos (Ordoñez, 2011).

Según Reyes (1992) la cuenca está delimitada por una línea que pasa por los puntos topográficos más altos del terreno, donde el agua precipitada escurre al cauce principal o lo hace a la cuenca vecina.

Al estudiar una cuenca es necesario conocer el territorio que abarca, y por lo tanto saber delimitarla correctamente. Existen varios métodos para trazar esta línea de división, en la que destacan 2:

a. Trazo manual o método cartográfico (Minagri-ANA, 2012)

Teniendo la cartografía del terreno en estudio, se procede a identificar los principales ríos y quebradas para realizar un esbozo general de la posible divisoria de aguas. Para afinar el trazado se tienen las siguientes consideraciones (Figura 2):

- El trazo debe cortar perpendicularmente las curvas de nivel y pasar por los puntos topográficos de mayor altitud.
- Cuando la línea va aumentando su nivel topográfico, corta a las curvas por su parte convexa.
- Cuando por el contrario la altitud va decreciendo, la divisoria corta a las curvas por su parte cóncava.
- Como criterio final, la divisoria no debe cruzarse ni cortar ningún curso de agua, a excepción del punto de salida.

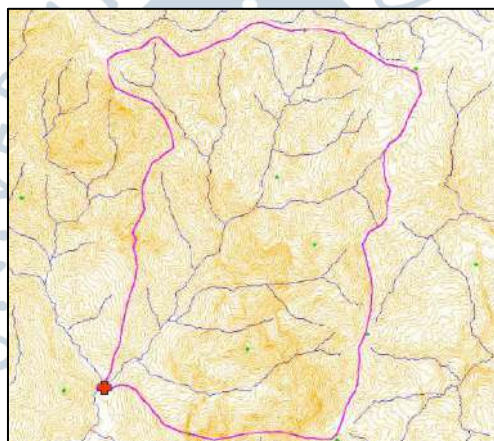


Figura 2. Delimitación cartográfica

Fuente: (Minagri-ANA, 2012)

b. Trazo automatizado con herramientas SIG

Además de conocer las zonas de mayor elevación, es muy importante saber el comportamiento del agua al momento de escurrir, considerando el análisis para flujo superficial. Así se puede conocer el origen de un río y obtener información necesaria para el estudio de la cuenca.

Para este propósito, se disponen de muchas herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG), como las del ArcGIS o ArcHydro; las cuales son capaces de calcular la dirección del flujo y su acumulación y así finalmente delimitar la cuenca (Farías de Reyes, 2017).

1.1.2.2. Red de drenaje

Al precipitarse el agua sobre una superficie, esta fluye por el terreno por los diversos “caminos” hasta llegar al punto de cierre, es en este proceso que el agua forma una red de drenes o canales o mejor llamada red de drenaje, tal como se aprecia en la Figura 3 (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2011).

La red de drenaje de una cuenca hidrográfica está conformada por un cauce o río principal, que normalmente abarca la longitud mayor de la cuenca, y sus afluentes o tributarios (Farías de Reyes, 2017).

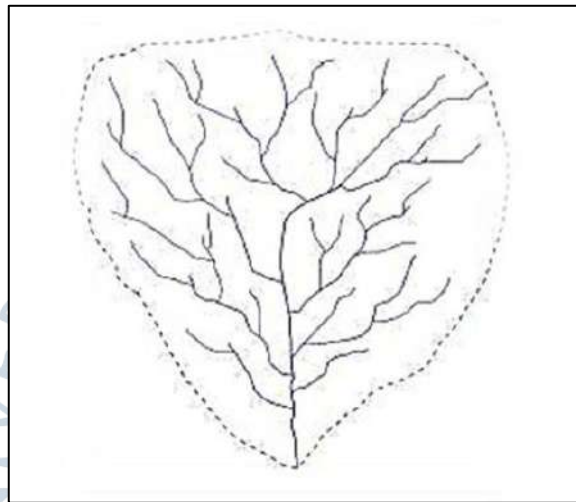


Figura 3. Red de drenaje, río principal y tributarios

Fuente: (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2011)

1.1.2.3. Relieve o terreno

La cuenca puede presentar diferentes condiciones en el terreno de la superficie que abarca, lo que la divide en 3 sectores (Ordoñez, 2011):

- Cuenca alta: por lo general es la zona de relieve montañoso o de cabeceras de cerros.
- Cuenca media: se acumulan las aguas drenadas de la parte alta y el río mantiene un cauce definido.
- Cuenca baja: también llamada zona transicional pues presenta un relieve plano con una pendiente muy baja.

1.1.2.4. Punto de salida o de cierre

Es el punto donde el río principal desemboca sus aguas, y como ya se mencionó en 1.1.1.3. donde se clasifica a la cuenca en 3 clases: abiertas, cerradas y arreicas (Ordoñez, 2011).

1.1.3. Características geomorfológicas de una cuenca

Para conseguir un buen aprovechamiento del recurso hídrico, es necesario estudiar y comprender su comportamiento dentro de la cuenca; y para esto es de suma importancia conocer una serie de características y parámetros capaces de dar una idea del comportamiento de la cuenca frente al agua precipitada (Reyes, 1992).

1.1.3.1. Perímetro de la cuenca (P)

Se define como la longitud de la curva que delimita a la cuenca, es decir, la divisoria de aguas (Reyes, 1992). Este parámetro nos da información de la forma de la cuenca, pues teniendo dos cuencas de la misma área, aquella que tenga un perímetro mayor tendrá una forma más alargada que la otra (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2011).

1.1.3.2. Área de la cuenca (A)

El área de una cuenca estaría definida por la sumatoria de todas las áreas proyectadas en planta entre las curvas de nivel y la línea divisoria de aguas (Reyes, 1992). El cálculo de este parámetro es de gran importancia al momento de estudiar la forma de la cuenca como se planteará más adelante.

1.1.3.3. Longitud del cauce principal (L)

Una vez conocida la red de drenaje, se puede identificar el río o cauce principal; por lo que la longitud “L” vendría a ser el trecho, normalmente en km, desde el punto de mayor altitud topográfica hasta el punto de desembocadura aguas abajo (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2011). (Figura 4)

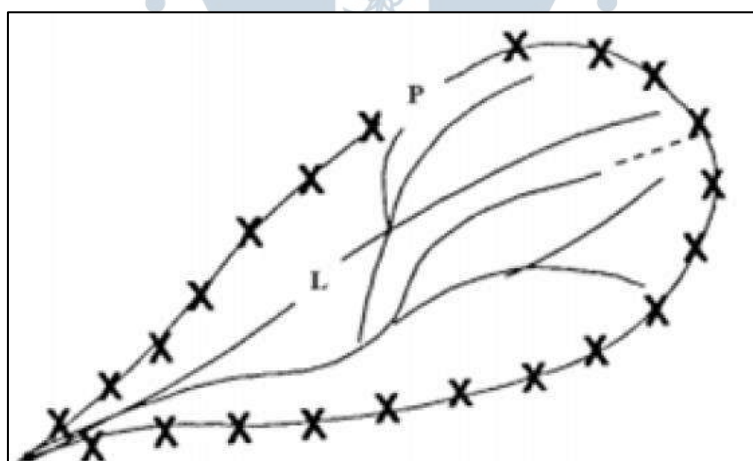


Figura 4. Longitud del cauce principal (L) y perímetro (P)

Fuente: (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2011)

1.1.3.4. Ancho promedio (B)

Este ancho promedio es el resultado de dividir el área (A) entre la longitud del cauce principal (L) como se muestra en la Ecuación 1.1 (Farías de Reyes, 2017):

$$B = \frac{A}{L}$$

Ecuación 1. 1

Donde:

A : Área de la cuenca [m²]

L : Longitud del cauce principal [m]

1.1.3.5. Índice de compacidad o coeficiente de Gravelius (K_c)

Este índice es el resulta de la división entre el perímetro de la cuenca (P) y el perímetro de un círculo de área igual al área de la cuenca (A) (Reyes, 1992) (Ecuación 1.2 y 1.3).

$$K_c = \frac{\text{Perímetro de cuenca}}{\text{Perímetro de círculo de igual area}} = \frac{P}{\pi \cdot \frac{2\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}}} \quad \text{Ecuación 1. 2}$$

$$K_c = \frac{P}{\sqrt{\pi A}}$$

Ecuación 1. 3

Donde:

P : Perímetro de la cuenca [m]

A : Área de la cuenca [m²]

Este coeficiente es adimensional y nos proporciona una idea de la forma de la cuenca, es decir, cuando K_c se aproxime más a la unidad la cuenca tendrá una forma más circular. (Reyes, 1992) indica que esto nos da una idea de la respuesta de la cuenca ante una precipitación reflejando el comportamiento en el hidrograma resultante (Figura 5).

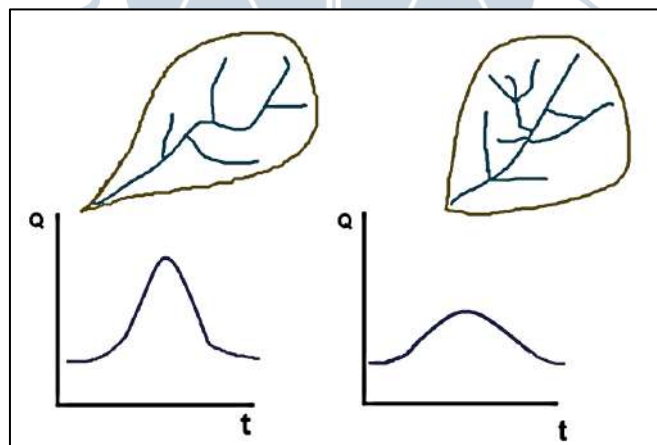


Figura 5. Variación del hidrograma con la forma de la cuenca

Fuente: Elaboración propia.

1.1.3.6. Factor de forma (F)

También llamado factor de Horton (Ordoñez, 2011), es un valor adimensional producto de la relación entre el ancho promedio (B) y la longitud del cauce principal (L), resultando la ecuación 1.4 (Villón, 2002).

$$F = \frac{B}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Ecuación 1. 4

Donde:

A : Área de la cuenca [m²]

L : Longitud del cauce principal [m]

B : Ancho promedio de la cuenca [m]

Conociendo este factor, se puede saber que tan susceptible es una cuenca a ser cubierta en su totalidad por una tormenta, es decir, que a mayor valor de F mayor susceptibilidad a tener una tormenta intensa en toda su superficie (Villón, 2002).

1.1.3.7. Rectángulo equivalente

Es un proceso de simplificación de la cuenca al transformarla en un rectángulo de igual área (A) y perímetro (P), por lo que tendrá el mismo coeficiente de Gravelius e igual distribución altitudinal (Figura 6). Siendo L_e y l_e los lados del rectángulo equivalente, se tiene (Reyes, 1992):

$$L_e = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16A}}{4}$$

Ecuación 1. 5

$$l_e = \frac{P - \sqrt{P^2 - 16A}}{4}$$

Ecuación 1. 6

Donde:

A : Área de la cuenca [m²]

P : Perímetro de la cuenca [m]

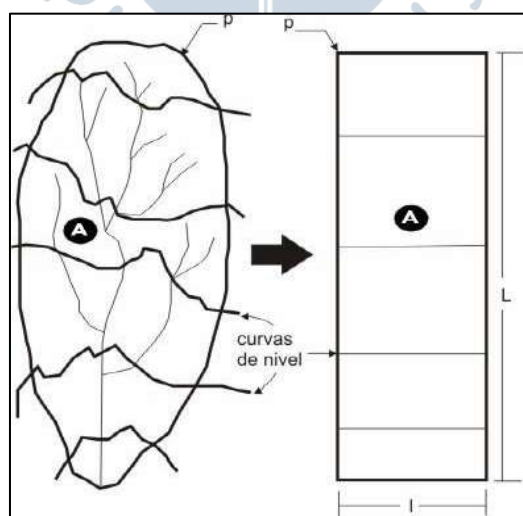


Figura 6. Rectángulo equivalente

Fuente: (Villón, 2002)

1.1.3.8. Pendiente de un cauce (Sc)

La pendiente del río principal o de cualquier río, cobra gran importancia al momento de estudiar el comportamiento del agua ya sea para el tránsito de avenida o para el estudio de emplazamiento y viabilidad de una obra hidráulica o hidroeléctrica, etc. Entre los métodos de obtención más importantes, tenemos (Villón, 2002):

a. Pendiente uniforme

Se considera el cauce como un solo tramo, tomando la diferencia de nivel de sus extremos Δh y la separación horizontal de los mismos L , como se muestra en Villón (2002) (Figura 7).

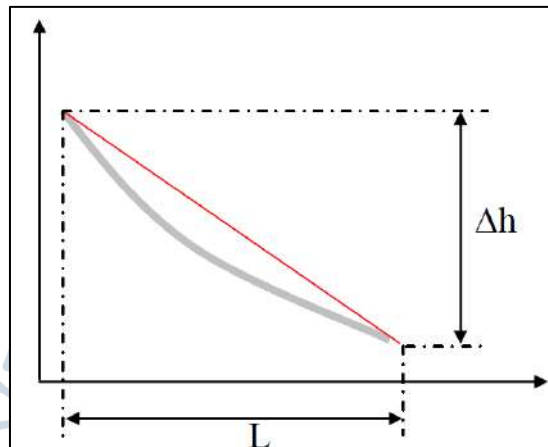


Figura 7. Método de la pendiente uniforme

Fuente: (Farías de Reyes, 2017)

Resultando la ecuación 1.7:

$$Sc = \frac{\Delta h}{L}$$

Ecuación 1. 7

Donde:

Δh : Diferencia de nivel de sus extremos [m]

L : Longitud del cauce principal [m]

b. Compensación de áreas

Es el método más real y más usado, donde se calcula la pendiente de una línea apoyada en el extremo final del cauce en estudio tal que las áreas entre dicha línea y el perfil longitudinal del cauce, arriba y abajo respecto al perfil, sean iguales (Villón, 2002) (Figura 8).

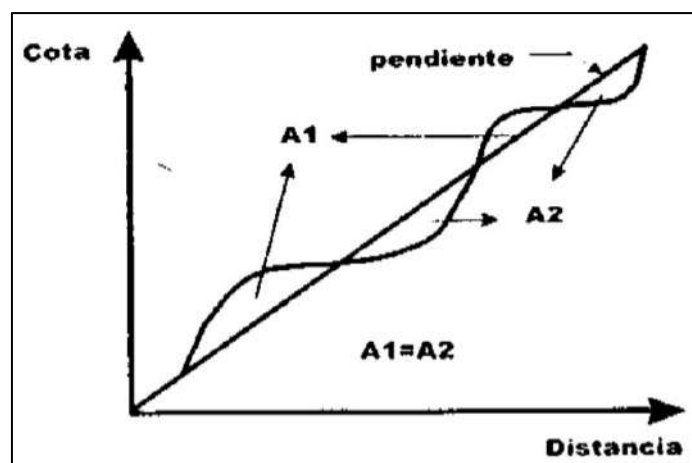


Figura 8. Método de la compensación de áreas

Fuente: (Villón, 2002)

1.1.3.9. Pendiente de la cuenca (Sg)

Parámetro de la cuenca con un alto nivel de importancia, ya que ayuda a conocer mejor características como la infiltración, el discurrimento superficial del agua, humedad del terreno y además controla el tiempo de concentración del recurso hídrico en un determinado punto del cauce principal (Villón, 2002). Para su cálculo destacan los siguientes métodos por su practicidad:

a. Criterio de Alvord

Para este método se necesita haber calculado previamente las pendientes existentes entre curvas de nivel. Para 3 curvas consecutivas, se dibujan las líneas medias entre cada curva, formando una franja o área de influencia de valor a_i , (área achurada en la Figura 9) para la curva de nivel intermedia. El ancho b_i de la franja resultante se calcula con la siguiente ecuación:

$$b_i = \frac{a_i}{l_i}$$

Ecuación 1. 8

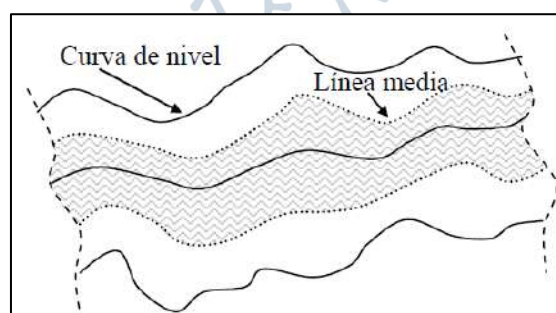


Figura 9. Franja de influencia

Fuente: (Reyes, 1992)

La pendiente S_{gi} de la curva de nivel i vendría a ser:

$$S_i = \frac{D}{b_i} = \frac{D \cdot l_i}{a_i}$$

Ecuación 1. 9

La pendiente total de la cuenca resultaría del promedio ponderado de todas las pendientes parciales halladas para cada curva de nivel existente dentro del área de la cuenca, como señala la ecuación 1.10 (Villón, 2002):

$$S_g = \frac{D}{A} \sum l_i = \frac{D \cdot L}{A} \quad \text{Ecuación 1. 10}$$

Donde:

- D : desnivel entre curvas de nivel
 A : área de la cuenca
 L : suma de las longitudes de todas las curvas de nivel
 l_i : longitud de la curva de nivel i

b. Criterio de Mociornita

Es un criterio con la misma lógica que el anterior, pero agrega unos factores de ponderación (f) a las longitudes de las curvas de nivel, siendo $f=0.5$ para la primera y última curva de nivel (menor y mayor respectivamente) y $f=1$ para todas las restantes (Farías de Reyes, 2017).

$$S_g = \frac{D}{A} \sum l_i f_i \quad \text{Ecuación 1. 11}$$

c. Criterio del rectángulo equivalente

Habiendo calculado el rectángulo equivalente y conociendo sus lados mayor y menor con las ecuaciones 1.5 y 1.6, entonces la pendiente S_g de la cuenca sería la pendiente media del rectángulo equivalente y se calcularía con la ecuación 1.12:

$$S_g = \frac{H}{L_e} \quad \text{Ecuación 1. 12}$$

1.1.3.10. Relación área-elevación

Estas relaciones nos dan una idea del perfil longitudinal promedio de la cuenca, es decir, como está distribuida la cuenca en función de su elevación, dándonos datos como la altura media (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2011)

a. Curva hipsométrica

Es la curva resultante de graficar la relación entre una altura z , y el área de la cuenca que está por encima de esta. El proceso para conseguir esta curva es el siguiente (Villón, 2002):

- Se calculan las subáreas siguiendo las curvas de nivel escogiendo un valor, por ejemplo, de 100 en 100 m.
- Se acumulan las áreas por encima de cada altitud seleccionada.

- Se grafican los niveles en el eje de las ordenadas versus las áreas acumuladas en el eje de las abscisas.

La forma final de la curva hipsométrica nos permite conocer o tener una idea de la edad de la cuenca y río principal como se observa en la Figura 10 (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2011).

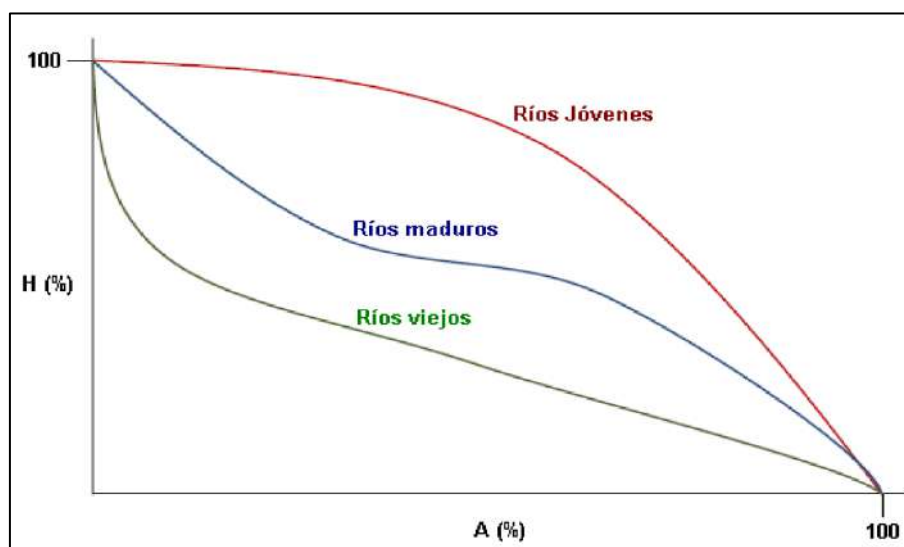


Figura 10. Relación de curva hipsométrica y madurez de los ríos

Fuente: (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2011)

b. Curva de frecuencia de altitudes

Se complementa con la curva hipsométrica y grafica la relación entre una altura z el porcentaje del área total que está por encima de dicha altura (Villón, 2002) (Figura 11).

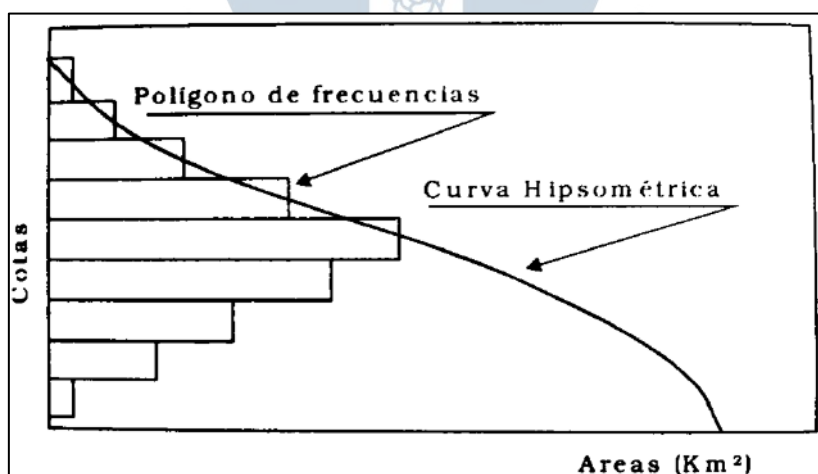


Figura 11. Relación entre curva hipsométrica y polígono de frecuencias

Fuente: (Reyes, 1992)

1.2. Estación hidrometeorológica y análisis de información

Se denomina estación hidrometeorológica aquella estación meteorológica e hidrológica instalada con el fin de medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas e hidrológicas. Se encuentran en lugares seleccionados de nuestro país bajo normas técnicas de

la Organización Meteorológica Mundial u OMM por sus siglas y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú mejor conocido como SENAMHI. Asimismo, se pueden subdividir en estaciones convencionales y automáticas. Las primeras equipadas con instrumentos de lectura directa o de registro en los que la variable de interés se mide en forma manual y se registra de forma mecánica en un gráfico; y las segundas equipadas con sensores que registran las variables y almacenan los datos en una plataforma colectora de datos que luego se transmiten a centrales de recepción y procesamiento (SENAMHI, 2013).

Para la presente investigación en la cuenca del río Chira se encontraron tanto estaciones meteorológicas como hidrológicas, así como también convencionales y automáticas. Por lo que se podría decir que la red hidrometereológica de la cuenca del río Chira está conformada por los siguientes tipos de estaciones:

- Estación Meteorológica Convencional (EMC)
- Estación Meteorológica Automática (EMA)
- Estación Hidrológica Convencional (EHC)
- Estación Hidrológica Automática (EHA)

Más adelante, en el Capítulo 3, se hablará más a detalle de las estaciones que se visitaron y evaluaron de la cuenca del río Chira. Para la presente tesis las variables meteorológicas e hidrológicas que se considerarán serán el nivel de agua del río Chira, así como de sus afluentes, y la precipitación en la cuenca. Para ello las estaciones se resumirán a pluviométricas e hidrométricas, tanto para su evaluación, como para el análisis de su información. Las estaciones meteorológicas se considerarán como las estaciones pluviométricas y las estaciones hidrológicas como hidrométricas. Se describirán sus elementos que debe poseer, así como su período de mantenimiento, entre otras características que deben poseer para estar bajo normas técnicas de la OMM y del SENAMHI.

En resumen, en el presente capítulo se describirá las estaciones pluviométricas e hidrométricas y se dará a conocer cómo se analizará la información obtenida de ellas.

1.2.1. Estaciones pluviométricas

Como se mencionó, para la medición de la precipitación se trabajará con las estaciones meteorológicas activas del SENAMHI, tanto convencionales como automáticas (EMC y EMA). Asimismo, los datos obtenidos de dichas estaciones corresponderán al análisis pluviométrico.

1.2.1.1. Generalidades

En primer lugar, se puede decir que las estaciones pluviométricas convencionales y automáticas corresponden, según la subclasificación de SENAMHI (Tabla 1), a estaciones de

superficie, las cuales realizan observaciones a nivel de la superficie del lugar, en este caso en la superficie de la cuenca del río Chira. A su vez las estaciones de superficie corresponden a la clase de estaciones meteorológicas sinópticas, en las cuales se efectúan observaciones para la elaboración del pronóstico del tiempo y se realiza en horas específicas del día, siendo transmitidas inmediatamente a los centros nacionales (SENAMHI), regionales (Buenos Aires) y mundiales (Washington); todo ello bajo la normativa de la OMM.

Por otro lado, también una estación pluviométrica corresponde a la clasificación de estación climatológica, ya que dentro de todas las variables que registra, se encuentra la precipitación. Cabe recalcar que dentro de la misma clasificación también encontramos estaciones destinadas solo para el registro de precipitación, las cuales se denominan propiamente estaciones pluviométricas. Bajo esta clasificación se puede mencionar que las observaciones se realizan en 3 o 4 horas fijas al día. (SENAMHI, 2013)

La ubicación, bajo el criterio de la clase de estaciones climatológicas (esto debido a que la mayoría que se visitó también registran más variables climatológicas), debe ser en lugares donde los datos meteorológicos que se registren sean representativos de las características climáticas de todos los tipos de terreno del territorio (llanuras, mesetas, litorales, etc.). Asimismo, la ubicación debe garantizar registros históricos continuos, para ello se debe evitar su instalación en zonas previstas de expansión urbana, porque las edificaciones futuras pueden alterar las condiciones climáticas iniciales.

El área mínima de las estaciones climatológicas varía de acuerdo con su subclasificación de SENAMHI (por ejemplo, para principales es 10 x 15 m y para ordinarias, 8 x 10 m). Cabe recalcar que estas directrices para estaciones convencionales también son válidas para las estaciones automáticas, sin embargo, en el área se requiere de un terreno mínimo de 6 x 6 m aproximadamente.

Tabla 1. Clasificación de estaciones de observaciones meteorológicas, hidrológicas y agrometeorológicas según finalidad

	Clasificación de estaciones	Subclasificación
Finalidad	Meteorológicas sinópticas Se efectúan observaciones para la elaboración del pronóstico del tiempo y se realiza en horas específicas del día, transmitiéndola inmediatamente a los centros nacionales (SENAMHI), regionales (Buenos Aires) y mundiales (Washington).	a) Estaciones de superficie: Se realizan observaciones a nivel de la superficie del lugar. • Estaciones terrestres: - E. Convencionales - E. automáticas • Estaciones marítimas: - E. fijas - E. móviles - E. automáticas b) Estaciones de altitud: • E. de radio sondeo • E. de radio sondas • E. de radio viento • E. de globo piloto
	Climatológicas Las observaciones se realizan en horas fijas entre 3 y 4 veces al día.	• E.C. principales • E.C. ordinarias • E.C. para propósitos específicos • E. pluviométricas
	Agrometeorológicas Efectúan simultáneamente observaciones meteorológicas y biológicas.	• E.A. principales • E.A. auxiliares • E.A. ordinarias • E.A. para propósitos específicos
	Hidrológicas Para observaciones de los cursos de agua.	• E. hidrométricas (limnimétricas, limnigráficas, aforos y calidad del agua) • E. climatológicas para fines hidrológicos • E. de agua subterránea • E.H. para propósitos específicos
	Propósitos específicos Denominadas así por tener una finalidad de acuerdo al usuario.	• Subterráneas (hidrológicas): • Instrumental dispuesto en el subsuelo para determinar la disponibilidad de los acuíferos. • E. para investigación y otros fines especiales.
	Estaciones Aéreas Observaciones realizadas por aeronaves en las rutas aéreas internacionales.	

Fuente: (SENAMHI, 2013)

1.2.1.2. Instrumentación e instalación

En las estaciones convencionales el registro pluviométrico se realiza con un pluviómetro y/o pluviógrafo, los cuales deben estar distribuidos en el centro de la estación y además contar con las siguientes características:

- Se deben colocar para minimizar lo más posible los efectos del viento en la evaporación y de salpicaduras de la lluvia.
- La boca debe quedar a una altura de 1.20 m sobre el nivel del suelo.
- Cualquier objeto debe estar a una distancia no menor a cuatro veces su altura por encima de la boca.
- Se debe evitar las laderas.

Además de la instrumentación para el registro de la precipitación, las estaciones, según la subclasificación del SENAMHI que les haya otorgado, tienen los demás instrumentos para las demás variables meteorológicas que midan.

En las estaciones automáticas se realiza con un sensor de precipitación (pluviómetro) el cual registra precipitación acumulada e intensidad. Asimismo, cuenta con una plataforma colectora de datos encargada de ejecutar el muestreo y gestionar el almacenamiento, procesamiento y transmisión de datos. Las características para su instalación antes mencionadas para las estaciones convencionales también son válidas para las automáticas. Además del sensor de precipitación y de la plataforma colectora de datos, cuenta con los siguientes componentes:

- Caja de protección: donde se encuentra la plataforma colectora de datos, un transmisor satelital y una batería.
- Mástil de 10 m: donde se instala una antena conectada al transmisor, un panel solar, un pararrayos y un soporte para sensor de velocidad y dirección del viento.
- Sensor de temperatura
- Sensor de humedad

1.2.1.3. Medición y mantenimiento

Para las observaciones de precipitación, en estaciones convencionales, está normado que el registro debe ser en las horas fijas de las 07:00 y 19:00 hora local (12:00 y 00:00 UTC), es decir, en el pluviómetro se medirá la precipitación acumulada en dichos horarios. La cantidad diaria de precipitación es la suma de la cantidad de precipitación líquida y del equivalente líquido de la precipitación sólida, sin embargo, esta última no se da en la cuenca del río Chira.

La unidad de medida es la profundidad lineal, normalmente en milímetros (mm), para la precipitación líquida.

La cantidad de precipitación de hasta 10 mm se debe leer con una exactitud de 0.2 mm y, de ser posible, con una exactitud de 0.1 mm; las cantidades semanales o mensuales deben leerse con una exactitud de 1mm (al menos). La medición inferior a 0.1 mm se denomina generalmente traza (SENAMHI, 2013) . La intensidad de la precipitación se expresa en medidas lineales por tiempo unitario, normalmente milímetros por hora (mm/h) y ésta es medida por un pluviógrafo.

En las estaciones automáticas se mide la precipitación acumulada horaria y la precipitación acumulada diaria. Asimismo, también es opción el registro de la intensidad de precipitación horaria. Estas variables son medidas por el único instrumento que es el sensor de precipitación. Así como en estaciones convencionales, las automáticas tienen sus requisitos operaciones los cuales son:

- El rango de operación para la observación de cantidad total de agua líquida es de 0 a 500 m. Sin embargo, puede ampliarse según la región.
- La resolución para cantidad es de 0.2 mm o mejor y para intensidad 0.2 mm/h o mejor.
- La exactitud para cantidad debe ser ± 0.1 mm para ≤ 5 mm y $\pm 2\%$ para >5 mm o mejor. Para intensidad es ± 0.1 mm/h para 0.2 a 2 mm/h y 5% para >2 mm o mejor.

Por último, el mantenimiento también es fundamental para salvaguardar la calidad de las observaciones y el correcto funcionamiento de los instrumentos. En el caso de las estaciones convencionales, SENAMHI se rige a un Plan de Inspecciones de acuerdo con los fines y necesidades de los operadores. En el caso de las estaciones automáticas el procedimiento debe realizarse por personal entrenado en operación y mantenimiento de estaciones automáticas y redes de comunicaciones (SENAMHI, 2013). Se da en cuatro procedimientos:

- Mantenimiento rutinario: No requiere de un personal altamente especializado. Se evita que la suciedad afecte las mediciones o lo equipos. En el caso del sensor de precipitación consistirá en limpiar el área de captación y su interior.
- Mantenimiento preventivo: Es realizado por personal especializado con una frecuencia de acuerdo con las condiciones propias del lugar.
- Mantenimiento correctivo: Es realizado por personal técnico calificado que tenga los instrumentos y repuestos para el diagnóstico y operación.
- Calibración y/o contrastación: Se realiza en un laboratorio especializado, con una frecuencia que recomiende el fabricante del instrumento. Esto se debe traducir en certificaciones con vigencias determinadas y debidamente con documentación.

Cabe recalcar que no se recomienda la reparación de los sensores u otros componentes electrónicos de una estación automática en el campo (Organización Meteorológica Mundial, 1996).

1.2.1.4. Nuevas tendencias de medición

Además de las estaciones automáticas y convencionales de SENAMHI, en las cuales, se hace el uso de pluviómetros, pluviógrafos y/o sensores de precipitación, éste último en el caso de las estaciones automáticas, existen radares escáneres de precipitación a tiempo real con la principal ventaja de su cobertura, la cual abarca una gran área con alta resolución espacial y temporal.

Este radar puede proporcionar estimaciones de lluvia para intervalos de tiempo tan pequeños como 5 minutos y una resolución espacial de 1 km². Con un alcance efectivo de aproximadamente 200 km, un solo radar puede cubrir un área de más de 10 000 km². Los sistemas de radares meteorológicos utilizados para la estimación de la precipitación están activos o planificados en los EE. UU., Inglaterra, Europa y Japón desde 1960. En EE.UU. la red de radares está bajo el nombre de Next Generation Weather Radar System (NEXRAD), la cual abarca actualmente 159 radares meteorológicos de alta resolución Doppler operados por el National Weather Service (NWS) y la primera fue instalada y puesta en funcionamiento en 1991.

En el Perú se ha optado por la medición tradicional con pluviómetros, pluviógrafos y/o sensores de precipitación bajo la operación del SENAMHI, sin embargo, en el año 2017 la Universidad de Piura inició el proyecto de la implementación de un radar escáner de lluvias a tiempo real como sistema de alerta temprana para previsión de inundaciones, investigaciones ecoclimáticas y ayuda a la agricultura en la región Piura, la más impactada por el Fenómeno El Niño (Figura 12).

Este proyecto ha sido una iniciativa de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura y del Departamento de Geografía de la Universidad de Marburg (Alemania); y bajo el financiamiento principalmente por el Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad – Innóvate Perú, un programa del Ministerio de la Producción de Perú, y de la Universidad de Piura. El radar entró en funcionamiento en el mes de mayo del 2019 en el Campus Piura de la UDEP.

La estación del radar escáner de lluvias, bajo la denominación de estación científica “Ramón Mugica”, permitirá la detección y seguimiento a tiempo real de las precipitaciones atmosféricas en un rango de 50 a 100 km en la región Piura, por lo que será una importante

infraestructura que a largo plazo alimentará la base de datos pluviométrica elaborada en la presente tesis, ya que su rango abarcará parte de la cuenca del río Chira (Figura 13).

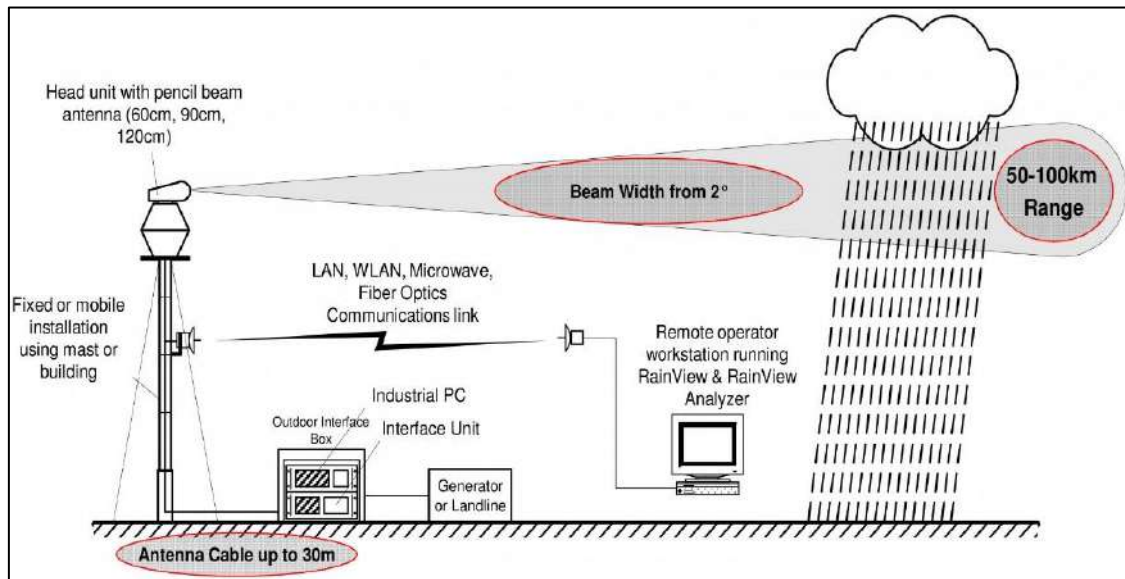


Figura 12. Diagrama de funcionamiento del radar escáner de lluvias “Ramón Mugica”
Fuente: (Universidad de Piura, 2019)

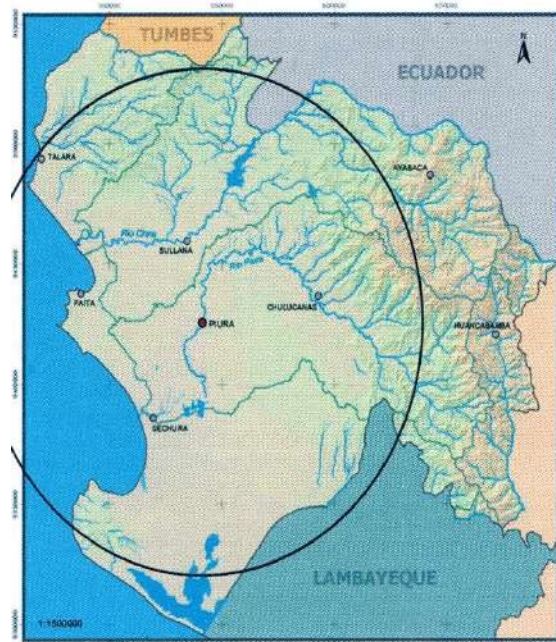


Figura 13. Alcance geográfico actual del radar escáner de lluvias “Ramón Mugica”
Fuente: (Universidad de Piura, 2019)

1.2.1.5. Análisis de la información pluviométrica

De los registros de precipitación anteriormente descritos, en estaciones convencionales y automáticas, se debe hacer una correcta interpretación para conocer y estimar el comportamiento de esta variable en la cuenca, es decir, hacer un correcto análisis de la información pluviométrica.

a. Análisis de consistencia

Antes de evaluar la precipitación en una cuenca o región hidrográfica específica, se tiene que verificar si la estadística pluviométrica que se tiene registrada es consistente, es decir, que se haya observado de la misma forma, con el mismo criterio y que no hayan ocurrido variaciones en la instalación de la estación pluviométrica. Para dicha verificación se recomienda el método de las curvas dobles acumuladas o de doble acumulación o CDA (UNESCO-ROSTLAC, 1982).

El método debe ser utilizado en una región con precipitación homogénea y consiste en calcular un Patrón de precipitaciones anuales (PPA), el cual resulta del promedio de las precipitaciones anuales acumuladas de un conjunto de registros pluviométricos que se consideran que han sido los más largos y constantes en la región. Este valor se compara con las precipitaciones anuales acumuladas de cada estación mediante el ploteo de los pares de valores $(\sum PPA, \sum P_i)$ en un gráfico, donde los puntos estarán alineados y presentarán una sola tendencia si el registro es consistente, de otra manera si se presenta un quiebre a partir de un determinado año, se tiene que realizar un ajuste.

El cálculo del PPA se realiza de la siguiente manera:

$$PPA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \quad \text{Ecuación 1. 13}$$

Donde:

PPA : Patrón de precipitaciones anuales

N : Número de estaciones con los mejores registros

P_i : Precipitación anual acumulada de la estación i

Posteriormente los PPA y los P_i se van acumulando cronológicamente a partir del año más antiguo o nuevo. Se puede realizar como se observa a continuación en la Tabla 2:

Tabla 2. Tabla para ploteo de las CDA

AÑO	P_1	P_2	---	P_N	PP	$\sum P_1$	$\sum P_2$	---	$\sum P_N$	$\sum PPA$
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Fuente: Elaboración propia

El ploteo de puntos para el gráfico de las curvas dobles acumuladas (CDA) se realizará colocando en las abscisas los valores de las $\sum PPA$ y en las ordenadas, las $\sum P_i$ (Figura 14).

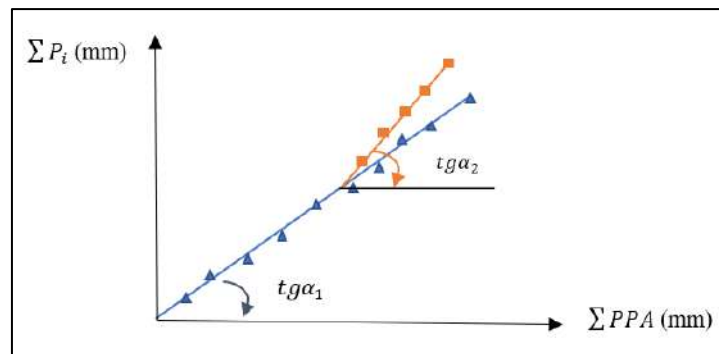


Figura 14. Curva doble acumulada

Fuente: Elaboración propia

Es aquí donde se verificará si los puntos presentan una sola tendencia para constatar la consistencia de la estación. En caso contrario, si se presenta numerosos quiebres o mucha dispersión, se elimina la estación del PPA y se calcula uno nuevo, repitiendo el proceso.

En caso de que se presenten varias tendencias, la precipitación de estos períodos se ajustan a la pendiente de las precipitaciones del último período, debido a que este período representa mejor la tendencia actual y futura, de igual manera se tiene que descartar algún problema o descalibración actual del instrumento. Este ajuste se realiza mediante el siguiente factor:

$$\beta_i = \frac{tg \alpha_1}{tg \alpha_i} \quad \text{Ecuación 1. 14}$$

Con este ajuste se repite el proceso desde el cálculo del PPA. Cabe recalcar que cuando a una estadística larga le falten registros intermedios se puede rellenar y estimar los datos faltantes con métodos que se explicarán más adelante; esto con el fin de no desecharla. Asimismo, para definir un cambio de pendiente este debe tener por lo mínimo un período de 5 años consecutivos, debido a que generalmente los puntos siempre presentan suaves ondulaciones respecto a la tendencia media. Por último, en zonas montañosas hay que usarse con cuidado debido a la gran influencia orográfica que puede haber.

b. Estimación de datos faltantes

Como se mencionó anteriormente, se encontrará que en muchas estaciones habrá períodos faltantes en sus registros, debido a una ausencia del observador o fallas instrumentales. Por lo tanto, es necesario estimar algunos de estos valores faltantes.

Estas estimaciones se realizarán a partir de los registros en estaciones vecinas, distanciadas en lo posible y ubicadas de manera uniforme en torno a la estación cuya observación no tiene registro.

i. Promedio aritmético simple

Si la precipitación normal anual en las estaciones índice no varía en más del 10% de la estación en la cual no se ha registrado la observación, un promedio aritmético simple de los registros pluviométricos en las estaciones índice da una estimación apropiada (Ecuación 2.3) (Linsley, Kohler, Paulus, 1992).

$$P_X = \frac{1}{N} (P_A + P_B + \cdots P_N) \quad \text{Ecuación 1. 15}$$

Donde:

P_X : Precipitación en la estación sin registro

N : Número de estaciones índice.

ii. Promedio ponderado

En caso contrario, cuando se difiera en más del 10%, es preferible utilizar un promedio ponderado, el cual se puede calcular con la precipitación normal como sigue en la ecuación 2.4 (Linsley, 1992).

$$P_X = \frac{\bar{P}_X}{N} \left(\frac{P_A}{\bar{P}_A} + \frac{P_B}{\bar{P}_B} + \cdots \frac{P_N}{\bar{P}_N} \right) \quad \text{Ecuación 1. 16}$$

Donde:

P_X : Precipitación en la estación sin registro

N : Número de estaciones índice.

$\bar{P}_X$: Precipitación normal anual en la estación sin registro.

También se puede ponderar de acuerdo con el método utilizado por el U.S. National Weather Service. Este se basa en el uso de coeficientes de correlación entre las estaciones, donde la precipitación se calcula según cuatro estaciones localizadas en un cuadrante delineado por las líneas norte-sur y este-oeste que pasan a través del punto en cuestión como señala la Figura 15 (Ecuación 2.5). El peso que se le da a cada estación es igual a la inversa del cuadrado de la distancia entre dicho punto y la estación (Ecuación 2.6). (Linsley, Kohler, Paulus, 1992)

$$P_X = \sum_{i=1}^N \frac{P_i r_{X_i}}{r_{X_i}} \quad \text{Ecuación 1. 17}$$

$$r = \frac{1}{d^2_{XA}} \quad \text{Ecuación 1. 18}$$

Donde:

P_X : Precipitación en la estación sin registro

N : Número de estaciones índice.

r : Recíproco del cuadrado de la distancia de la estación sin registro y una estación índice

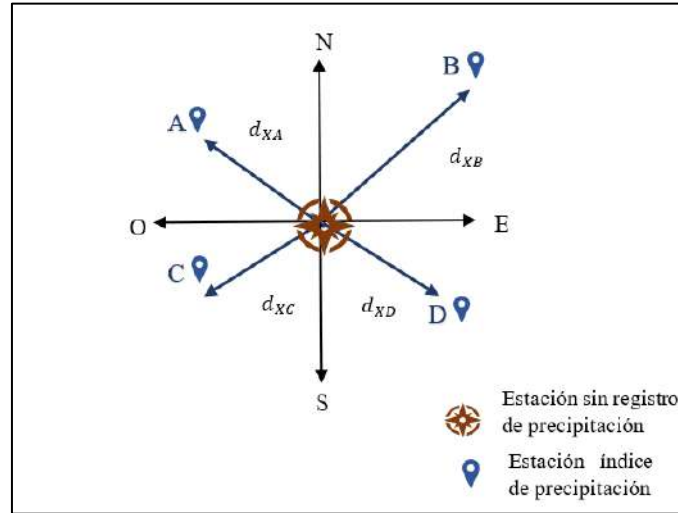


Figura 15. Método utilizado por el U.S. National Weather Service.

Fuente: Elaboración propia

Si en uno o más cuadrantes no se tiene estaciones, como puede suceder en una estación en la zona de la costa, entonces la estimación se realiza haciendo uso de las otras estaciones de los otros cuadrantes (Linsley, Kohler, Paulus, 1992).

iii. Promedio ponderado combinatorio

La ecuación 2.4 toma en cuenta la precipitación promedio anual, lo que es importante debido a que se basa en una medición que se ha realizado durante dicho tiempo, aumentando la confiabilidad de la estimación del dato faltante, sin embargo, no toma en cuenta la distancia de la estación índice a otra que se encuentra más lejana, es decir, la influencia orográfica no se toma en cuenta.

Esto sí es tomado en cuenta por la ecuación 2.5 con el cuadrado de la distancia de la estación sin registro a la estación índice. Es por ello se puede realizar un método combinatorio que pueda satisfacer ambos criterios y el cual se utilizará para la estimación de datos de la presente tesis.

La ecuación combinatoria será la siguiente:

$$P_X = \frac{\overline{P_X}}{N} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^N r_{X_i}} \left(\frac{P_A}{P_A} \cdot r_{XA} + \frac{P_B}{P_B} \cdot r_{XB} + \dots + \frac{P_N}{P_N} \cdot r_{XN} \right) \quad \text{Ecuación 1. 19}$$

$$r = \frac{1}{d_{XA}^2} \quad \text{Ecuación 1. 20}$$

Donde

P_X : Precipitación en la estación sin registro

N : Número de estaciones índice.

$\overline{P}_x$: Precipitación promedio anual en la estación sin registro.

r : Recíproco del cuadrado de la distancia de la estación sin registro y una estación índice

Cabe recalcar que estos métodos de relleno de estadística también se pueden utilizar para estimar valores de duración menor de un año, es decir, valores mensuales y diarios, de acuerdo a lo que se requiera.

iv. Regresión lineal simple y múltiple

El método de la regresión lineal simple consiste en correlacionar la estación con datos faltantes con otras estaciones que tengan una data consistente y registrada mediante una ecuación lineal simple:

$$\bar{Y} = a + c * X \quad \text{Ecuación 1. 21}$$

Donde:

$\bar{Y}$: Dato faltante de la estación incompleta

X : Dato registrado en la estación modelo

a, c : Coeficientes de regresión

Este método es uno de los más sencillos, pero es necesario conocer la calidad del ajuste o la calidad de la ecuación, pues un mal ajuste conllevaría a tener una serie de datos sin consistencia (UNESCO-ROSTLAC, 1982).

Por otro lado, el método de la regresión lineal múltiple no es más que una extensión del método anteriormente descrito, pues la manera en la que calcula los datos faltantes de una estación está basada en la siguiente expresión (Pizarro Tapia *et al* 2009):

$$Y = a + c_1X_1 + c_2X_2 + c_3X_3 + \dots + c_nX_i \quad \text{Ecuación 1. 22}$$

Donde:

$\bar{Y}$: Dato faltante de la estación incompleta

X : Dato registrado en las estaciones modelo

a, c_1, c_2, c_n : Coeficientes de regresión

Al igual que en la regresión simple, es importante conocer la calidad del ajuste con lo cual un buen indicador es el coeficiente de correlación R , el cual indica el grado de correlación entre la estación con data faltante y la(s) estaciones patrón. En hidrología es considerado un buen ajuste cuando el R es mayor o igual a 0.8 (Pizarro *et al*, 1993). En la presente tesis el valor usado para indicar una buena correlación será el R^2 ajustado.

El procedimiento es muy rápido, pues solo se necesita una cantidad de datos continua entre las estaciones a analizar y una hoja de cálculo de Excel que cuenta con las herramientas necesarias de análisis estadísticos. Los datos que nos proporciona Excel una vez hecho el cálculo se pueden apreciar en la Figura 16, y se resumen en datos de la estadística de la regresión, datos de varianza, y los coeficientes de la ecuación.

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.820813985
Coefficiente de determinación R^2	0.673735598
R^2 ajustado	0.671834458
Error típico	33.91008316
Observaciones	527

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1249002.356	1249002.356	1086.189369	6.2046E-130
Residuos	526	604844.1071	1149.89374		
Total	527	1853846.463			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Estación X	0.19793	0.00601	32.95739	0.00000	0.18613	0.20973	0.18613	0.20973

Figura 16. Análisis de regresión en Microsoft Excel.

Fuente: Elaboración propia

c. Distribución pluviométrica en una región

Para establecer un valor promedio de precipitación de una cuenca o área específica, a partir de registros conjugados de varias estaciones pluviométricas, existen en principio tres métodos.

i. Método de la media aritmética

El método más sencillo de obtener la precipitación promedio es hacer un promedio aritmético de las cantidades registradas en el área. Esta metodología da unos buenos estimativos en áreas planas si hay una buena y uniforme distribución de los pluviómetros y si el valor captado por cada uno de los pluviómetros no varía mucho a partir de la media (Linsley, Kohler, Paulus, 1992).

$$\bar{P} = \frac{P_A + P_B + \dots + P_N}{N} \quad \text{Ecuación 1. 23}$$

Donde:

$\bar{P}$: Precipitación promedio

N : Número de estaciones pluviométricas dentro de una cuenca.

ii. Método de Thiessen

Este método toma en cuenta la no uniformidad en la distribución de los pluviómetros mediante un factor de ponderación para cada uno de ellos y establece que cualquier punto de la cuenca presenta una precipitación igual del registro de la estación más cercana. Las estaciones se plotean en un mapa y se trazan líneas que las conecten unas con otras. Las mediatrices de estas líneas forman polígonos alrededor de cada estación, como se aprecia en la Figura 17. Los lados de cada polígono y la línea divisoria de la cuenca son las fronteras del área neta que se toma para cada estación. El promedio ponderado de precipitación para el área total de la cuenca se calcula multiplicando la precipitación en cada estación por su porcentaje de área calculado y sumando todos estos valores parciales, ver ecuación 1.24 (Linsley, Kohler, Paulus, 1992).

$$\bar{P} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^N A_i P_i \quad \text{Ecuación 1. 24}$$

Donde

$\bar{P}$: Precipitación promedio

N : Número de estaciones pluviométricas que ocupan un área de la cuenca

A_T : Área total de la cuenca.

A_i : Área que abarca cada estación pluviométrica.

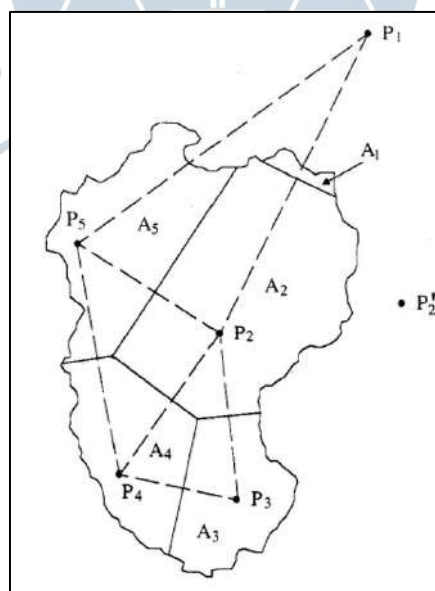


Figura 17. Polígonos de Thiessen

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

Los resultados de usar este método son más exactos que un promedio aritmético simple. Sin embargo, su desventaja se encuentra en su poca flexibilidad, puesto que cada

vez que hay un cambio en la red se tiene que elaborar un nuevo diagrama. Otra desventaja es que no toma en cuenta la influencia orográfica.

iii. Método de isoyetas

Se puede decir que es el método más exacto debido a que considera la orografía y tiene más flexibilidad a los cambios en la red pluviométrica. Esta se realiza mediante la construcción de isoyetas, es decir, líneas de igual precipitación, donde se hace uso de los registros de los pluviómetros de la cuenca y los interpola con las mediciones de los adyacentes. De acuerdo a la Figura 18, esto resultaría similar a la construcción de curvas de nivel. La precipitación promedio se calcula mediante la sumatoria de los productos del área, entre dos isoyetas sucesivas, con su precipitación promedio de dichas isoyetas circundantes, finalmente dividiendo todo ello entre el área total de la superficie o cuenca analizada (ecuación 1.25).

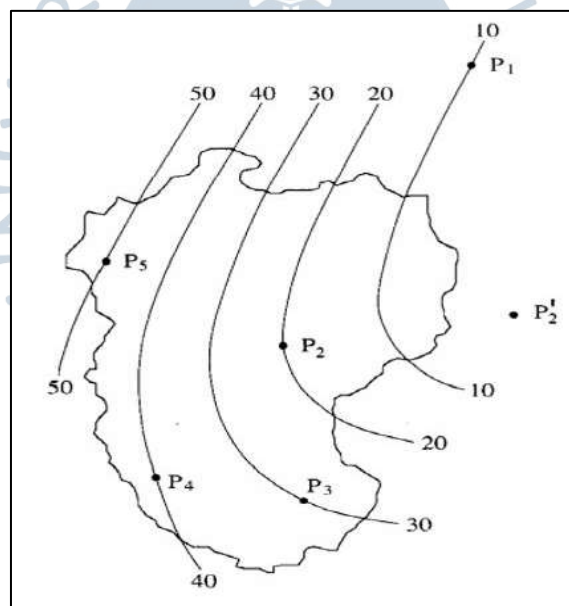


Figura 18. Isoyetas de precipitación

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

$$\bar{P} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=0}^N A_i P_i$$

Ecuación 1. 25

Donde

$\bar{P}$: Precipitación promedio entre dos isoyetas sucesivas

N : Número de áreas entre isoyetas

A_T : Área total de la cuenca

A : Área entre isoyetas

Para la presentación tesis, se decidió utilizar este método en ArcGIS con la herramienta de interpolación Kriging, el cual es un proceso geoestadístico avanzado que crea una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersos con valores z (alturas de precipitaciones). Es la herramienta más utilizada en la generación de isoyetas en hidrología, además de sus múltiples usos en suelos y geología.

1.2.2. Estaciones hidrométricas

Para la medición del nivel de agua del río Chira, así como de sus afluentes, se trabajará con las estaciones hidrológicas activas del SENAMHI y del PECHP, tanto convencionales como automáticas (EHC y EHA). Asimismo, los datos obtenidos de dichas estaciones corresponderán al análisis hidrométrico.

1.2.2.1. Generalidades

Según el Manual de Hidrometría del SENMAHI, una estación hidrométrica es aquella que registra datos del agua en ríos lagos y embalses, de uno o varios de los elementos siguientes: niveles, flujo de las corrientes, transporte y depósito de sedimentos, temperatura del agua y otras propiedades física y químicas del agua.

Para su clasificación, a diferencia de las estaciones pluviométricas, las estaciones hidrométricas convencionales y automáticas pertenecen a las estaciones hidrológicas, donde su finalidad es observar los cursos de agua. Aquí podemos encontrar a las estaciones hidrométricas las cuales tienen limnímetros y limnógrafos, y donde se realiza periódicamente aforos de la sección del río y también observaciones de la calidad del agua. Para la presente investigación se trabajará con estas estaciones debido a que se encontrará más información de niveles y caudales del río Chira. De igual manera, bajo dicha clasificación también podemos encontrar estaciones climatológicas para fines subterráneos, de agua subterránea e hidrológicas con propósitos específicos (SENAMHI, 2013), sin embargo, no se trabajará con las de este tipo.

La ubicación, bajo el criterio de estación hidrológica y según el Reglamento Técnico de Hidrología Vol. III (Organización Meteorológica Mundial, 2006), debe darse:

- En secciones del río donde se permita la exposición y el funcionamiento correcto de los instrumentos. Asimismo, donde se pueda realizar una correcta observación instrumental y no instrumental.
- En una zona donde funcione de forma ininterrumpida por lo menos 10 años.
- En un lugar con las condiciones favorables que le permitan funcionar correctamente de acuerdo con el fin especial que tenga.

Para mayor especificación de la ubicación, el Manual de Hidrometría del SENAMHI (SENAMHI, 2018) da las siguientes características que debe tener un punto de control hidrométrico:

- Debe ser dentro de un tramo del curso de agua que presente características altiplanimétricas regulares, es decir, debe ser regular en los perfiles longitudinal y transversal del cauce.
- Dentro de un tramo recto y uniforme, con una longitud no menor de siete veces el ancho del río, dispuesta así: aguas arriba, mínimo cinco veces el ancho, y aguas abajo, mínimo dos veces el ancho.
- Las orillas del río deben ser permanentes, lo suficientemente altas para contener las crecidas y no se pueda producir socavaciones ni rellenos.
- El caudal debe tener un flujo perpendicular a la sección de control.
- El fondo del río debe ser suave y libre de plantas acuáticas, piedras u otros obstáculos que pueden interferir en la medición de la velocidad de la corriente.
- El flujo del agua no debe ser muy lento, para evitar el crecimiento de plantas acuáticas.
- En el caso de grandes cursos naturales de agua, debe haber una profundidad mínima del tirante de agua de 0.30 m.
- Ubicado lo suficientemente aguas arriba de la confluencia con otro río o de los efectos de la marea.
- Evitando la cercanía a los estribos de los puentes.
- Sitio accesible que satisfaga la mayoría de los criterios antes mencionados.

1.2.2.2. Instrumentación e instalación

En las estaciones convencionales se trabajará con aquellas que se realice periódicamente aforo de caudales por lo que la instrumentación básica en estas estaciones será la siguiente:

a. Mira limnimétrica

Instrumento segmentado con graduaciones en centímetros, pintado o en alto relieve, según el material con el cual se elabore (Figura 19). Debe estar preparada para su permanente contacto con el agua. Se adhiere a listones de madera y son atornillados a estructuras metálicas que a su vez se fijan en una estructura civil (columnas, estribos de puentes, etc.) Asimismo, se deben instalar con la finalidad que su nivel de agua inferior histórico registrado, esté por encima del valor “0” del limnómetro. Esto evitará niveles de agua negativo para el posterior cálculo de caudales.

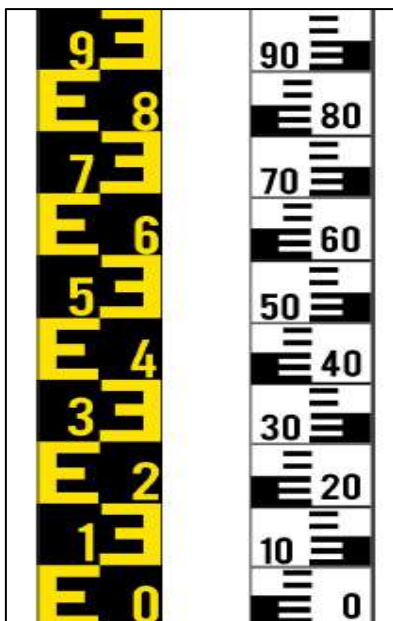


Figura 19. Reglas limnimétricas de modelo topográfico

Fuente: (SENAMHI, 2018)

b. Limnógrafo

Pueden ser de tipo analógico o digital. El primero registra gráficos sobre un papel cuadrículado a escala. Consiste en el uso de un eje biacanalado helicoidal, que trasmite el movimiento del flotador hacia el brazo registrador (Figura 20). Se tienen que instalar en pozas laterales tranquilizadoras o en el cauce del río directamente.



Figura 20. Equipos limnigráficos

Fuente: (SENAMHI, 2018)

c. Correntómetro

Mide la velocidad del agua en un punto calculando el número de vueltas de su hélice.

d. Estructura de aforo (para suspensión)

Generalmente es un carro huero desde donde se hace la medición de la profundidad y velocidad de las verticales de una sección de un río.

Asimismo, se puede contar con bote, trazadores, sustancias para aplicación del método de dilución y muestreadores de sedimentos, sin embargo, para los fines del trabajo de investigación los mencionados anteriormente son los indispensables.

En las estaciones automáticas la instrumentación, de igual manera que las convencionales, consistirá en aquella que pueda realizar periódicamente aforo de caudales y se pueda registrar los niveles de agua, por lo que será la siguiente:

- Sensor de nivel de agua
- Plataforma de colectora de datos (conformado por un microprocesador, una memoria para el almacenamiento de datos y otros componentes)
- Dispositivo de transmisión (vía teléfono móvil, radio HF/UHF, Internet, satelital)
- Caja de protección: donde se encuentra la plataforma colectora de datos, el transmisor satelital y una batería.
- Mástil de 10 m: donde se instala una antena conectada al transmisor, un panel solar y un pararrayo.

Además, se puede contar con sensor de precipitación y sensor de calidad de agua. Cabe recalcar que de igual manera en las estaciones automáticas se debe contar con correntómetro y una estructura para que se pueda realizar el aforo de caudales cada tiempo determinado.

1.2.2.3. Medición y mantenimiento

Para las observaciones hidrológicas está normado que el registro debe ser en las horas fijas de las 06:00, 10:00, 14:00 y 18:00 hora local (11:00, 15:00, 19:00 y 23:00 UTC). Sin embargo, se pueden incrementar observaciones a otras horas de acuerdo con los requerimientos del operador de la estación, según la época de estiaje o avenida. Para realizar aforos, la hora fija es 08:00 hora local, los lunes, miércoles y viernes. O las horas y los días en que se observen variaciones importantes del nivel de agua (SENAMHI, 2013).

El método de las mediciones y cálculo del caudal va a depender de las condiciones que existen en un emplazamiento o sección de control. Sin embargo, generalmente el valor del caudal se expresa en función de la altura correspondiente del agua en una estación de aforo. Por ello en una estación nueva serán necesarias numerosas mediciones del caudal para definir la relación altura-caudal durante las variaciones de nivel. Luego periódicamente se tiene que efectuar las mediciones para definir las variaciones de dicha relación. Se recomienda un mínimo de 10 mediciones del caudal anualmente (Organización Meteorológica Mundial, 1994).

Existe un error típico en las mediciones, el cual está alrededor del 5%. La exactitud del nivel de agua en ríos generalmente es de 1 a 3 cm y para fines especiales es de 0.3 a 0.1 cm. Para la presente tesis para las estaciones de aforo donde se efectúan registros continuos la exactitud debe ser de tres milímetros (Organización Metereológica Mundial, 1994).

La medición del nivel de agua, según el Manual de Hidrometría del SENAMHI, se hace mediante la regla limnimétrica o el limnógrafo. El primero se hace en el horario ya mencionado.

Por otro lado, el aforo se realiza con correntómetro, el cual puede ser de dos maneras:

a. Aforo por suspensión

Como muestra la Figura 21, se realiza desde una estructura (en general desde un puente o carro huaro), donde se va midiendo las profundidades y velocidades de flujo en verticales seleccionadas. La medición de la velocidad se obtiene con el correntómetro, el cual se usa con un lastre de 25 kg o mayor dependiendo de las condiciones de flujo y volumen del caudal del río. Al carro huaro se le conecta un winche con cable acerado para medir la profundidad del agua en cada vertical. Para este proceso se necesita como mínimo a dos personas. En el caso de realizarlo en un puente también es conveniente usa estructura (tipo grúa) portátil y robusta provista de un mecanismo de poleas que permita sumergir el correntómetro y lastre al agua.



Figura 21. Aforo por suspensión desde carro huaro en río Rimac

Fuente: (SENAMHI, 2018)

b. Aforo por vadeo

Este método se usa cuando el nivel de agua del río es poco profundo, pequeño y de fondo resistente. Es necesario tener una sección definida que permita la posición de las verticales donde se medirá la profundidad y velocidad del flujo. El técnico ingresa al río con el equipo de medición, varillas de fierro y contómetro; toma como referencia una cuerda driza o una cinta métrica para la sección del río definida (Figura 22).

Además de estos dos métodos de aforo, existen el aforo con ADCP (con el uso de correntómetros hidroacústicos), aforo con pistola radar de velocidades (de igual manera se usa tecnología Doppler) y aforo con flotadores; sin embargo, en la presente investigación en la cuenca del río Chira se usan los dos primeros, por lo que con ellos se obtendrá los caudales para el posterior análisis de información.

Por último, el mantenimiento es igual al mencionado para las estaciones pluviométricas en el 2.1.3, tanto para el correntómetro como para los instrumentos fijos en las estaciones, como el limnómetro, limnógrafo y/o sensor de nivel de agua, además de los otros componentes si es una estación automática.



Figura 22. Aforo por vadeo en río Mala
Fuente: (SENAMHI, 2018)

1.2.2.4. Nuevas tendencias de medición

a. Aforo con ADCP

Además de los métodos de aforo mencionados, existe el aforo con ADCP con el uso de correntómetros hidroacústicos con base en la tecnología Doppler. Estos equipos permiten obtener de manera rápida una lectura de la distribución de velocidades en la sección de aforo, discretizada en celdas de un tamaño predeterminado; además, incluye un software que visualiza

los resultados mientras se realiza la medición; los datos que genera son de calidad, y su implementación y operación no es compleja. (SENAMHI, 2018).

El SENAMHI viene implementando sus estaciones hidrométricas con Perfiladores Acústicos de Corriente de efecto Doppler - ADCP SONTEK M9 y RiverRay, logrando una mejor oferta de caudales en ríos donde no se aforaba y solo se contaba con datos de niveles de agua. El aforo se realiza desde carro huaro, puentes y/o botes (Figuras 23 y 24).



Figura 23. Aforo con ADCP en río Piura
Fuente: (SENAMHI, 2018)

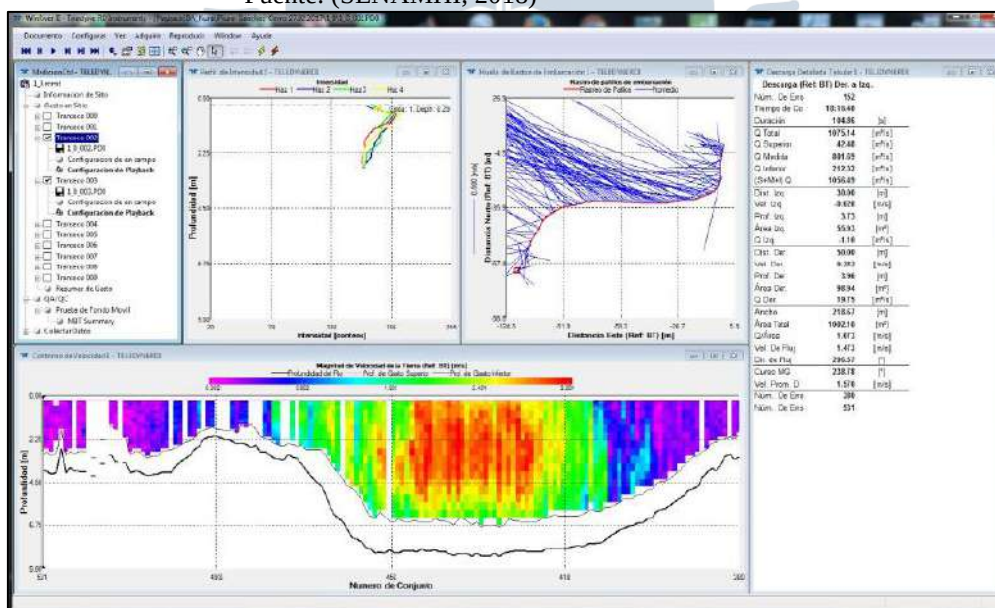


Figura 24. Pantalla de salida gráfica de resultados del aforo con ADCP M-9
Fuente: (SENAMHI, 2018)

b. Aforo con pistola radar de velocidades

Para una mejor calibración de las curvas altura caudal en aguas altas, y una mejor estimación de caudales extremos, actualmente existe un nuevo tipo de equipos hidrométricos, llamados “equipos no intrusivos” que permiten estimar de manera indirecta el caudal sin estar

en contacto con el agua; dentro de este grupo, la pistola radar es una opción utilizada para medir la velocidad superficial del flujo de agua (SENAMHI, 2018).

Los velocímetros de radar usan el efecto Doppler para dar una estimación de la velocidad de la superficie del agua. Las unidades de radar propagan una señal de radio que es retrodispersada a la antena por ondas superficiales cortas producidas por turbulencia, lluvia o viento (SENAMHI, 2018), ver Figura 25.

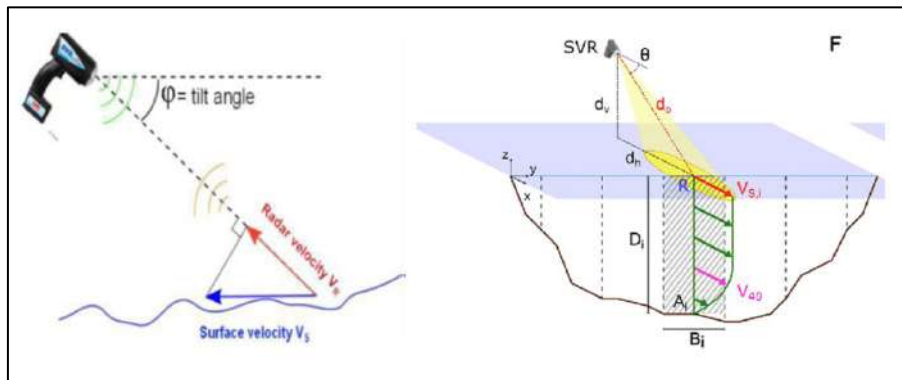


Figura 25. Esquema del principio de funcionamiento del radar de velocidad SVR

Fuente: (SENAMHI, 2018)

La calibración se debe realizar con un correntómetro o ADCP para obtener mediciones confiables de velocidad con la pistola radar (Figura 26). El mayor número de pruebas determinará el mejor ángulo de incidencia representativo de la velocidad superficial del flujo del agua. Los manuales de estos equipos recomiendan un ángulo de 45° y 2 minutos de medición de cada punto. El SENAMHI cuenta con pistolas radar que se usan en las estaciones de aforo en época de crecida de los ríos de la región hidrográfica del pacífico. Los resultados para velocidad de flujo de aguas altas han sido satisfactorios, lo cual alienta su uso para las épocas de avenida, donde no se pueden realizar aforos con ADCP ni con correntómetro.



Figura 26. Aforo del río Chancal-Huaral en Pte. Cuchuanca con pistola radar SVR

Fuente: (SENAMHI, 2018)

1.2.2.5. Análisis de la información hidrométrica

En primer lugar, antes de realizar el análisis de los datos obtenidos en las estaciones hidrométricas, es decir, de los niveles de agua y caudales, se tiene que calcular el caudal de aforo con la mejor metodología que haya. Para ello el SENAMHI plantea diferentes métodos para su cálculo, sin embargo, los más utilizados en el Perú son los aritméticos, los cuales son dos: el de la Sección Media y el de Semi Sección. En la presente investigación se tomará como referencia el segundo, debido a que ha presentado buenos resultados.

a. Cálculo del caudal con el método de la semi sección

Este método usa la media de las velocidades en la línea de medición y el área hallada con la profundidad en la línea de medición multiplicada por la mitad de la separación anterior más la mitad de la separación respecto a la línea de medición subsecuente, según las siguientes ecuaciones (SENAMHI, 2018), ver Figura 27.

$$q_2 = v_2 * \left(\frac{B}{2} + \frac{B'}{2} \right) * d_2 \quad \text{Ecuación 1. 26}$$

$$q_2 = v_2 * A_2 \quad \text{Ecuación 1. 27}$$

$$Q = \sum_{i=1}^N q_{i-1+1} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad \text{Ecuación 1. 28}$$

Donde:

- q_2 : Caudal parcial en el tramo
- v_2 : Promedio de velocidades en la línea de medición 2
- d_2 : Profundidad en la línea de medición 2
- B, B' : Ancho entre las líneas de medición
- Q : Caudal total que discurre por la sección transversal

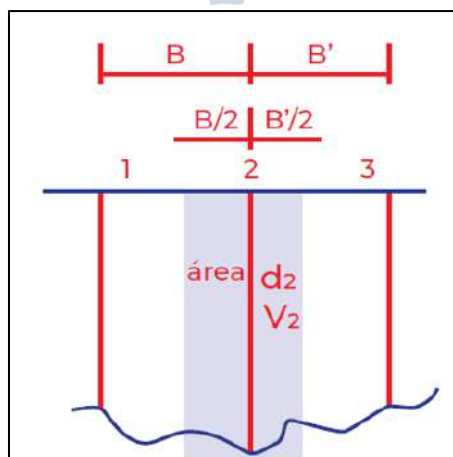


Figura 27. Método de la semisección

Fuente: (SENAMHI, 2018)

b. Relación nivel-caudal o altura-gasto

Luego de calcular el caudal de aforo (mínimo 10 veces al año), se hallan los caudales horarios en función de las alturas o niveles de agua registradas en las estaciones hidrométricas, para ello se realizan las denominadas Curvas de Gasto, Relación nivel-caudal o Relación altura-gasto, este último es la denominación que considera SENAMHI (Figura 28). Es decir, la información puntual tomada en el aforo pasará a ser parte de las estadísticas de las series de tiempo de caudales horarios, diarios, mensuales, anuales de la estación hidrométrica partir de esta relación.

La curva es aproximadamente parabólica, pero puede mostrar algunas irregularidades si la medición cambia entre los caudales bajos y altos o si la sección transversal es irregular. Su efectividad se puede estimar por el nivel de dispersión de los registros de caudal medidos en torno a la línea media. Si la medición es permanente y la pendiente de la línea de energía en la estación es razonablemente constante para todos los eventos a un nivel determinado, una simple calibración será suficiente (Linsley, Kohler, Paulus, 1992).

De la correcta calibración de la Curva de Gasto o Curva de Caudal, en base a los registros de aforos obtenidos, dependerá la calidad de la información continua de los caudales generados. El Manual de Hidrometría del SENAMHI (2018) expone un marco general-teórico de estas curvas de calibración, sin embargo, menciona que próximamente publicará el Manual de procedimientos de la elaboración de Curvas de Gasto para un mayor alcance de procedimientos, cálculos numéricos y análisis de incertidumbre de estas curvas, ya que estas están condicionadas por diferentes procesos físicos que influyen en el cambio de la geometría y parámetros hidráulicos de la sección de aforo.

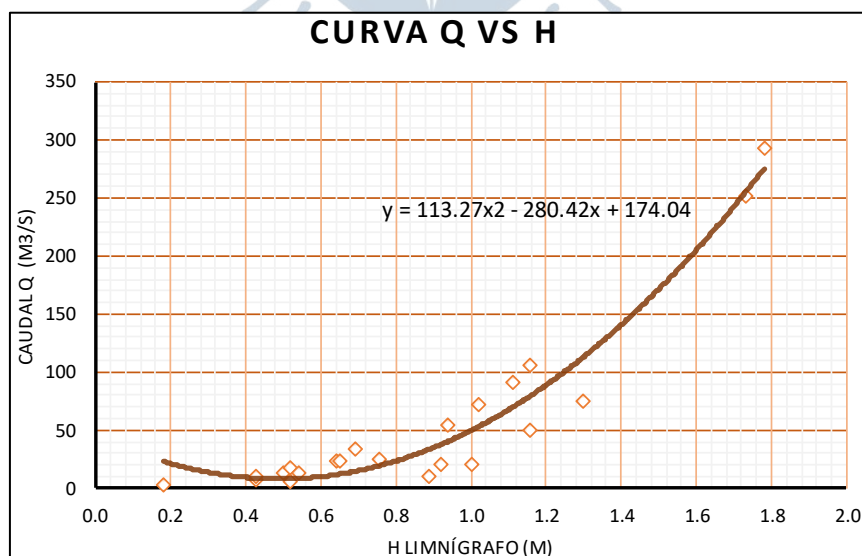


Figura 28. Curva caudal-nivel del río Chira en la estación Puente Internacional Macará
Fuente: Elaboración propia

c. Análisis de consistencia

De igual manera que los datos pluviométricos, los registros hidrométricos deben presentar una consistencia que demuestre que se han observado los niveles de agua de la misma forma, con el mismo criterio y que no hayan ocurrido variaciones en la instalación de la estación hidrométrica. Para ello también se usará el método de las curvas dobles acumuladas o de doble acumulación (CDA), sin embargo, en este caso en lugar de calcular con las precipitaciones anuales acumuladas, se usará los caudales promedios anuales, ya que el análisis hidrométrico no trabaja con descargas acumuladas anuales.

d. Relleno de información

Para el caso de los datos hidrométricos o de caudal debido a su naturaleza, el método que más se ajusta es el de las ecuaciones de regresión lineal simples y múltiples descrito en el subcapítulo 1.2.1.5.

1.2.3. Sistema de información geográfica: ArcGIS Pro

Para la presente investigación, los datos obtenidos de las estaciones pluviométricas e hidrométricas tienen que ser analizados y evaluados espacialmente de la mejor manera, con el fin de verificar que la toma de datos es congruente con la realidad en la cuenca hidrográfica, por lo que una buena herramienta para ello es un Sistema de Información Geográfica, donde se podrá plasmar de manera simplificada toda la información obtenida.

1.2.3.1. Definición

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema de información en el que se puede integrar, almacenar, editar, analizar y representar una determinada información geográfica. Un SIG son herramientas que permiten al investigador consultar interactivamente, analizar y editar la información espacial con mapas y presentar el resultado final de todas estas operaciones. En términos amplios, un SIG es un gestor de información espacial.

1.2.3.2. Capas temáticas y almacenamiento de datos

El software separa la información en diferentes capas temáticas o *Layers* y las almacena independientemente, permitiendo rapidez y sencillez al momento de trabajar en cada una de ellas. Esto facilita en gran medida al usuario para relacionar la información espacial de una determinada región (Figura 29).

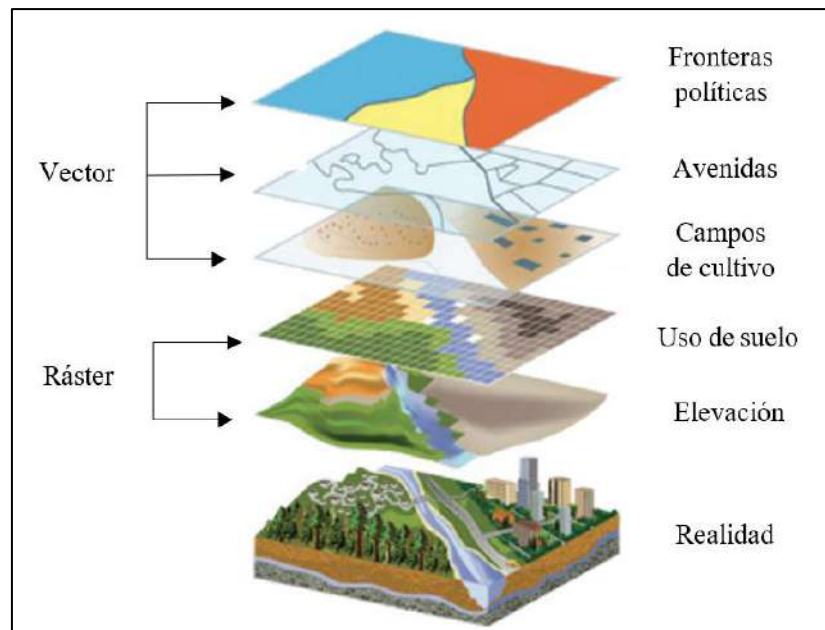


Figura 29. Capas temáticas de un SIG

Fuente: (ArcGIS Enterprise, 2019)

Existen dos formas de almacenar datos en un SIG:

- **Ráster:** Es un tipo de imagen representada en mallas (píxeles), donde cada celda regular representa un único valor. Los formatos usados son jpge, png, tiff, etc.
- **Vectorial:** Se basa en la componente vectorial de la componente espacial de los datos geográficos. Ello implica el uso de puntos, líneas y polígonos. Los atributos temáticos se manejan normalmente desde tablas de datos.

1.2.3.3. Software ArcGIS

El software que se usará en la evaluación de la red hidrometereológica del Chira será el ArcGIS, ya que ha presentado buenos resultados en cuanto a la evaluación espacial de una región hidrográfica. ArcGIS es un programa producido y comercializado por ESRI, el cual agrupa varias aplicaciones para capturar, editar, analizar, tratar, diseñar, publicar e imprimir la información geográfica. La familia de aplicaciones de ArcGIS Desktop (Figura 30) abarca:

- *ArcMap*: Aplicación principal para visualización y manipulación de los datos geográficos (Figura 31).
- *ArcCatalog*: Aplicación que se usa para gestionar los archivos a utilizar: mapas, bases de datos, etc. Ayuda a trabajar en orden.
- *ArcToolBox*: Aplicación que se usa para las operaciones de procesamiento de información geográfica: análisis de datos espaciales, conversión de formatos, gestión de datos, etc.
- *ArcScene*: Aplicación para visualizar en 3D.







Capítulo 2

Cuenca del río Chira

2.1. Ubicación

A pesar de que la presente tesis se refiere a la evaluación de la red hidrometereológica dentro del territorio peruano, es necesario comprender que la cuenca hidrográfica abarca también suelo ecuatoriano, por lo que en el presente capítulo se describirán las características de la cuenca binacional Catamayo- Chira.

Geográficamente, la cuenca se localiza entre las coordenadas 03°30' a 05°08' latitud sur y 79°10' a 81°11' de longitud oeste. A lo largo de la cuenca se puede encontrar un amplio rango altitudinal, desde la cota 0 al nivel del mar, hasta los 3700 m s.n.m.

La cuenca binacional Catamayo-Chira, abarca un área total de 17199.1 km² ubicados en la frontera entre Perú y Ecuador. El territorio ecuatoriano comprende un área total de 7212.3 km² en los cantones Céllica, Macará, Pindal, Calvas, Sozoranga, Espíndola, Quilanga, Gonzanamá; y parte de los cantones de Loja, Catamayo, Paltas, Olmedo, Puyango y Zapotillo. Por otro lado, en Perú, zona de estudio de la presente tesis, la cuenca se sitúa en las provincias de Sullana, Ayabaca, Huancabamba, Morropón, Paíta, Talara y Piura (Figura 32); con un área de 9986.81 km² (AECI- Plan binacional, 2003).

Está limitada en cada dirección por las siguientes regiones (AECI- Plan binacional, 2003):

- Por el norte: cuenca Puyango-Tumbes, departamento de tumbes en suelo peruano y provincias de El Oro y Loja en el Ecuador.
- Por el sur: cuencas de Piura y Huancabamba, provincias peruanas del mismo nombre.
- Por el este: provincia Zamora-Chinchipe del Ecuador.
- Por el oeste: océano pacífico.



Figura 32. Ubicación de la cuenca en territorio peruano

Fuente: Elaboración propia

2.2. Hidrografía

El curso principal de agua de la cuenca binacional Catamayo- Chira tiene una longitud total de 315 km, desde su nacimiento en la Cordillera Occidental de los Andes con el nombre de río Catamayo hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. Del total de su recorrido, 196 km están territorio ecuatoriano y 119 en Perú (Figura 33).

Los 315 km de recorrido nacen con el río Catamayo, el cual tiene su origen de la unión de dos ríos; el primero que fluye de sureste a noreste y recibe diferentes nombres como río Palmira, Piscobamba, Solanda, Chinguilamaca o El Arenal y el segundo llamado río Guayabal que fluye de norte a sur y recorre 45 km hasta unirse con el primero.

El río Catamayo continúa con su recorrido unos 150 km aguas abajo, recibiendo la contribución de pequeños ríos y quebradas hasta encontrarse con el río Macará conocido como río calvas kilómetros arriba. Este río está formado, al igual que el Catamayo, por la unión de dos ríos: el río Chiriyacu, con un recorrido de noreste a sureste y el río Espíndola, con una dirección de sur a norte. El curso principal toma la denominación de río Chira tras la confluencia entre el Catamayo y el Macará sirviendo de frontera al Perú y Ecuador durante 50 km donde recibe los aportes del río Alamor, en su mayoría ecuatoriano con una dirección de norte a sur. El río Chira toma un rumbo con dirección sureste en territorio peruano hasta la provincia de Sullana para finalmente fluir hacia el oeste hasta desembocar en el océano Pacífico. En el Perú, el Chira recibe los aportes de sus principales afluentes: por su margen derecha las quebradas Honda, Peroles, Samán, La Tina, Poechos y Cóndor; y por su margen izquierda los ríos Quiroz y Chipillico. (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2002).

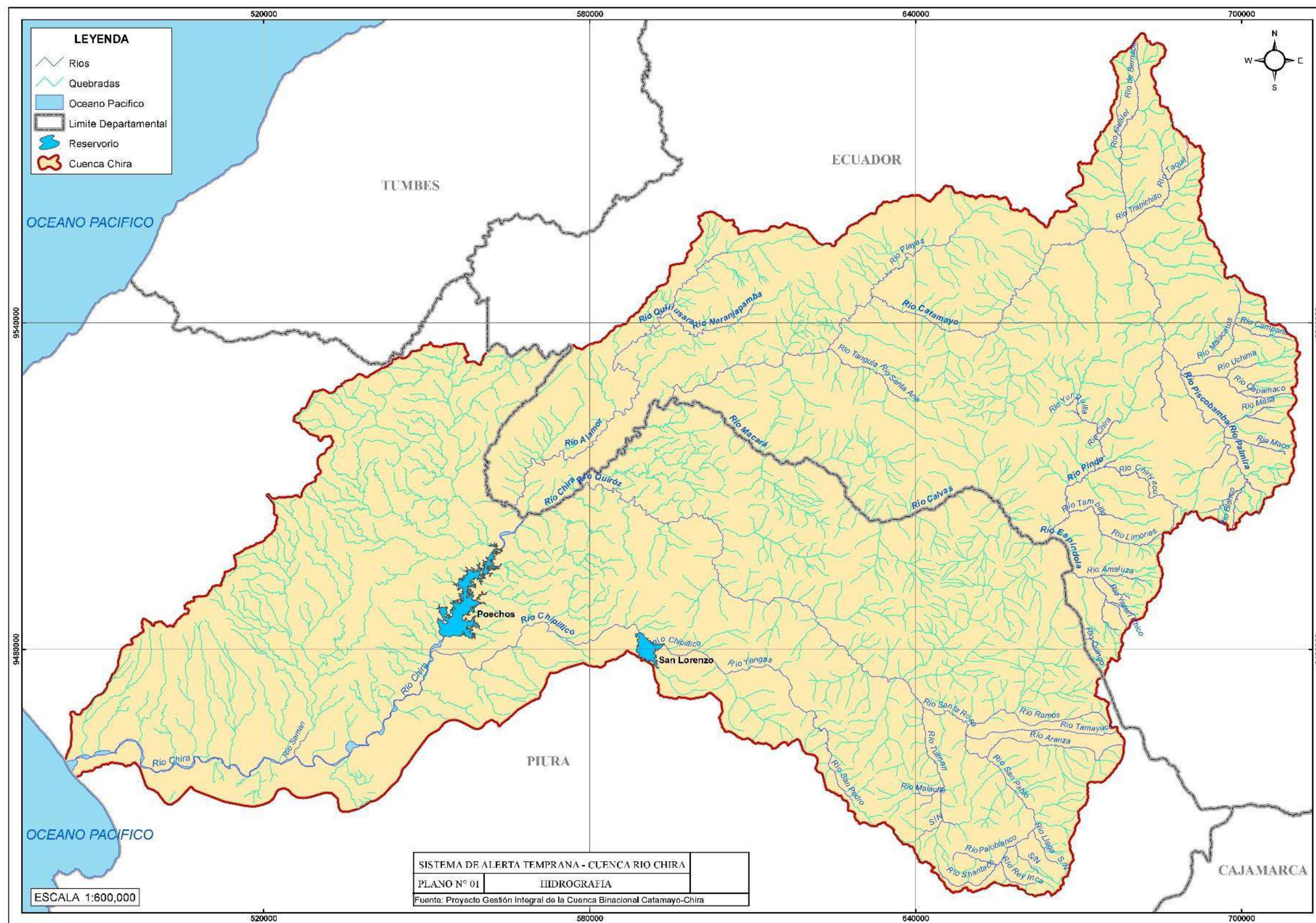


Figura 33. Hidrografía de la cuenca del río Chira.
Fuente: (Ministerio de Agricultura, 2013)

Este río es de suma importancia pues provee de agua a la represa más grande del Perú, la represa de Poechos, estructura encargada de regular el agua de riego en los valles del Chira y Piura (Aguilar, 2016).

2.3. Climatología

Según el estudio realizado por AECID-Plan Binacional (2003), en la cuenca se han encontrado 6 tipos de clima descritos a continuación:

- Cálido: se encuentra en altitudes menores a los 1000 m.s.n.m. y abarca un 44.57 % del territorio total de la cuenca.
- Semicálido: presente en un rango altitudinal de 1000 a 1700 m.s.n.m. y abarca un 23.55 % del territorio total.
- Templado cálido: presente en un rango altitudinal de 1700 a 2300 m.s.n.m. y abarca un 20.40 % del área total.
- Templado frío: presente en un rango altitudinal de 2300 a 3000 m.s.n.m. y abarca un 7.28 % del territorio de la cuenca.
- Semifrío: presente en un rango altitudinal de 3000 a 3500 m.s.n.m. y abarca un 3.54 % del territorio.
- Frío moderado: se encuentra en altitudes mayores a 3500 m.s.n.m. y abarca solo un 0.66 % del área de la cuenca.

Las temperaturas varían a lo largo del rango altitudinal de la cuenca, desde temperaturas relativamente altas de 24°C presentes en la cuenca baja, hasta temperaturas del orden de los 7°C en la cuenca alta con alturas superiores a los 3200 m.s.n.m. La temperatura de la cuenca media es del orden de los 20 °C.

La precipitación en la cuenca (Figura 34), puede caracterizarse bajo 3 tipos de régimen:

- Régimen 1: a partir del mes de septiembre las precipitaciones comienzan a aumentar significativamente hasta alcanzar un nivel máximo en marzo y disminuyendo gradualmente los meses siguientes.
- Régimen 2: para el mes de enero comienza una temporada lluviosa que incrementa sus valores de precipitación alcanzando un máximo el mes de marzo; en los meses de abril y mayo disminuye considerablemente llegando a tener valores cercanos a cero durante los meses continuos.

- Régimen 3: la temporada de lluvias empieza en el mes de octubre y va aumentando hasta llegar al nivel máximo durante los meses de febrero y marzo para disminuir la precipitación lentamente los meses subsiguientes.

El primer y tercer tipo de régimen se presenta en los territorios de la cuenca alta, es decir, en los rangos altitudinales de mayor valor; mientras que el régimen 2 se presenta en las partes bajas o llanas de la cuenca, o cercanas a la costa (Oñate, y otros, s.f.).

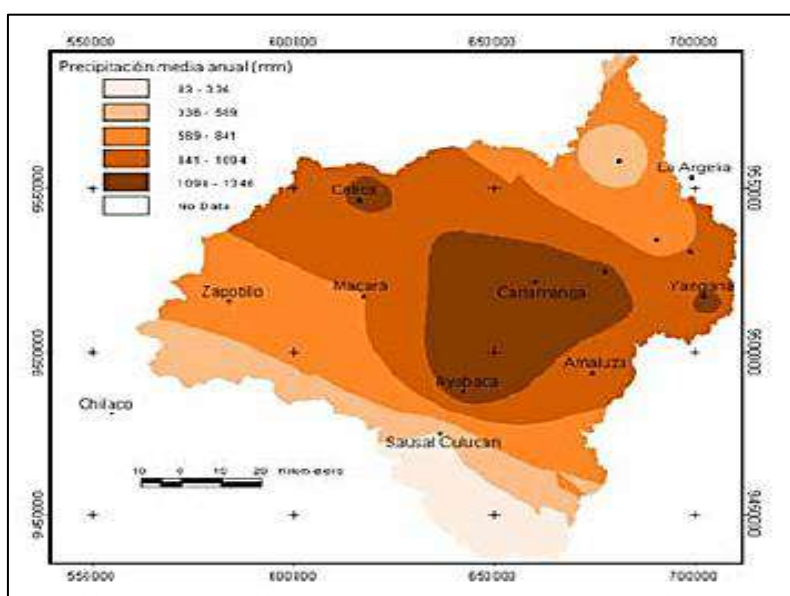


Figura 34. Precipitación media anual por rango de colores

Fuente: (Oñate, y otros, s.f.)

2.4. Suelos

Tal como muestra AECI-Plan Binacional (2003) la cuenca presenta en su conformación, suelos nuevos o recientes como los entisoles e inceptisoles hasta suelos más antiguos o maduros como aridisoles, molisoles, alfisoles y vertisoles, con mayor presencia pedogenética.

Los entisoles se encuentran en más del 50 % del área de la cuenca, principalmente en Centro Loja, parte andina del Perú, subcuenca baja del Catamayo y bajo el nivel de fondo del embalse Poechos; estos presentan los dos grandes grupos Ustorthents y Torriorthents. Entre los aridisoles destacan los grupos Camborthids y Haplargids, y ocupan las partes bajas de la cuenca donde existe un clima árido. Los inceptisoles están ubicados en las partes altas, por encima de los 2000 m s.n.m. y resalta el grupo Dystropepts. Del mismo modo, los alfisoles están presentes en las partes altas, pero del territorio ecuatoriano de la cuenca, con el grupo de los Rhodustalfs. Por último, los molisoles donde resalta el grupo Haplustoll (AECI- Plan binacional, 2003).

Como vegetación a lo largo de la cuenca se pueden encontrar 3 grupos: bosques, pastos y cultivos. El grupo más representativo es el de los bosques, compuestos principalmente por el bosque natural seco colinado en la parte baja de la cuenca. Los pastos se ubican mayormente en las partes altas junto con vegetación arbustiva, mientras que los cultivos están distribuidos a

lo largo de la cuenca en las partes alta, media y baja, principalmente en los márgenes de los ríos Chira y Alamor (AECI- Plan binacional, 2003).

Por su uso potencial, más de la mitad del territorio tiene un uso agropecuario, especialmente las partes de menor altitud. El área restante o la cuenca alta, debe servir para actividades agrosilvopastoriles, forestales y de protección; teniendo como objetivo conservar los caudales de los ríos y la vegetación natural (AECI- Plan binacional, 2003).

2.5. Características fisiográficas de la cuenca

A continuación, se presenta un resumen de las principales características de la cuenca (Ramos Taipe & Portuguesez Maurtua, 2010):

- Área: $A = 17940.38 \text{ km}^2$
- Perímetro: $P = 880.9 \text{ km}$
- Longitud mayor del cauce principal: $L = 304.16 \text{ km}$
- Ancho promedio: $B = 59 \text{ km}$
- Coeficiente de compacidad: $Kc = 1.84$
- Factor de forma: $F = 0.19$
- Rectángulo equivalente: $L_e = 395.04 \text{ km}$; $l_e = 45.41 \text{ km}$
- Pendiente media del cauce principal: $Sc = 0.33 \%$
- Altitud media: $Hm = 1170.77 \text{ m s.n.m.}$
- Pendiente media de la cuenca: $Sg = 23.23 \%$

A pesar de que el área y la longitud del cauce difieren con los valores presentados en los anteriores capítulos, esta diferencia es despreciable, por lo que los parámetros mencionados son confiables y nos muestran las condiciones de la cuenca. Ramos Taipe y Portuguesez Maurtua (2010) señalan que, debido a su curva hipsométrica, el río Catamayo-Chira es un río maduro y, además, dados los valores de factor de forma y de coeficiente de compacidad, la cuenca posee una buena respuesta a las crecidas y tiene una forma alargada.

2.6. Subcuencas y su geomorfología principal

Se puede dividir la cuenca en 6 subcuencas, de acuerdo a los cursos de agua principales, los cuales se presentan en la Tabla 3 y la Figura 35.

Tabla 3. Subcuencas de la cuenca Catamayo-Chira

Subcuencas	Área (km ²)	Ubicación
Sistema Chira	4712	Ecuador-Perú
Chipillico	1171	Perú
Quiroz	3109	Perú
Alamor	1190	Ecuador-Perú
Macará	2833	Ecuador-Perú
Catamayo	4184	Ecuador

Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2002)

La cuenca de mayor pendiente es la del río Quiroz, mientras que el cauce con mayor pendiente es el río Alamor, en las Tablas 4, 5 y 6 se presentan las pendientes de los cauces, de las cuencas y las condiciones de drenaje respectivamente (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2002).

Tabla 4. Pendiente media de los cauces principales

Río principal	Pendiente media (%)
Chira	1.13
Alamor	2.25
Catamayo	1.5
Macará	1.36
Quiroz	1.75
Chipillico	2.04

Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2002)

Tabla 5. Pendiente media de las subcuencas

Cuenca	Pendiente media (%)
Sistema Chira	16.7
Alamor	56.52
Catamayo	91.95
Macará	85.68
Quiroz	94.05
Chipillico	52.78

Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2002)

Tabla 6. Condiciones de drenaje de la cuenca

Cuenca	Densidad de red de cauces (cauces/km ²)	Densidad de drenaje (km/km ²)
Sistema Chira	0.093	0.453
Alamor	0.063	0.302
Catamayo	0.06	0.347
Macará	0.119	0.432
Quiroz	0.032	0.159
Chipillico	0.347	1.231

Fuente: (CONSORCIO ATA-UNL-UNP, 2002)

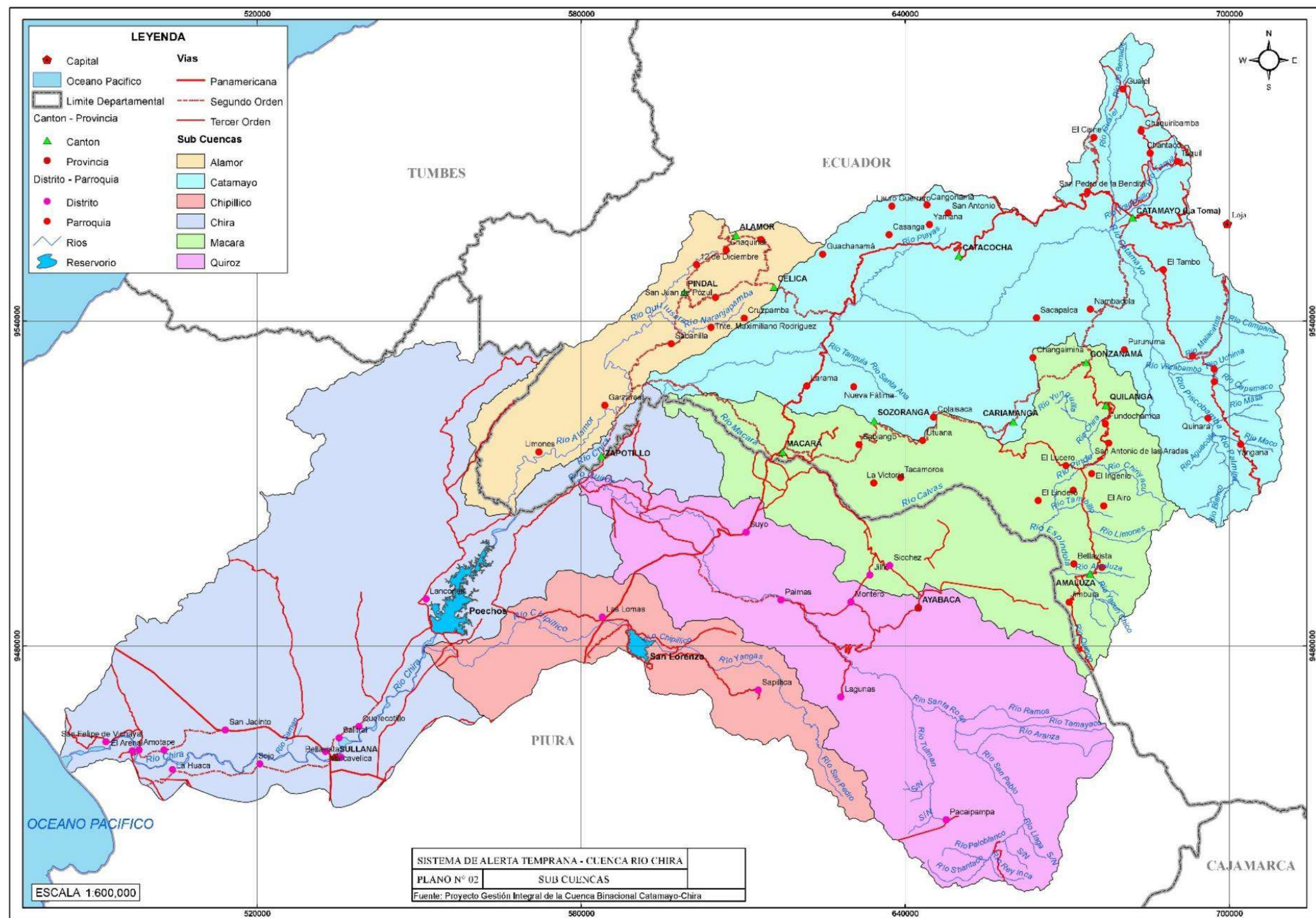


Figura 35. Subcuencas de la cuenca Catamayo-Chira.

Fuente: (Ministerio de Agricultura, 2013)

Capítulo 3

Red pluviométrica de la cuenca del río Chira

3.1. Descripción

En el estado actual de la red pluviométrica de la cuenca existen un total de 23 estaciones activas a cargo del SENAMHI (Tabla 7), que, para motivos de la presente tesis, se pueden clasificar en automáticas (A) y convencionales (C).

Tabla 7. Estaciones activas del SENAMHI en la cuenca del río Chira

Nº	Estación	Ubicación		Clase	Entidad que opera	Estado de visita
		Provincia	Distrito			
1	Alamor	Sullana	Lancones	A-C	SENAMHI	Si
2	Sausal de Culucán	Ayabaca	Ayabaca	C	SENAMHI	No
3	Ardilla	Sullana	Lancones	A-C	SENAMHI	No
4	Ayabaca	Ayabaca	Ayabaca	A-C	SENAMHI	No
5	El Ciruelo	Ayabaca	Suyo	A-C	SENAMHI	Si
6	Hualcuy	Ayabaca	Ayabaca	A	SENAMHI	No
7	Chipillico	Piura	Las Lomas	A	SENAMHI	No
8	La Esperanza	Paíta	Colán	C	SENAMHI	Si
9	Lancones	Sullana	Lancones	A-C	SENAMHI	Si
10	Mallares	Sullana	Marcavelica	C	SENAMHI	Si
11	Partidor	Piura	Las Lomas	C	SENAMHI	No
12	Paimas	Ayabaca	Paimas	A	SENAMHI	No
13	Puente Internacional	Ayabaca	Suyo	A-C	SENAMHI	Si
14	Puente Simón Rodríguez	Paíta	Amotape	A	SENAMHI	Si
15	Sapillica	Ayabaca	Sapillica	A-C	SENAMHI	No
16	Pananga	Sullana	Marcavelica	C	SENAMHI	No

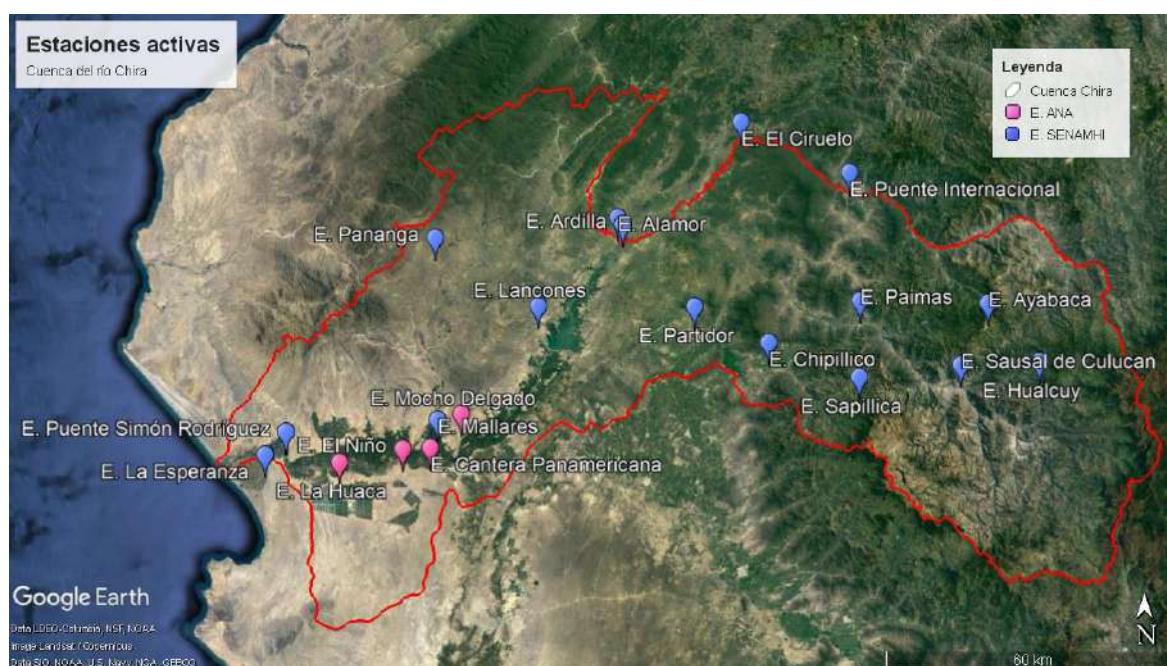
Fuente: Elaboración propia.

Así mismo existen 4 estaciones pluviométricas automáticas que se activan durante el periodo de lluvias. Dichas estaciones son parte del sistema de alerta y monitoreo de quebradas o SAMQ, sistema controlado por el ANA. Se presenta un resumen con los datos de dichas estaciones en la Tabla 8. Asimismo, se muestra la distribución espacial de todas las estaciones (SENAMHI y ANA) en la Figura 36.

Tabla 8. Estaciones del Sistema de alerta y monitoreo de quebradas (SAMQ) del ANA

Nº	Estación	Ubicación		Clase	Entidad que opera	Estado de visita
		Provincia	Distrito			
1	Qda. Cantera Panamericana	Sullana	Marcavelica	A	ANA	Si
2	Qda. El Niño	Sullana	Marcavelica	A	ANA	Si
3	Qda. La Huaca	Sullana	Viviate	A	ANA	No
4	Qda. Mocho Delgado	Sullana	Marcavelica	A	ANA	Si

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 36. Distribución espacial de estaciones pluviométricas activas.**

Fuente: Elaboración propia

3.2. Evaluación de estaciones

Tal como se muestra en la última columna de las Tablas 7 y 8, se realizaron visitas de campo a las estaciones para corroborar su estado y verificar la calidad de los instrumentos de medición. En el presente subcapítulo se describirán todas las estaciones, tanto las que se lograron visitar como aquellas que no se pudo llegar.

3.2.1. Reporte general de las estaciones visitadas

Como ya se comentó, las inspecciones de campo han tenido como objetivo verificar el correcto funcionamiento de los equipos e identificar posibles problemas en la toma de datos por el personal que opera las estaciones. Por tal motivo se elaboraron formatos o fichas de evaluación que permitieron sistematizar la información requerida durante las visitas. De la Tabla 9 a la Tabla 18, se presenta un resumen donde se detalla la ubicación espacial, condiciones y operatividad, equipamiento y una fotografía general actualizada de cada estación.

Tabla 9. Datos generales estación Quebrada Cantera Panamericana

Nombre	Quebrada Cantera Panamericana
Tipo	Pluviométrica (automática)
Entidad responsable	ANA
Coordenadas UTM	527809.79 m E - 9457309.672 m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Buena
Instrumentos en operación	- Automáticos: sensor de precipitación de bascula oscilante.
Observaciones	-Funciona solo 4 meses durante el periodo de lluvias como parte del sistema de alerta y monitoreo de quebradas SAMQ.

Fotografía actual de la estación

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Datos generales estación Quebrada El Niño

Nombre	Quebrada El Niño
Tipo	Pluviométrica (automática)
Entidad responsable	ANA
Coordenadas UTM	552420.183 m E - 9457004.419 m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Buena
Instrumentos en operación	- Automáticos: sensor de precipitación de bascula oscilante.
Observaciones	-Funciona solo 4 meses durante el periodo de lluvias como parte del sistema de alerta y monitoreo de quebradas SAMQ.

Fotografía actual de la estación

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Datos generales estación Quebrada Mocho Delgado

Nombre	Quebrada Mocho Delgado
Tipo	Pluviométrica (automática)
Entidad responsable	ANA
Coordenadas UTM	534218.87 m E - 9464277.074 m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Buena
Instrumentos en operación	- Automáticos: sensor de precipitación de bascula oscilante.
Observaciones	-Funciona solo 4 meses durante el periodo de lluvias como parte del sistema de alerta y monitoreo de quebradas SAMQ.

Fotografía actual de la estación

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Datos generales estación La Esperanza

Nombre	La Esperanza
Tipo	Pluviométrica (convencional)
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	493382.132 m E - 9456052.892 m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Buena
Instrumentos en operación	- Convencionales: pluviómetro, pluviógrafo, tanque de evaporación, heliógrafo, geotermómetros, refugio meteorológico.
Observaciones	-Mayoría de instrumentos en buen estado, aunque no se pudo comprobar los instrumentos dentro del refugio. -Difícil acceso.

Fotografía actual de la estación

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Datos generales estación Mallares

Nombre	Mallares
Tipo	Pluviométrica (convencional)
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	529321.237 m E - 9463276.037 m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Buena
Instrumentos en operación	- Convencionales: pluviómetro, pluviógrafo, tanque de evaporación, heliógrafo, geotermómetros, termohigrógrafo, termómetros de mínimo y máximo.
Observaciones	-Mayoría de instrumentos en buen estado, anemómetro fuera de servicio.
Fotografía actual de la estación	
	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Datos generales estación Lancones

Nombre	Lancones
Tipo	Pluviométrica (automática y convencional)
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	592428.5 m E - 9524765.5 m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición (automática)	Operativo/Buena
Operatividad/Condición (convencional)	Operativo/Regular
Instrumentos en operación	- Automáticos: sensor de precipitación de bascula oscilante, sensores de temperatura, viento, radiación. - Convencionales: termómetros de mínimo y máximo, heliógrafo, tanque de evaporación.
Observaciones	-La estación convencional está en malas condiciones pues ha sufrido muchos robos.
Fotografía actual de la estación	
	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Datos generales estación Puente Simón Rodríguez

Nombre	Puente Simón Rodríguez
Tipo	Pluviométrica (automática)
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	497742.803 m E - 9460568.874 m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Buena
Instrumentos en operación	- Automáticos: sensor de precipitación de bascula oscilante.
Observaciones	-Mide precipitaciones horarias e intensidades.
Fotografía actual de la estación	
	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Datos generales estación Puente Internacional

Nombre	Puente Internacional
Tipo	Pluviométrica
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	614917.158 m E – 9514353.285 m S - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Buena
Instrumentos en operación	- Automáticos: sensor de precipitación de bascula oscilante.
Observaciones	-Mide precipitaciones horarias e intensidades.
Fotografía actual de la estación	
	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Datos generales estación Alamor

Nombre	Alamor
Tipo	Pluviométrica (automático)
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	566810.4 m E - 9505125.6 m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Buena
Instrumentos en operación	- Automáticos: sensor de precipitación de bascula oscilante.
Observaciones	-Instrumentos en buen estado.
Fotografía actual de la estación	



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Datos generales estación El Ciruelo

Nombre	El Ciruelo
Tipo	Pluviométrica (automático)
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	592428.5 m E - 9524765.5 m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Buena
Instrumentos en operación	- Automáticos: sensor de precipitación de báscula oscilante.
Observaciones	-Instrumentos en buen estado.
Fotografía actual de la estación	



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Descripción de estaciones sin visita de campo

Desde la Tabla 19 hasta la Tabla 27, se brinda una descripción general de aquellas estaciones a las cuales no se tuvo acceso, con su ubicación espacial y los parámetros meteorológicos que miden según los reportes de SENAMHI.

Tabla 19. Datos generales estación Sausal de Culucan

Nombre	Sausal de Culucan
Tipo	Pluviométrica convencional
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	637750.9m E - 9474584m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Se presume en buenas condiciones
Parámetros en medición	- Convencional: Temperatura, humedad, precipitación.
Observaciones	-Medición de parámetros de manera convencional (07, 13 y 19 horas)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Datos generales estación Ayabaca

Nombre	Ayabaca
Tipo	Agrometeorológica automática y convencional
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	643004.8m E - 9487247.3m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Se presume en buenas condiciones
Parámetros en medición	- Automática: Temperatura, humedad, velocidad y dirección de viento, presión atmosférica y precipitación. - Convencional: Temperatura, humedad, precipitación.
Observaciones	-Medición de parámetros de manera automática (horaria) y convencional (07, 13 y 19 horas)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Datos generales estación Pananga

Nombre	Pananga
Tipo	Pluviométrica convencional
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	528904m E - 9500879m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Se presume en buenas condiciones
Parámetros en medición	- Convencional: Temperatura, humedad, precipitación.
Observaciones	-Medición de parámetros de manera convencional (07, 13 y 19 horas)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Datos generales estación Sapollica

Nombre	Sapollica
Tipo	Meteorológica automática y convencional
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	610924.3m E – 9469761.5m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Se presume en buenas condiciones
Parámetros en medición	- Automática: Sensores de Temperatura, humedad, velocidad y dirección de viento, presión atmosférica y precipitación. - Convencional: Temperatura, humedad, precipitación.
Observaciones	-Medición de parámetros de manera automática (horaria) y convencional (07, 13 y 19 horas)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Datos generales estación Hualcuy

Nombre	Hualcuy
Tipo	Meteorológica automática
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	653828m E – 9475078m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Se presume en buenas condiciones
Parámetros en medición	- Automática: Sensores de Temperatura, humedad, velocidad y dirección de viento, presión atmosférica y precipitación.
Observaciones	-Medición de parámetros de manera automática (horaria)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Datos generales estación Paimas

Nombre	Paimas
Tipo	Meteorológica automática
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	616950m E – 9487660m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Se presume en buenas condiciones
Parámetros en medición	- Automática: Sensores de Temperatura, humedad, velocidad y dirección de viento, presión atmosférica y precipitación.
Observaciones	-Medición de parámetros de manera automática (horaria)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Datos generales estación Chipillico

Nombre	Chipillico
Tipo	Meteorológica automática
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	598058.102m E – 9479023.494m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Se presume en buenas condiciones
Parámetros en medición	- Automática: Sensores de Temperatura, humedad, velocidad y dirección de viento, presión atmosférica y precipitación.
Observaciones	-Medición de parámetros de manera automática (horaria)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Datos generales estación Ardilla

Nombre	Ardilla
Tipo	Meteorológica automática y convencional
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	567873.692m E – 9503583.92m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Se presume en buenas condiciones
Parámetros en medición	- Automática: Sensores de Temperatura, humedad, velocidad y dirección de viento, presión atmosférica y precipitación. - Convencional: Temperatura, humedad, precipitación.
Observaciones	-Medición de parámetros de manera automática (horaria) y convencional (07, 13 y 19 horas)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Datos generales estación Partidor

Nombre	Partidor
Tipo	Pluviométrica convencional
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	579868.5m E – 9476921.9m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Se presume en buenas condiciones
Parámetros en medición	- Convencional: Temperatura, humedad, precipitación.
Observaciones	-Medición de parámetros de manera convencional (07, 13 y 19 horas)

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Recopilación de información

Como se mencionó, el SENAMHI cuenta con 23 estaciones activas pluviométricas en la cuenca del río Chira, entre convencionales y automáticas (Tabla 7). Los datos registrados son de su entera propiedad. Para esto, la Universidad de Piura celebró un convenio de cooperación interinstitucional con la entidad que permitió se brinde la información registrada por sus estaciones.

Los registros brindados para el análisis pluviométrico fueron precipitaciones diarias de las estaciones convencionales, y precipitaciones horarias y diarias, para las estaciones automáticas. Los registros abarcan desde el inicio de operación para cada estación. Asimismo, el Instituto de Hidráulica e Hidrología de la Universidad de Piura nos proporcionó registros pluviométricos que no contemplaba SENAMHI. Dichos datos brindados a la Universidad de Piura por el PECHP, se nos proporcionaron para disminuir la cantidad de datos faltantes que existía en los registros de estaciones convencionales.

Cabe recalcar que SENAMHI proporcionó información de una estación convencional inactiva actualmente, que es Pacaypampa, pero debido a su consistente registro y su reciente inoperatividad, se consideró en la base de datos.

A continuación, se detallará los registros pluviométricos recopilados para estaciones convencionales (C) y estaciones automáticas (A) (Tabla 28). De toda esta base de datos se optó por trabajar con las estaciones de la Tabla 29 por presentar registro más consistente.

Se calculó la cantidad de registro mensual disponible para la creación de la base de datos (Tabla 30 y 32). Para ello, un registro mensual se consideraba solo si completaba todos los registros diarios del mes. Bajo esa consideración, en cada recuadro del diagrama se indicó la cantidad de meses recopilados. Asimismo, en las Tablas 30 y 32, el color verde indica que no existe información faltante en ese año, el color amarillo indica los años con una cantidad importante de vacíos que se rellenaran más adelante. En el acápite 3.4 también se especificará la cantidad de registros diarios.

Tabla 28. Tabla general recopilación de registros pluviométricos

Nº	Estación	Ubicación		Clase	Entidad	Activo	Datos recopilados (años)	Tomada para base de datos
		Provincia	Distrito					
1	Hualcuy	Ayabaca	Ayabaca	A	SENAMHI	Sí	2015-2019	No
2	Paimas	Ayabaca	Paimas	A	SENAMHI	Sí	2015-2019	No
3	Puente Simón Rodríguez	Paíta	Amotape	A	SENAMHI	Sí	2015-2019	No
4	Chipillico	Piura	Las Lomas	A	SENAMHI	Sí	2015-2019	No
5	Lagartera	Ayabaca	Sapillica	A	SENAMHI	No	Sin datos	No
6	Qda. Cantera Panamericana	Sullana	Marcavelica	A	ANA	Sí	2015-2019	No
7	Qda. La Huaca	Sullana	Viviate	A	ANA	Sí	2015-2019	No
8	Qda. El Niño	Sullana	Marcavelica	A	ANA	Sí	2015-2019	No
9	Qda. Mocho Delgado	Sullana	Marcavelica	A	ANA	Sí	2015-2019	No
10	Ardilla	Sullana	Lancones	A	SENAMHI	Sí	2015-2019	No
11	Ayabaca	Ayabaca	Ayabaca	A	SENAMHI	Sí	2011-2019	No
12	Alamor	Sullana	Lancones	A	SENAMHI	Sí	2015-2019	No
13	Lancones	Sullana	Lancones	A	SENAMHI	Sí	2015-2019	No
14	Sapillica	Ayabaca	Sapillica	A	SENAMHI	Sí	2015-2019	No
15	El Ciruelo	Ayabaca	Suyo	A	SENAMHI	Sí	2015-2019	No
16	Puente Internacional	Ayabaca	Suyo	A	SENAMHI	Sí	2015-2019	No
17	Ardilla	Sullana	Lancones	C	SENAMHI	Sí	1970-2017	Sí
18	Ayabaca	Ayabaca	Ayabaca	C	SENAMHI	Sí	1963-2019	Sí
19	Alamor	Sullana	Lancones	C	SENAMHI	Sí	1997-2019	Sí
20	Lancones	Sullana	Lancones	C	SENAMHI	Sí	1963-2019	Sí
21	Sapillica	Ayabaca	Sapillica	C	SENAMHI	Sí	1963-2019	Sí
22	El Ciruelo	Ayabaca	Suyo	C	SENAMHI	Sí	1976-2017	Sí
23	Puente Internacional	Ayabaca	Suyo	C	SENAMHI	Sí	1977-2017	Sí
24	Mallares	Sullana	Marcavelica	C	SENAMHI	Sí	1972-2019	Sí
25	Sausal de Culucán	Ayabaca	Ayabaca	C	SENAMHI	Sí	1963-2019	Sí
26	La Esperanza	Paíta	Colán	C	SENAMHI	Sí	1967-2019	Sí
27	Pananga	Sullana	Marcavelica	C	SENAMHI	Sí	1963-2019	Sí
28	Partidor	Piura	Las Lomas	C	SENAMHI	Sí	Sin datos	No
29	Pacaypampa	Ayabaca	Pacaypampa	C	SENAMHI	No	1963-2017	Sí

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Estaciones pluviométricas convencionales de SENAMHI con registro consistente pluviométrico recopilado para creación de base de datos

N°	Estación	Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Norte (m)	Este (m)	Altitud (m.s.n.m.)
1	Mallares	Sullana	Marcavelica	4°51'20.67" S	80°44'8" W	9463276	529321.2	44
2	Esperanza	Paita	Pueblo Nuevo Colan	4°55'16.09" S	81°3'34.89" W	9456052.9	493382.1	7
3	Ayabaca	Ayabaca	Ayabaca	4°38'15.92" S	79°42'38.76" W	9487247.3	643004.8	2633
4	Lancones	Sullana	Lancones	4°38'34.36" S	80°32'49.83" W	9486795.2	550224.4	133
5	Sapillica	Ayabaca	Sapillica	4°46'29.36" S	79°56'58.88" W	9471773	612917	1466
6	Sausal de Culucan	Ayabaca	Ayabaca	4°45'8.55" S	79°45'28.52" W	9474584	637750.9	997
7	Alamor	Sullana	Lancones	4°28'38.65" S	80°23'52.63" W	9504736	566799	116
8	Pacaypampa	Ayabaca	Pacaypampa	4°59'47.16" S	79°39'54.09" W	9447579.9	648001.9	2028
9	Pananga	Sullana	Marcavelica	4°30'56.03" S	80°44'22" W	9500879	528904	360
10	El Ciruelo	Ayabaca	Suyo	4°17'56.56" S	80°10'1.34" W	9524767.1	592431.9	243
11	Ardilla	Sullana	Lancones	4°29'27.37" S	80°23'17.48" W	9503730.8	567656.1	116
12	Puente Internacional	Ayabaca	Suyo	4°23'35.07" S	79°57'51.43" W	9514310.9	614937.4	385

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Número de registros pluviométricos mensuales recopilados de las estaciones convencionales de SENAMHI para creación de base de datos

Nº	Estación	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
1	Mallares	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	12	11	12	12	12	12	12	10	12
2	La esperanza				0	11	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12
3	Sausal de Culucan	11	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	9	12	12	12	12	12	12	12
4	Ayabaca	12	12	2	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
5	Lancones	4	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12
6	Sapillica	5	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	12	12	12	12	2	0	12	12	12	12	12	12	12
7	Ardilla								5	10	12	12	11	12	11	12	11	12	12	10	11	12	12	12	12	12	12	11	11
8	Alamor																												
9	El Ciruelo														1	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	10	12	12
10	Puente Internacional															11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
11	Pacaypampa	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	Pananga	2	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. (continuación) Número de registros pluviométricos mensuales recopilados de las estaciones convencionales de SENAMHI para creación de base de datos

N°	Estación	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	Mallares	11	10	3	12	12	11	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12
2	La esperanza	12	10	5	1	12	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
3	Sausal de Culcan	10	9	4	5	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
4	Ayabaca	12	12	5	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
5	Lancones	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	5	12	12	12	12	12	12	12	11	10	12	12	12	12	12	12	12	12
6	Sapillica	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
7	Ardilla	11	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	3	12	12	12	12	7	8	12	12	12	8	0	0
8	Alamor							1	5	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12
9	El Ciruelo	12	5	6	12	11	3	0	0	0	0	0	0	2	12	12	11	11	12	12	12	12	7	8	12	8	12	8	0	0
10	Puente Internacional	9	5	6	12	12	3	0	0	0	0	0	0	2	12	12	11	11	12	12	12	12	7	8	12	12	12	8	0	0
11	Pacaypampa	11	0	7	12	3	0	0	0	0	0	0	0	7	12	12	12	10	8	10	12	10	6	12	12	12	6	0	0	0
12	Pananga	12	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Estaciones pluviométricas automáticas de SENAMHI

N°	Estación	Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Norte (m)	Este (m)	Altitud (m.s.n.m.)
1	Alamor	Sullana	Lancones	4°28'38.65" S	80°23'52.63" W	9504736	566799	116
2	Ayabaca	Ayabaca	Ayabaca	4°38'15.92" S	79°42'38.76" W	9487247.3	643004.8	2633
3	El Ciruelo	Ayabaca	Suyo	4°17'56.56" S	80°10'1.34" W	9524767.1	592431.9	243
4	Hualcuy	Ayabaca	Ayabaca	4°44'51.6" S	79°36'47.43" W	9475074.1	653807.9	1970
5	Ardilla	Sullana	Lancones	4°29'27.37" S	80°23'17.48" W	9503730.8	567656.1	116
6	Lancones	Sullana	Lancones	4°38'34.36" S	80°32'49.83" W	9486795.2	550224.4	133
7	Paimas	Ayabaca	Paimas	4°38'3.79" S	79°56'45.03" W	9487663	616927	609
8	Puente Internacional	Ayabaca	Suyo	4°23'35.07" S	79°57'51.43" W	9514310.9	614937.4	385
9	Puente Simón Rodríguez	Paita	Amotape	4°52'47.97" S	81°1'13.38" W	9460601.2	497740	12
10	Sapillica	Ayabaca	Sapillica	4°47'47" S	79°59'59" W	9469761.5	610924.3	1406
11	Chipillico	Piura	Las Lomas	4°42'48.86" S	80°7'1.77" W	9478934.9	597912	340

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Número de registros pluviométricos mensuales recopilados de las estaciones automáticas de SENAMHI

Nº	Estación	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	Alamor					9	12	12	12	12
2	Ayabaca	10	1	1	8	12	12	12	12	12
3	El Ciruelo					7	12	12	12	12
4	Hualcuy					6	12	12	12	12
5	Ardilla					7	12	12	12	12
6	Lancones					8	12	12	12	0
7	Paimas					7	12	12	12	9
8	Puente Internacional					1	0	12	12	12
9	Puente Simón Rodríguez					7	11	12	12	12
10	Sapillica					6	12	8	9	7
11	Chipillico					6	12	10	12	12

Fuente: Elaboración propia.

Para los fines del proyecto de modelación y elaboración de la herramienta de predicción de los caudales del río Chira, a cargo de la Universidad de Piura, se hallaron las correlaciones entre los registros mensuales de las estaciones automáticas (A) y convencionales (C). Estas primeras serán las que aportarán los registros actuales para la modelación. Por ello es importante conocer la correlación de los registros de las estaciones convencionales, que se están tomando como base de datos por su mayor consistencia, frente a los registros de las estaciones automáticas (Figura 37 a Figura 42).

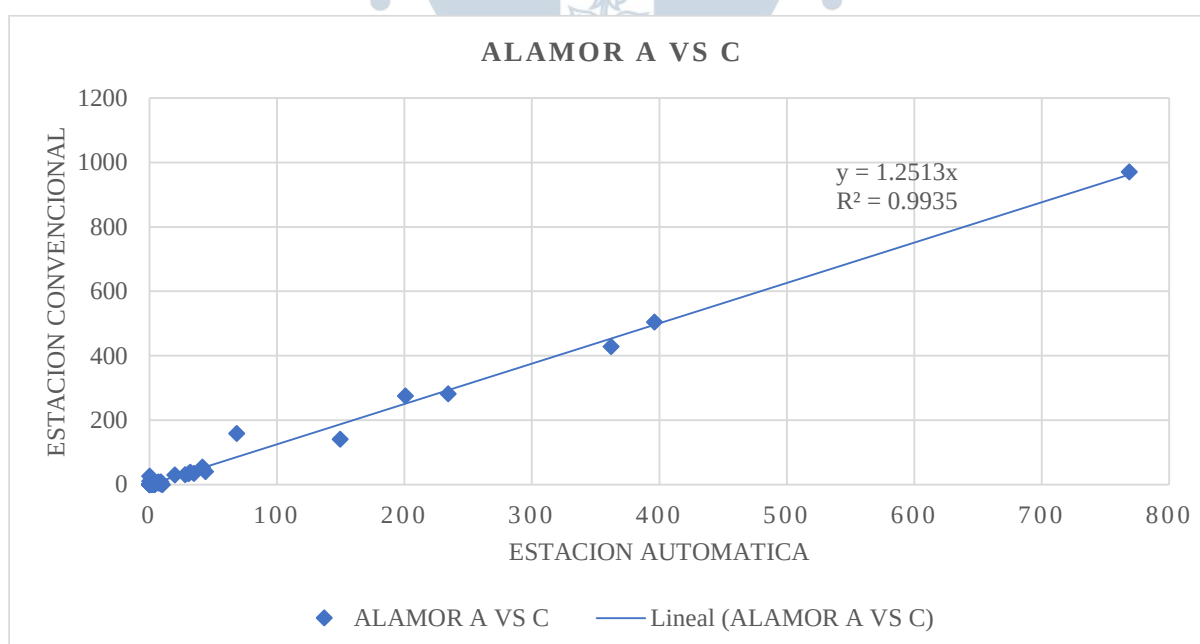


Figura 37. Correlación de la precipitación mensual entre las estaciones automática y convencional en Alamor.

Fuente: Elaboración propia

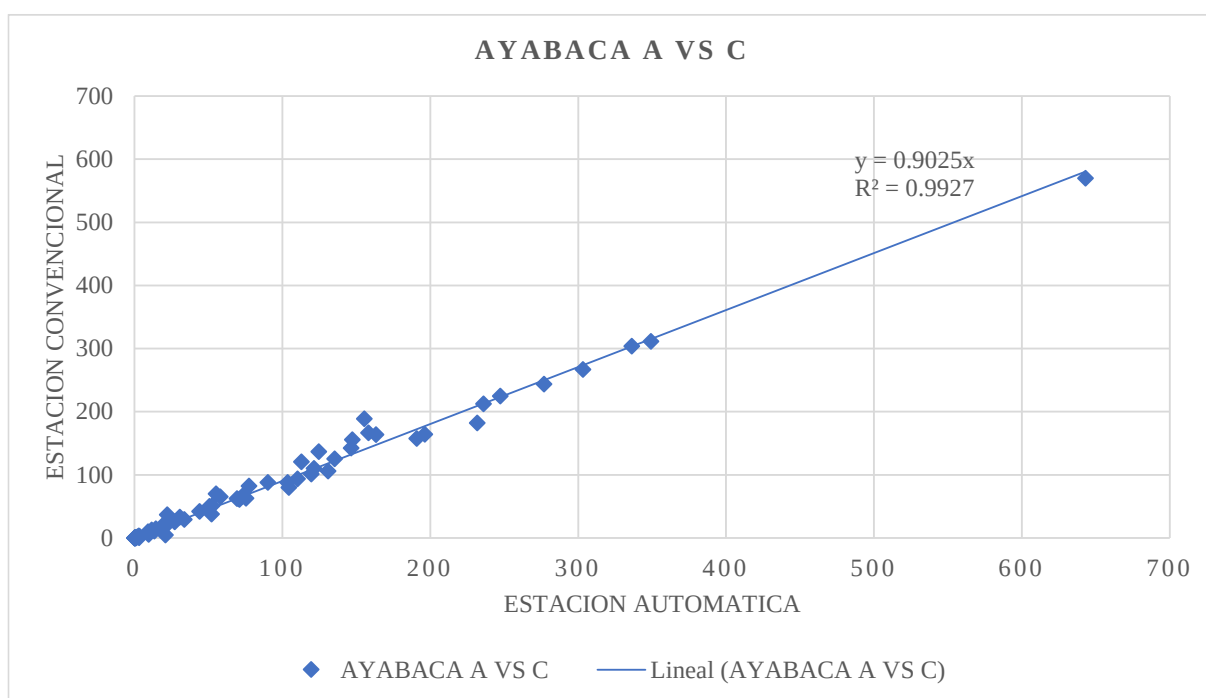


Figura 38. Correlación de la precipitación mensual entre las estaciones automática y convencional en Ayabaca.

Fuente: Elaboración propia

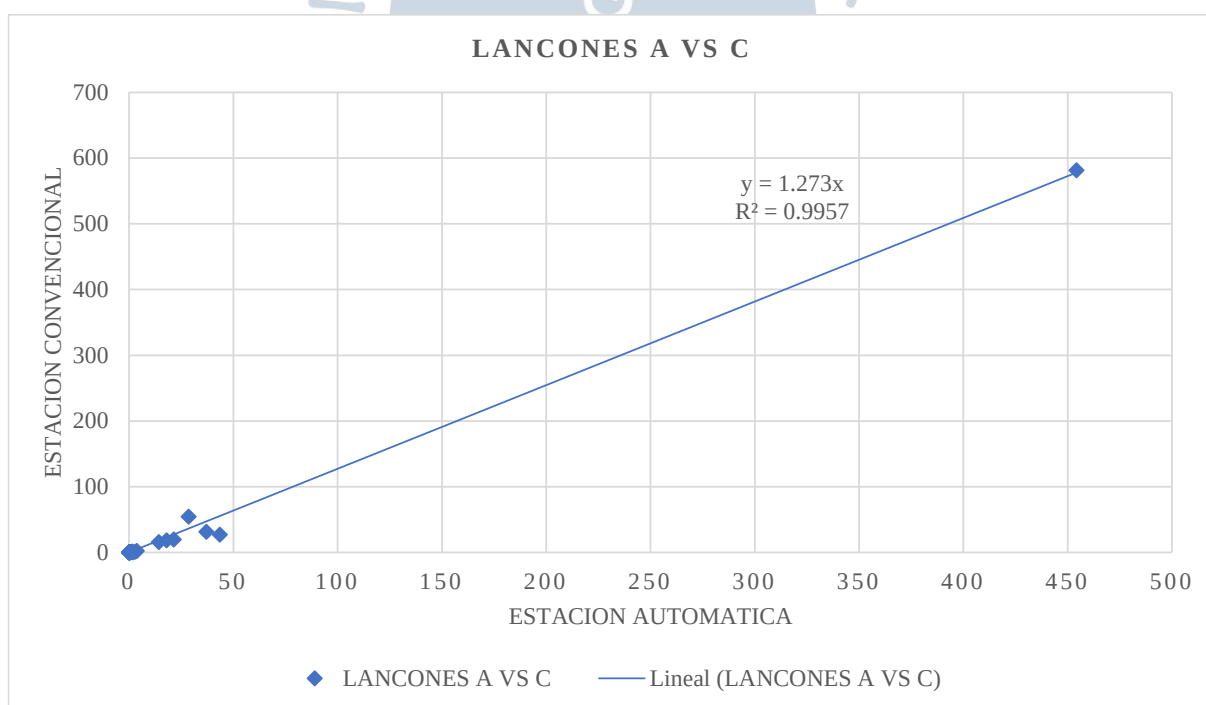


Figura 39. Correlación de la precipitación mensual entre las estaciones automática y convencional en Lancones.

Fuente: Elaboración propia

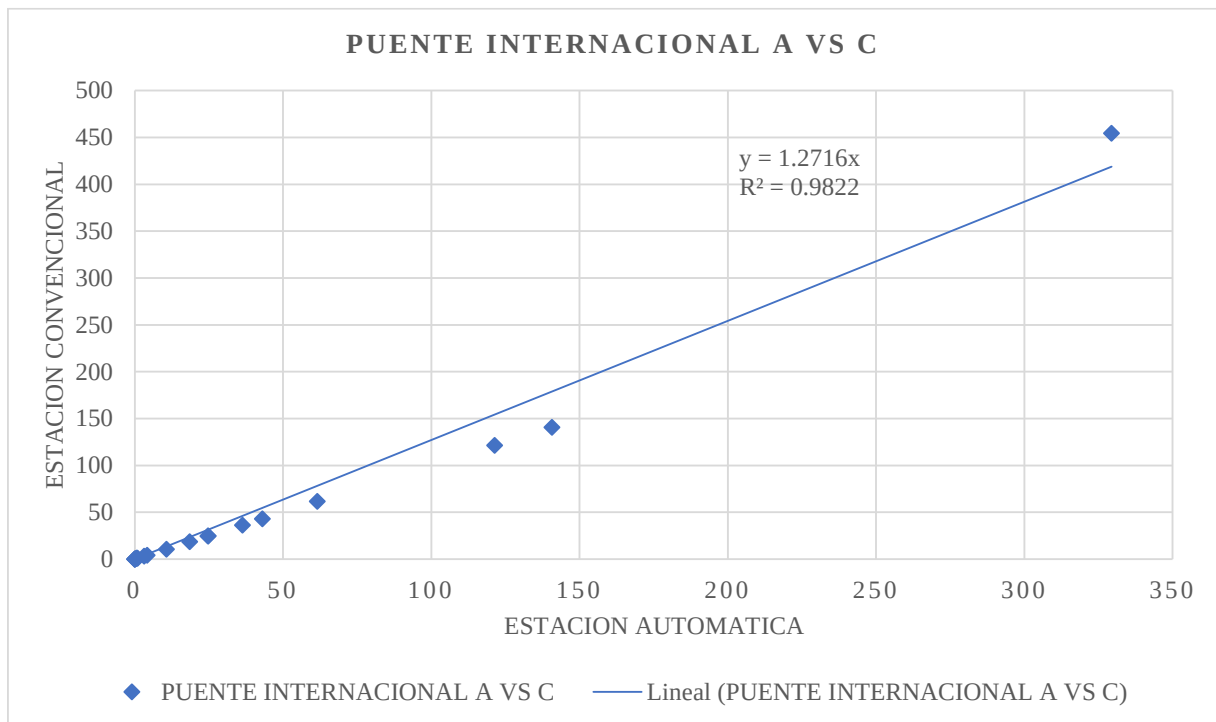


Figura 40. Correlación de la precipitación mensual entre las estaciones automática y convencional en Puente Internacional.

Fuente: Elaboración propia

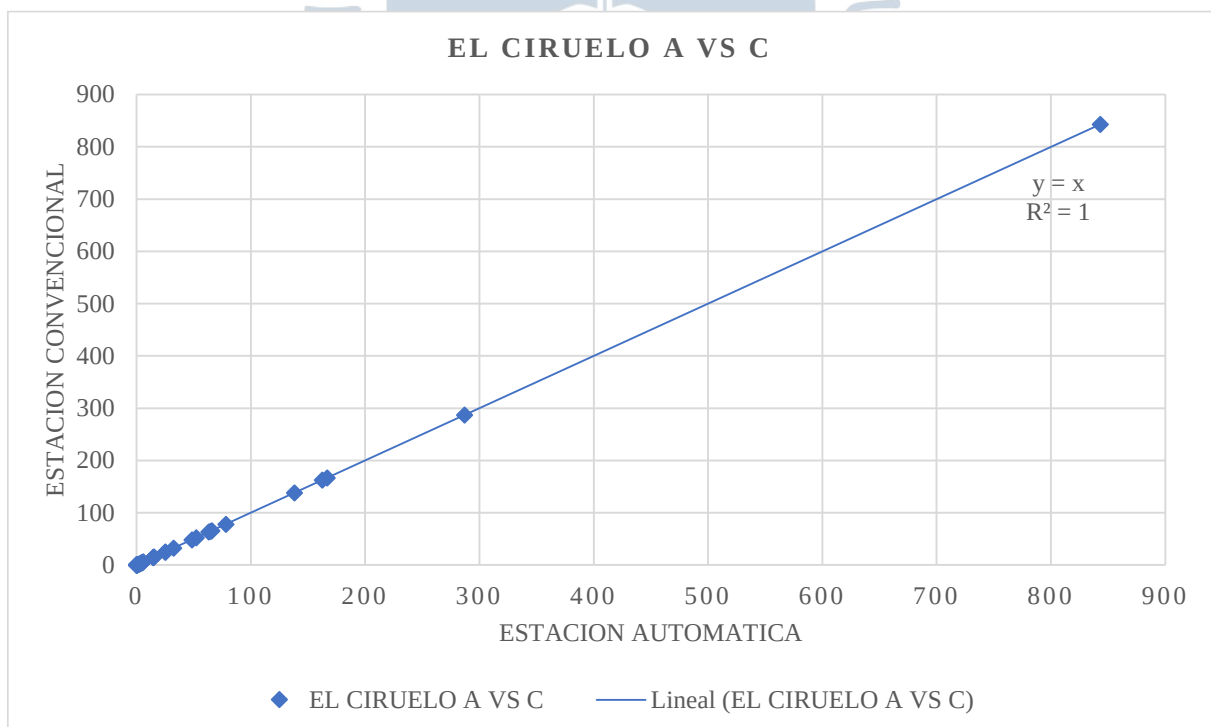


Figura 41. Correlación de la precipitación mensual entre las estaciones automática y convencional en El Ciruelo.

Fuente: Elaboración propia

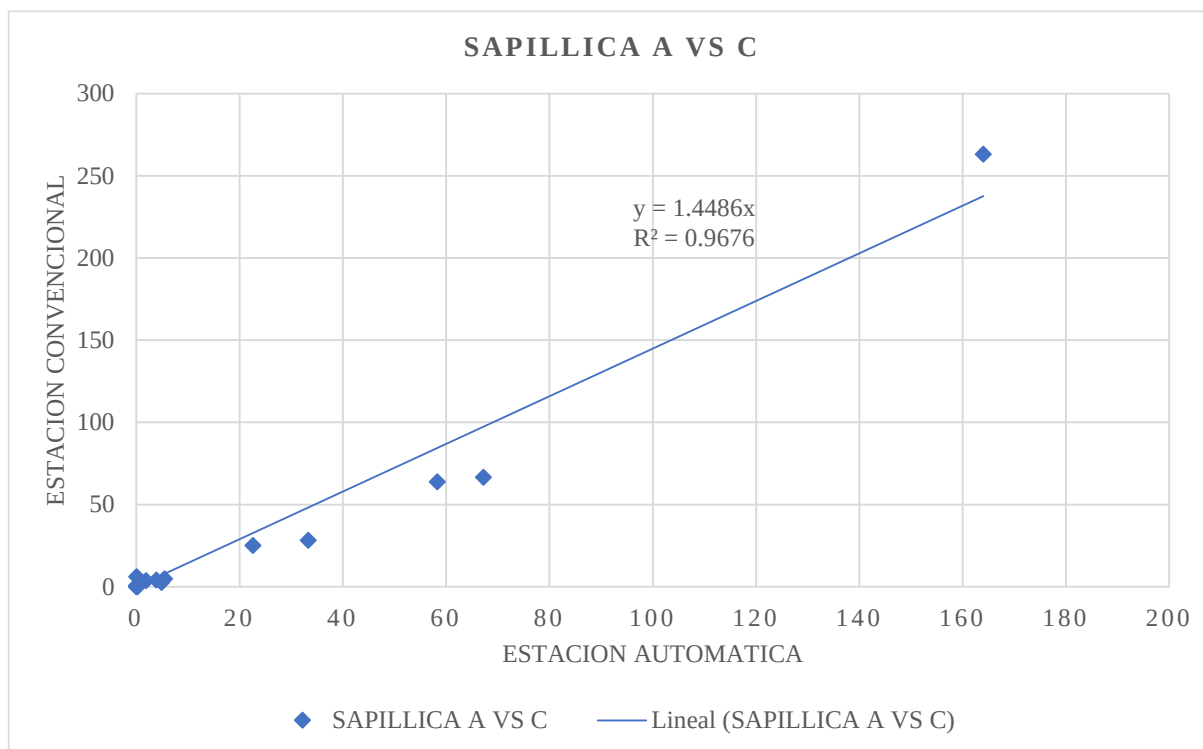


Figura 42. Correlación de la precipitación mensual entre las estaciones automática y convencional en Sapillica.

Fuente: Elaboración propia

La estación automática de Ardilla presentaba registros erróneos, por lo que no se pudo hallar su correlación con la estación convencional. Asimismo, se puede observar que la estación automática El Ciruelo presenta los mismos registros que su estación convencional. Las demás estaciones automáticas presentan una buena correlación con sus estaciones convencionales respectivas. Esto da buen indicio para los fines de modelación estadística y elaboración de la herramienta de predicción.

3.4. Análisis pluviométrico

En el presente capítulo se realizará el análisis de la información pluviométrica recopilada. En primer lugar, se desarrollará el relleno de los datos faltantes y posteriormente el análisis de consistencia.

Como se mencionó en el acápite 3.3, se tomó la decisión de analizar los registros de las estaciones convencionales del SENAMHI (Tabla 30) debido a su gran consistencia de información.

Asimismo, según la tabla 31, se decidió analizar el período de 1972 a 2019 porque la mayoría de estaciones tienen un mejor registro en conjunto en dicho rango de tiempo.

Por lo tanto, para este período se estimarán las precipitaciones diarias faltantes y se realizará el análisis de consistencia.

3.4.1. Relleno de datos faltantes

Para la estimación o relleno de datos faltantes se optó por utilizar el método de regresión lineal simple y múltiple, ya que la cantidad de registros diarios que se recopilaron es considerable. En total se recopilaron 169727 registros diarios en el período seleccionado (1972-2019).

En la Tabla 33 se detalla la cantidad de precipitaciones diarias registradas y faltantes por cada estación.

Tabla 33. Precipitaciones registradas y faltantes por estación

Estación	Precipitaciones Diarias Registradas	Precipitaciones Diarias Faltantes	% Precipitaciones Diarias Faltantes
Mallares	16884	648	3.70
La Esperanza	15805	1727	9.85
Ayabaca	17124	408	2.33
Lancones	17022	510	2.91
Sapillica	16384	1148	6.55
Sausal de Culucán	16556	976	5.57
Alamor	7753	97799	55.78
Pacaypampa	12294	5238	29.88
Pananga	16986	546	3.11
El Ciruelo	11021	6511	37.14
Ardilla	10703	6829	38.95
Puente Internacional	11195	6337	36.15
Total	169727	40657	19.33

Fuente: Elaboración propia.

Del total de 210384 registros que tendrían que haber, se tienen 169727, es decir, se tiene un 80.67%. Un buen porcentaje de registros que respaldarán la estimación de datos faltantes. Estos últimos son 40657, que representan el 19.33% y que se rellenarán, como se había mencionado, mediante ecuaciones de regresión lineal simple y múltiple.

Para la creación de las ecuaciones de regresión se halló primero la correlación que existía entre los registros diarios de las estaciones. En la siguiente Tabla 34 se pueden apreciar las correlaciones lineales obtenidas de 5910 registros diario continuos entre las estaciones.

Tabla 34. Correlaciones lineales con los registros diarios de cada estación

Estaciones	Mallares	La Esperanza	Ayabaca	Lancones	Sapillica	Sausal de Culucán	Pacaypampa	Pananga	El Ciruelo	Ardilla	Puente Internacional
Mallares	1										
La Esperanza	0.1674	1									
Ayabaca	0.0849	0.0846	1								
Lancones	0.0757	0.2703	0.1332	1							
Sapillica	0.0713	0.0540	0.2343	0.1207	1						
Sausal de Culucán	0.0642	0.1109	0.1900	0.1067	0.1737	1					
Pacaypampa	0.0991	0.0571	0.1856	0.1349	0.1836	0.1668	1				
Pananga	0.0744	0.2211	0.1036	0.0993	0.1336	0.1068	0.1475	1			
El Ciruelo	0.2511	0.2611	0.1947	0.2046	0.2199	0.1027	0.1974	0.2423	1		
Ardilla	0.2655	0.3426	0.1556	0.3209	0.1760	0.1029	0.1345	0.1535	0.5394	1	
Puente Internacional	0.2080	0.2757	0.2439	0.2498	0.2129	0.1791	0.2343	0.2137	0.6669	0.5201	1

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar la correlación entre los registros diarios es demasiada baja, por lo que, si se elaboran ecuaciones de regresión a partir de estos, no tendrán un buen ajuste. Por lo tanto, se decidió hallar las correlaciones de las precipitaciones mensuales, las cuales para su cálculo se tendrá como criterio el registro completo de todos los días del mes.

En la Tabla 35 se pueden observar las correlaciones lineales entre las precipitaciones mensuales de las estaciones.

Tabla 35. Correlaciones lineales con los registros mensuales de cada estación

Estaciones	Mallares	La Esperanza	Ayabaca	Lancones	Sapillica	Sausal de Culucán	Alamor	Pacaypampa	Pananga	El Ciruelo	Ardilla	Puente Internacional
Mallares	1											
La Esperanza	0.905	1										
Ayabaca	0.460	0.484	1									
Lancones	0.950	0.880	0.483	1								
Sapillica	0.699	0.583	0.801	0.723	1							
Sausal de Culucán	0.505	0.551	0.915	0.599	0.763	1						
Alamor	0.825	0.763	0.693	0.846	0.901	0.730	1					
Pacaypampa	0.467	0.554	0.925	0.536	0.718	0.894	0.721	1				
Pananga	0.924	0.855	0.516	0.938	0.820	0.630	0.880	0.496	1			
El Ciruelo	0.685	0.531	0.733	0.735	0.795	0.771	0.848	0.706	0.738	1		
Ardilla	0.883	0.673	0.533	0.894	0.763	0.615	0.881	0.552	0.841	0.837	1	
Puente Internacional	0.714	0.611	0.813	0.741	0.816	0.860	0.844	0.817	0.742	0.913	0.847	1

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar las correlaciones mejoraron bastante, lo que llevó a la decisión de trabajar con las precipitaciones mensuales para la elaboración de las ecuaciones de regresión lineal simple y múltiple.

Estas se elaboraron pasándolas por el origen (0,0) y además se tuvieron los siguientes criterios para su aceptación:

- Coeficientes positivos
- Probabilidad menor a 0.05
- R^2 ajustado mayor a 0.7.

Para la creación de las ecuaciones de regresión se tuvieron que agrupar las estaciones que mejor se ajustaban. Para ello se hizo uso de los vectores distancias estandarizados de cada estación y con la metodología de jerarquización clúster de la distancia euclidiana cuadrada con enlace simple en MINITAB se agruparon, obteniéndose 3 clústeres. Cabe recalcar que se recomendó utilizar estaciones cercanas de la cuenca del río Piura, ya que tenían registros consistentes. Para el caso del relleno de los registros de precipitación de la cuenca del río Chira se tomaron las estaciones de San Miguel, Miraflores y Chalaco por su ubicación cercana a la

cuenca (desde la Tabla 36 hasta la Tabla 39). Sus registros también fueron proporcionados mediante el convenio SENAMHI-UDEP.

Los clústeres obtenidos se presentan en las Figuras 43 y 44:

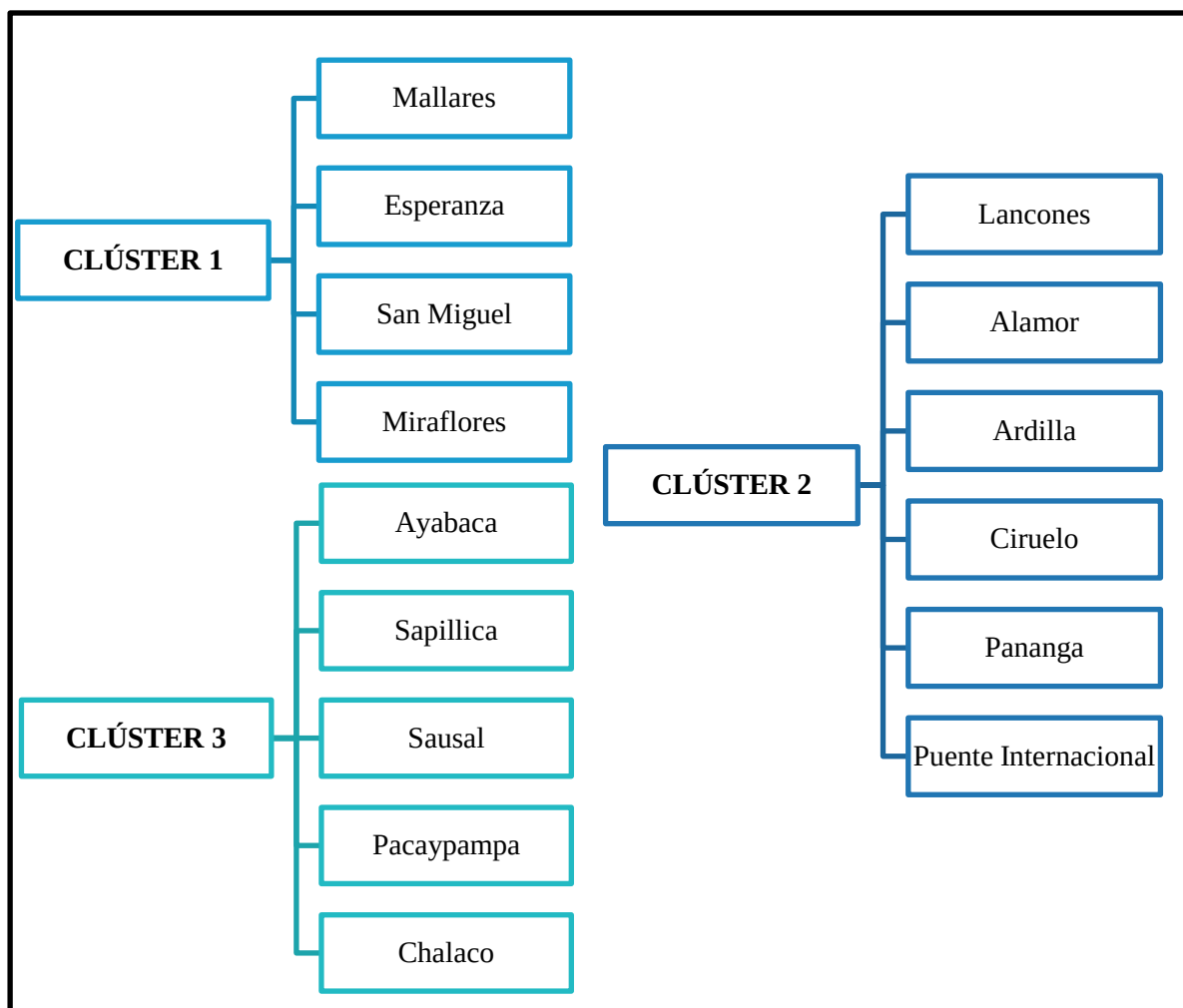


Figura 43. Clústeres para el cálculo de las ecuaciones de regresión

Fuente: Elaboración propia

Con dicha jerarquización se correlacionaron las estaciones de cada clúster y se hallaron todas las ecuaciones de regresión lineal y múltiple posibles que cumplan con los criterios anteriormente mencionados. De esta manera se obtuvieron 54 ecuaciones, las cuales se ordenaron de mayor a menor R^2 ajustado, y con las cuales, en tal orden, se fue rellorando los datos faltantes. Posteriormente, al no satisfacerse la estimación de los 40,657 datos faltantes con las 54 ecuaciones halladas, se procedió a hallar ecuaciones correlacionando estaciones fuera de su clúster, llegando a obtener 15 ecuaciones más.

Análisis de observaciones de conglomerado: NORTE; ESTE; ALTURA

Distancia euclidiana cuadrada, Enlace simple

Pasos de amalgamación

Paso	Número de conglomerados	Nivel de semejanza	Nivel de distancia	Conglomerados incorporados		Nuevo conglomerado	Número de obs. en el conglomerado nuevo
1	14	100.000	0.00000	8	11	8	2
2	13	99.999	0.00027	13	14	13	2
3	12	99.995	0.00109	2	13	2	3
4	11	99.992	0.00164	3	8	3	3
5	10	99.971	0.00587	1	2	1	4
6	9	99.905	0.01911	1	3	1	7
7	8	99.884	0.02326	9	12	9	2
8	7	99.799	0.04024	1	10	1	8
9	6	99.744	0.05137	1	9	1	10
10	5	98.959	0.20869	6	15	6	2
11	4	98.357	0.32934	6	7	6	3
12	3	96.812	0.63916	4	5	4	2
13	2	95.417	0.91878	4	6	4	5
14	1	94.579	1.08682	1	4	1	15

Partición final

	Número de observaciones	Dentro de la suma de cuadrados del conglomerado	Distancia suma de promedio desde el centroide	Distancia máxima desde centroide
Conglomerado1	15	34.7461	1.31807	3.24933

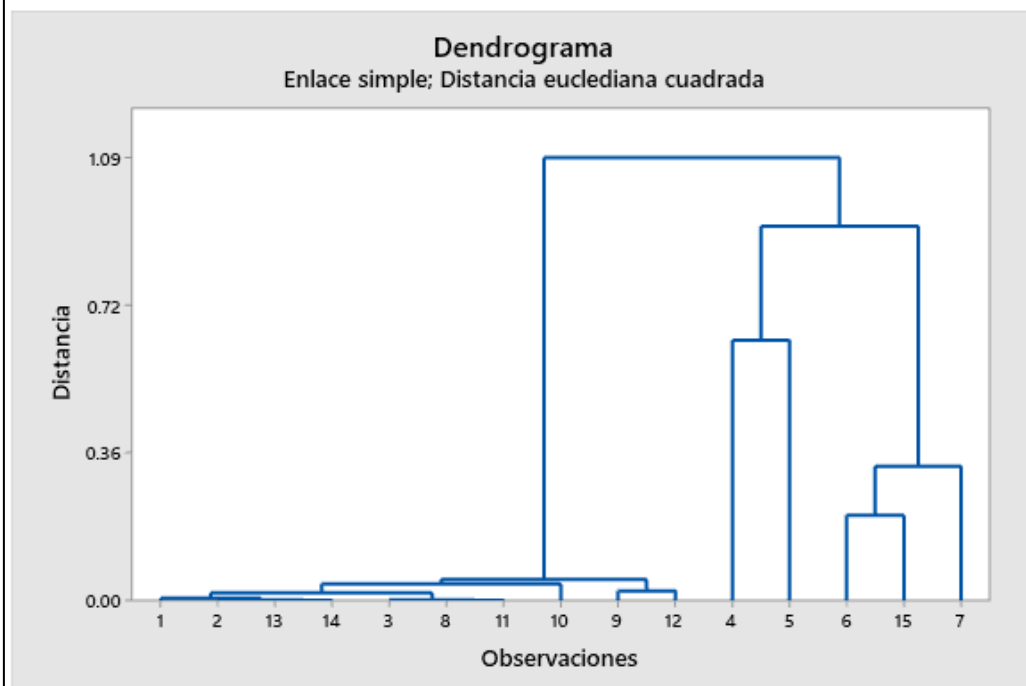


Figura 44. Cálculo de Clústeres en Minitab con vectores distancia estandarizados
Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Datos generales de las estaciones pluviométricas convencionales del SENAMHI para jerarquización clúster

Estaciones		Datos generales - Estaciones pluviométricas convencionales						
		Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Norte (m)	Este (m)	Altitud (m.s.n.m)
1	Mallares	Paita	Pueblo Nuevo Colán	4°51'20.67" S	80°44'8" W	9456052.9	493382.1	7
2	La Esperanza	Sullana	Marcavelica	4°55'16.09" S	81°3'34.89" W	9463276	529321.2	44
3	Ayabaca	Sullana	Lancones	4°38'15.92" S	79°42'38.76" W	9486795.2	550224.4	133
4	Lancones	Ayabaca	Sapillica	4°38'34.36" S	80°32'49.83" W	9471773	612917	1466
5	Sapillica	Ayabaca	Ayabaca	4°46'29.36" S	79°56'58.88" W	9474584	637750.9	997
6	Sausal de Culucán	Ayabaca	Pacaypampa	4°45'8.55" S	79°45'28.52" W	9447579.9	648001.9	2028
7	Alamor	Ayabaca	Ayabaca	4°28'38.65" S	80°23'52.63" W	9487247.3	643004.8	2633
8	Pacaypampa	Sullana	Lancones	4°59'47.16" S	79°39'54.09" W	9504736	566799	116
9	Pananga	Sullana	Marcavelica	4°30'56.03" S	80°44'22" W	9500879	528904	360
10	El Ciruelo	Ayabaca	Suyo	4°17'56.56" S	80°10'1.34" W	9524767.1	592431.9	243
11	Ardilla	Sullana	Lancones	4°29'27.37" S	80°23'17.48" W	9503730.8	567656.1	116
12	Puente Internacional	Ayabaca	Suyo	4°23'35.07" S	79°57'51.43" W	9514310.9	614937.4	385
13	San Miguel	Piura	Catacaos	5°14'46.33" S	80°41'3.69" W	9420111.91	534977	24
14	Miraflores	Castilla	Castilla	5°10'30.90" S	80°36'59.50" W	9427950.95	542498.4	30
15	Chalaco	Morropón	Chalaco	5° 2'19.15" S	79°47'30.06" W	9442939.02	633949.1	2296

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Datos generales estandarizados de las estaciones pluviométricas convencionales del SENAMHI para jerarquización clúster.

Estaciones		Datos generales estandarizados - Estaciones pluviométricas convencionales						
		Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Norte (m)	Este (m)	Altitud (m.s.n.m)
1	Mallares	Paíta	Pueblo Nuevo Colán	4°51'20.67" S	80°44'8" W	0.9968	0.8476	0.0098
2	La Esperanza	Sullana	Marcavelica	4°55'16.09" S	81°3'34.89" W	0.9976	0.9093	0.0619
3	Ayabaca	Sullana	Lancones	4°38'15.92" S	79°42'38.76" W	1.0001	0.9452	0.1871
4	Lancones	Ayabaca	Sapillica	4°38'34.36" S	80°32'49.83" W	0.9985	1.0529	2.0629
5	Sapillica	Ayabaca	Ayabaca	4°46'29.36" S	79°56'58.88" W	0.9988	1.0956	1.4029
6	Sausal de Culcán	Ayabaca	Pacaypampa	4°45'8.55" S	79°45'28.52" W	0.9959	1.1132	2.8537
7	Alamor	Ayabaca	Ayabaca	4°28'38.65" S	80°23'52.63" W	1.0001	1.1046	3.7050
8	Pacaypampa	Sullana	Lancones	4°59'47.16" S	79°39'54.09" W	1.0019	0.9737	0.1632
9	Pananga	Sullana	Marcavelica	4°30'56.03" S	80°44'22" W	1.0015	0.9086	0.5066
10	El Ciruelo	Ayabaca	Suyo	4°17'56.56" S	80°10'1.34" W	1.0041	1.0177	0.3419
11	Ardilla	Sullana	Lancones	4°29'27.37" S	80°23'17.48" W	1.0018	0.9752	0.1632
12	Puente Internacional	Ayabaca	Suyo	4°23'35.07" S	79°57'51.43" W	1.0030	1.0564	0.5417
13	San Miguel	Piura	Catacaos	5°14'46.33" S	80°41'3.69" W	0.9930	0.9190	0.0338
14	Miraflores	Castilla	Castilla	5°10'30.90" S	80°36'59.50" W	0.9938	0.9320	0.0422
15	Chalaco	Morropón	Chalaco	5° 2'19.15" S	79°47'30.06" W	0.9954	1.0891	3.2308

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Ecuaciones de regresión lineal simple y múltiple obtenidas con clústeres.

N°	V. REGRESADA	R ² AJUSTADO	DATOS	REGRESORAS	COEFICIENTES VARIABLES REGRESORAS														
					MALLARES	ESPERANZA	AYABACA	LANCONES	SAPILLICA	SAUSAL	ALAMOR	PACAYPAMPA	PANANGA	CIRUELO	ARDILLA	PUENTE INT.	SAN_MIGUEL	MIRAFLORES	CHALACO
1	LANCONES	0.9597	186	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0882	0	0.3856	0	0	0	0
2	ESPERANZA	0.9446	119	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2765	0	0
3	PANANGA	0.9427	173	2	0	0	0	0.6212	0	0	0	0.2848	0	0	0	0	0	0	0
4	AYABACA	0.9335	161	3	0	0	0	0	0.2846	1.1600	0	0.6799	0	0	0	0	0	0	0
5	AYABACA	0.9318	278	2	0	0	0	0	0	1.3293	0	0.7776	0	0	0	0	0	0	0
6	MALLARES	0.9266	277	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4373	0.6677	0
7	SAUSAL	0.9256	104	2	0	0	0.1292	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1757
8	PACAYPAMPA	0.9244	61	2	0	0	0.6256	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2705
9	AYABACA	0.9229	199	2	0	0	0	0	0.4284	0	0	0.9311	0	0	0	0	0	0	0
10	AYABACA	0.9137	113	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0685
11	MALLARES	0.9110	462	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9922	0
12	SAUSAL	0.9102	105	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3135
13	PACAYPAMPA	0.9094	351	1	0	0	0.7518	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	AYABACA	0.9094	351	1	0	0	0	0	0	0	0	1.2134	0	0	0	0	0	0	0
15	AYABACA	0.9008	271	2	0	0	0	0	0.2331	2.8989	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	ALAMOR	0.8962	109	2	0	0	0	1.1029	0	0	0	0	0	0	0	0.2666	0	0	0
17	SAUSAL	0.8961	278	2	0	0	0.1546	0	0	0	0	0.1353	0	0	0	0	0	0	0
18	PANANGA	0.8958	219	2	0	0	0	0.8423	0	0	0	0	0	0.0536	0	0	0	0	0
19	MALLARES	0.8950	298	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3016	0	0
20	SAUSAL	0.8949	437	1	0	0	0.2641	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	LANCONES	0.8856	421	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1734	0	0	0	0	0	0
22	PANANGA	0.8856	421	1	0	0	0	0.7568	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	PACAYPAMPA	0.8855	63	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9489
24	PACAYPAMPA	0.8789	305	1	0	0	0	0	0	2.7476	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	SAUSAL	0.8789	305	1	0	0	0	0	0	0	0	0.3211	0	0	0	0	0	0	0
26	ARDILLA	0.8716	184	2	0	0	0	0.6635	0	0	0	0	0	0.4380	0	0	0	0	0
27	PUENTE INT.	0.8590	293	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8472	0	0	0	0	0
28	CIRUELO	0.8590	293	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0180	0	0	0
29	ESPERANZA	0.8337	189	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9051	0
30	ARDILLA	0.8306	57	2	0	0	0	0	0	0	0	0.8725	0	0	0.1724	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. (continuación) Ecuaciones de regresión lineal simple y múltiple obtenidas con clústeres.

N°	V. REGRESADA	R/2 AJUSTADO	DATOS	REGRESORAS	COEFICIENTES VARIABLES REGRESORAS														
					MALLARES	ESPERANZA	AYABACA	LANCONES	SAPILLICA	SAUSAL	ALAMOR	PACAYPAMPA	PANANGA	CIRUELO	ARDILLA	PUENTE INT.	SAN_MIGUEL	MIRAFLORES	CHALACO
31	ALAMOR	0.8166	62	2	0	0	0	0.4721	0	0	0	0	0	0	0.5171	0	0	0	0
32	MALLARES	0.8162	199	1	0	1.1322	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	ESPERANZA	0.8162	199	1	0.7253	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	ALAMOR	0.8159	66	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6527	0.1427	0	0	0
35	LANCONES	0.8048	207	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8165	0	0	0	0
36	ARDILLA	0.8047	260	1	0	0	0	0.9950	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	ALAMOR	0.7933	71	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8464	0	0	0	0
38	ARDILLA	0.7933	71	1	0	0	0	0	0	0	0.9542	0	0	0	0	0	0	0	0
39	PANANGA	0.7882	203	1	0	0	0	0	0	0	0.7399	0	0	0	0	0	0	0	0
40	ALAMOR	0.7882	203	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0720	0	0	0	0	0	0
41	SAPILLICA	0.7657	80	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7515
42	ARDILLA	0.7425	227	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7886	0	0	0
43	PUENTE INT.	0.7425	227	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9471	0	0	0	0
44	ALAMOR	0.7404	115	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7058	0	0	0	0	0
45	CIRUELO	0.7404	115	1	0	0	0	0	0	0	1.0614	0	0	0	0	0	0	0	0
46	ALAMOR	0.7363	210	1	0	0	0	0.9357	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	ARDILLA	0.7289	203	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7440	0	0	0	0	0
48	CIRUELO	0.7289	203	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9864	0	0	0	0
49	PUENTE INT.	0.7280	123	1	0	0	0	0	0	0	0.9925	0	0	0	0	0	0	0	0
50	PANANGA	0.7134	199	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5298	0	0	0	0
51	ARDILLA	0.7134	199	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3561	0	0	0	0	0	0
52	AYABACA	0.7074	361	1	0	0	0	0	1.1344	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	SAPILLICA	0.7074	361	1	0	0	0.6260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	SAPILLICA	0.7012	175	2	0	0	0	0	0	1.1825	0	0.1768	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Ecuaciones de regresión lineal simple y múltiple obtenidas fuera de clústeres.

N° V. REGRESADA	R ² AJUSTADO	DATOS	REGRESORAS	COEFICIENTES VARIABLES REGRESORAS											
				MALLARES	ESPERANZA	AYABACA	LANCONES	SAPILLICA	SAUSAL	ALAMOR	PACAYPAMPA	PANANGA	CIRUELO	ARDILLA	PUENTE INT.
1 MALLARES	0.9359	344	2	0	0	0	0.4181	0	0	0	0	0.1543	0	0	0
2 LANCONES	0.9047	466	1	1.6177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 PANANGA	0.8586	379	1	1.3846	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 PUENTE INT.	0.8348	161	2	0	0	0	0	0.5525	1.5341	0	0	0	0	0	0
5 CIRUELO	0.7748	147	2	0	0	0	0	0.7036	1.1778	0	0	0	0	0	0
6 PUENTE INT.	0.7736	267	1	0	0	0	0	0	2.4321	0	0	0	0	0	0
7 ESPERANZA	0.7715	193	1	0	0	0	0.4811	0	0	0	0	0	0	0	0
8 PUENTE INT.	0.7337	205	1	0	0	0	0	0.9673	0	0	0	0	0	0	0
9 PUENTE INT.	0.7132	315	1	0	0	0.7087	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 CIRUELO	0.6998	189	1	0	0	0	0	0.9581	0	0	0	0	0	0	0
11 SAUSAL	0.6598	293	1	0	0	0	0	0.3122	0	0	0	0	0	0	0
12 PACAYPAMPA	0.6512	228	1	0	0	0	0	1.0564	0	0	0	0	0	0	0
13 SAPILLICA	0.6512	228	1	0	0	0	0	0	0	0	0.6206	0	0	0	0
14 CIRUELO	0.6494	242	1	0	0	0	0	0	2.4000	0	0	0	0	0	0
15 CIRUELO	0.5975	285	1	0	0	0.6911	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Con las 69 ecuaciones de regresión se pudo satisfacer el relleno total de los 40657 datos faltantes de la cuenca del río Chira y para verificar el grado de confianza del relleno se halló el promedio ponderado del R^2 ajustado que se ha usado en todo el proceso.

Esto se calculó con el R^2 ajustado de cada ecuación y la cantidad de datos rellenos con cada una. Este valor que se calculará representará la calidad de la base de datos que se ha creado. En las Tablas 40 y 41 se podrá observar la cantidad de datos rellenos por cada ecuación.

Tabla 40. Datos rellenos por cada ecuación obtenida por clústeres

Nº ECUAC.	V. REGRESADA	R^2 AJUSTADO	DATOS RELLENADOS
1	LANCONES	0.9597	172
2	ESPERANZA	0.9446	1383
3	PANANGA	0.9427	100
4	AYABACA	0.9335	89
5	AYABACA	0.9318	7
6	MALLARES	0.9266	313
7	SAUSAL	0.9256	512
8	PACAYPAMPA	0.9244	4223
9	AYABACA	0.9229	285
10	AYABACA	0.9137	20
11	MALLARES	0.9110	45
12	SAUSAL	0.9102	243
13	PACAYPAMPA	0.9094	991
14	AYABACA	0.9094	1
15	AYABACA	0.9008	1
16	ALAMOR	0.8962	6552
17	SAUSAL	0.8961	92
18	PANANGA	0.8958	295
19	MALLARES	0.8950	150
20	SAUSAL	0.8949	66
21	LANCONES	0.8856	330
22	PANANGA	0.8856	143
23	PACAYPAMPA	0.8855	18
24	PACAYPAMPA	0.8789	1
25	SAUSAL	0.8789	58
26	ARDILLA	0.8716	2335
27	PUENTE INT.	0.8590	204
28	CIRUELO	0.8590	378
29	ESPERANZA	0.8337	136
30	ARDILLA	0.8306	9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. (continuación) Datos rellenados por cada ecuación obtenida por clústeres

Nº ECUAC.	V. REGRESADA	R ² AJUSTADO	DATOS RELLENADOS
31	ALAMOR	0.8166	1905
32	MALLARES	0.8162	12
33	ESPERANZA	0.8162	80
34	ALAMOR	0.8159	53
35	LANCONES	0.8048	6
36	ARDILLA	0.8047	4162
37	ALAMOR	0.7933	16
38	ARDILLA	0.7933	291
39	PANANGA	0.7882	1
40	ALAMOR	0.7882	1203
41	SAPILLICA	0.7657	926
42	ARDILLA	0.7425	1
43	PUENTE INT.	0.7425	1770
44	ALAMOR	0.7404	2
45	CIRUELO	0.7404	3142
46	ALAMOR	0.7363	48
47	ARDILLA	0.7289	30
48	CIRUELO	0.7289	1770
49	PUENTE INT.	0.7280	3142
50	PANANGA	0.7134	5
51	ARDILLA	0.7134	1
52	AYABACA	0.7074	5
53	SAPILLICA	0.7074	219
54	SAPILLICA	0.7012	2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Datos rellenados por cada ecuación obtenida fuera de clústeres

Nº	V. REGRESADA	R ² AJUSTADO	DATOS RELLENADOS
1	MALLARES	0.9359	128
2	LANCONES	0.9047	128
3	PANANGA	0.8586	2
4	PUENTE INT.	0.8348	1
5	CIRUELO	0.7748	5
6	PUENTE INT.	0.7736	5
7	ESPERANZA	0.7715	2
8	PUENTE INT.	0.7337	1042
9	PUENTE INT.	0.7132	147
10	CIRUELO	0.6998	30
11	SAUSAL	0.6598	1042
12	PACAYPAMPA	0.6512	30
13	SAPILLICA	0.6512	147
14	CIRUELO	0.6494	2
15	CIRUELO	0.5975	2

Fuente: Elaboración propia.

Calculando el promedio ponderado del R² ajustado de las 69 ecuaciones de regresión con la cantidad de datos rellenados de cada una (Tabla 42), se obtuvo:

Tabla 42. R² ajustado de ecuaciones de relleno.

RELLENO DE DATOS FALTANTES	
R ² AJUSTADO PROMEDIO PONDERADO	0.8328

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que se puede concluir que el relleno de datos faltantes se ha realizado con ecuaciones de regresión con buen ajuste superior a 0.80.

3.4.2. Análisis de consistencia

Luego de realizarse el relleno de datos faltantes, se verificará que los datos de precipitación registrados no estén subestimados o sobreestimados, debido a errores al momento de la medición, una mala calibración del instrumento o falta de mantenimiento. Además de verificar una buena estimación de datos en el proceso de relleno.

Para ello se hará el análisis de consistencia mediante el método de curvas dobles acumuladas donde se graficarán en una recta lineal las precipitaciones acumuladas anuales de año hidrológico de cada estación con un patrón de precipitaciones de un grupo de estaciones.

En el acápite 3.4.1 se crearon clústeres que se usarán también en el análisis de consistencia, ya que las estaciones de cada clúster formarán un patrón y progresivamente se irá evaluando los resultados que arroje cada uno y realizarse las correcciones de ser necesario. Cabe recalcar que en este procedimiento se usarán las estaciones propiamente de la cuenca del río Chira.

Las precipitaciones anuales de año hidrológico se encuentran en el acápite 3.5.

3.4.2.1. Curvas dobles acumuladas clúster 1

En primer lugar, se procederá a hallar el patrón de precipitaciones acumuladas anuales del clúster 1, el cual será el acumulado de la precipitación promedio anual de sus estaciones. Estos valores estarán en las abscisas. Y en las ordenadas se ploteará las precipitaciones anuales acumuladas de cada estación. A continuación, en la Figura 45 se muestra el resultado de la primera iteración del clúster 1.

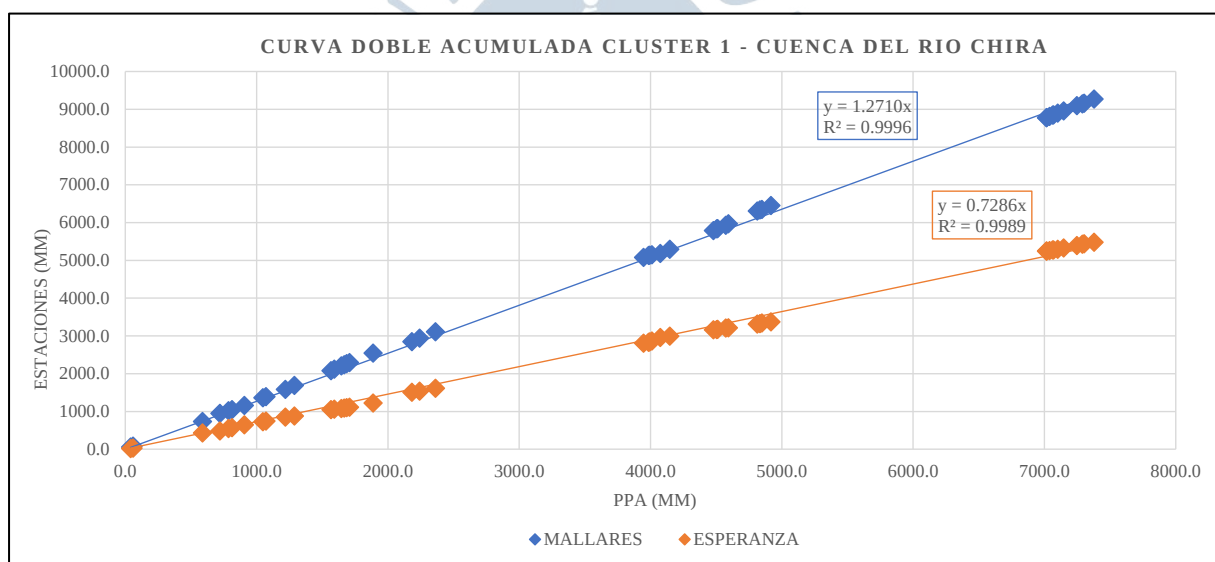


Figura 45. Curvas dobles acumuladas del clúster 1 de la cuenca del río Chira.

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los puntos se acercan a la recta y la ecuación tiene un buen R^2 con la precipitación patrón seleccionada. Por lo que no se necesitará de una corrección. En el siguiente gráfico de la Figura 46 se podrán apreciar las precipitaciones de la estación Mallares y Esperanza versus el año hidrológico.

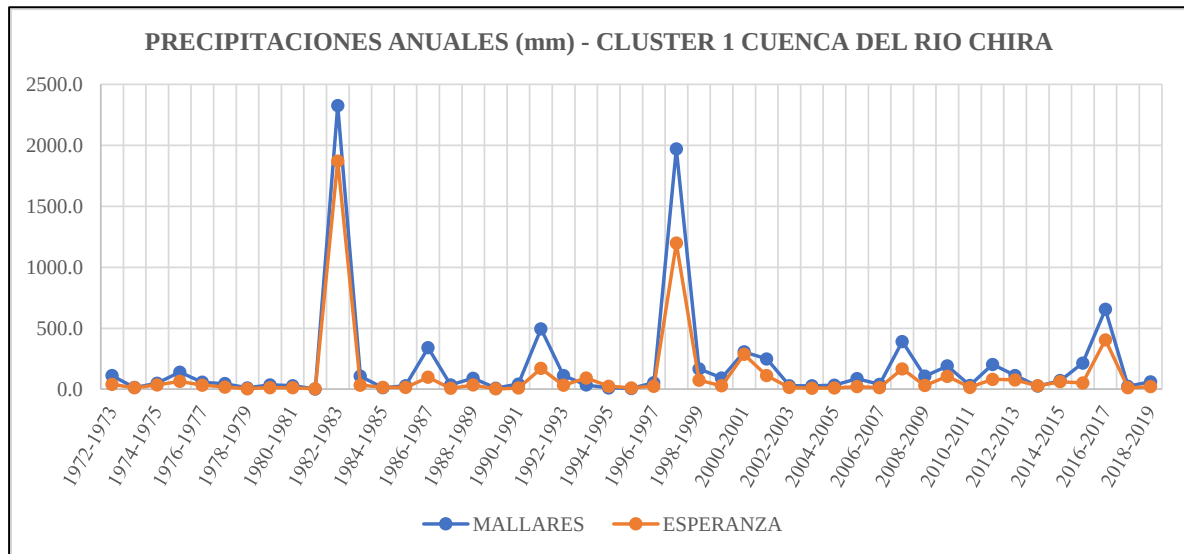


Figura 46. Precipitaciones anuales del clúster 1 de la cuenca del río Chira.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.2. Curvas dobles acumuladas clúster 2

En el clúster 2 se tienen 6 estaciones, y en primer lugar se graficó con un patrón de precipitaciones acumuladas promedio de todas. En la Figura 47 se muestran los resultados:

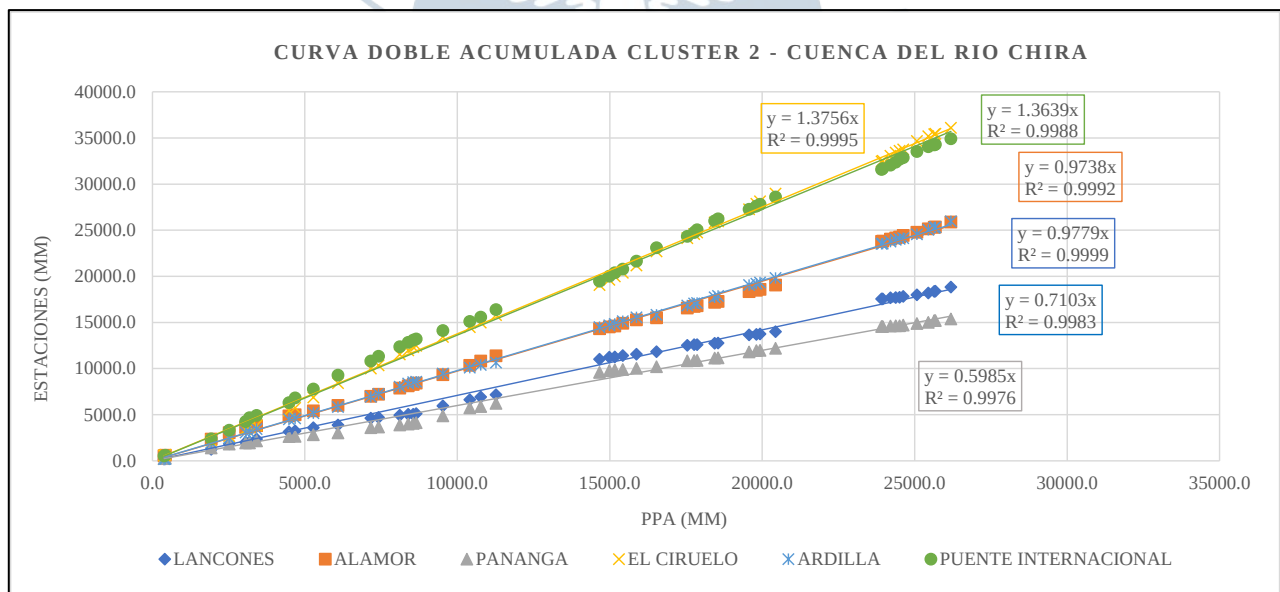


Figura 47. Curvas dobles acumuladas del clúster 2 de la cuenca del río Chira.

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar hay estaciones que no tiene una buena correlación y presentan quiebres, como lo es el caso de Pananga y Lancones. Para ello se tomó la decisión de trabajar en dos grupos el clúster 2. Teniendo por un lado el clúster 2A con Lancones, Alamor y Pananga y el clúster 2B con El Ciruelo, Ardilla y Puente Internacional.

Con esta nueva jerarquización se procedió a cambiar el patrón de precipitaciones para las estaciones. Se muestra el gráfico en la Figura 48 para cada clúster creado:

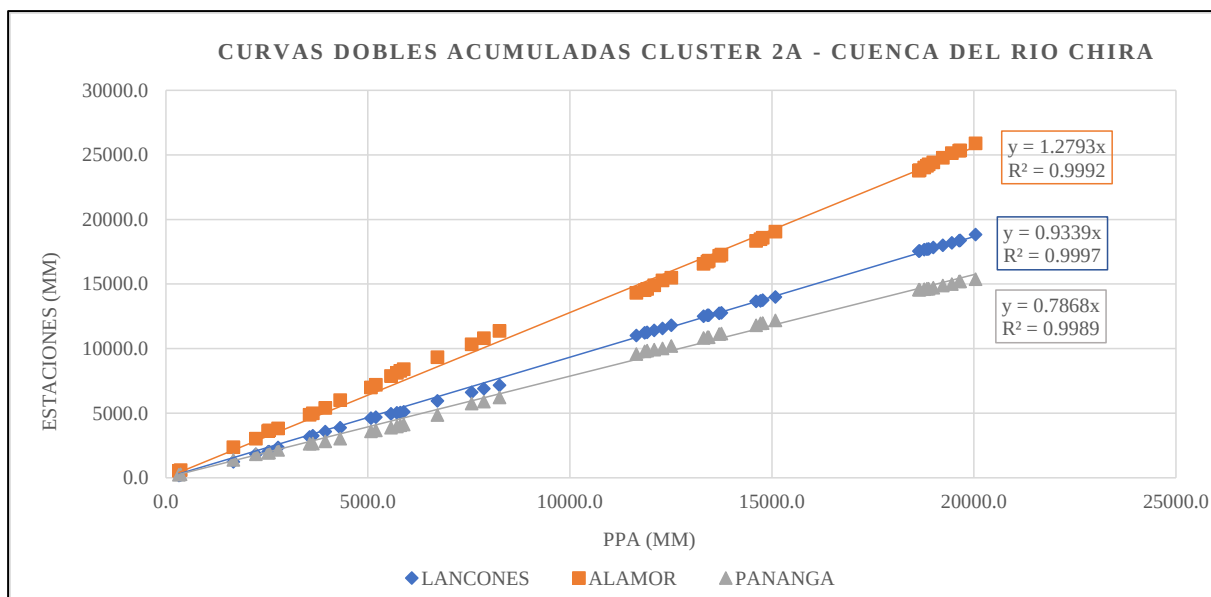


Figura 48. Curvas dobles acumuladas del clúster 2A de la cuenca del río Chira.

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, Alamor y Pananga presentan menor R^2 que Lancones y además los puntos no se ajustan muy bien con la recta. Cabe recalcar que la estación Alamor se ha rellenado aproximadamente 25 años, debido a que inició operaciones en 1998. Es por ello se tomó la decisión de colocar como patrón a las estaciones Lancones y Pananga, debido a que tienen un mayor registro en el tiempo, y corregir Alamor. La corrección de Alamor se hizo con la recta del período 1999-2019, debido a que ha sido el período que ha estado operativo y además que presenta un buen ajuste (Figura 49).

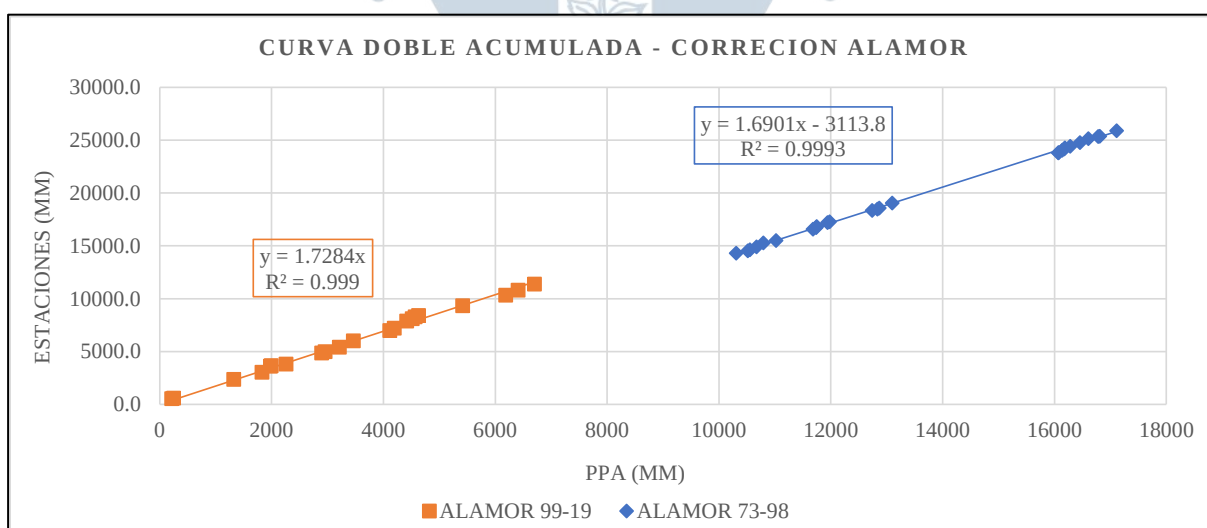


Figura 49. Corrección de Alamor

Fuente: Elaboración propia

Con la corrección de Alamor las curvas dobles acumuladas resultaron de la siguiente manera, tal como se muestra en la Figura 50:

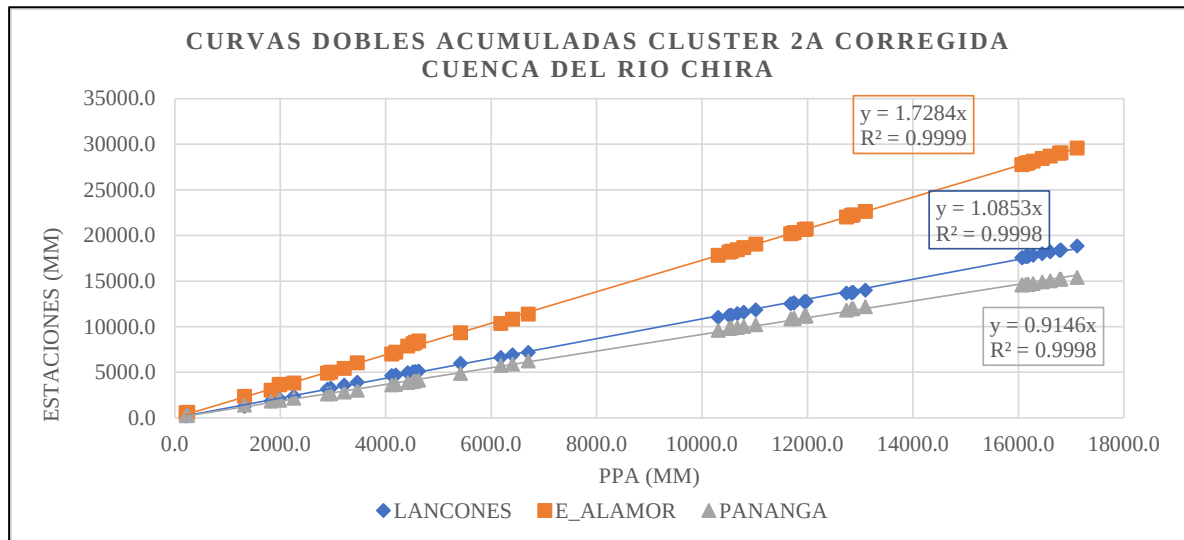


Figura 50. Curvas dobles acumuladas del clúster 2A corregido de la cuenca del río Chira

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar el R^2 mejoró bastante, por lo que las precipitaciones anuales de las estaciones del clúster 2A serían las siguientes, ver Figura 51:

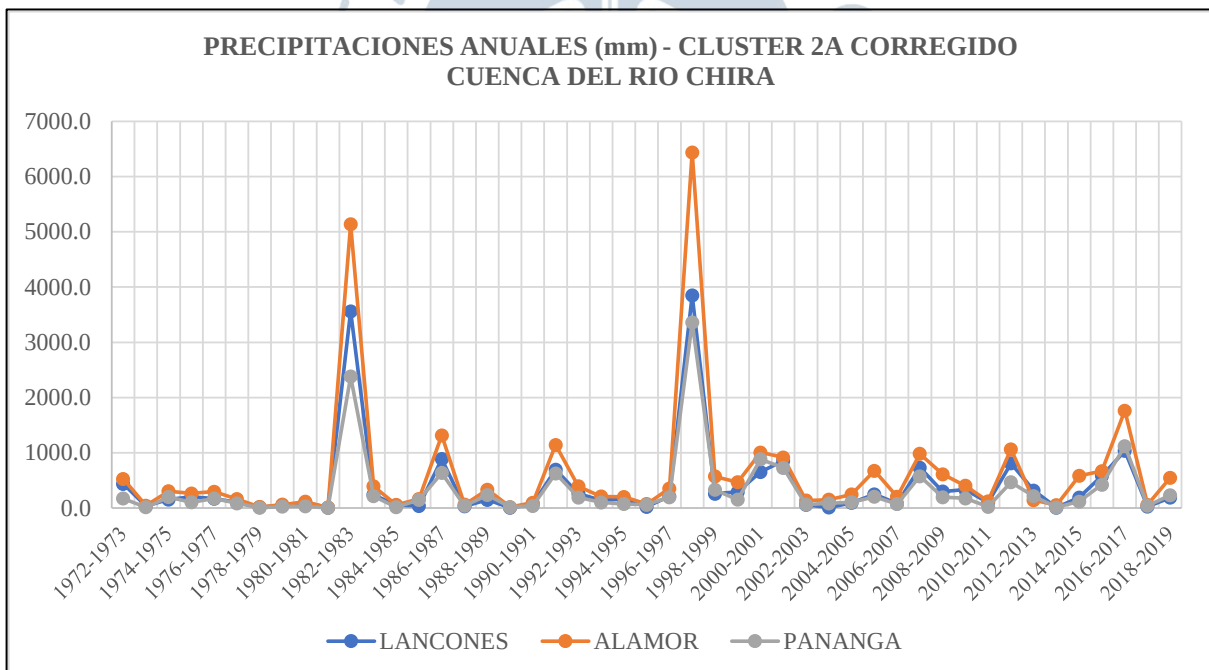


Figura 51. Precipitaciones anuales del clúster 2A corregido de la cuenca del río Chira

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera el clúster 2B se graficó con un patrón de precipitaciones que será el acumulado de la precipitación promedio anual de todas sus estaciones (Figura 52):

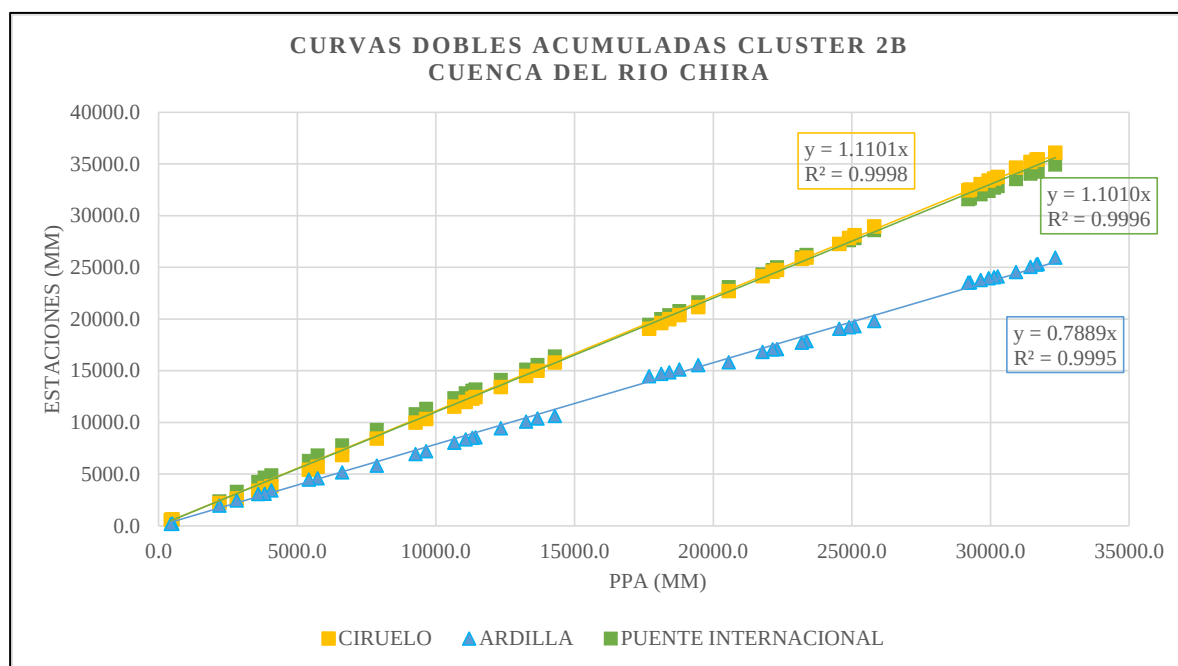


Figura 52. Curvas dobles acumuladas del clúster 2B de la cuenca del río Chira

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que los puntos se acercan a la recta y la ecuación tiene un buen R^2 con la precipitación patrón seleccionada. Por lo que no se necesitará de una corrección. Las precipitaciones anuales de las estaciones del clúster 2B serían las mostradas en la Figura 53:

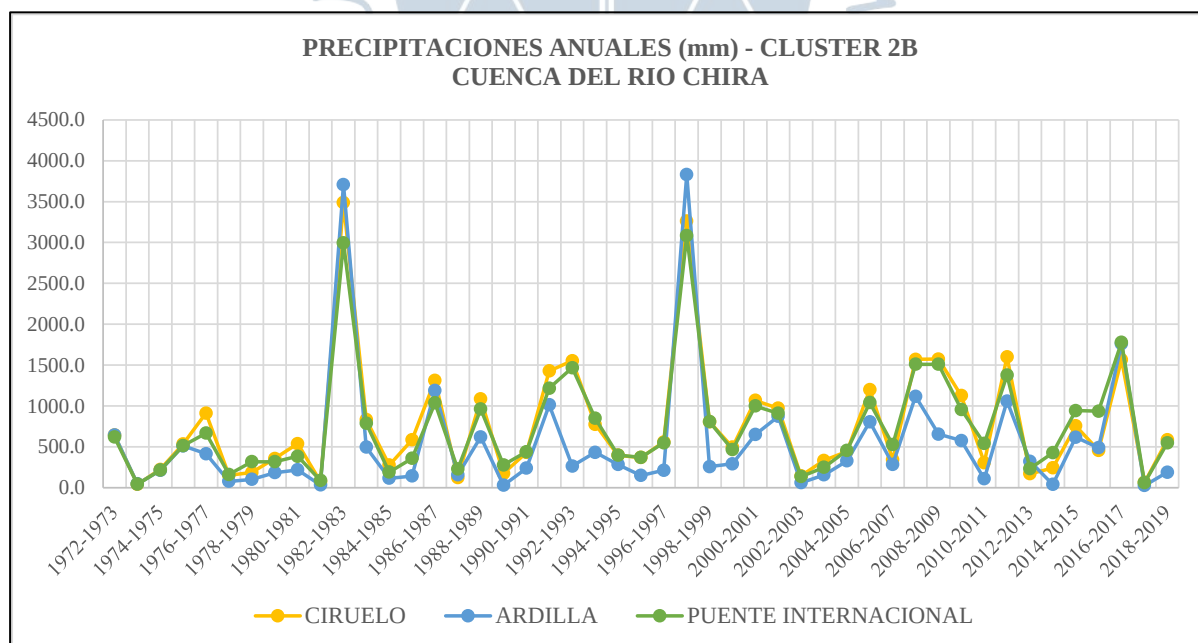


Figura 53. Precipitaciones anuales del clúster 2B de la cuenca del río Chira

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.3. Curvas dobles acumuladas clúster 3

En el clúster 3 se tienen 6 estaciones, y en primer lugar se graficó con un patrón de precipitaciones acumuladas promedio de todas. En la Figura 54 se muestra los resultados:

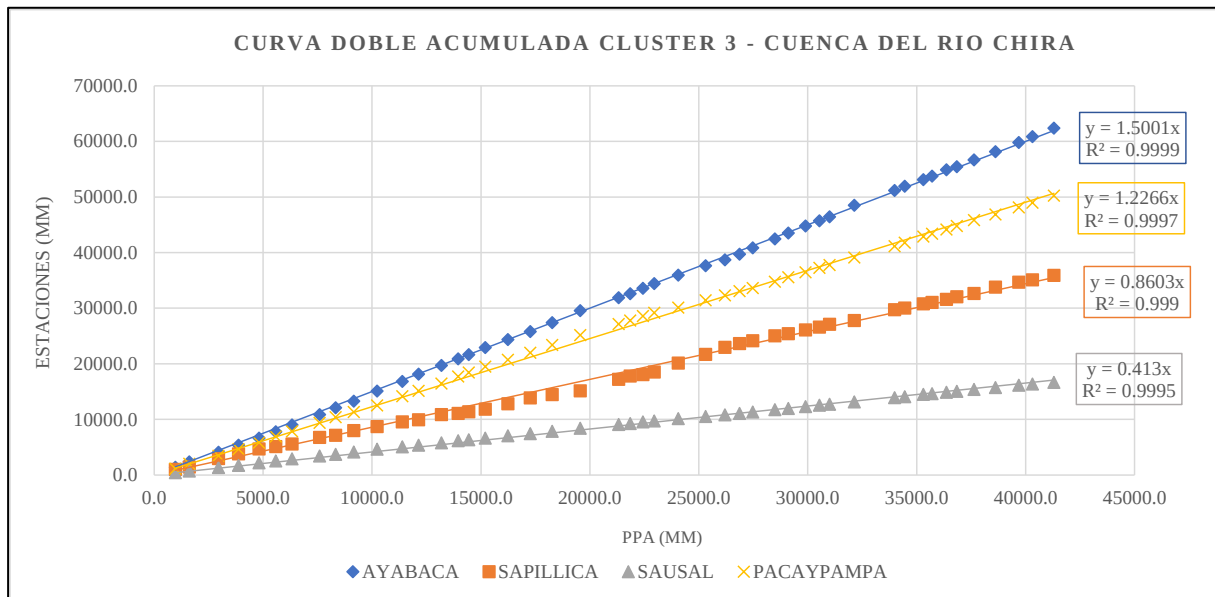


Figura 54. Curvas dobles acumuladas del clúster 3 de la cuenca del río Chira

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la mayoría de estaciones del clúster 3 tiene un buen R^2 , sin embargo, Sapollica presenta un quiebre en el tramo central de su recta, por ello se va a retirar del patrón de estaciones y hacer la corrección con el tramo inicial y final que presentan un mejor ajuste (Figura 55).

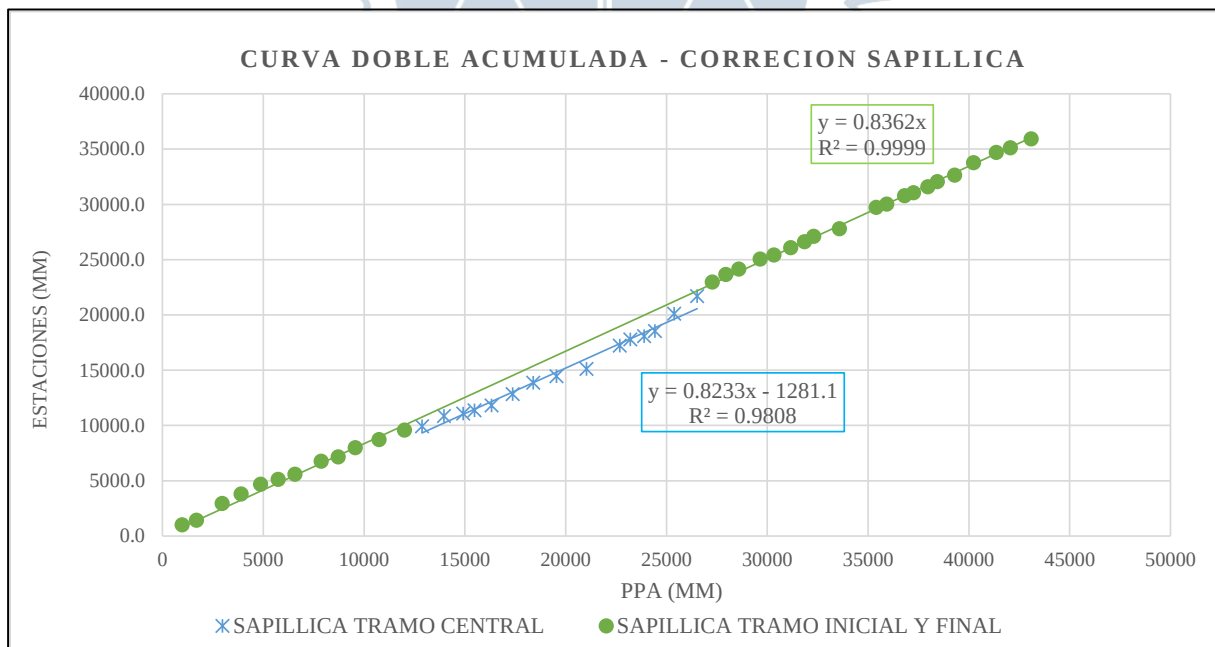


Figura 55. Corrección de Sapollica

Fuente: Elaboración propia

Con la corrección de Sapollica las curvas dobles acumuladas resultaron de la siguiente manera, ver Figura 56:

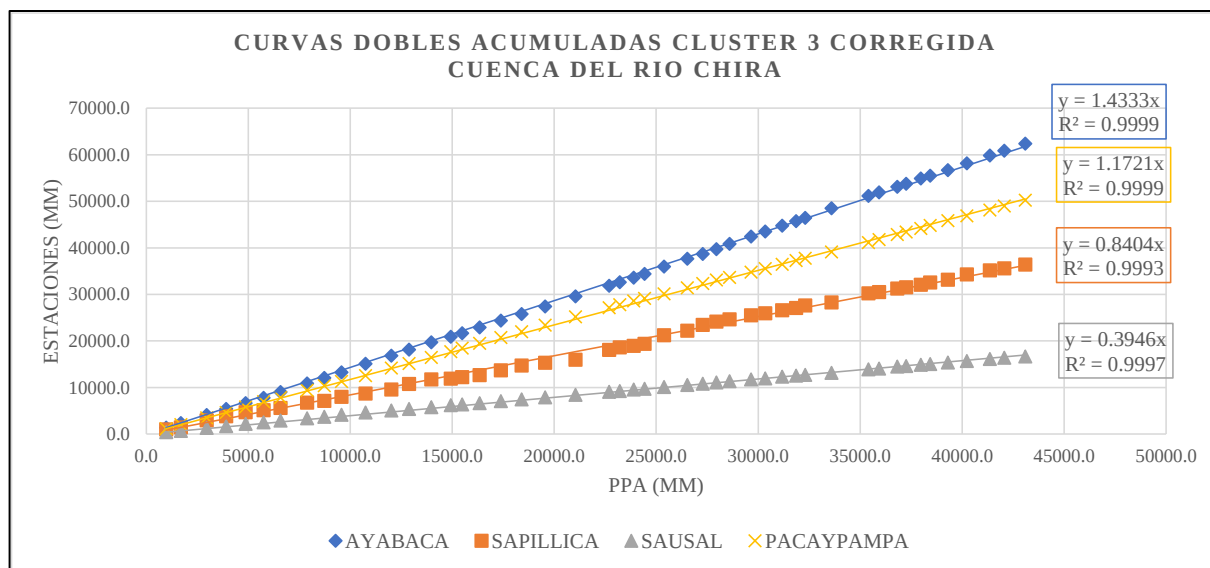


Figura 56. Curvas dobles acumuladas del clúster 2A corregido de la cuenca del río Chira

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar el R^2 mejoró en Sapiyllica, Pacaypampa y Sausal, por lo que las precipitaciones anuales de las estaciones del clúster 3 serían las mostradas en la Figura 57:

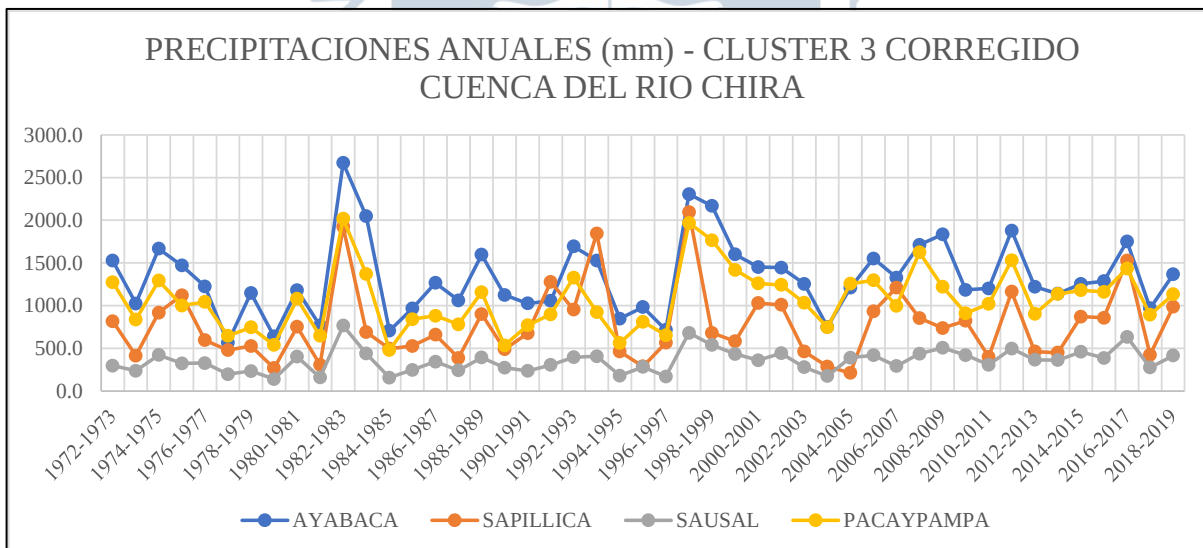


Figura 57. Precipitaciones anuales del clúster 3 corregido de la cuenca del río Chira

Fuente: Elaboración propia

3.5. Base de datos y mapas en ARCGIS

3.5.1. Base de datos anuales

Gracias al análisis de consistencia se lograron corregir los datos anuales, los mismos que se presentan en la Tabla 43.

Tabla 43. Base de datos de precipitación final

Año Hidrológico	Precipitación acumulada anual (mm)					
	Mallares	La Esperanza	Ayabaca	Lancones	Sapillica	Sausal de Culucan
1972-1973	111.1	39.8	1525.9	438.2	818.2	297.9
1973-1974	14.3	11.8	1024.6	34.5	414.0	237.8
1974-1975	49.0	35.4	1667.3	154.7	918.5	422.9
1975-1976	140.1	63.7	1469.5	201.9	1121.0	324.4
1976-1977	56.6	32.9	1224.6	171.3	595.3	326.8
1977-1978	45.2	17.7	566.0	101.8	479.7	197.6
1978-1979	10.2	4.3	1148.0	19.2	527.0	234.0
1979-1980	35.5	12.4	638.7	42.7	269.6	139.8
1980-1981	28.7	11.7	1181.6	101.8	751.9	401.9
1981-1982	1.7	3.5	765.8	7.4	307.1	158.2
1982-1983	2324.5	1871.0	2670.9	3560.8	1923.9	766.3
1983-1984	106.3	33.6	2047.5	240.6	690.5	438.2
1984-1985	12.0	15.1	706.7	49.0	495.1	157.3
1985-1986	28.6	14.2	965.8	40.0	527.0	247.7
1986-1987	340.2	97.3	1266.9	888.9	659.3	343.9
1987-1988	35.3	7.5	1061.3	30.3	387.1	242.0
1988-1989	89.8	34.1	1596.7	150.6	901.0	392.5
1989-1990	8.3	2.5	1124.6	4.8	488.6	274.5
1990-1991	42.1	9.1	1026.4	71.3	676.1	234.8
1991-1992	495.2	169.7	1056.5	696.6	1278.5	305.1
1992-1993	112.8	32.1	1692.8	262.1	952.2	395.7
1993-1994	34.2	92.1	1528.6	139.5	1845.8	407.5
1994-1995	10.8	24.5	848.2	161.9	461.8	180.2
1995-1996	6.3	10.1	983.5	23.2	288.0	282.2
1996-1997	53.2	24.4	715.8	213.3	566.4	171.1
1997-1998	1971.0	1197.7	2305.3	3851.5	2095.3	680.2
1998-1999	166.4	73.6	2166.7	258.5	681.0	538.9
1999-2000	91.8	27.5	1600.2	291.6	583.2	433.4
2000-2001	305.6	285.3	1451.8	653.2	1029.1	361.4
2001-2002	247.7	110.9	1444.7	853.7	1009.9	442.8
2002-2003	28.8	14.1	1254.5	59.5	462.1	278.7
2002-2004	28.0	8.1	750.3	10.3	287.1	174.8
2004-2005	33.2	10.6	1209.8	93.3	212.8	391.1
2005-2006	86.6	21.1	1552.2	248.5	932.8	418.9
2006-2007	39.5	13.0	1328.0	82.3	1210.7	292.3
2007-2008	390.4	167.2	1711.8	731.8	854.7	437.5
2008-2009	106.6	29.3	1833.6	300.4	737.7	505.4
2009-2010	190.3	105.2	1185.4	334.4	822.6	421.2
2010-2011	30.8	15.6	1201.1	96.3	400.9	307.3
2011-2012	202.7	80.5	1878.7	809.5	1163.6	497.7
2012-2013	112.7	75.7	1221.8	318.8	462.8	364.8
2013-2014	25.4	27.2	1139.8	8.0	449.0	362.3
2014-2015	70.1	61.2	1254.5	190.6	870.9	458.2
2015-2016	214.5	51.1	1286.1	582.7	857.0	387.7
2016-2017	654.1	404.0	1751.8	1035.7	1526.1	633.6
2017-2018	24.0	11.3	968.9	24.9	423.5	275.1
2018-2019	59.9	20.2	1366.0	189.4	988.0	416.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43. (continuación) Base de datos de precipitación final

Año Hidrológico	Precipitación acumulada anual (mm)					
	Alamor	Pacaypampa	Pananga	El Ciruelo	Ardilla	Puente Internacional
1972-1973	527.7	1274.4	172.4	642.9	643.3	617.8
1973-1974	43.1	835.8	15.2	41.5	46.4	42.1
1974-1975	305.5	1293.3	198.9	222.5	211.3	214.6
1975-1976	264.5	1000.9	104.1	533.9	510.9	513.1
1976-1977	297.1	1042.8	172.4	911.5	413.8	666.6
1977-1978	162.5	646.4	86.2	150.6	76.3	161.3
1978-1979	20.7	745.8	4.7	184.9	101.0	317.5
1979-1980	62.2	539.0	29.2	356.2	183.8	317.3
1980-1981	114.5	1079.5	30.5	538.4	217.4	384.0
1981-1982	10.0	646.1	4.1	74.0	32.1	87.1
1982-1983	5134.9	2016.7	2381.0	3487.2	3708.3	2995.0
1983-1984	394.9	1370.0	216.3	833.4	495.0	786.2
1984-1985	56.5	480.1	16.4	274.8	114.3	190.4
1985-1986	164.1	841.7	149.8	583.9	142.1	358.6
1986-1987	1317.5	880.3	635.6	1313.3	1188.7	1037.2
1987-1988	62.2	780.5	41.7	123.3	156.3	228.2
1988-1989	333.8	1157.6	235.5	1084.0	620.1	961.8
1989-1990	19.2	534.3	17.3	173.8	29.4	278.2
1990-1991	96.1	769.8	39.8	429.7	237.1	437.9
1991-1992	1143.7	898.4	626.8	1427.6	1013.1	1216.6
1992-1993	393.0	1327.7	192.6	1552.8	262.9	1466.8
1993-1994	208.8	925.0	102.0	774.9	432.0	847.8
1994-1995	202.4	561.7	72.3	395.6	282.1	397.4
1995-1996	72.1	810.3	60.1	368.7	148.9	370.5
1996-1997	353.6	653.8	195.9	558.7	212.3	547.4
1997-1998	6437.5	1969.3	3361.5	3263.6	3832.9	3085.1
1998-1999	571.7	1765.3	331.7	806.1	257.6	807.3
1999-2000	467.2	1417.5	152.5	495.4	290.4	463.7
2000-2001	1006.6	1259.4	882.1	1068.0	650.0	999.0
2001-2002	915.8	1243.3	727.6	971.5	872.0	909.2
2002-2003	135.9	1032.3	62.7	144.0	59.3	135.2
2002-2004	153.2	746.2	86.6	332.7	155.4	248.4
2004-2005	246.7	1256.2	105.1	442.3	326.5	456.4
2005-2006	674.4	1296.7	203.9	1200.0	804.9	1039.4
2006-2007	203.4	997.8	73.2	340.3	285.0	525.6
2007-2008	983.2	1622.7	574.5	1569.2	1117.4	1510.5
2008-2009	611.4	1221.5	197.2	1573.5	654.0	1510.2
2009-2010	403.9	910.7	176.4	1126.0	576.1	955.9
2010-2011	123.2	1019.8	24.1	304.5	106.9	539.1
2011-2012	1063.6	1531.3	466.5	1599.7	1058.5	1376.5
2012-2013	143.3	903.3	214.3	169.0	322.3	233.0
2013-2014	52.5	1136.3	12.5	241.9	38.3	425.7
2014-2015	583.7	1179.1	118.6	756.2	616.2	942.4
2015-2016	669.5	1161.3	422.2	454.8	488.0	936.0
2016-2017	1762.3	1434.1	1122.3	1566.9	1760.9	1778.3
2017-2018	59.2	892.8	41.7	62.5	24.8	58.9
2018-2019	549.7	1132.8	234.7	583.6	188.6	545.9

Fuente: Elaboración propia.

En el período elegido para realizar el análisis pluviométrico se pueden encontrar 3 FEN que han ocurrido, los cuales son el Fenómeno El Niño de 1983, Fenómeno El Niño de 1998 y Fenómeno El Niño Costero de 2017. Sus registros en dichos años llegan a variar el promedio de la precipitación multianual en cada estación. Por ello se tomó la decisión de hallar dos versiones de la precipitación promedio multianual de cada estación con y sin los años hidrológicos de los FEN. Los resultados se presentan a continuación (Tablas 44 y 45):

Tabla 44. Precipitación promedio multianual período 1972-2019 completo

Estaciones	Precipitación promedio multianual (mm)
Mallares	197.3
La Esperanza	116.6
Ayabaca	1327.0
Lancones	400.7
Sapillica	774.6
Sausal de Culucán	354.5
Alamor	629.3
Pacaypampa	1069.0
Pananga	327.5
El Ciruelo	768.3
Ardilla	552.4
Puente Internacional	743.0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Precipitación promedio multianual período 1972-2019 sin los FEN 1983, 1998 y 2017

Estaciones	Precipitación promedio multianual (mm)
Mallares	98.2
La Esperanza	45.6
Ayabaca	1264.5
Lancones	236.0
Sapillica	701.3
Sausal de Culucán	331.4
Alamor	369.2
Pacaypampa	1018.7
Pananga	193.8
El Ciruelo	631.6
Ardilla	378.7
Puente Internacional	615.1

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se halló la precipitación multianual de cada año hidrológico de cada FEN (Tabla 46).

Tabla 46. Precipitación anual FEN 1983, 1998 y 2017 en mm

Estaciones	FEN 1983	FEN 1998	FEN 2017
Mallares	2324.5	1971.0	654.1
La Esperanza	1871.0	1197.7	404.0
Ayabaca	2670.9	2305.3	1751.8
Lancones	3560.8	3851.5	1035.7
Sapillica	1923.9	2095.3	1526.1
Sausal de Culucán	766.3	680.2	633.6
Alamor	5134.9	6437.5	1762.3
Pacaypampa	2016.7	1969.3	1434.1
Pananga	2381.0	3361.5	1122.3
El Ciruelo	3487.2	3263.6	1566.9
Ardilla	3708.3	3832.9	1760.9
Puente Internacional	2995.0	3085.1	1778.3

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Mapas en ARCGIS

Para la presentación de los resultados obtenidos, se decidió utilizar el mapa de isoyetas, el cual consiste en construir líneas de igual precipitación interpolando los registros de las estaciones pluviométricas de la cuenca.

Esta construcción de isoyetas se realizó en ArcGIS a partir de la herramienta de interpolación Kriging, el cual es un proceso geoestadístico avanzado que crea una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersos con valores z (alturas de precipitaciones). Es la herramienta más utilizada en la generación de isoyetas en hidrología, además de sus múltiples usos en suelos y geología.

Con la precipitación promedio multianual de la base de datos de precipitación final del acápite 3.4 se crearon dos mapas de isoyetas para el período de análisis pluviométrico (1972-2019). Un mapa incluye los FEN de 1983, 1998 y 2017; y el otro no. Es así que este último tendrá una mejor representación de la precipitación normal en la cuenca del río Chira.

Por último, para cada FEN (1983, 1998 y 2017) se crearon mapas de isoyetas con la precipitación anual de su respectivo año hidrológico, con la finalidad de observar la variabilidad de la precipitación en cada uno de ellos. Los resultados se muestran a partir de la Figura 58 hasta la Figura 62.

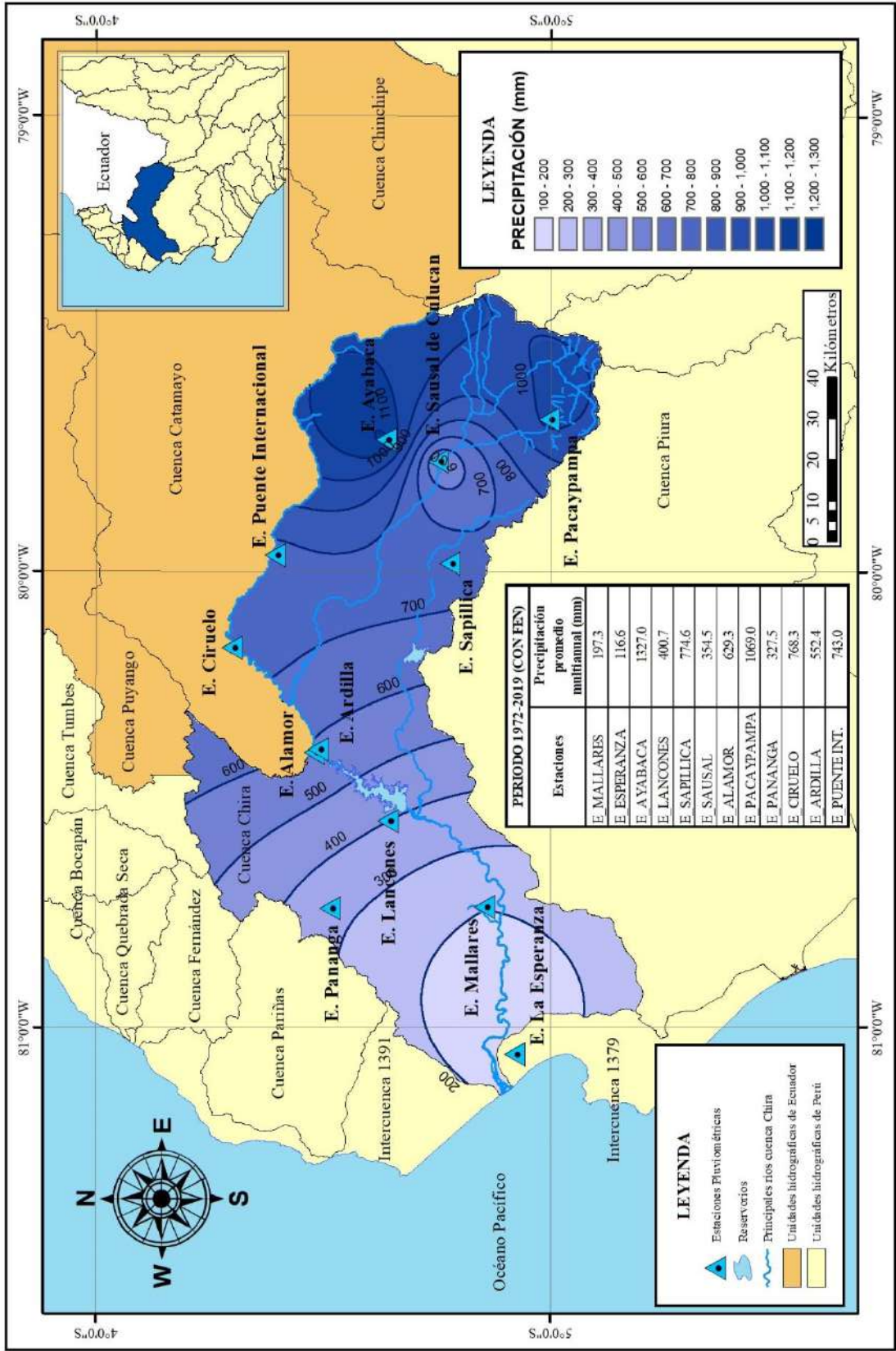


Figura 58. Distribución pluviométrica en la cuenca del río Chira. Período 1972-2019. Con FEN 1983, 1998 y 2017. Fuente: Elaboración propia.

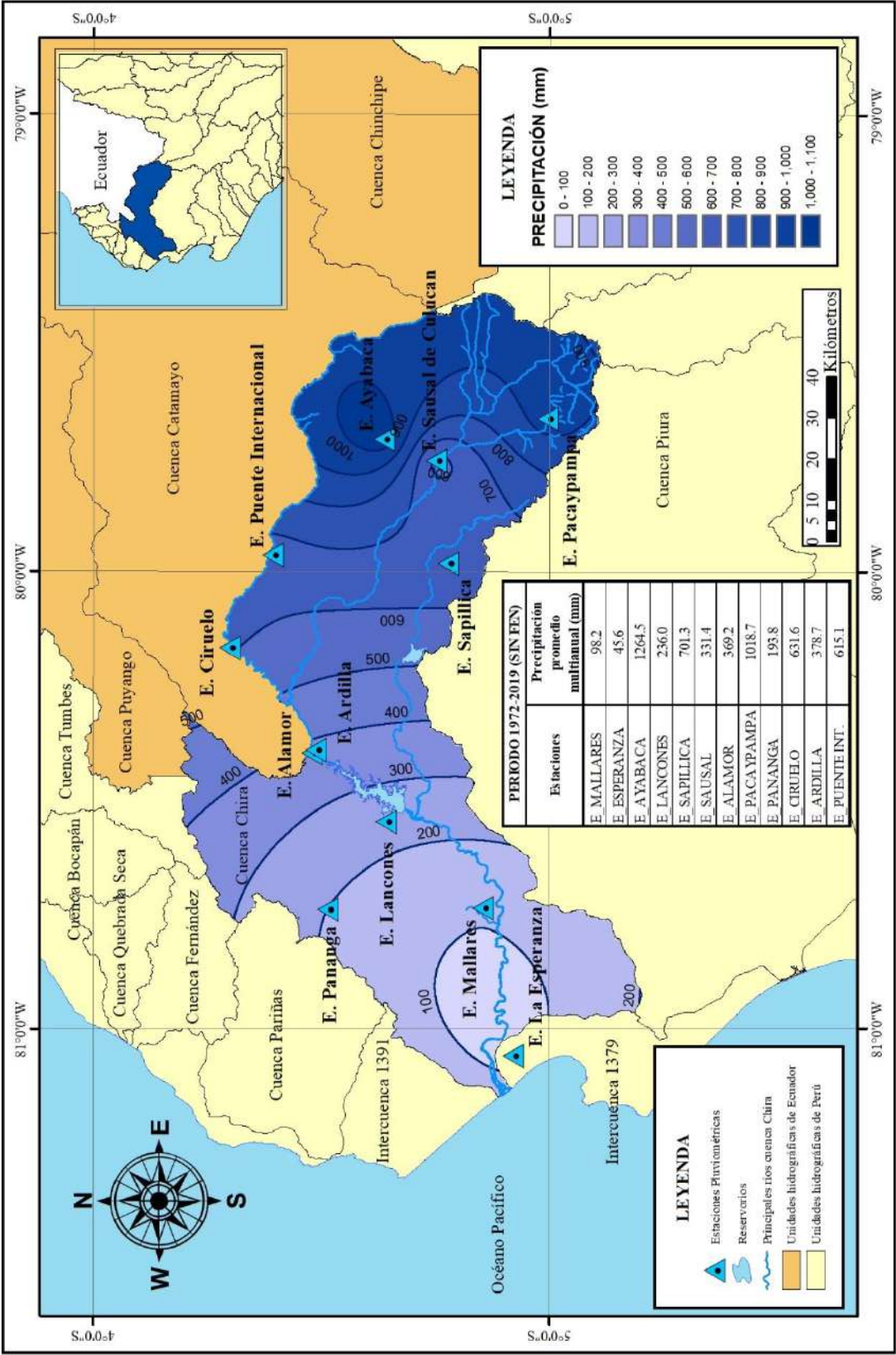


Figura 59. Distribución pluviométrica en la cuenca del río Chira. Período 1972-2019. Sin FEN 1983, 1998 y 2017. Fuente: Elaboración propia.

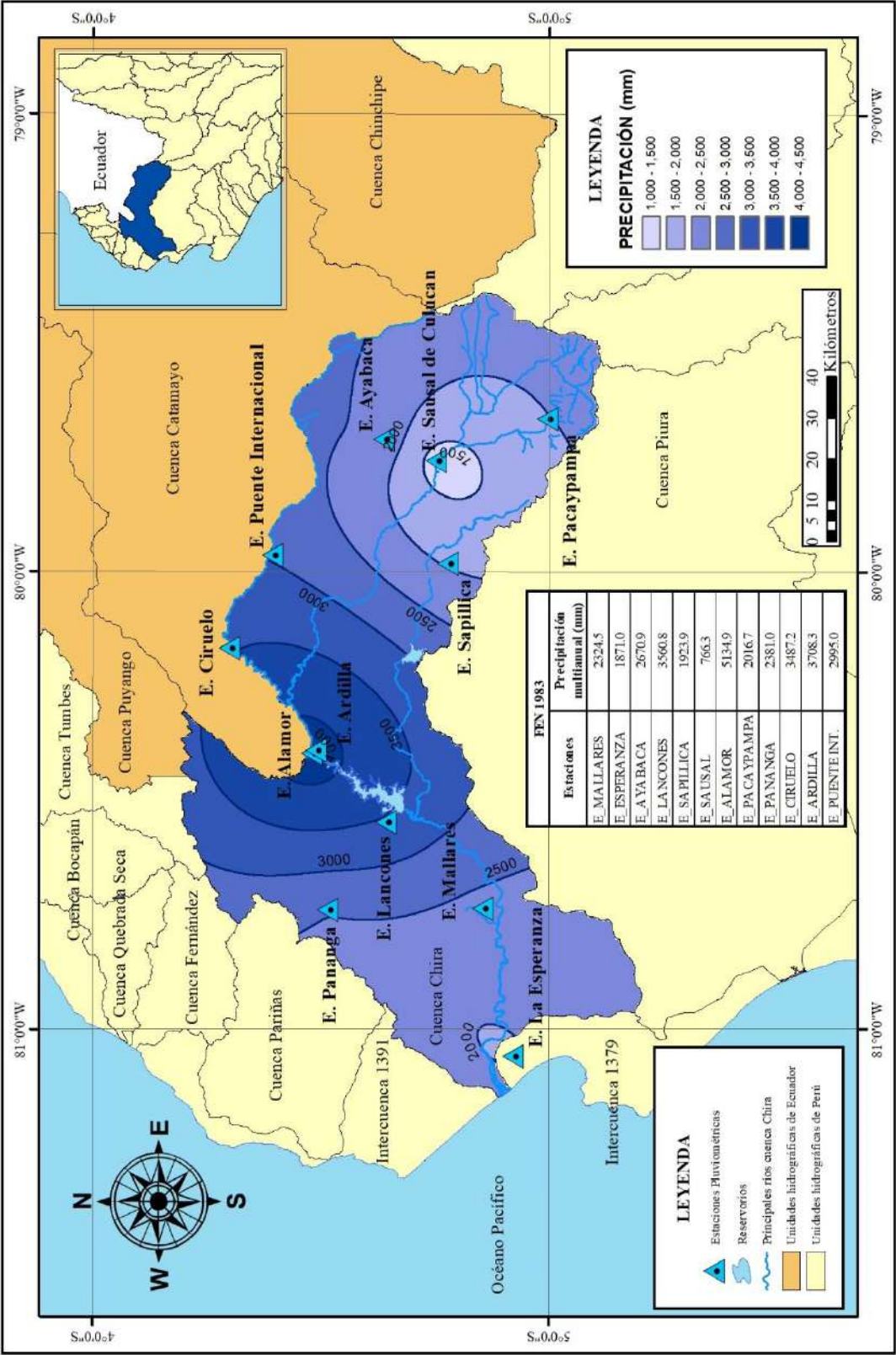


Figura 60. Distribución pluviométrica en la cuenca del río Chira. FEN 1983.
Fuente: Elaboración propia.

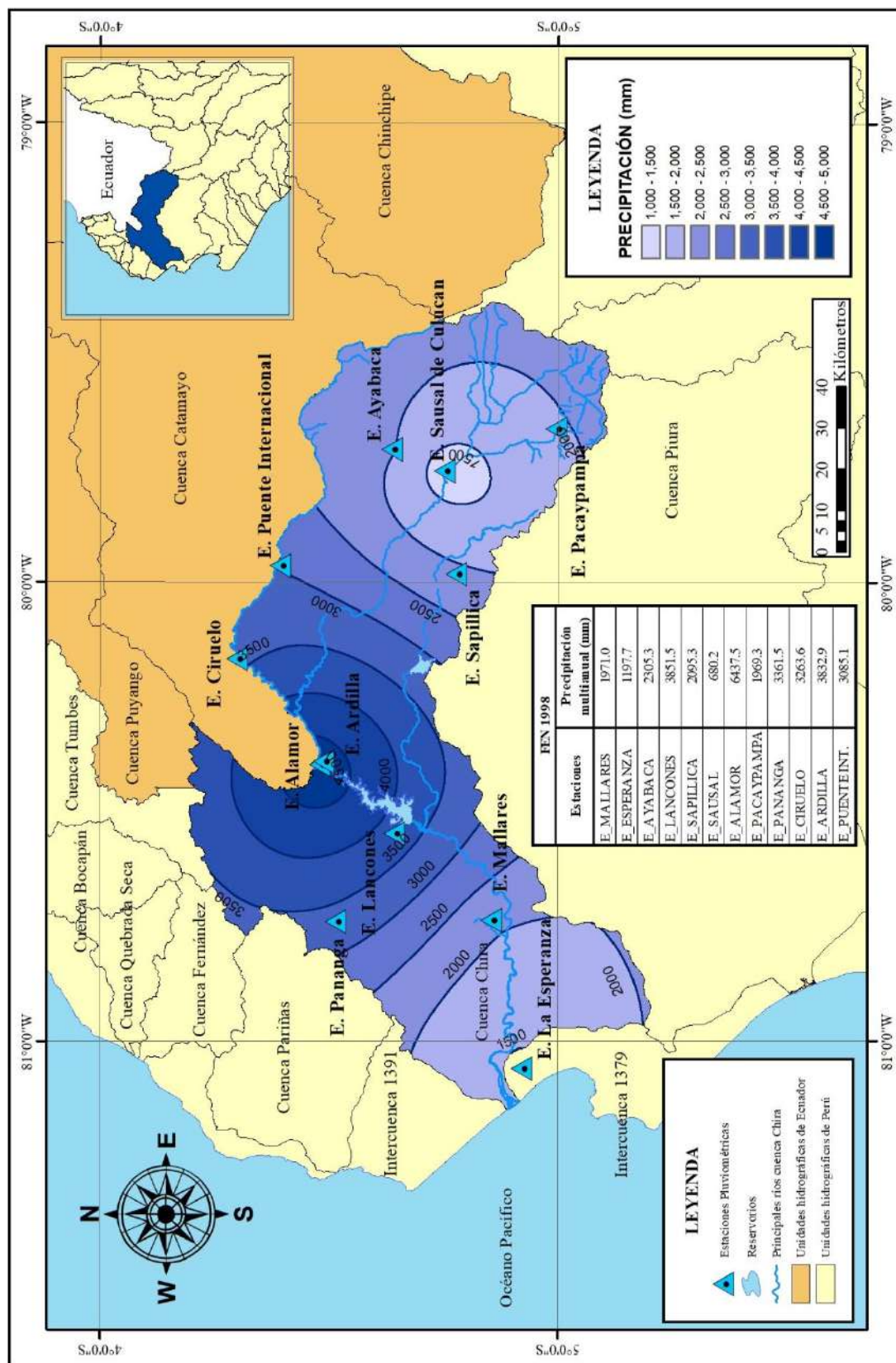


Figura 61. Distribución pluviométrica en la cuenca del río Chira. FEN 1998.
Fuente: Elaboración propia.

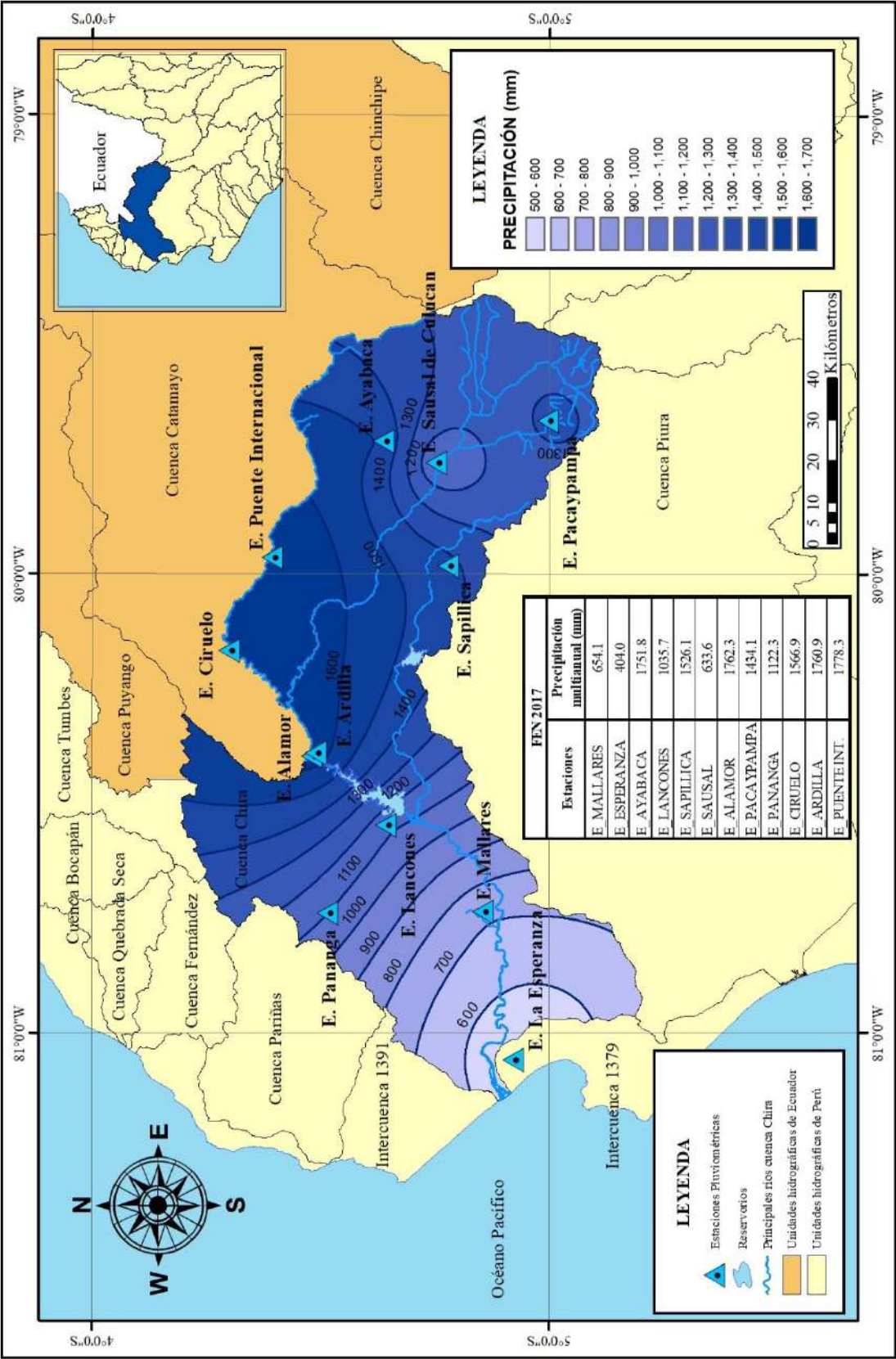


Figura 62. Distribución pluviométrica en la cuenca del río Chira. FEN 2017.
Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4

Red hidrométrica de la cuenca del río Chira

4.1. Descripción

La red hidrométrica está conformada por un total de 10 estaciones activas donde la mayoría son tanto convencionales como automáticas. Los datos de los sensores automáticos están controlados por el SENAMHI mientras que los datos medidos de manera convencional son controlados por el PECHP. En la Tabla 47 y Figura 63 se presenta los datos de dichas estaciones, donde en la columna de clase la letra A significa automática y la C convencional.

Tabla 47. Estaciones activas en la cuenca del Chira

Nº	Estación	Ubicación		Clase	Entidad que opera	Estado de visita
		Provincia	Distrito			
1	Alamor	Sullana	Lancones	A	SENAMHI	Si
2	Ardilla	Sullana	Lancones	A-C	SENAMHI-PECHP	No
3	El Ciruelo	Ayabaca	Suyo	A-C	SENAMHI-PECHP	Si
4	Paraje Grande	Ayabaca	Montero	C	PECHP	Si
5	Puente Internacional	Ayabaca	Suyo	A-C	SENAMHI-PECHP	Si
6	Puente Simón Rodríguez	Paita	Amotape	A	SENAMHI	Si
7	Puente Sullana	Paita	Amotape	C	SENAMHI	No

Fuente: Elaboración propia.



Figura 63. Distribución espacial de estaciones hidrométricas activas.

Fuente: Google Earth

4.2. Evaluación de estaciones

De igual manera se realizaron visitas a las estaciones hidrométricas para verificar el estado de los equipos y corroborar la calidad de la información.

4.2.1. Reporte general de las estaciones visitadas

Se evaluaron estas estaciones con los mismos formatos o fichas mencionadas en el subcapítulo 3.2.1 y se presentan a continuación los datos generales de las estaciones con una fotografía actual (Tabla 48 a Tabla 52).

Tabla 48. Datos generales estación Puente Simón Rodríguez

Nombre	Puente Simón Rodríguez
Tipo	Pluviométrica (automática) hidrométrica (automática)
Entidad responsable	SENAMHI-ANA
Coordenadas UTM	497742.803 m E - 9460568.874 m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Buena
Instrumentos en operación	- Automáticos: sensor de nivel agua.
Observaciones	Mide niveles del agua en el puente mediante un sensor.
Fotografía actual de la estación	
	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49. Datos generales estación Paraje Grande

Nombre	Paraje Grande
Tipo	Hidrométrica (convencional)
Entidad responsable	PECHP
Coordenadas UTM	620188.848 m E – 9487722.962 m S - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/regular
Instrumentos en operación	- Convencionales: mira limnimétrica, limnógrafo.
Observaciones	-Limnógrafo en mal estado.
Fotografía actual de la estación	
	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50. Datos generales estación Puente internacional Macará

Nombre	Puente Internacional
Tipo	Hidrométrica (automático y convencional)
Entidad responsable	SENAMHI-PECHP
Coordenadas UTM	614917.158 m E – 9514353.285 m S - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Automática: Operativo/Buena Convencional: Operativo/Mal estado
Instrumentos en operación	- Automáticos: sensor de nivel de agua. - Convencionales: mira limnimétrica, limnógrafo.
Observaciones	-Instrumentos en buen estado, el sensor se encuentra en el tablero del puente. -Limnógrafo en mal estado.
Fotografía actual de la estación	
	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51. Datos generales estación Puente internacional Alamor

Nombre	Alamor
Tipo	Hidrométrica (automático)
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	566810.4 m E - 9505125.6 m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Buena
Instrumentos en operación	- Automáticos: sensor de nivel de agua.
Observaciones	-instrumentos en buen estado, el sensor se encuentra en el tablero del puente.

Fotografía actual de la estación

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52. Datos generales estación El Ciruelo

Nombre	El Ciruelo
Tipo	Hidrométrica (automático y convencional)
Entidad responsable	SENAMHI-ANA-PECHP
Coordenadas UTM	592428.5 m E - 9524765.5 m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Buena
Instrumentos en operación	- Automáticos: sensor de nivel de agua. - Convencionales: Mira limnimétrica, limnógrafo.
Observaciones	-instrumentos en buen estado, la mira y el limnógrafo pertenecen al PECHP.

Fotografía actual de la estación

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Descripción de estaciones sin visita de campo

En las siguientes tablas se presenta una descripción general de estas estaciones, con su ubicación espacial y los parámetros meteorológicos que miden según los reportes de SENAMHI PECHP (Tablas 53 y 54).

Tabla 53. Datos generales estación Ardilla

Nombre	Ardilla
Tipo	Hidrométrica automática
Entidad responsable	SENAMHI
Coordenadas UTM	567873.692m E – 9503583.92m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Se presume en buenas condiciones
Parámetros en medición	- Automática: Sensor de nivel de río.
Observaciones	-medición de parámetros de manera automática

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54. Datos generales estación Puente Sullana

Nombre	Puente Sullana
Tipo	Hidrométrica convencional
Entidad responsable	PECHP
Coordenadas UTM	534247.4 m E – 9459333.5 m N - Zona 17S-WGS84
Operatividad/Condición	Operativo/Se presume en buenas condiciones
Parámetros en medición	- Automática: Sensor de nivel de río.
Observaciones	-medición de parámetros de manera automática

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Recopilación de información

Como ya se mencionó anteriormente, se cuenta con 10 estaciones hidrométricas cuyos datos registrados se recopilaron en coordinación con sus entidades a cargo.

El PECHP nos brindó la data histórica de las estaciones convencionales activas de: Ardilla, El Ciruelo, Paraje Grande, Puente Internacional y Puente Sullana, y data histórica de dos estaciones convencionales inactivas, pero de importancia para la cuenca como son Alamor y Lagartera, pero que por su falta de información e inactividad no se incluyen en la base de datos. Por otro lado, el SENAMHI maneja las estaciones automáticas activas de Ardilla, El Ciruelo, Puente Internacional, Puente Simón Rodríguez y Alamor brindándonos de igual manera la data registrada desde la instalación de dichas estaciones hasta la fecha, por medio del convenio de cooperación interinstitucional mencionado en el acápite 3.3.

En las tablas a continuación se presenta la cantidad de información de una manera más detallada tanto textualmente (Tabla 55) como gráficamente (Tablas 56 y 57). El color verde indica que no existe información faltante en ese año, el color amarillo indica los años con una cantidad importante de vacíos que se rellenaran más adelante y los números en cada celda indica la cantidad de meses aproximados que se tienen. Por último, se presenta una tabla resumen de

la información general de las estaciones tanto convencionales como automáticas. (Tablas 58 y 59).

Tabla 55. Datos hidrométricos históricos recopilados

Nº	Estación	Ubicación		Clase	Entidad	Activo	Datos recopilados	Tomada para base de datos
		Provincia	Distrito					
1	Puente Simón Rodríguez	Paíta	Amotape	A	SENAMHI	Si	2015-febrero 2020	No
2	Ardilla	Sullana	Lancones	A	SENAMHI	Si	2015-febrero 2020	No
3	Alamor	Sullana	Lancones	A	SENAMHI	Si	2014-febrero 2020	No
4	El Ciruelo	Ayabaca	Suyo	A	SENAMHI	Si	2015-febrero 2020	No
5	Puente Internacional	Ayabaca	Suyo	A	SENAMHI	Si	2015-febrero 2020	No
6	Ardilla	Sullana	Lancones	C	PECHP	Si	1976-abril 2020	Si
7	Alamor	Sullana	Lancones	C	PECHP	Si	1973-1992	No
8	El Ciruelo	Ayabaca	Suyo	C	PECHP	Si	noviembre 1975-abril 2020	Si
9	Puente Internacional	Ayabaca	Suyo	C	PECHP	Si	1973-abril 2020	Si
10	Puente Sullana	Sullana	Sullana	C	PECHP	Si	1937-2017	Si
11	Paraje Grande	Ayabaca	Paimas	C	PECHP	Si	1973-abril 2020	Si
12	Lagartera	Ayabaca	Sapillica	C	PECHP	No	1955-1998	No

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 56. Datos recopilados de estaciones convencionales activas

Estaciones del Proyecto Especial Chira Piura(PECHP)-Cuenca del río Chira																													
N°	Estación	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
1	Alamor																												
2	Ardila																												
3	El Ciruelo																												
4	Lagartera																			10	12	12	12	12	12	12	0	12	
5	Paraje Grande																												
6	Puente Internacional																												
7	Puente Sullana	12	12	12	12	12	12	5	12	12	12	12	12	7	7	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56. (continuación) Datos recopilados de estaciones convencionales activas

Estaciones del Proyecto Especial Chira Piura(PECHP)-Cuenca del río Chira																													
N°	Estación	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
1	Alamor									12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	9	11	11
2	Ardila												12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
3	El Ciruelo											2	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
4	Lagartera	12	12	12	7	12	12	0	0	3	12	12	12	12	12	12	12	12	12	6	12	12	12	12	12	12	12	12	12
5	Paraje Grande									4	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
6	Puente Internacional									12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
7	Puente Sullana	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56. (continuación) Datos recopilados de estaciones convencionales activas

Estaciones del Proyecto Especial Chira Piura(PECHP)-Cuenca del río Chira																												
N°	Estación	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	Alamor																											
2	Ardila	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
3	El Ciruelo	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
4	Lagartera	12	12	12	12	12	12																					
5	Paraje Grande	12	12	12	12	12	12	9	6	12	12	12	5	3	2	2	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
6	Puente Internacional	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
7	Puente Sullana	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	7	8	12	12	12	12	8	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57. Datos recopilados de estaciones automáticas activas

Estaciones del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHD)-Cuenca del río Chira																						
N°	Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
1	Alamor														1	10	12	12	12	12	2	
2	Ardila														0	7	12	12	12	12	2	
3	El ciruelo														0	9	12	12	12	12	2	
4	Macará														0	3	2	10	12	12	2	
5	Puente Simón Rodríguez														0	9	12	12	12	12	2	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58. Resumen de datos generales de estaciones convencionales

N°	Estación	Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Norte (m)	Este (m)	Altitud (m.s.n.m)
1	Alamor	Sullana	Lancones	4°28'49.69" S	80°23'52.36" W	9504736.0	566799.0	116
2	El Ciruelo	Ayabaca	Suyo	4°16'06" S	80°09'11" W	9528160.5	593987.5	250
3	Ardilla	Sullana	Lancones	4°29'22.4" S	80°23'24.52" W	9503730.8	567656.1	116
4	Puente Internacional	Ayabaca	Suyo	4°23'36.15" S	79°57'50.83" W	9514310.9	614937.4	385
5	Paraje Grande	Ayabaca	Paimas	4°37'50" S	79°54'48" W	9488081	620533.9	555
6	Puente sullana	Sullana	Sullana	4°53'29" S	80°41'28" W	9459333.5	534247.4	32.3
7	Lagartera	Ayabaca	Sapillica	4°44'10" S	80°03'38" W	9476434.9	604186.7	408

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59. Resumen de datos generales de estaciones automáticas

N°	Estación	Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Norte (m)	Este (m)	Altitud (m.s.n.m)
1	Alamor	Sullana	Lancones	4°28'38.65" S	80°23'52.63" W	9505075	566790.9	116
2	El Ciruelo	Ayabaca	Suyo	4°17'56.56" S	80°10'1.34" W	9524767.1	592431.9	250
3	Ardilla	Sullana	Lancones	4°29'27.37" S	80°23'17.48" W	9503578.1	567872.9	116
4	Puente Internacional	Ayabaca	Suyo	4°23'35.07" S	79°57'51.43" W	9514344.1	614918.9	385
5	Puente Simón Rodríguez	Paita	Amotape	4°52'48.95" S	80°1'13.12" W	9460492.1	608627.5	23.79

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Análisis de la información hidrométrica

En el presente capítulo se desarrollará el relleno de los datos faltantes para el periodo escogido de 1972 a 2019 para seguir una misma línea con el análisis de la información pluviométrica, así como el análisis de la consistencia ya descrita en el acápite 1.2.2.5.

4.4.1. Relleno de datos faltantes

Para el relleno de la información se optó por utilizar, al igual que en los datos pluviométricos, el método de la regresión lineal simple y múltiple descritos en el capítulo 1.2.1.5. En el periodo escogido se encontró un total de 6098 datos faltantes, repartidos entre cada estación como se muestra en la Tabla 60:

Tabla 60. Datos faltantes por estación

Estación	Datos registrados	Datos faltantes	% Datos faltantes
Ardilla	15826	1461	8.45
El Ciruelo	15882	1405	8.13
Puente Internacional	16921	366	2.12
Paraje Grande	15307	1980	11.45
Puente Sullana	16401	886	5.13
Total	80337	6098	7.06

Fuente: Elaboración propia.

Para la elaboración de las ecuaciones de regresión se incluyeron los datos históricos de las estaciones convencionales inactivas de Alamor y Lagartera. Las correlaciones halladas presentadas en la Tabla 61 nos muestran una idea de que tan bien se relacionaba una estación con otra.

Tabla 61. Correlaciones entre estaciones

	Alamor	Ardilla	El Ciruelo	Lagartera	Paraje Grande	Puente Internacional	Puente Sullana
Alamor	1						
Ardilla	0.741	1					
El Ciruelo	0.718	0.807	1				
Lagartera	0.456	0.494	0.542	1			
Paraje Grande	0.549	0.709	0.734	0.463	1		
Puente Internacional	0.684	0.767	0.909	0.508	0.755	1	
Puente Sullana	0.612	0.801	0.598	0.413	0.624	0.631	1

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla anterior, la mayoría de parejas de estaciones tienen una buena correlación por lo que se procede a hallar las ecuaciones.

Con los datos de caudales diarios se procedió a encontrar las ecuaciones de regresión lineal tanto simples como múltiples, teniendo en cuenta los siguientes criterios para su aceptación (Figura 64):

- Coeficientes positivos
- Probabilidad menor a 0.05
- R^2 mayor a 0.7, teniendo excepciones de hasta 0.6

Resumen					
Estadísticas de la regresión					
Coeficiente de correlación múltiple	0.955546951				
Coeficiente de determinación R^2	0.913069975				
R^2 ajustado	0.912826649				
Error típico	34.51706594				
Observaciones	5902				
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	6	73783537.91	12297256.32	10321.44449	0
Residuos	5896	7024658.549	1191.427841		
Total	5902	80808196.46			
	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%
Intercepción	0	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
E_ALAMORS	0.623849433	0.060427354	10.32395747	8.91762E-25	0.505389677
E_ARDILLA	0.209403666	0.006359511	32.92763659	1.978E-218	0.196936694
E_LAGARTERA	1.157187311	0.102647616	11.2733969	3.52567E-29	0.955960373
E_PARAJEGRANDE	0.081152904	0.040150182	2.021233755	0.043300672	0.002443835
E_MACARA	1.540726801	0.018360519	83.91521081	0	1.504733457
E_PTE SULLANA	-0.127788769	0.005794197	-22.05461367	1.2137E-103	-0.139147518

Figura 64. Criterios para aceptación de ecuaciones

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 56, en el año 1972 la única estación con registro es la estación de Puente Sullana, por lo que se necesitaba encontrar una ecuación con buen R^2 para rellenar las demás. Después de analizar las estaciones con los datos diarios se decidió encontrar unas ecuaciones específicas para este año trabajando con los datos mensuales, pues proporcionaron ecuaciones con un mejor R^2 .

Después de analizar las ecuaciones bajo estos criterios se armó una tabla con las ecuaciones para cada estación (Tablas 62, 63, 64 y 65). Conociendo las ecuaciones se realizó el relleno de los datos faltantes comenzando con las ecuaciones de mayor R^2 hacia las de menor hasta completar todos los datos, en la Tabla 67 se puede apreciar las ecuaciones usadas, así como la cantidad de datos rellenados con cada una.

Tabla 62. Ecuaciones de regresión lineal simples y múltiples, estación Ardilla

V. Regresada	R^2 ajustado	Datos	Regresoras	Coeficientes variables regresoras						
				Alamor	Ardilla	El Ciruelo	Lagartera	Paraje Grande	Puente Internacional	Puente Sullana
Ardilla	0.644057328	6048	1	12.15217586						
Ardilla	0.787200961	15826	1			1.487332134				
Ardilla	0.706545035	14455	1					7.436013151		
Ardilla	0.684504561	15826	1						3.883918726	
Ardilla	0.842067191	14940	1							
Ardilla	0.9052231674	6048	4	2.006307601		0.703813682		0.551516187		0.978491826
Ardilla	0.82803037	6048	3	4.203291653		0.667214093		3.292822239		0.462074255
Ardilla	0.904376352	6048	3	1.962331836		0.760056734				0.48798119
Ardilla	0.868602954	6048	3	4.708718264				2.405727421		0.4506711
Ardilla	0.92275534	13569	3			0.709211969		0.261361635		0.608320715
Ardilla	0.785022292	6048	2	4.858856276		1.115761791				
Ardilla	0.795089611	6048	2	6.716999752				4.988654884		
Ardilla	0.845967484	6048	2	5.734481806						0.599757235
Ardilla	0.808826238	14455	2			1.07624409		2.545041684		
Ardilla	0.922331328	14940	2			0.740271555				0.617074677
Ardilla	0.882267497	13569	2					2.805097363		0.714677628

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63. Ecuaciones de regresión lineal simples y múltiples, estación El Ciruelo

V. Regresada	R^2 ajustado	Datos	Regresoras	Coeficientes variables regresoras						
				Alamor	Ardilla	El Ciruelo	Lagartera	Paraje Grande	Puente Internacional	Puente Sullana
El Ciruelo	0.787200961	15826	1		0.529312945					
El Ciruelo	0.621709095	6104	1	6.537443207						
El Ciruelo	0.749170008	14511	1					4.544490201		
El Ciruelo	0.854723242	15882	1						2.589085656	
El Ciruelo	0.905666417	5902	4	0.563517688	0.132198067		1.129109294		1.552869489	
El Ciruelo	0.776654701	5902	3	1.896642295	0.395404106		3.126276973			
El Ciruelo	0.901566059	6048	3	0.649411492	0.087316544				1.606390689	
El Ciruelo	0.895861878	5958	3	1.248442954			1.455785119		1.788347078	
El Ciruelo	0.903169859	8237	3		0.155233726		1.247979689		1.642620809	
El Ciruelo	0.771623932	6048	2	2.220194631	0.355198382					
El Ciruelo	0.65116111	5958	2	5.696339574			5.822188569			
El Ciruelo	0.89609108	6104	2	1.086223686					1.814313831	
El Ciruelo	0.75597002	8237	2		0.363641354		3.788046594			
El Ciruelo	0.902144945	15826	2		0.231350003				1.690503016	
El Ciruelo	0.873145294	8293	2				1.800754506		2.09300713	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64. Ecuaciones de regresión lineal simples y múltiples, estación Puente Internacional

V. Regresada	R ² ajustado	Datos	Regresoras	Coeficientes variables regresoras						
				Alamor	Ardilla	El Ciruelo	Lagartera	Paraje Grande	Puente Internacional	Puente Sullana
Puente Internacional	0.684504561	15826	1		0.176256972					
Puente Internacional	0.854723242	15882	1			0.330149838				
Puente Internacional	0.669381039	15307	1					1.544786348		
Puente Internacional	0.624673525	7125	1	3.087512081						
Puente Internacional	0.907552707	6104	4	0.196170381						
Puente Internacional	0.904671366	6104	3	0.304118008		0.343310595		0.294664087		0.022704287
Puente Internacional	0.903702891	6104	3	0.172764262		0.341523174		0.429294434		
Puente Internacional	0.772239034	6890	3	1.555842057		0.373345243				0.036546226
Puente Internacional	0.893317907	6104	2	0.389751572				1.157794727		0.022499128
Puente Internacional	0.769575827	6890	2	1.663596062		0.399974572				
Puente Internacional	0.698884393	7125	2	2.037148035				1.278301259		
Puente Internacional	0.855423467	14511	2			0.305588013				0.098484015
Puente Internacional	0.85297551	14996	2			0.323594579		0.148598035		
Puente Internacional	0.683283762	14421	2					1.234121647		0.003632727
										0.047207577

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65. Ecuaciones de regresión lineal simples y múltiples, estaciones Paraje Grande y Puente Sullana

V. Regresada	R ² ajustado	Datos	Regresoras	Coeficientes variables regresoras						
				Alamor	Ardilla	El Ciruelo	Lagartera	Paraje Grande	Puente Internacional	Puente Sullana
Paraje grande	0.706545035	14455	1		0.095025951					
Paraje grande	0.749170008	14511	1			0.164867541				
Paraje grande	0.669381039	15307	1						0.43335855	
Paraje grande	0.610833532	14421	1							0.09416497
Paraje grande	0.78509604	13569	4		0.008639038	0.096878732			0.059652994	0.02859872
Paraje grande	0.775823444	14455	3		0.038038212	0.086918076			0.063794007	
Paraje grande	0.783267504	13569	3		0.009295098	0.115671152				0.028423463
Paraje grande	0.759719572	13569	3		0.038700723				0.218961493	0.020666696
Paraje grande	0.784625853	13625	3			0.102914458			0.060760816	0.03393013
Paraje grande	0.773751339	14455	2		0.038492762	0.107295734				
Paraje grande	0.755429417	14455	2		0.058183273				0.21001397	
Paraje grande	0.70818175	13569	2		0.088108121					0.007613771
Paraje grande	0.751855582	14511	2			0.14092617			0.072530489	
Paraje grande	0.782725653	13625	2			0.122551237				0.034164069
Paraje grande	0.744903087	14421	2						0.279236049	0.048532605
Puente Sullana	0.842067191	14940	1		0.860645033					
Puente Sullana	0.610833532	14421	1					6.487581092		
Puente Sullana	0.843978855	13569	2		0.836148905			0.283599356		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66. Resumen de ecuaciones usadas de mayor a menor R²

V. Regresada	R^2 ajustado	Datos	Regresoras	Coeficientes variables regresoras						DATOS RELLENADOS	
				Alamor	Ardilla	El Ciruelo	Lagartera	Paraje Grande	Puente Internacional		Puente Sullana
Ardilla	0.92275534	13569	3			0.709211969		0.261361635		0.608320715	56
El Ciruelo	0.89609108	6104	2	1.086223686					1.814313831		1021
Ardilla	0.882267497	13569	2					2.805097363		0.714677628	796
El Ciruelo	0.873145294	8293	2				1.800754506		2.09300713		9
El Ciruelo	0.854723242	15882	1						2.589085656		9
Ardilla	0.845967484	6048	2	5.734481806						0.599757235	235
Puente Sullana	0.843978855	13569	2		0.836148905			0.283599356			886
Ardilla	0.842067191	14940	1							0.978491826	374
Paraje Grande	0.78509604	13569	4		0.008639038	0.096878732			0.059652994	0.02859872	1371
Paraje Grande	0.744903087	14421	2						0.279236049	0.048532605	243
El Ciruelo (mensual)	0.712452255	492	1							0.566597464	366
Paraje Grande (mensual)	0.763133841	474	1							0.107290648	366
Puente Internacional (mensual)	0.671834458	527	1							0.197929066	366
										TOTAL	6098

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Análisis de consistencia

Es común que haya errores en la toma de datos de las estaciones convencionales, ya sea por subestimaciones o sobreestimaciones en años con FEN, falta de mantenimiento, mala manipulación de los instrumentos de medición, entre otros.

Por este motivo es necesario analizar la consistencia de los datos, en este caso por el método de las curvas dobles acumuladas al igual que los datos pluviométricos, método descrito en el acápite 1.2.1.5.

El primero paso es hallar el patrón de caudales acumulados o PQA con los datos que muestren una mayor confiabilidad (Figura 65). Para conocer cuales estaciones poseen los datos más confiables se deben graficar todas para así ver la tendencia de cada una, por lo que en una primera instancia el patrón sería el promedio de las 5 estaciones.

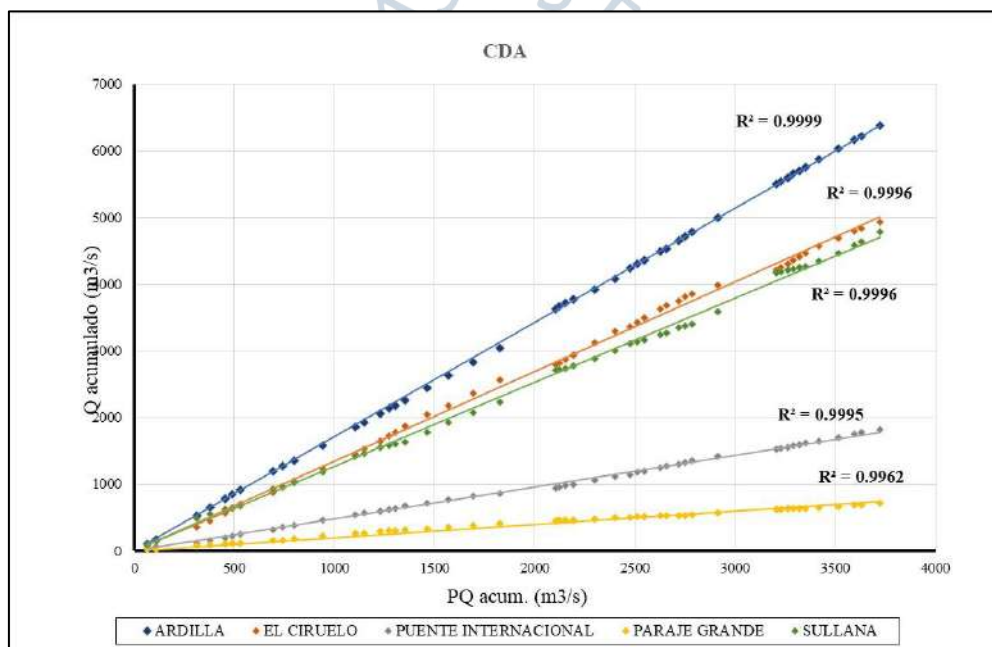


Figura 65. Determinación del PQA

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar la relación entre cada estación con el PQA obtenido, y de acuerdo al R^2 de la línea de tendencia de los datos, se tomó la decisión de retirar del PQA a las estaciones de El Ciruelo, Puente Sullana y Paraje Grande.

Retirando dichas estaciones se calculó el patrón nuevamente como el promedio entre las estaciones de Ardilla y Puente Internacional, concluyendo que son las estaciones con una mejor consistencia (Tabla 67 y Figura 66).

Tabla 67. Patrón de caudales anuales

Año hidrológico	Anual (m3/s)			Acumulado (m3/s)		
	Ardilla	Puente Internacional	PQ	Ardilla	Puente Internacional	PQA
1972-1973	154.1	45.2	99.7	6374.1	1819.8	4097.0
1973-1974	56.4	24.1	40.3	6220.0	1774.7	3997.3
1974-1975	128.3	48.2	88.3	6163.6	1750.5	3957.0
1975-1976	161.8	50.2	106.0	6035.2	1702.3	3868.8
1976-1977	115.5	37.4	76.5	5873.4	1652.1	3762.8
1977-1978	49.8	16.3	33.0	5757.9	1614.7	3686.3
1978-1979	52.9	21.1	37.0	5708.1	1598.4	3653.3
1979-1980	54.3	18.8	36.5	5655.1	1577.3	3616.2
1980-1981	64.8	23.7	44.3	5600.8	1558.6	3579.7
1981-1982	36.2	13.7	24.9	5536.0	1534.9	3535.4
1982-1983	500.8	104.8	302.8	5499.8	1521.2	3510.5
1983-1984	214.4	69.3	141.9	4999.0	1416.4	3207.7
1984-1985	68.1	21.8	45.0	4784.5	1347.1	3065.8
1985-1986	61.7	23.9	42.8	4716.4	1325.3	3020.8
1986-1987	117.6	29.8	73.7	4654.7	1301.4	2978.1
1987-1988	48.1	22.4	35.3	4537.1	1271.7	2904.4
1988-1989	125.8	50.0	87.9	4488.9	1249.3	2869.1
1989-1990	58.2	24.9	41.6	4363.1	1199.3	2781.2
1990-1991	63.0	28.4	45.7	4304.8	1174.4	2739.6
1991-1992	158.3	25.4	91.8	4241.8	1146.0	2693.9
1992-1993	157.3	56.7	107.0	4083.6	1120.6	2602.1
1993-1994	148.9	68.0	108.4	3926.2	1063.9	2495.1
1994-1995	58.3	17.9	38.1	3777.3	995.9	2386.6
1995-1996	53.9	27.7	40.8	3719.0	978.0	2348.5
1996-1997	42.7	15.2	29.0	3665.1	950.3	2307.7
1997-1998	574.6	68.0	321.3	3622.4	935.1	2278.7
1998-1999	220.9	46.3	133.6	3047.8	867.1	1957.5
1999-2000	198.9	52.2	125.5	2826.9	820.8	1823.9
2000-2001	181.6	50.6	116.1	2627.9	768.7	1698.3
2001-2002	193.8	43.4	118.6	2446.4	718.0	1582.2
2002-2003	69.3	33.1	51.2	2252.6	674.6	1463.6
2003-2004	45.5	19.5	32.5	2183.2	641.5	1412.4
2004-2005	75.8	24.9	50.3	2137.7	622.0	1379.8
2005-2006	137.4	32.4	84.9	2061.9	597.1	1329.5
2006-2007	65.5	24.4	44.9	1924.5	564.7	1244.6
2007-2008	277.0	71.3	174.1	1859.0	540.3	1199.7
2008-2009	223.3	80.9	152.1	1582.0	469.0	1025.5
2009-2010	90.5	34.4	62.5	1358.7	388.1	873.4
2010-2011	78.0	34.3	56.1	1268.2	353.7	810.9
2011-2012	274.9	67.3	171.1	1190.2	319.4	754.8
2012-2013	67.0	31.2	49.1	915.3	252.1	583.7
2013-2014	65.5	27.6	46.6	848.3	220.9	534.6
2014-2015	136.9	40.4	88.6	782.8	193.3	488.1
2015-2016	117.3	34.5	75.9	646.0	152.9	399.5
2016-2017	359.3	58.6	208.9	528.6	118.4	323.5
2017-2018	63.5	23.1	43.3	169.4	59.8	114.6
2018-2019	105.9	36.7	71.3	105.9	36.7	71.3

Fuente: Elaboración propia.

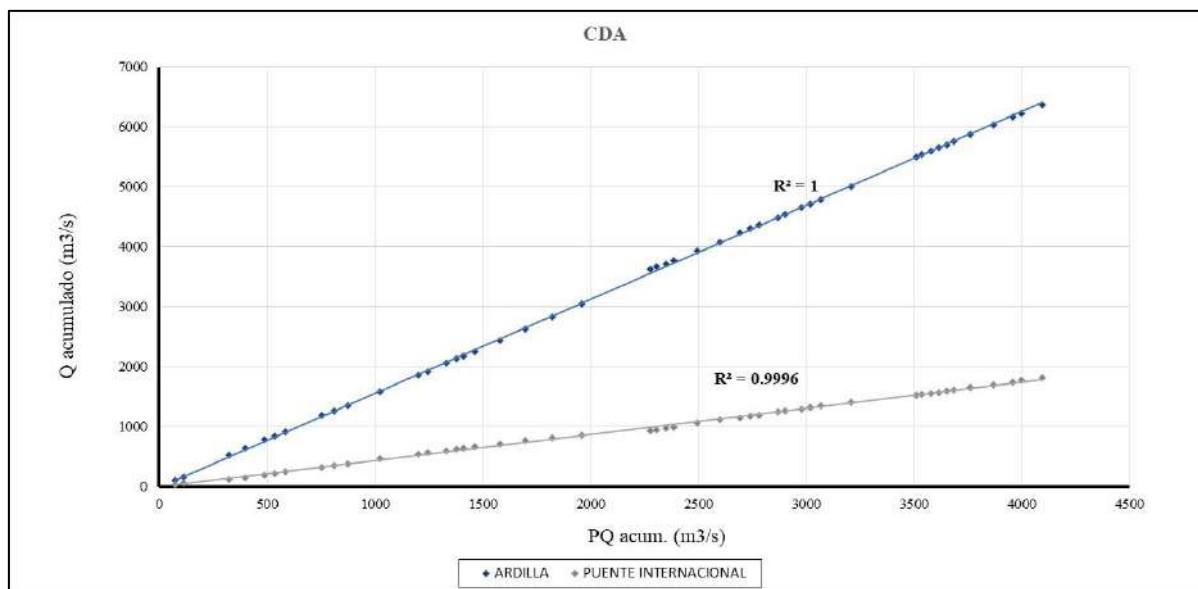


Figura 66. PQA entre Ardilla y Puente Internacional

Fuente: Elaboración propia

El método consiste en graficar los valores anuales acumulados de una estación en el eje de las ordenadas versus el patrón de caudales anuales acumulados. Si la recta de tendencia tiene una misma pendiente o no posee quiebres significativos se estaría hablando de una estación consistente, pero si la pendiente cambia en algún punto los datos deben ser corregidos.

4.4.2.1. Corrección de la estación El Ciruelo

Al graficar los datos acumulados de esta estación versus el PQA obtenido anteriormente, se pueden dividir los datos en tramos como se aprecia en la Figura 67. Estos saltos se dan en los años de 1998 y 1983, años con presencia del Fenómeno El Niño o FEN por lo que se sospecha de una posible subestimación de los datos en estos años.

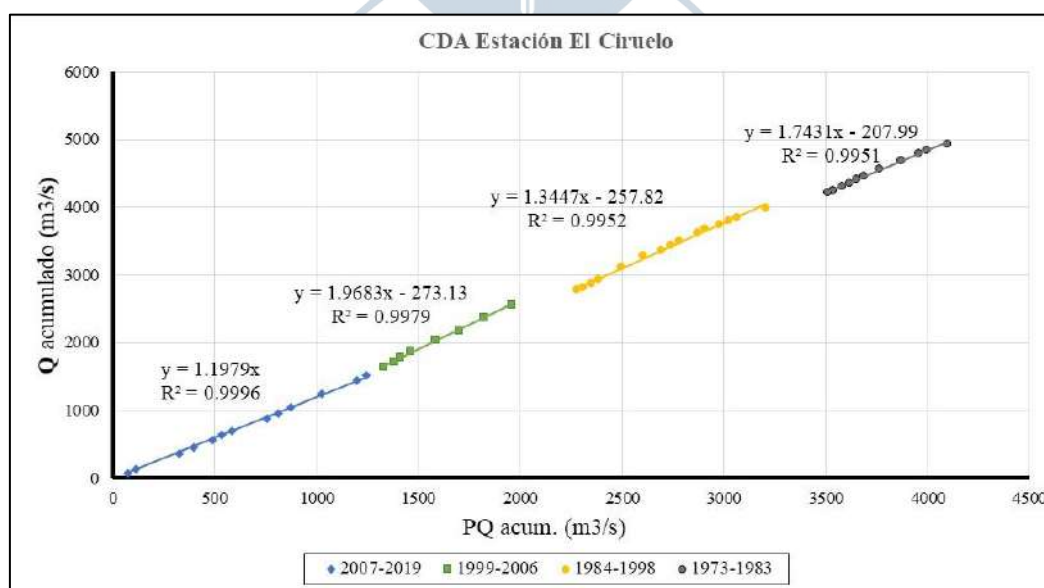


Figura 67. Curva doble acumulada de estación El Ciruelo

Fuente: Elaboración propia

Con el gráfico de la Figura 68 se confirmó la sospecha de una subestimación en los registros de caudal de los años con presencia de FEN en 1983 y 1998, pues en el resto de años los datos de la estación El Ciruelo siguen la tendencia de las estaciones Ardilla y Puente Sullana, excepto en los picos.

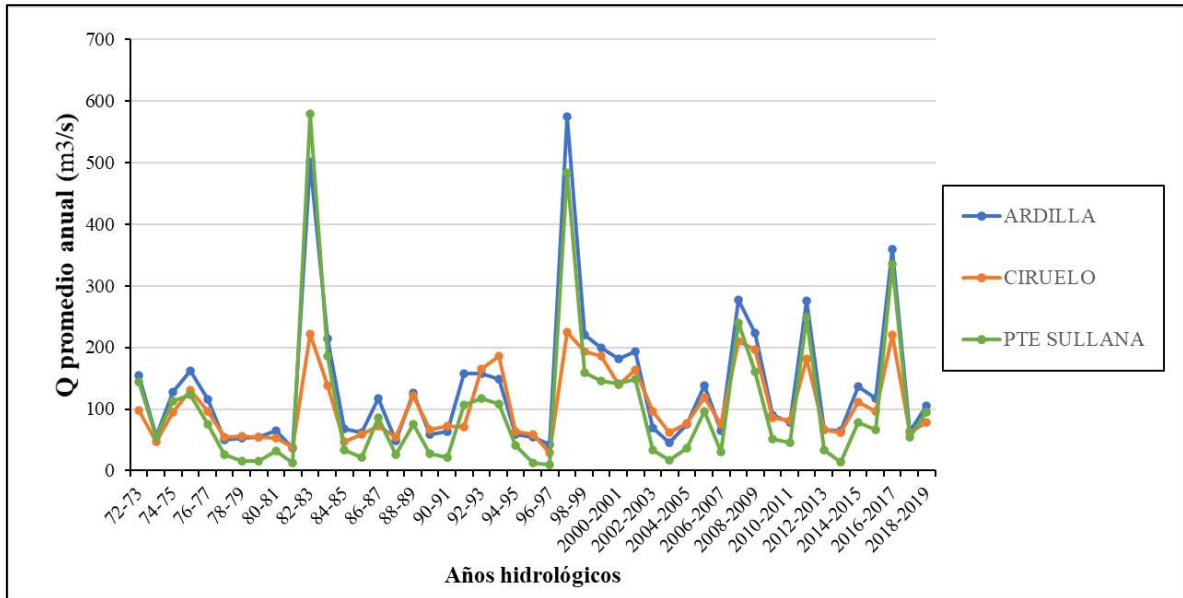


Figura 68. Caudales anuales versus año hidrológico

Fuente: Elaboración propia

Para conocer cómo se comportan los datos de la estación se halló un nuevo patrón sin considerar los años de FEN, apreciándose mejor el quiebre o cambio de pendiente en la recta a partir del año hidrológico 2006-2007 hacia atrás (Figura 69).

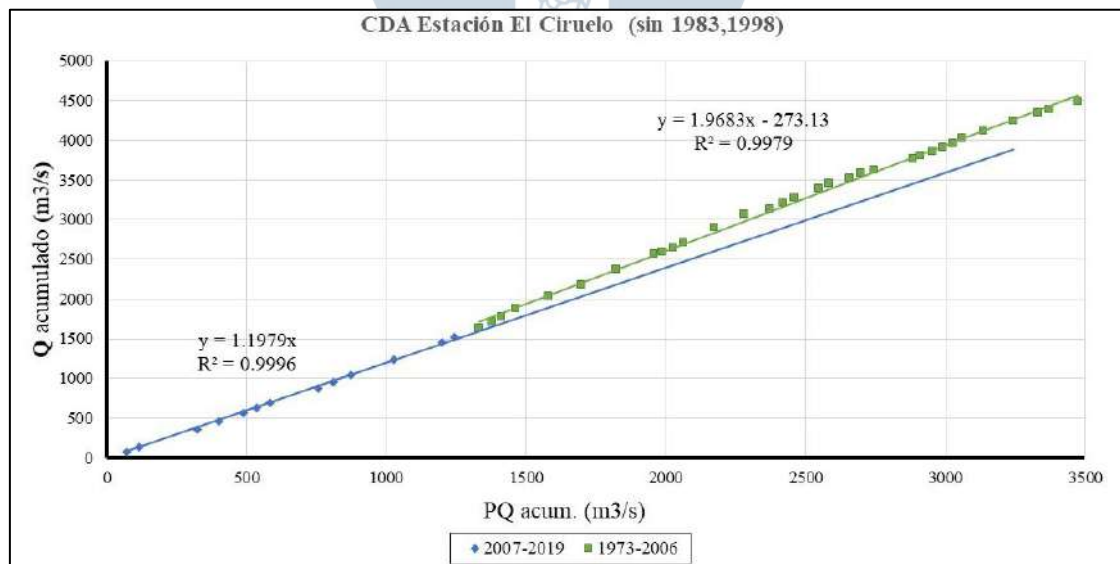


Figura 69. Curva doble acumulada de estación El Ciruelo sin 1983 ni 1998

Fuente: Elaboración propia

Con las dos graficas de curva doble acumulada o CDA se concluye que los datos presentan un quiebre en el periodo de 1973-2006, los cuales deberán ser corregidos con la ecuación de la recta obtenida con los datos más recientes en el periodo de 2007-2019.

4.4.2.2. Corrección de la estación Paraje Grande

De igual manera graficamos los datos anuales acumulados de la estación Paraje Grande versus el PQA calculado como base para identificar los quiebres en la pendiente de la recta (Figura 70).

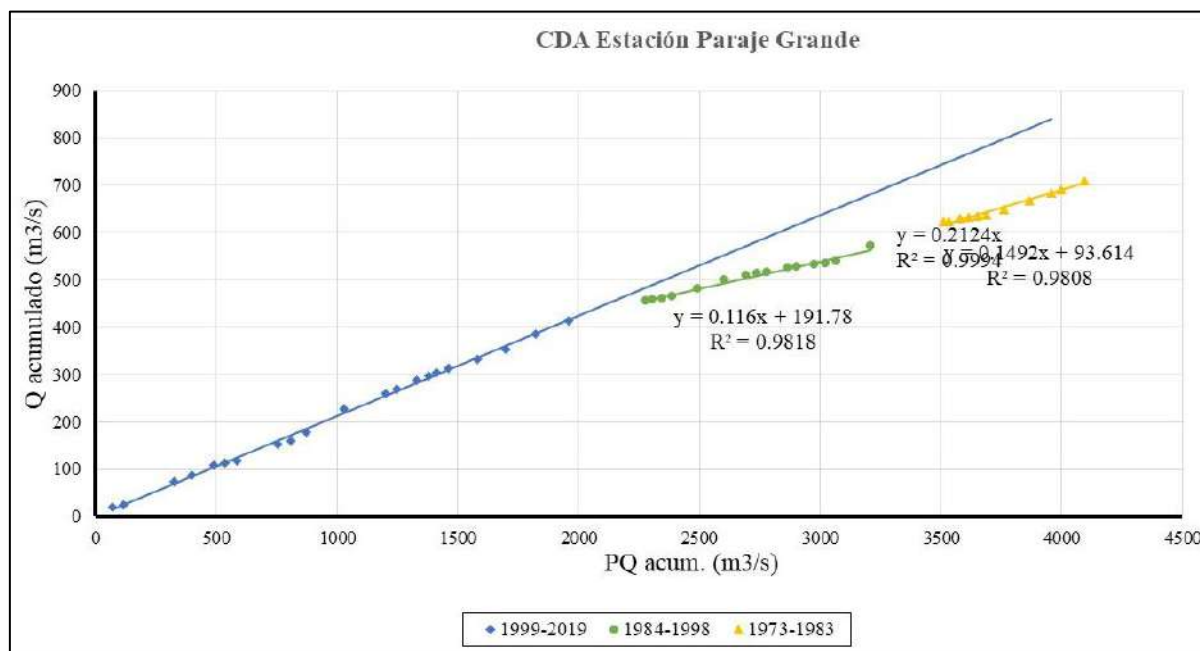


Figura 70. Curva doble acumulada de estación Paraje Grande

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 70 se aprecia el quiebre de la pendiente a partir del año 1998 hacia atrás, es decir se deben corregir los datos del periodo de 1998-1973 con la ecuación de la recta calculada con los datos del periodo de 2019-1999 por ser más reciente.

4.4.2.3. Corrección de la estación Puente Sullana

Finalmente se deben corregir los datos de esta estación por lo que se procedió a analizar la gráfica CDA para detectar los quiebres en la pendiente (Figuras 71 y 72).

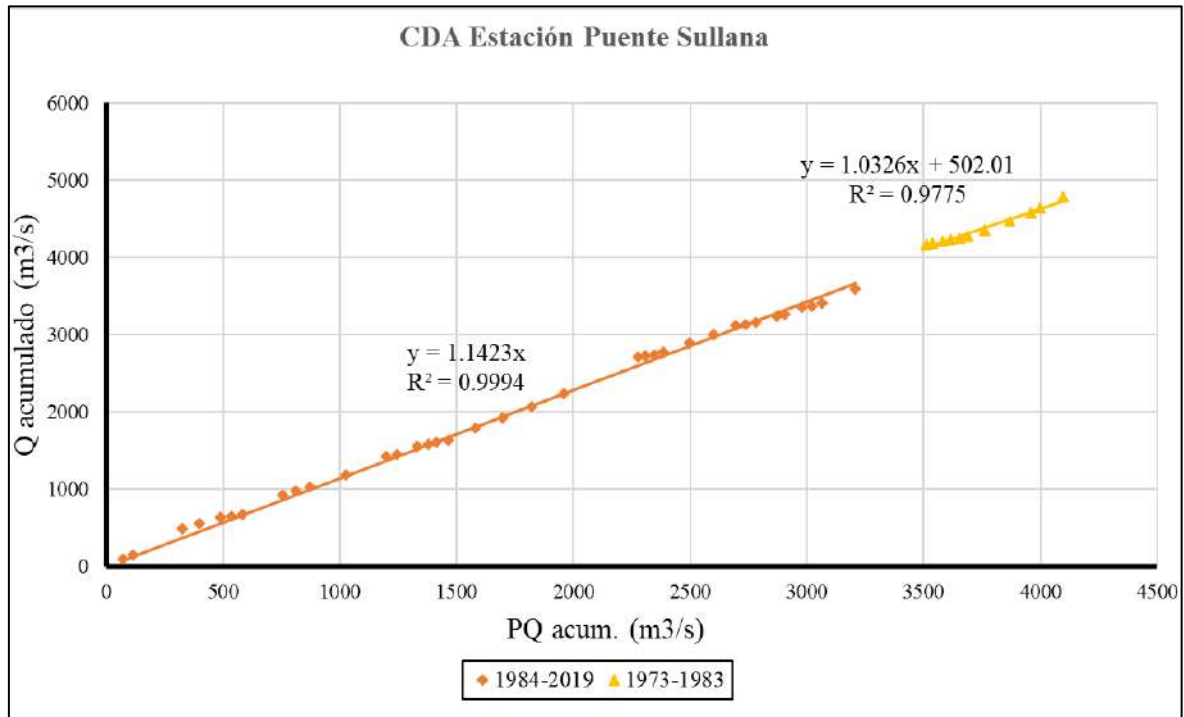


Figura 71. Curva doble acumulada de estación Puente Sullana

Fuente: Elaboración propia

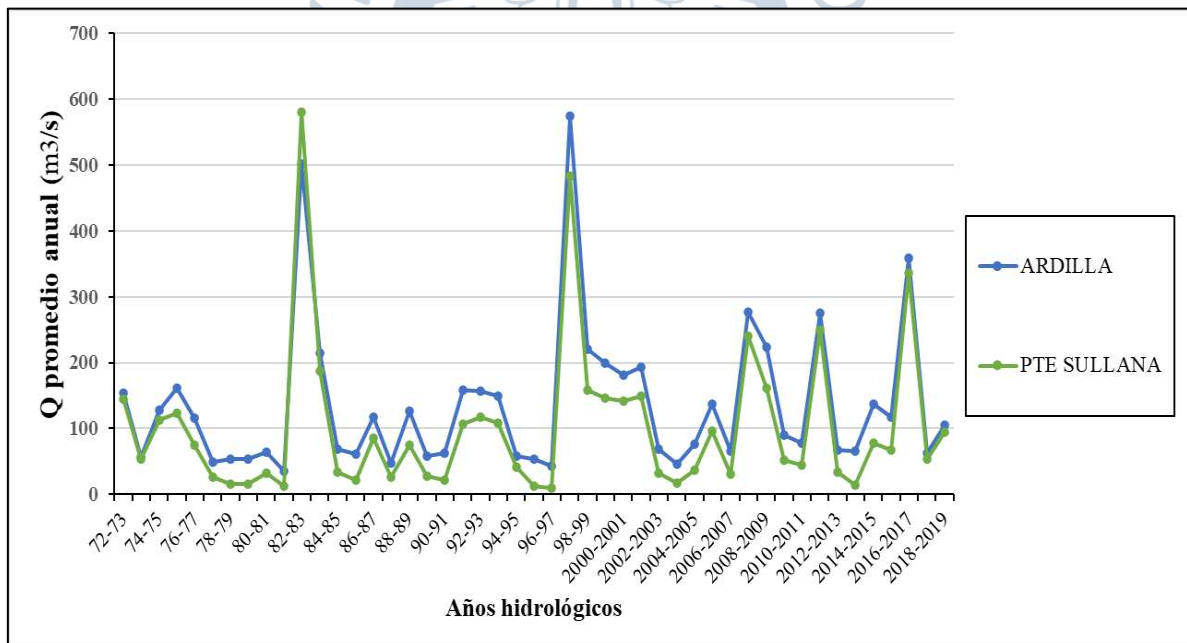


Figura 72. Caudales anuales versus año hidrológico

Fuente: Elaboración propia

En la figura 71 se ve un quiebre y salto en el año 1983, año con presencia de FEN por lo que se analiza el gráfico en la figura 72 donde se observa que en dicho año el Caudal en la estación Puente Sullana supera a la estación Ardilla, cuando en el resto de años la tendencia es que el caudal de Sullana este por debajo. Se concluye que la pendiente del periodo de 1984-2019, a excepción de algunos datos, se usara como corrección para el periodo de 1973-1983.

Se presenta a continuación la gráfica con los caudales anuales acumulados ya corregidos versus el PQA calculado como el promedio de las 5 estaciones corregidas (Figura 73).

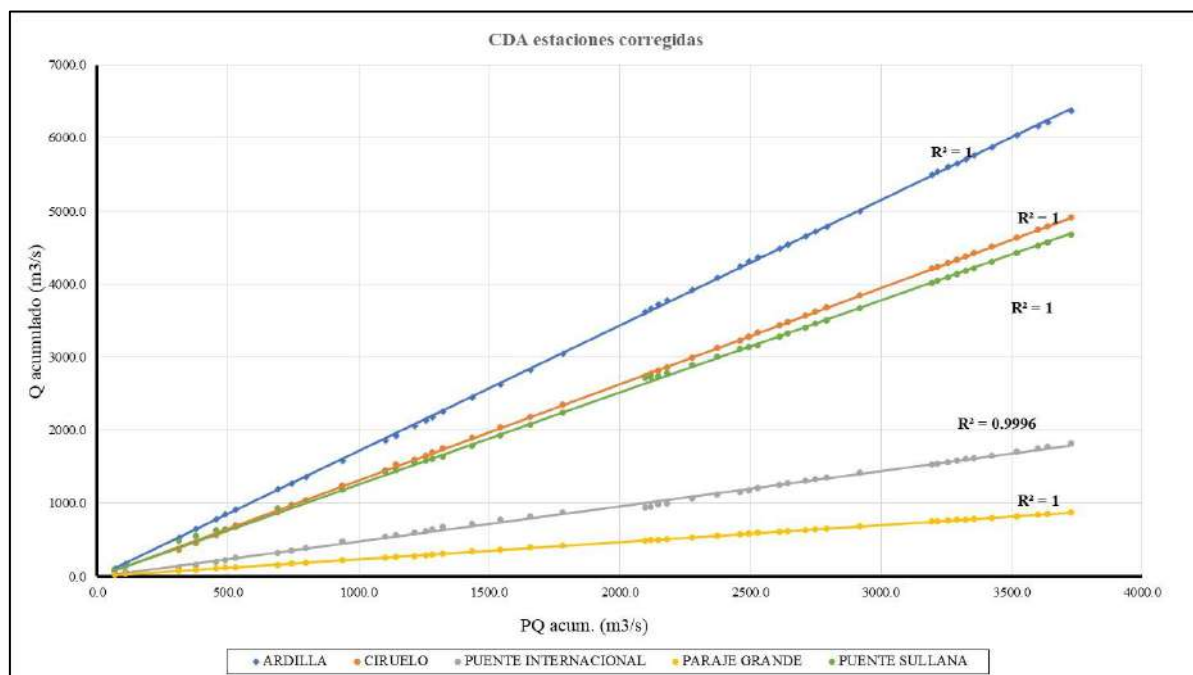


Figura 73. Curvas dobles acumuladas de estaciones corregidas

Fuente: Elaboración propia

4.5. Base de datos y mapas en ARCGIS

4.5.1. Base de datos anuales

Gracias al análisis de consistencia se lograron corregir los datos anuales, los mismos que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 68. Base de datos final: Caudales anuales

Año hidrológico	Anual (m3/s)				
	Ardilla	El Ciruelo	Paraje Grande	Puente Internacional	Puente Sullana
1972-1973	154.1	119.4	21.2	45.2	113.8
1973-1974	56.4	48.3	8.6	24.1	46.0
1974-1975	128.3	105.7	18.7	48.2	100.8
1975-1976	161.8	127.0	22.5	50.2	121.1
1976-1977	115.5	91.6	16.2	37.4	87.3
1977-1978	49.8	39.6	7.0	16.3	37.7
1978-1979	52.9	44.3	7.9	21.1	42.3
1979-1980	54.3	43.8	7.8	18.8	41.8
1980-1981	64.8	53.0	9.4	23.7	50.6
1981-1982	36.2	29.9	5.3	13.7	28.5
1982-1983	500.8	362.7	64.3	104.8	345.9
1983-1984	214.4	169.9	30.1	69.3	162.1
1984-1985	68.1	53.9	9.6	21.8	51.4
1985-1986	61.7	51.3	9.1	23.9	48.9
1986-1987	117.6	88.3	15.7	29.8	84.2
1987-1988	48.1	42.2	7.5	22.4	40.3
1988-1989	125.8	105.3	18.7	50.0	116.6
1989-1990	58.2	49.8	8.8	24.9	27.5
1990-1991	63.0	54.8	9.7	28.4	21.2
1991-1992	158.3	110.0	19.5	25.4	106.6
1992-1993	157.3	128.2	22.7	56.7	117.4
1993-1994	148.9	129.9	23.0	68.0	108.8
1994-1995	58.3	45.7	8.1	17.9	41.6
1995-1996	53.9	48.9	8.7	27.7	12.7
1996-1997	42.7	34.7	6.2	15.2	10.3
1997-1998	574.6	384.9	61.4	68.0	483.1
1998-1999	220.9	160.0	29.3	46.3	158.8
1999-2000	198.9	150.4	32.6	52.2	145.9
2000-2001	181.6	139.1	24.7	50.6	141.7
2001-2002	193.8	142.1	32.2	43.4	148.7
2002-2003	69.3	61.4	9.9	33.1	32.8
2003-2004	45.5	39.0	6.4	19.5	17.7
2004-2005	75.8	60.3	10.0	24.9	36.5
2005-2006	137.4	67.6	19.0	32.4	95.6
2006-2007	65.5	75.1	8.7	24.4	30.4
2007-2008	277.0	210.4	32.1	71.3	240.0
2008-2009	223.3	195.8	32.3	80.9	161.2
2009-2010	90.5	86.4	13.3	34.4	51.4
2010-2011	78.0	80.9	20.3	34.3	45.2
2011-2012	274.9	180.9	33.1	67.3	248.7
2012-2013	67.0	66.1	5.6	31.2	33.7
2013-2014	65.5	62.6	3.9	27.6	14.6
2014-2015	136.9	110.8	22.9	40.4	78.1
2015-2016	117.3	95.9	14.1	34.5	66.6
2016-2017	359.3	220.3	48.0	58.6	335.4
2017-2018	63.5	61.6	4.4	23.1	54.3
2018-2019	105.9	78.2	20.0	36.7	94.2

Fuente: Elaboración propia.

Dentro del periodo analizado se conoce la presencia de 3 FEN importantes: 1983, 1998 y 2017. En la tabla a continuación se puede apreciar la influencia de estos años con presencia de FEN en el caudal promedio del periodo, así como los valores alcanzados en cada uno de estos años (Tabla 69).

Tabla 69. Influencia de años con FEN

Años	Caudales Q(m3/s)				
	Ardilla	El Ciruelo	Paraje Grande	Puente Internacional	Puente Sullana
1973-2019	135.6	104.4	18.5	38.7	99.6
1973-2019 sin FEN	112.3	89.5	15.8	36.1	79.9
FEN 1983	500.8	362.7	64.3	104.8	345.9
FEN 1998	574.6	384.9	61.4	68.0	483.1
FEN 2017	359.3	220.3	48.0	58.6	335.4

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2. Mapas en ARCGIS

Para la presentación de los resultados obtenidos, se decidió utilizar el mapa de caudales específicos, descrito en la Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur (UNESCO-ROSTLAC, 1982).

El mapa consiste en dividir la cuenca en subcuencas más pequeñas, las cuales se forman considerando como punto de salida cada estación existente, comenzando en el punto más alto de la cuenca. El valor graficado en el mapa es el caudal específico medido en l/s.km2, calculado como:

$$q_{i+1} = \frac{Q_{i+1} - \sum Q_i}{A_{i+1}} \quad \text{Ecuación 4. 1}$$

Donde:

q_{i+1} : Caudal específico para estación i+1 [l/s.km2]

Q_{i+1} : Caudal en estación i+1 [l/s]

$\sum Q_i$: Caudales medidos en estaciones aguas arriba [l/s]

A_{i+1} : Área subcuenca estación i+1 [km2]

En el presente caso, se cuentan con cinco estaciones, por lo que habrá cinco subcuencas definidas por cada estación (Tabla 70).

Tabla 70. Áreas de subcuencas definidas por estaciones

Subcuencas	Área específica(km ²)
Puente Sullana	3,546.66
Ardilla	2,123.89
El Ciruelo	4,628.57
Puente Internacional	2,416.53
Paraje Grande	2,355.52

Fuente: Elaboración propia.

Se elaboraron cinco diferentes mapas de acuerdo al caudal específico calculado para cada periodo, según como se ve a continuación (Tabla 71):

Tabla 71. Caudales específicos de cada estación

Caudales específicos q(l/s*km ²)					
Años	Ardilla	El Ciruelo	Paraje Grande	Puente Internacional	Puente Sullana
1973-2019	6.0	14.2	7.9	16.0	-10.2
1973-2019 sin FEN	3.2	11.5	6.7	14.9	-9.1
FEN 1983	34.7	55.7	27.3	43.4	-43.7
FEN 1998	60.4	68.5	26.1	28.1	-25.8
FEN 2017	42.8	34.9	20.4	24.3	-6.7

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 71 se observan valores negativos de caudal específico en la subcuenca de la estación Puente Sullana, por lo que es necesario analizar con mayor profundidad la zona comprendida entre esta estación y Ardilla debido a que los valores medidos en la estación Puente Sullana están regulados e influenciados por la presencia del reservorio Poechos y el canal de derivación Daniel Escobar. Teniendo los datos del canal de derivación y de volúmenes del reservorio inicial y final de cada año hidrológico para el periodo 1977-2017, se elaboró a la siguiente tabla:

Tabla 72. Caudales para cada periodo de interés incluyendo canal de derivación y Poechos

Caudales Q(m ³ /s)							
Años	Ardilla	El Ciruelo	Paraje Grande	Puente Internacional	Puente Sullana	Canal de derivación	Variación volumen Poechos
1973-2019	135.6	104.4	18.5	38.7	99.6	35.8	0.0
1973-2019 sin FEN	112.3	89.5	15.8	36.1	79.9	35.9	-0.6
FEN 1983	500.8	362.7	64.3	104.8	345.9	27.8	19.7
FEN 1998	574.6	384.9	61.4	68.0	483.1	33.5	4.6
FEN 2017	359.3	220.3	48.0	58.6	335.4	39.5	1.6

Fuente: Elaboración propia.

Normalmente cuando no hay embales ni derivaciones la variación entre el caudal final y el inicial da como resultado la producción de la cuenca menos el consumo en agricultura, pero siendo la zona entre la estación Ardilla y Puente Sullana una zona receptora y además debido a

la presencia del reservorio, el cálculo de caudal específico para subcuenca Puente Sullana cambia y se detalla a continuación:

$$q_{PS} = \frac{Q_{PS} + Q_{CD} + \Delta E - Q_{Ard}}{A_{PS}} \quad \text{Ecuación 4. 2}$$

Donde:

q_{PS} : Caudal específico para estación Puente Sullana [l/s.km²]

Q_{PS} : Caudal medido en estación Puente Sullana [l/s]

Q_{CD} : Caudal medido en Canal de derivación [l/s]

ΔE : Variación de volumen final e inicial en embalse Poechos [l/s]

Q_{Ard} : Caudal medido en estación Ardilla [l/s]

A_{PS} : Área subcuenca estación Puente Sullana [km²]

Con esta ecuación modificada para la subcuenca Puente Sullana obtenemos la siguiente tabla de caudales específicos:

Tabla 73. Caudales específicos definitivos por cada estación

Caudales específicos q(l/s*km ²)					
Años	Ardilla	El Ciruelo	Paraje Grande	Puente Internacional	Puente Sullana
1973-2019	6.0	14.2	7.9	16.0	-0.1
1973-2019 sin FEN	3.2	11.5	6.7	14.9	0.8
FEN 1983	34.7	55.7	27.3	43.4	-30.3
FEN 1998	60.4	68.5	26.1	28.1	-15.1
FEN 2017	42.8	34.9	20.4	24.3	4.9

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla 73 aun después de incluir la influencia del reservorio y del canal de derivación, los caudales específicos hallados siguen siendo negativos o cercanos a 0, a excepción del FEN 2017. Esta situación se explica analizando también los mapas de isoyetas de precipitación presentados en el capítulo anterior, donde se observa que tanto en años normales como años FEN, la mayor precipitación no ocurre en la zona del reservorio, sino en la sierra de la región o aguas arriba del embalse. Este análisis nos lleva a deducir que en el área entre las estaciones Puente Sullana y Ardilla el consumo agrícola es mayor a la precipitación por lo que consumen los recursos que llegan al reservorio, dando como resultado un caudal específico negativo en la estación Puente Sullana.

Con estos detalles se presentan en las figuras 74, 75, 76, 77 y 78, los mapas elaborados en ARCGIS.

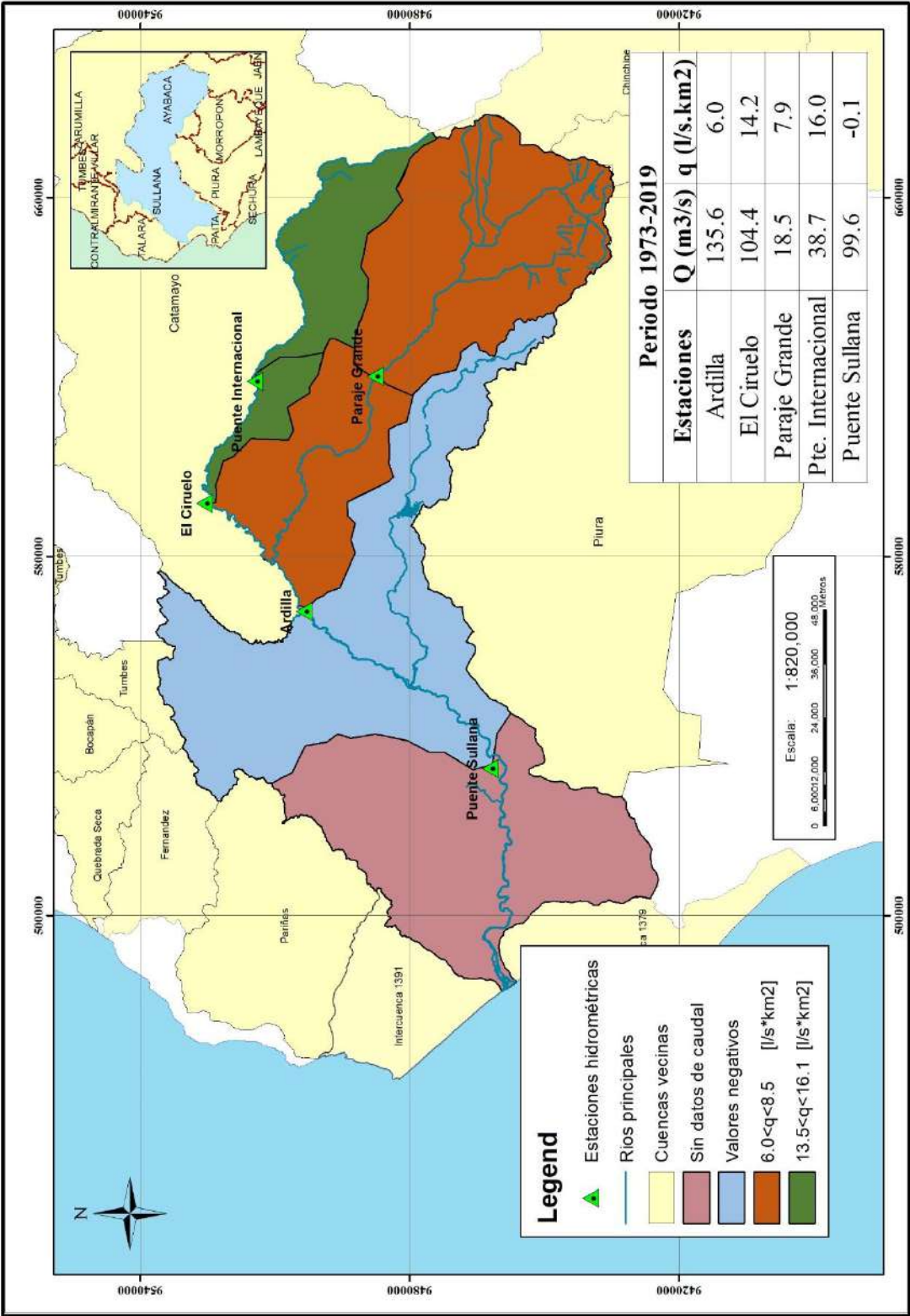


Figura 74. Mapa de caudales específicos en la cuenca del río Chira: periodo 1973-2019
Fuente: Elaboración propia.

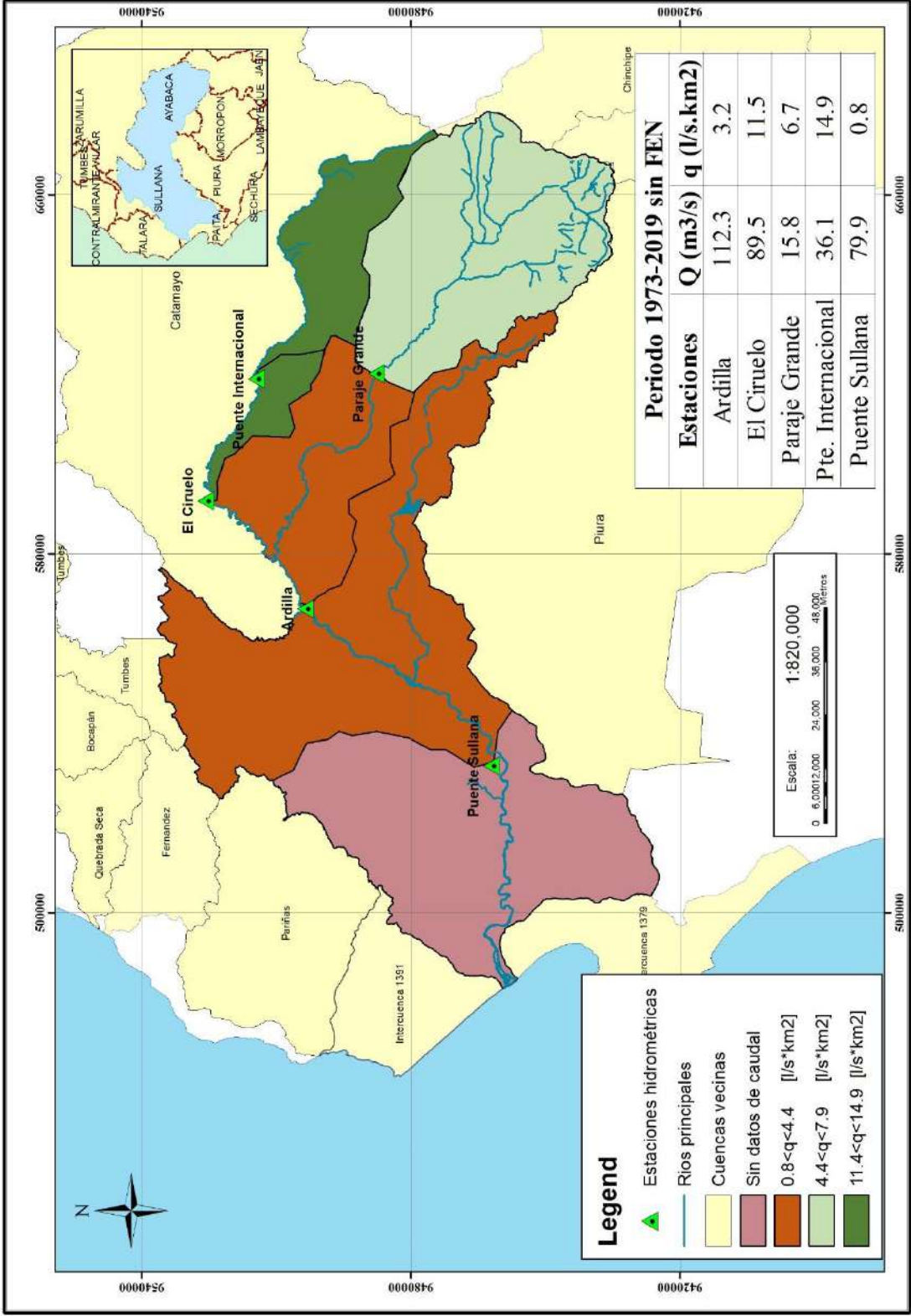


Figura 75. Mapa de caudales específicos en la cuenca del río Chira: periodo 1973-2019 sin FEN
Fuente: Elaboración propia.

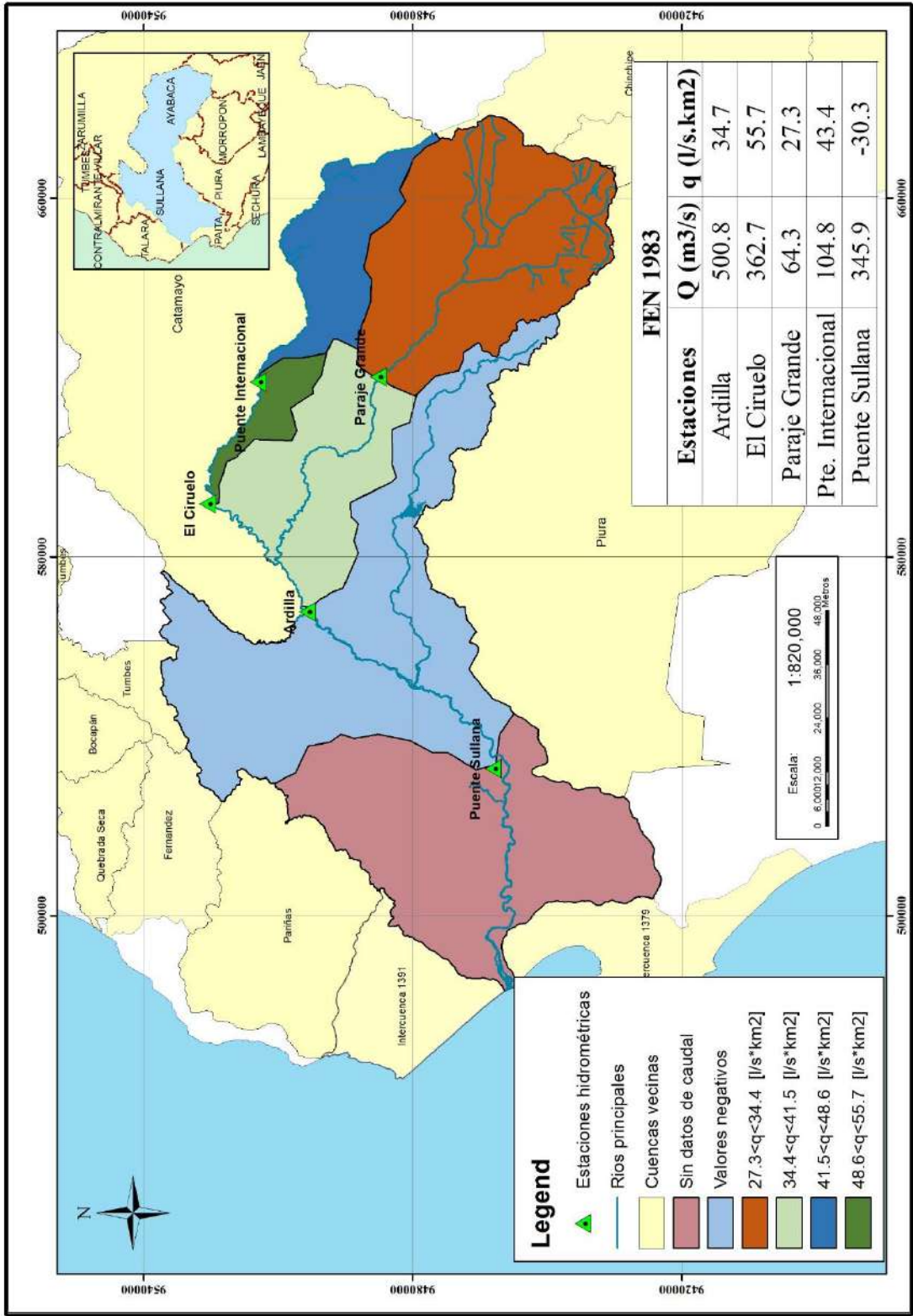


Figura 76. Mapa de caudales específicos en la cuenca del río Chira: FEN 1983

Fuente: Elaboración propia.

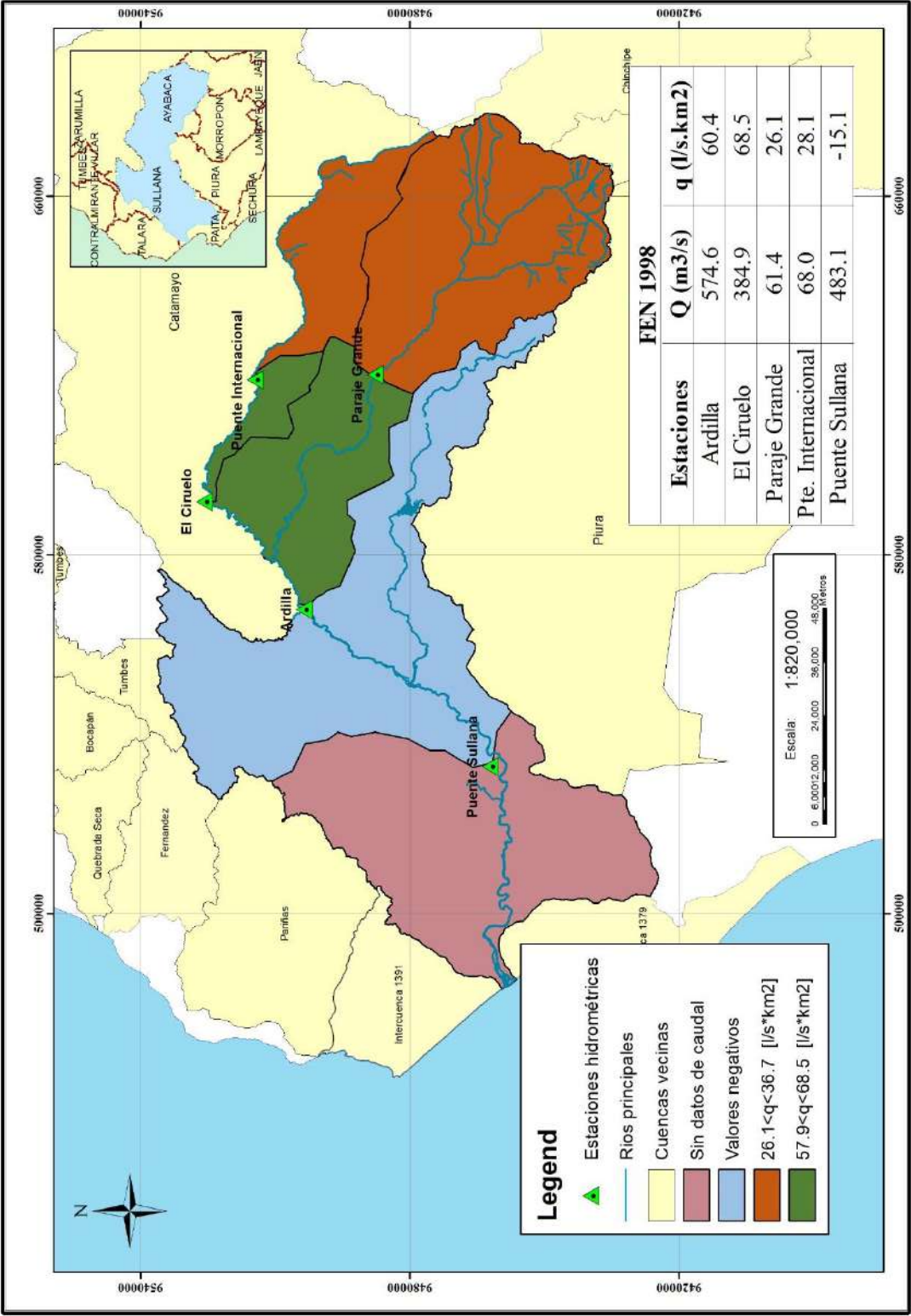


Figura 77. Mapa de caudales específicos en la cuenca del río Chira: FEN 1998
Fuente: Elaboración propia.

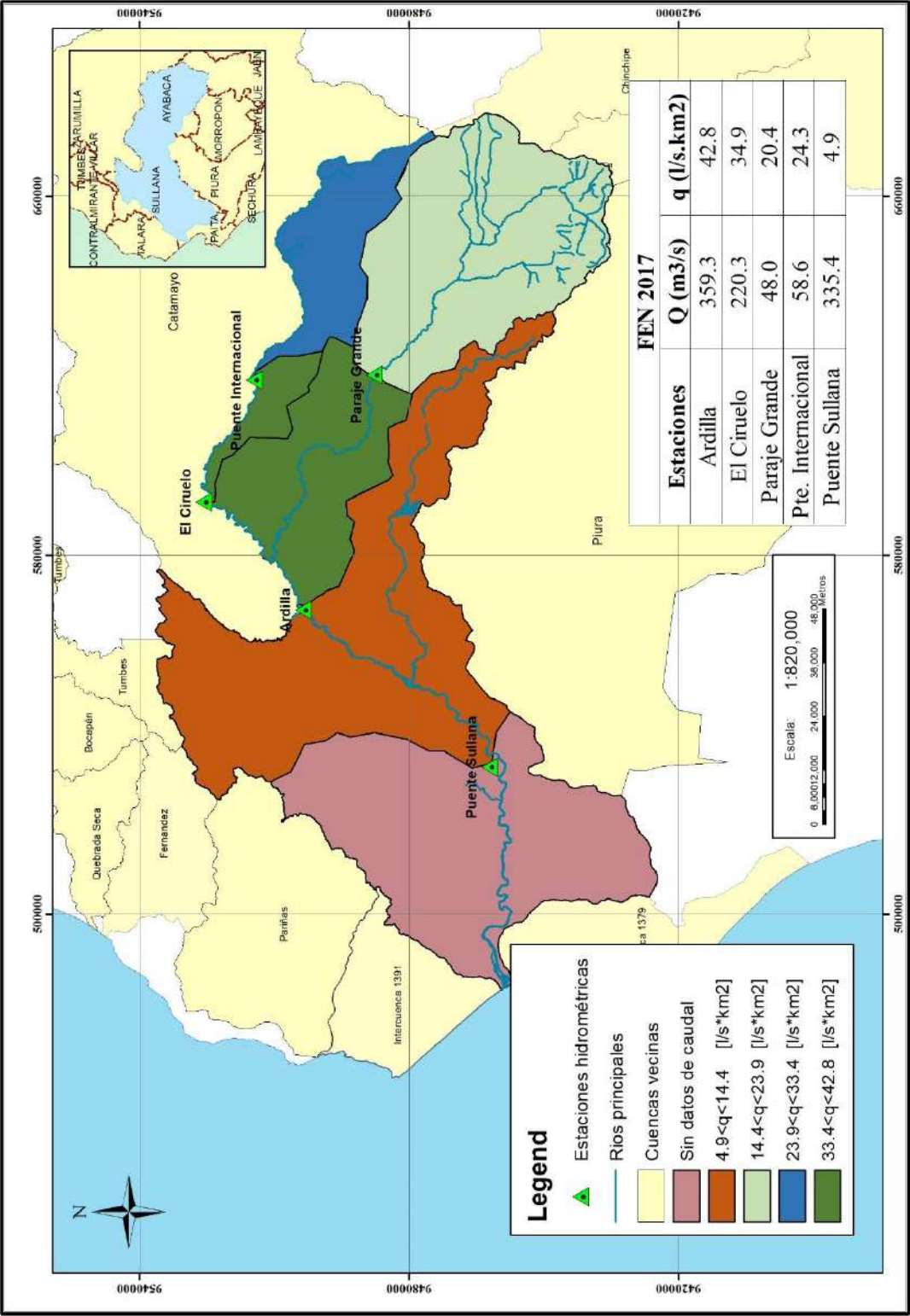


Figura 78. Mapa de caudales específicos en la cuenca del río Chira: FEN 2017
Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

1. De acuerdo al trabajo de campo realizado, en las visitas a las estaciones pluviométricas de SENAMHI en la cuenca del río Chira, se pudo observar que en su mayoría se han automatizado, lo que significa un avance importante en la tecnología de medición de lluvia. De igual manera las estaciones hidrométricas, actualmente registran automáticamente el nivel de agua del río mediante unos sensores de nivel colocados bajo especificaciones SENAMHI.

Sin embargo, en una estación hidrométrica un sensor de nivel no es suficiente, ya que para la predicción de caudales se requiere de constante información obtenida de aforos. En la cuenca del río Chira estos se siguen realizando por suspensión desde carro huaro con correntómetro y lastre, poniendo en peligro a los observadores en tiempos de grandes avenidas.

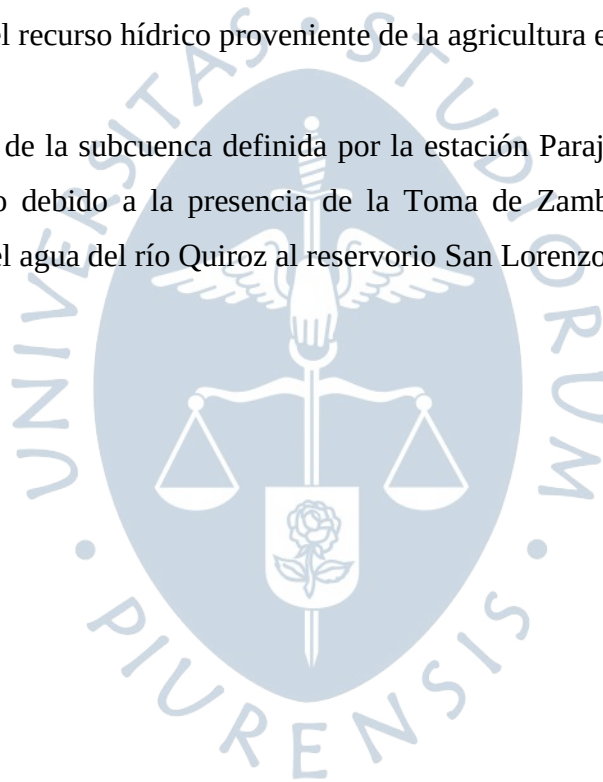
2. La cuenca del río Chira actualmente cuenta con 14 estaciones pluviométricas activas del SENAMHI, entre convencionales y automáticas, distribuidas en toda su área geográfica (10 534.8 km²). Aproximadamente la mitad de su área es parte alta y donde se pueden encontrar hasta 6 estaciones pluviométricas con registro consistente (El Ciruelo, Puente Internacional, Sapollica, Ayabaca y Sausal de Culucán). Es decir, en la zona alta de la cuenca hay una estación pluviométrica cada 878 km². Esto incumple la densidad mínima recomendada de una estación por cada 250 km² en zonas montañosas (Organización Metereológica Mundial, 1994).

3. La estimación de datos faltantes de lluvia se ha realizado con ecuaciones que tienen en promedio una correlación ajustada de 0.8328, lo que lo convierte en un relleno confiable que se plasmó en las curvas dobles de masa acumulada, donde se obtuvieron altas correlaciones y se llegaron a ajustar diez de doce estaciones. Dos estaciones se corrigieron debido a que presentaron saltos o quiebres en su recta debido a los FEN o porque la estimación fue de un período largo. Asimismo, se hizo la verificación con las isoyetas, las cuales llegaron a representar la realidad hidrometereológica de la cuenca del río Chira.

4. De los mapas de isoyetas generados con el análisis geoestadístico de ArcGIS se puede observar que, durante los años normales, sin FEN, la mayor precipitación ocurre cerca de la línea ecuatorial, en la zona de Ayabaca. Por otro lado, durante los FEN, en esta zona se aprecia que la precipitación anual se duplica; sin embargo, en la zona de la estación Ardilla se registra una precipitación anual diez veces mayor, convirtiéndose esta zona en la de mayor precipitación.

5. De los mapas de caudales específicos en conjunto con los mapas de isoyetas podemos concluir que la producción por precipitación del área de la cuenca ubicada entre la estación Puente Sullana y la estación Ardilla aguas arriba es menor al gasto que se da en este territorio por la alta demanda del recurso hídrico proveniente de la agricultura en la zona.

6. La producción de la subcuenca definida por la estación Paraje Grande nos da valores muy pequeños, y esto debido a la presencia de la Toma de Zamba ubicada aguas arriba, estructura que deriva el agua del río Quiroz al reservorio San Lorenzo.



Recomendaciones

1. Se recomienda la automatización de las estaciones hidrométricas y la modernización de las campañas de aforo de los ríos de la cuenca del Chira con pistolas radar de velocidades, que han demostrado buenos resultados en caudales de gran magnitud. Esto brindará una mayor información de caudales en menor tiempo y mayor seguridad a los observadores.
2. Se recomienda aumentar la densidad de la red pluviométrica de la cuenca, para llegar a los mínimos requeridos por la OMM. Esto brindaría mayor información para una mejor predicción de lluvia y caudales en la cuenca.
3. Para continuar la investigación, es necesario también analizar los datos hidrométricos obtenidos a partir de los datos de nivel que registran las estaciones automáticas, es decir, es necesario conocer y estudiar la metodología de aforo por parte del SENAMHI y la relación con el nivel de agua medido.



Referencias bibliográficas

- AECI- Plan binacional. (2003). *Caracterización territorial y documentación básica en el ámbito de la Cuenca Binacional Catamayo- Chira*. Loja-Piura: Consorcio ATA-UNL-UNP.
- Aguilar, R. (2016). *Predicción de caudales en el río Chira con fines de descolmatación del embalse de Poechos*. (Tesis de Postgrado). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- ArcGIS Enterprise. (2019). *Portal for ArcGIS*. Obtenido de <https://enterprise.arcgis.com/es/portal/latest/use/geo-info.htm>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. Colombia.
- CONSORCIO ATA-UNL-UNP. (2002). *Caracterización hídrica y adecuación entre la oferta y la demanda en el ambito de la cuenca binacional Catamayo-Chira*. Piura.
- Farías de Reyes, C. M. (Septiembre de 2017). Hidrología [Material de aula]. *Capítulo 3. Cuencas*. Piura, Peru: Universidad de Piura.
- Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- JICA. (2011). *Estudio preparatorio sobre el programa de protección de valles y poblaciones rurales y vulnerables ante inundaciones en la Republica del Perú; informe final, informe principal I-6 de soporte, anexo- 5, sistema de alerta temprana del rio Chira*. Piura.
- Linsley, Kohler, Paulus. (1992). *Hidrología para ingenieros*. México D.F.
- Minagri-ANA. (2012). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú*. Lima.
- Ministerio de Agricultura. (2013). *Estudio preparatorio sobre el programa de protección de valles y poblaciones rurales y vulnerables ante inundaciones en la República del Perú*.

- Oñate, F., Duque, E., León, P., Duque, F., Rojas, W., & Tenesaca, F. (s.f.). *Caracterización climática, meteorológica e hidrológica de la cuenca binacional Catamayo-Chira previo a la implementación de los modelos SWAT y WATEM/SEDEM con fines de su planificación territorial*.
- Ordoñez, J. J. (2011). *¿Qué es una cuenca hidrológica?* Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- Organización Meteorológica Mundial. (1994). *Guía de practicas hidrológicas. Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones*.
- Organización Meteorológica Mundial. (1996). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos*. Ginebra.
- Organización Meteorológica Mundial. (2006). *Reglamento técnico, vol. III: Hidrología*.
- Paulini Palacios, A. M. (2005). *"Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del río Quiroz" (Tesis de pregrado)*. Piura: Universidad de Piura.
- Pizarro Tapia, R., Ausensi Tapia, P., Aravena Garrido, D., & Sangüesa Pool, C. (2009). *Evaluación de Métodos Hidrológicos para la Completación de Datos Faltantes de Precipitación en estaciones pluviográficas de la VII Región del Maule, Chile*. Talca, Chile.
- Ramos Taipe, C. L., & Portuguese Mautua, M. (2010). *Estudio de máximas avenidas en las cuencas de la vertiente del Pacífico- cuencas de la costa norte: Informe final*. Lima.
- Reyes, L. (1992). *Hidrología básica*. Lima: A&B editores SA.
- SENAMHI. (2013). *Protocolo para la Instalación y Operación de Estaciones Meteorológicas e Hidrológicas*. Lima.
- SENAMHI. (2018). *Manual de Hidrometría*.
- UNESCO. (1982). *Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur*. Montevideo.
- UNESCO-ROSTLAC. (1982). *Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del sur*. Montevideo, Uruguay: Oficina Regional de Ciencias y Tecnología de la UNESCO para América latina y el Caribe.
- Universidad Autónoma de Madrid. (2011). *Tutorial (nivel básico) para la elaboración de mapas con ArcGIS*. Madrid.
- Universidad de Piura. (2019). *Implementación de una radar escáner de lluvias a tiempo real como sistema de alerta temprana para previsión de inundaciones, investigaciones*

ecoclimáticas y ayuda a la agricultura en la región Piura, la más impactada por El Niño. Piura.

- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Lima: Editorial Villón.

