



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Evaluación de la red hidrometeorológica en la cuenca Piura
para la creación de una base de datos**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Antony Steevin Abad Paucar

Asesor:
Mgtr. Ing. Clara Marina Farías Zegada de Reyes

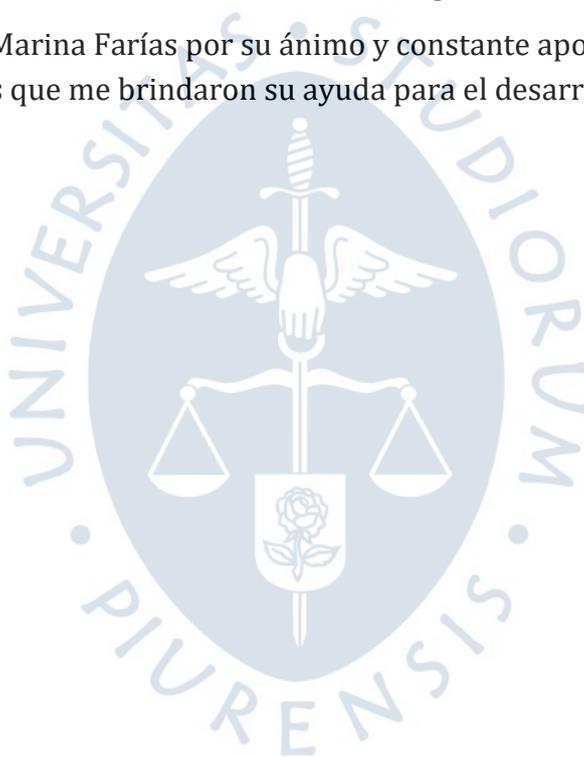
Piura, octubre de 2021

Dedicatoria

A Dios, por estar presente en mi vida.

A Yarita, Jorge y Dayana, mi amada familia, por ser el soporte a lo largo de mi carrera profesional y formarme en valores.

A mi asesora Marina Farías por su ánimo y constante apoyo, así como, a todas las personas que me brindaron su ayuda para el desarrollo de la presente tesis.

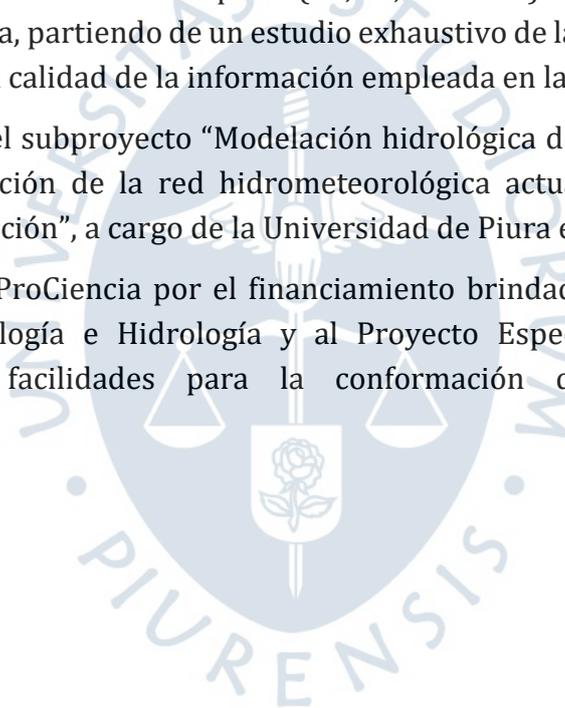


Agradecimientos

Esta tesis ha sido financiada por el Proyecto Concytec - Banco Mundial “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica” 8682-PE, a través de su unidad ejecutora ProCiencia. [contrato número 060-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV], con el objetivo de 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.

Forma parte del subproyecto “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.

Se agradece a ProCiencia por el financiamiento brindado; asimismo, al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología y al Proyecto Especial Chira Piura, por la información y las facilidades para la conformación de la base de datos hidrometeorológica.



Resumen

El denominado Fenómeno Niño Costero ocurrido en el verano de 2017 afectó catastróficamente a gran parte de la región Piura, razón por la cual, la población necesita a través de las instituciones públicas y/o privadas, diseñar medidas estratégicas con la finalidad de tomar las acciones adecuadas para afrontar un nuevo desastre de igual o mayor magnitud. La cuenca Piura se encuentra muy influenciada por anomalías climáticas como el Fenómeno El Niño, evento climatológico que se presenta en los meses de diciembre a abril, incrementando la temperatura del mar y provocando lluvias intensas en la costa norte del Perú e impactos negativos en el ecosistema marino. Martínez y Takahashi (2017)

La metodología empleada para el desarrollo de la presente tesis, ha consistido en una etapa de campo y otra de gabinete, donde se realizó la visita a toda la red hidrometeorológica de la cuenca Piura, con el objetivo de: elaborar un diagnóstico de las condiciones actuales de la red, identificar las entidades responsables del manejo de las estaciones (SENAMHI, PECHP y ANA), recolectar información pluviométrica e hidrométrica histórica para ser analizada con ayuda de los métodos hidrológicos y conformar una base de datos consistente de precipitaciones y caudales históricos confiables.

De acuerdo al diagnóstico final de la red hidrometeorológica, se ha definido tres criterios de clasificación general: Estaciones en buen estado de conservación, que son las que poseen instrumentos que en su mayoría funcionan adecuadamente y en un menor porcentaje les hace falta mantenimiento; por otro lado, se ha definido como estaciones en regular estado de conservación, las que en su mayoría poseen instrumentos que les hace falta mantenimiento y en un menor porcentaje que han dejado de funcionar momentáneamente; finalmente, se ha clasificado como estaciones en mal estado de conservación, las que poseen instrumentos que en su mayoría han dejado de funcionar y en un menor porcentaje les hace falta mantenimiento. Por otro lado, se indica que actualmente existen doce estaciones pluviométricas convencionales activas a cargo del SENAMHI, que son: Chusis, Bernal, San Miguel, Miraflores, Chulucanas, Virrey, San Pedro, Morropón, Malacasí, Hacienda Bigote, Chalaco y Huarmaca, las cuales se pueden emplear para el modelado histórico del comportamiento pluviométrico de la cuenca Piura, y cuya precipitación promedio multianual es de 469.1 mm, entre el periodo hidrológico 1972-2019. Además, se ha identificado que actualmente se cuenta con tres estaciones

hidrométricas convencionales activas a lo largo del río Piura a cargo del PECHP, que son: Puente Ñácara, Tambogrande y Presa Los Ejidos, las cuales poseen un registro común de caudales históricos entre los años hidrológicos 1972-2018, y cuyo caudal promedio multianual máximo se ha registrado en la estación Presa Los Ejidos con 50.6 m³/s.

Finalmente, se ha elaborado mapas de precipitaciones y caudales, a partir de una base de datos histórica consistente y confiable, útil para los fines del proyecto principal del cual forma parte la presente tesis.



Tabla de contenido

Introducción	23
Capítulo 1.....	25
Aspectos generales	25
1.1 La cuenca Piura.....	25
1.1.1 Ubicación y descripción geográfica.....	25
1.1.2 Demarcación hidrográfica.....	25
1.1.3 Principales unidades hidrográficas y zonificación.....	25
1.2 Descripción de las subcuencas.....	27
1.2.1 Subcuenca Bajo Piura.....	27
1.2.2 Subcuenca San Francisco.....	28
1.2.3 Subcuenca Medio Bajo Piura.....	28
1.2.4 Subcuenca Medio Piura.....	29
1.2.5 Subcuenca Corrales	29
1.2.6 Subcuenca Unidad Hidrográfica 13784.....	29
1.2.7 Subcuenca Medio Alto Piura.....	29
1.2.8 Subcuenca Bigote.....	29
1.2.9 Subcuenca Alto Piura	30
1.3 Fenómeno El Niño.....	30
1.3.1 Corriente El Niño	30
1.3.2 Fenómeno El Niño (FEN).....	31
1.3.3 Oscilación Sur.....	31
1.3.4 El Niño-Oscilación Sur (ENOS o ENSO).....	31
1.3.5 El Niño Costero.....	32
1.4 Entidades encargadas del monitoreo del recurso hídrico de la región.....	33

1.4.1 Autoridad Nacional del Agua (ANA)	33
1.4.2 Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).....	34
1.4.3 Proyecto Especial Chira Piura (PECHP Piura).....	34
Capítulo 2.....	35
Marco teórico	35
2.1 Manejo pluviométrico	35
2.1.1 La precipitación.....	35
2.1.2 Medición de la precipitación.....	36
2.1.3 Ubicación de un pluviómetro.....	41
2.1.4 Estaciones meteorológicas, agrometeorológicas e hidrológicas.....	41
2.1.5 Densidad de estaciones de una red	46
2.1.6 Precipitación media en una zona	46
2.2. Manejo hidrométrico	49
2.2.1 Caudal fluvial.....	49
2.2.2 Instrumentos de medición del caudal fluvial	50
2.2.3 Medición del caudal fluvial y aforo en ríos.....	52
2.2.4 Estaciones hidrométricas.....	55
2.2.5 Caudal específico	55
2.3 Estimación de datos faltantes.....	56
2.3.1 Método del promedio aritmético.....	57
2.3.2 Método de la regresión normalizada.....	57
2.3.3 Método de U.S. National Weather Bureau.....	57
2.3.4 Método de los promedios.....	58
2.3.5 Métodos de regresión simple y múltiple.....	59
2.4 Análisis de consistencia.....	61
2.5 Análisis Clúster	64
2.6 Uso de GIS para generación de mapas	66
2.7 Uso del software Minitab 18.....	68
Capítulo 3.....	71
Pluviometría de la cuenca del río Piura.....	71

3.1 Estaciones pluviométricas de la red.....	71
3.2 El radar de lluvias en la región Piura.....	75
3.3 Diagnóstico de las estaciones pluviométricas.....	76
3.3.1 Estación San Miguel.....	77
3.3.2 Estación Bernal.....	78
3.3.3 Estación Chusis.....	79
3.3.4 Estación Morropón	80
3.3.5 Estación Quebrada El Ingenio.....	81
3.3.6 Estación Quebrada La Pilca	82
3.3.7 Estación Quebrada El Carrizo	83
3.3.8 Estación Chulucanas.....	84
3.3.9 Estación San Pedro	85
3.3.10 Estación Hacienda Barrios	86
3.3.11 Estación Canchaque	87
3.3.12 Estación Hacienda Bigote	88
3.3.13 Estación Salitral.....	89
3.3.14 Estación Malacasí.....	90
3.3.15 Estación Virrey.....	91
3.3.16 Estación Puente Ñácara.....	92
3.3.17 Estación Tambogrande.....	93
3.3.18 Estación Miraflores	94
3.4 Recopilación de información	95
3.5 Análisis de la información pluviométrica	98
3.5.1 Análisis Clúster de las estaciones.....	101
3.5.2 Relleno de datos faltantes	104
3.5.3 Análisis de consistencia	116
3.6 Resultados del análisis pluviométrico	125
3.6.1 Mapas de isoyetas.....	127
3.6.2 Precipitación media en la cuenca Piura.....	132
3.6.3 Análisis de resultados	132

Capítulo 4.....	135
Hidrometría de la cuenca del río Piura	135
4.1 Estaciones hidrométricas de la red.....	135
4.2 Diagnóstico de las estaciones hidrométricas	138
4.2.1 Estación San Pedro	138
4.2.2 Estación Hacienda Barrios	139
4.2.3 Estación Salitral.....	140
4.2.4 Estación Puente Ñácara	141
4.2.5 Estación Tambogrande.....	142
4.2.6 Estación Presa Los Ejidos.....	143
4.3 Recopilación de información.....	144
4.4 Análisis de la información hidrométrica.....	146
4.4.1 Relleno de datos faltantes	148
4.4.2 Análisis de consistencia	151
4.5 Resultados del análisis hidrométrico.....	154
4.5.1 Base de datos anuales.....	156
4.5.2 Mapas de caudal específico.....	158
Conclusiones.....	163
Recomendaciones.....	165
Referencias bibliográficas	167
Apéndices	171
Apéndice A Ficha de evaluación de la estación pluviométrica San Miguel.....	173
Apéndice B Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Bernal.....	176
Apéndice C Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Chusis	178
Apéndice D Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Morropón	180
Apéndice E Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Qda. El Ingenio.....	183
Apéndice F Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Qda. La Pilca.....	185
Apéndice G Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Qda. La Carrizo	187
Apéndice H Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Chulucanas.....	189
Apéndice I Ficha de evaluación de la estación pluviométrica San Pedro	193

Apéndice J Ficha de evaluación de la estación hidrométrica San Pedro	196
Apéndice K Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Canchaque	199
Apéndice L Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Bigote	202
Apéndice M Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Salitral	205
Apéndice N Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Malacasí	208
Apéndice Ñ Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Virrey	212
Apéndice O Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Miraflores	215
Apéndice P Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Puente Ñácara	218
Apéndice Q Ficha de evaluación de la estación hidrométrica Puente Ñácara	220
Apéndice R Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Puente Tambogrande	225
Apéndice S Ficha de evaluación de la estación hidrométrica Puente Tambogrande	227

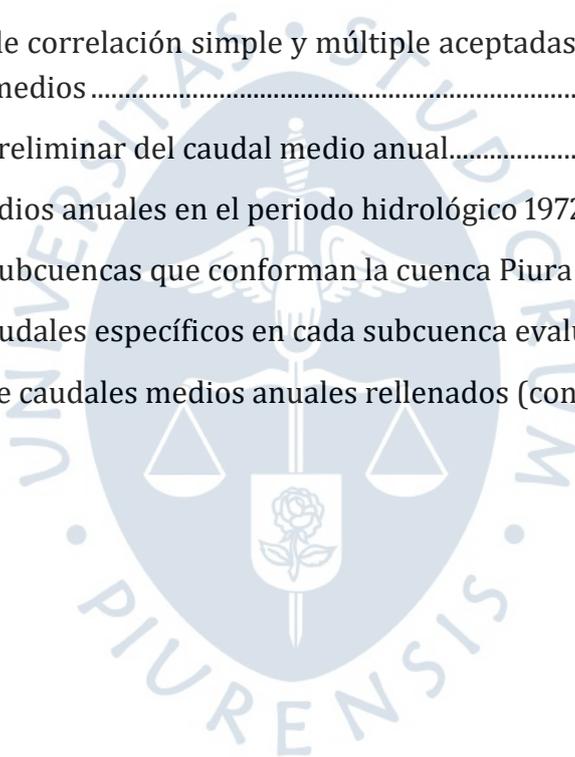


Lista de tablas

Tabla 1. Límites de la cuenca del río Piura	25
Tabla 2. Unidades Hidrográficas	26
Tabla 3. Clasificación de estaciones de observaciones meteorológicas, hidrológicas y agrometeorológicas según finalidad.....	42
Tabla 4. Horarios de observación	43
Tabla 5. Estaciones pluviométricas e hidrométricas automáticas	44
Tabla 6. Estaciones pluviométricas e hidrométricas convencionales.....	45
Tabla 7. Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie en km ² por estación)	46
Tabla 8. Formas para calcular la precipitación media en una cuenca	47
Tabla 9. Procedimientos para realizar aforos	54
Tabla 10. Calculo de las curvas doble masa acumulada.....	62
Tabla 11. Matriz de distancias para la aplicación del método Clúster.....	65
Tabla 12. Matriz de distancias luego de la elección del primer grupo de clústeres	65
Tabla 13. Estaciones pluviométricas activas de la cuenca Piura.....	73
Tabla 14. Condiciones actuales de la estación pluviométrica San Miguel.....	77
Tabla 15. Condiciones actuales de la estación pluviométrica Bernal.....	78
Tabla 16. Condiciones actuales de la estación pluviométrica Chusis.....	79
Tabla 17. Condiciones actuales de la estación pluviométrica Morropón.....	80
Tabla 18. Condiciones actuales de la estación pluviométrica Qda. El Ingenio	81
Tabla 19. Condiciones actuales de la estación pluviométrica Qda. La Pilca	82
Tabla 20. Condiciones actuales de la estación pluviométrica Qda. El carrizo.....	83
Tabla 21. Condiciones actuales de la estación pluviométrica Chulucanas.....	84
Tabla 22. Condiciones actuales de la estación pluviométrica San Pedro	85
Tabla 23. Condiciones actuales de la estación Hacienda Barrios.....	86

Tabla 24. Condiciones actuales de la estación Canchaque.....	87
Tabla 25. Condiciones actuales de la estación Hacienda Bigote	88
Tabla 26. Condiciones actuales de la estación Salitral	89
Tabla 27. Condiciones actuales de la estación Malacasí.....	90
Tabla 28. Condiciones actuales de la estación Virrey	91
Tabla 29. Condiciones actuales de la estación Puente Ñácara	92
Tabla 30. Condiciones actuales de la estación Tambogrande	93
Tabla 31. Condiciones actuales de la estación Miraflores.....	94
Tabla 32. Registro de precipitaciones mensuales faltantes.....	98
Tabla 33. Registro histórico de precipitaciones de las estaciones convencionales entre el periodo 1963 - 1991.....	99
Tabla 34. Registro histórico de precipitaciones de las estaciones convencionales y automáticas entre el periodo 1991 - 2020.....	100
Tabla 35. Coordenadas ubicación de las estaciones pluviométricas convencionales de la cuenca Piura	101
Tabla 36. Vector distancia estandarizado entre las estaciones pluviométricas convencionales	103
Tabla 37. Combinación sin repetición de los elementos del clúster 1 para realizar correlaciones múltiples.....	104
Tabla 38. Correlación múltiple realizada en el software MINITAB entre las estaciones San Miguel vs Chusis, Miraflores y Esperanza.....	106
Tabla 39. Ecuaciones de correlación múltiple aceptadas para el relleno de datos faltantes de precipitaciones	106
Tabla 40. Ecuaciones de correlación simple aceptadas para el relleno de datos faltantes	111
Tabla 41. Base datos preliminar de precipitación anual rellenada - A.....	114
Tabla 42. Base datos preliminar de precipitación anual rellenada - B.....	115
Tabla 43. Base datos de precipitación anual rellenada (consistente) - A	125
Tabla 44. Base datos de precipitación anual rellenada (consistente) - B.....	126
Tabla 45. Precipitación media en la cuenca Piura.....	132
Tabla 46. Estaciones hidrométricas del río Piura	135
Tabla 47. Ubicación de estaciones hidrométricas del río Piura.....	136
Tabla 48. Condiciones actuales de la estación hidrométrica San Pedro	138

Tabla 49. Condiciones actuales de la estación hidrométrica Hacienda Barrios.....	139
Tabla 50. Condiciones actuales de la estación hidrométrica Salitral.....	140
Tabla 51. Condiciones actuales de la estación hidrométrica Puente Ñácara	141
Tabla 52. Condiciones actuales de la estación hidrométrica Tambogrande.....	142
Tabla 53. Condiciones actuales de la estación hidrométrica Los Ejidos.....	143
Tabla 54. Información hidrométrica disponible.....	146
Tabla 55. Registro histórico de caudales de las estaciones convencionales (periodo 1972 – 2019) y registro de niveles de agua de las estaciones automáticas (periodo 2015-2019)	147
Tabla 56. Combinación sin repetición para realizar todas las posibles correlaciones simples y múltiples	148
Tabla 57. Ecuaciones de correlación simple y múltiple aceptadas para el relleno de datos faltantes de caudales medios	149
Tabla 58. Base datos preliminar del caudal medio anual.....	149
Tabla 59. Caudales medios anuales en el periodo hidrológico 1972-2018	155
Tabla 60. Área de las subcuencas que conforman la cuenca Piura	155
Tabla 61. Calculo de caudales específicos en cada subcuenca evaluada.....	156
Tabla 62. Base datos de caudales medios anuales rellenados (consistente).....	156



Lista de figuras

Figura 1. Subdivisión de la subcuenca hidrográfica Piura por el método Pfafstetter	27
Figura 2. Corriente El Niño.....	31
Figura 3. Anomalía de la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial, diferencia fase cálida y fría del ENOS	32
Figura 4. Diferentes conceptos en torno a El Niño y las lluvias en la costa peruana	33
Figura 5. Proceso de formación de la precipitación	35
Figura 6. Pluviómetro Estándar Fuente: National Weather Service.....	37
Figura 7. Pluviómetro tipo totalizador de montaña.....	37
Figura 8. Pluviógrafo y sus componentes	38
Figura 9. Pluviógrafo de Cubeta Basculante.....	39
Figura 10. Pluviógrafo balancín.....	39
Figura 11. Pluviógrafo RR -1.....	40
Figura 12. Pluviógrafo RR -122.....	40
Figura 13. Instalación de pluviómetro	41
Figura 14. Polígonos de Thiessen.....	48
Figura 15. Isoyetas en una cuenca de estudio	49
Figura 16. Mira limnimétrica en la estación hidrométrica Chulucanas y curva tirante versus caudal.....	50
Figura 17. Limnígrafos en estación hidrométrica Chulucanas y esquema de funcionamiento de un limnígrafos.....	51
Figura 18. Sensores de nivel de agua.....	52
Figura 19. Sección de control en un curso de agua	53
Figura 20. Mapa para el cálculo del caudal específico.....	56
Figura 21. Esquema representativo del método U.S. National Weather Bureau	58
Figura 22. Modelo de regresión simple	59

Figura 23. Tipos de curvas doble masa acumulada	61
Figura 24. Curvas doble masa acumulada.....	63
Figura 25. Dendograma de clasificación de clústeres.....	66
Figura 26. Esquema de la arquitectura del Arcis	67
Figura 27. Visualización principal del escritorio del software Arcis 10.5 para la creación de mapas temáticos	68
Figura 28. Visualización principal del escritorio del software Minitab 18 para el procesamiento de la información pluviométrica e hidrométrica.....	69
Figura 29. Componentes del sistema de alerta temprano de la cuenca del río Piura	71
Figura 30. Visitas de campo a las estaciones activas de la cuenca del río Piura	74
Figura 31. Estaciones pluviométricas activas de la cuenca del Piura.....	74
Figura 32. Esquema de funcionamiento de un radar de lluvias.....	75
Figura 33. Estaciones pluviométricas convencionales de la Cuenca Chira y Piura	96
Figura 34. Estaciones pluviométricas automáticas de la Cuenca Chira y Piura	97
Figura 35. Formación de 3 clústeres del mismo nivel entre el grupo de 18 estaciones convencionales de la cuenca Piura.	102
Figura 36. Curvas doble masa acumulada para el clúster 01	116
Figura 37. Curvas doble masa acumulada para el clúster 01 – PPA para las estaciones: Bernal, San Miguel y Miraflores.....	117
Figura 38. Curvas doble masa acumulada para el clúster 01 – corrección de estación Chusis	117
Figura 39. Curvas doble masa acumulada corregida para el clúster 01.....	118
Figura 40. Distribución de precipitaciones acumuladas anuales consistente para el clúster 01.....	118
Figura 41. Curvas doble masa acumulada para el clúster 02	119
Figura 42. Curvas doble masa acumulada para el clúster 02 – PPA para las estaciones: Chulucanas, San Pedro y Morropón	119
Figura 43. Curvas doble masa acumulada para el clúster 02 – corrección de estación Virrey	120
Figura 44. Curva doble masa acumulada corregida para la estación Virrey.....	120
Figura 45. Curvas doble masa acumulada para el clúster 02 – corrección de estación Malacasí.....	121
Figura 46. Curvas doble masa acumulada corregida para la estación Malacasí	121

Figura 47. Curvas doble masa acumulada para el clúster 02 – corrección de estación Hacienda Bigote	122
Figura 48. Curvas doble masa acumulada corregida para la estación Hacienda Bigote..	122
Figura 49. Curvas doble masa acumulada corregida para el clúster 02.....	123
Figura 50. Distribución de precipitaciones acumuladas anuales consistente para el clúster 02	123
Figura 51. Curvas doble masa acumulada para el clúster 03.....	124
Figura 52. Distribución de precipitaciones acumuladas anuales consistente para el clúster 03	124
Figura 53. Mapa de isoyetas de la precipitación promedio multianual para el periodo hidrológico 1972-2019 considerando los FEN	127
Figura 54. Mapa de isoyetas de la precipitación promedio multianual para el periodo hidrológico 1972-2019 sin considerando los FEN	128
Figura 55. Mapa de isoyetas de la precipitación acumulada anual para el periodo hidrológico 1982-1983 (FEN).....	129
Figura 56. Mapa de isoyetas de la precipitación acumulada anual para el periodo hidrológico 1997-1998 (FEN).....	130
Figura 57. Mapa de isoyetas de la precipitación acumulada anual para el periodo hidrológico 2016-2017 (FEN).....	131
Figura 58. Visitas de campo a las estaciones hidrométricas ubicadas en el cauce del río Piura	136
Figura 59. Mapa de ubicación de las estaciones hidrométricas convencionales y automáticas activas en el río Piura.....	137
Figura 60. Mapa estaciones hidrométricas convencionales operadas por el PECHP	145
Figura 61. Distribución inicial de caudales medios anuales.....	151
Figura 62. Curvas doble masa acumulada para el PQA inicial.....	152
Figura 63. Curvas doble masa acumulada - PQA para la estación Presa Los Ejidos	152
Figura 64. Curvas doble masa acumulada – corrección de la estación hidrométrica Tamborgande.....	153
Figura 65. Curvas doble masa acumulada – corrección de la estación hidrométrica Puente Ñácara	153
Figura 66. Curvas doble masa acumulada corregidas.....	154
Figura 67. Distribución de caudales medios anuales consistentes	154

Figura 68. Mapa de caudales específicos en el periodo 1972 – 2018 (incluyendo años FEN)	158
Figura 69. Mapa de caudales específicos en el periodo 1972 – 2018 (sin incluir años FEN)	159
Figura 70. Mapa de caudales específicos para el periodo 1982-1983 (FEN)	160
Figura 71. Mapa de caudales específicos para el periodo 1997-1998 (FEN)	161
Figura 72. Mapa de caudales específicos para el periodo 2016-2017 (FEN)	162



Introducción

La cuenca hidrográfica del río Piura que posee una extensión de 10,872 km² y se ubica en la costa norte del Perú, se encuentra influenciada por anomalías climáticas como el Fenómeno El Niño; evento climático que se manifiesta entre los meses de diciembre a abril, producto de anomalías como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). Los eventos históricos que la población recuerda y de los que aún no se recupera, se suscitaron en los años hidrológicos 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017, por dicho motivo, urge plantear estrategias de contención para futuros eventos de igual o mayor magnitud.

Si se contara con una herramienta de predicción de avenidas en tiempo real que permita identificar las situaciones que puedan afectar negativamente a la población, se podría obtener soluciones rápidas para salvaguardar el bienestar de las personas, además de optimizar el manejo del recurso hídrico de la región. Por dicho motivo, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura se encuentra desarrollando el proyecto principal 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”, financiada por el Proyecto Concytec - Banco Mundial “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica” 8682-PE, a través de su unidad ejecutora ProCiencia, contrato N° 060-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV y la Universidad de Piura. El 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 pluviométrica e hidrométrica empleada en la predicción.

La presente tesis forma parte del proyecto principal, cuyos objetivos han sido realizar la visita y diagnóstico de toda la red hidrometeorológica de la cuenca Piura, identificar las entidades responsables del manejo de la red (SENAMHI, PECHP y ANA), recolectar información pluviométrica e hidrométrica histórica para evaluarla con ayuda de los métodos hidrológicos y conformar una base de datos consistente y confiable, cuyos resultados se representarían gráficamente con la elaboración de mapas temáticos de isoyetas y caudales efectivos en la cuenca del río Piura.

En el capítulo 1 se describirá los aspectos generales de la cuenca Piura, que incluyen características de la red hidrográfica, identificación de principales subcuencas y

ríos aportantes; describiendo la importancia y uso del agua en la región Piura, la presencia del Fenómeno el Niño y las entidades oficiales encargadas del monitoreo del recurso hídrico de la región.

En el capítulo 2 se desarrollará el marco teórico relacionado al manejo pluviométrico, que incluye los conceptos de la precipitación, instrumentos de medición de la precipitación, tipos y ubicación de estaciones pluviométricas; posteriormente, se describirá el manejo hidrométrico, desarrollando los conceptos del caudal fluvial, instrumentos y técnicas de medición de caudales, tipos y ubicación de estaciones hidrométricas. Finalmente, en el capítulo se presentará las técnicas para la estimación de datos faltantes, el análisis de consistencia y de clúster, así como, el uso del software ArcGis 10.5 para la generación de mapas temáticos y el uso del software Minitab 18 para el análisis de regresión simple y múltiple de la información pluviométrica e hidrométrica recolectada.

El capítulo 3 corresponde a la pluviometría de la cuenca del río Piura, en donde se realizará el diagnóstico de la red pluviométrica y la identificación de las estaciones activas, así como, la recopilación y procesamiento de los datos históricos de precipitaciones, el análisis de clúster y relleno de datos faltantes. Posteriormente, realizar el análisis de consistencia para formar una base de datos confiable, cuyos resultados se expresan gráficamente en los mapas temáticos de isoyetas.

El capítulo 4 se expone la hidrometría de la cuenca del río Piura, en donde se realizará el diagnóstico de la red hidrométrica y la identificación de las estaciones activas, así como, la recopilación y procesamiento de los datos históricos de caudales para el relleno de datos faltantes. Posteriormente, se realizará el análisis de consistencia para formar una base de datos confiable, cuyos resultados se expresan gráficamente en los mapas temáticos de caudales efectivos.

Finalmente, se presentará las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado, presentando en los apéndices las fichas de evaluación de campo de todas las estaciones, tanto pluviométricas como hidrométricas visitadas.

Capítulo 1

Aspectos generales

1.1 La cuenca Piura

1.1.1 Ubicación y descripción geográfica

La cuenca del río Piura se encuentra ubicada en el departamento de Piura y la costa norte del Perú, entre las coordenadas geográficas 4°41' y 5°49' de latitud sur y los meridianos 79°26' y 81°5' de longitud oeste, con alturas que van desde los 0 - 3668 m s.n.m. y tiene una extensión de 10,872 km². ANA (2015)

Se ha estimado que el perímetro total de la cuenca es de 655.4 km, con una altitud media de 464.9 m s.n.m; presenta una longitud del cauce principal de 243 km con una pendiente promedio de 0.8% y descargas que se presentan solo en los periodos lluviosos.

1.1.2 Demarcación hidrográfica

La cuenca del río Piura, cuya vertiente es el océano Pacífico, limita con las cuencas hidrográficas presentadas en la Tabla 1 y Figura 1.

Tabla 1. Límites de la cuenca del río Piura

Por el Norte	•Cuenca Chira
Por el Este	•Cuenca Chamaya
Por el Sur	•Cuenca Cascajal e Intercuenca 13779
Por el Oeste	•Intercuenca 1379

1.1.3 Principales unidades hidrográficas y zonificación

La evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Piura realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el 2015, determinó mediante la aplicación del método Pfafstetter que la cuenca Piura se encuentra dividida en 9 subcuencas. El objetivo de esta subdivisión es facilitar el análisis y caracterización hidrológica, ya que, si se desea implementar una metodología de administración eficiente del recurso hídrico de una unidad hidrográfica de importancia, como es el caso de la cuenca Piura; el método Pfafstetter ofrece la organización territorial de manera coherente y ordenada.

El Método Pfafstetter, utiliza dígitos del uno al nueve para codificar las unidades de drenaje, esto quiere decir que el número máximo de subunidades de drenaje en que se puede dividir una cuenca hidrográfica mayor, es nueve. El método en mención, utiliza como fuente de información la superficie de las unidades de drenaje y la ubicación dentro del contexto hidrográfico en el que se encuentra, determinando dentro de una unidad de drenaje mayor, un flujo principal y cuatro tributarios, cuyas áreas de drenaje son las mayores dentro de la unidad hidrográfica, quedando el área restante para dar lugar a cinco intercuenas.

De acuerdo a la metodología aplicada por el ANA, a continuación, se presenta la Tabla 2, con la subdivisión hidrográfica.

Tabla 2. Unidades Hidrográficas

Cuenca Piura		
Nombre de la subcuenca	Nombre del río principal	Área (km²)
Alto Piura	Río Canchaque - Huarmaca	1152.1
Medio Alto Piura	Tramo del río Piura	505.8
Unidad Geográfica 13784	Ausencia de río principal	913.5
Medio Piura	Tramo del río Piura	73.3
Bigote	Río Bigote	674.9
Corrales	Río Corrales	586.6
Medio Bajo Piura	Tramo del Río Piura	1789.1
Bajo Piura	Tramo del Río Piura	4721.5
San Francisco	Q. San Francisco	455.4

Fuente: ANA (2015)

Los principales aportes del río Piura; que en su mayoría se forman de manera natural desde la subcuenca Alto Piura hasta la subcuenca Medio Bajo Piura (ver Figura 1); están conformados por los ríos: Huarmaca, Pusalca, Bigote, Seco, Corrales, Los Gallegos, San Jorge, Yapatera, Sancor, quebrada Miraflores y la quebrada San Francisco. Otro de los aportes proviene de la cuenca Chira, por medio del canal de derivación Daniel Escobar que constituye el sistema hidráulico Chira-Piura y finalmente, el aporte mediante el aliviadero Maray que forma parte del sistema hidráulico San Lorenzo que funciona como descarga de los excedentes de la presa, especialmente en épocas lluviosas.

En la Figura 1 se observa la división de la cuenca Piura según el método Pfafstetter, donde se aprecia que las unidades hidrográficas Bajo Piura y Medio Piura ocupan la mayor y menor extensión territorial, respectivamente.

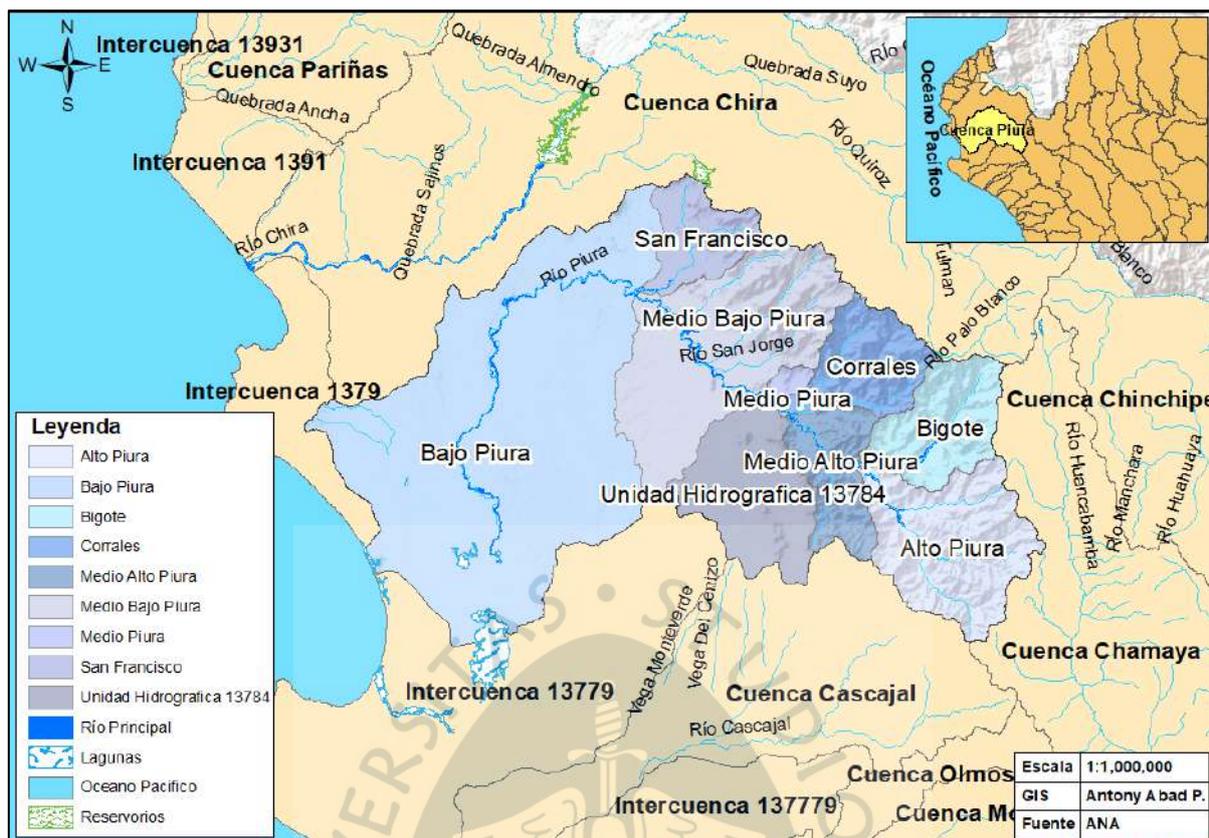


Figura 1. Subdivisión de la subcuenca hidrográfica Piura por el método Pfafstetter

Por otra parte, según el Plan de defensas ribereñas y encauzamiento de ríos, realizado por la Autoridad Autónoma Cuenca Hidrográfica Chira – Piura, comité interinstitucional, la cuenca Piura también se puede dividir o zonificar de la siguiente manera: AACHCP (2007)

- Zona Baja, que se extiende desde el nivel del mar hasta los 50 m s.n.m y que es una zona caracterizada por presentar un clima cálido y seco, con relieves planos, así como, la presencia de desiertos con bosques secos.
- Zona Media, que se extiende entre los 50 a 350 m s.n.m y que es una zona caracterizada por presentar un clima seco, con relieves ondulados y bosques secos.
- Cuenca Alta, que se extiende entre los 350 a 3650 m s.n.m y que es una zona caracterizada por presentar un clima que varía de templado a sub-húmedo, con un relieve escarpado y abundante vegetación arbustiva.

1.2 Descripción de las subcuencas

1.2.1 Subcuenca Bajo Piura

Abarca el 43.4% de la cuenca Piura, con un área de 4721.5 km² y una longitud del cauce más largo de 145.2 km. Está comprendida por un tramo del río Piura y la parte más baja de la cuenca sobre los 0 m s.n.m. Con una altitud media de 92 m s.n.m. y una pendiente del 1%. ANA (2015)

Los principales centros urbanos que se ubican en la subcuenca son: Castilla, Piura, Catacaos, Sechura y Bellavista, asimismo se encuentran las comunidades campesinas de San Martín de Sechura, San Juan Bautista de Catacaos, Señor de los Milagros de Cruz, Castilla y Señor Cautivo de progreso Alto.

Al corresponder a la parte baja de la cuenca, el sector ofrece buenas condiciones para el desarrollo productivo de limón, mango, arroz, tamarindo, frijol, entre otros. Por otra parte, presenta los siguientes pisos ecológicos: desierto desecado - Premontano Tropical (dd - PT), desierto súper árido - Premontano Tropical (dS - PT), desierto súper árido - Tropical (dS - T), desierto prerárido - Premontano Tropical (dp - PT), matorral desértico - Tropical (md - T).

1.2.2 Subcuenca San Francisco

Abarca el 4.2% de la cuenca Piura, con un área de 455.4 km² y una longitud del cauce más largo de 35 km. Está comprendida por la quebrada San Francisco que y se extiende sobre los 50 m s.n.m., con una altitud media de 329 m s.n.m. y una pendiente de 13% (ANA, Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Piura, 2015).

A lo largo de la cuenca existen centros poblados pequeños, tales como: Mariano Melgar y Tunal Zapayal. La cuenca San Francisco presenta los siguientes pisos ecológicos: matorral desértico - Premontano Tropical / matorral desértico - Tropical y monte espinoso - Tropical.

1.2.3 Subcuenca Medio Bajo Piura

Abarca el 16.5% de la cuenca Piura, con un área de 1789.1 km² y una longitud del cauce más largo de 59 km. Está comprendida por un tramo del río Piura y un conjunto de ríos y quebradas de la parte media. Se extiende sobre los 50 m s.n.m., con una altitud media de 529 m s.n.m. y una pendiente del 15 %. ANA (2015)

En este territorio se puede ubicar el centro urbano de Chulucanas, asimismo, se encuentran las comunidades campesinas de: Túpac Amaru de Parihuana, Castro Pozo de Geraldo, José Ignacio Távara Pasapera, Geraldo Lúcumo, 24 de junio, Las Cuevas, San José, Carlos Augusto Rivera del río Seco, Misquis, San Andrés de Guayaquil, Simiris, Abad Berrú Gonzaga, José Carlos Mariátegui y Ángela Mari Azeta.

El sector ofrece la siguiente producción agrícola: papayo, tuna, maíz amarillo duro, tamarindo, cocotero, café, cacao, plátano, gramalote, maíz amiláceo, trigo, ají páprika, yuca, frijoles, camote, algodón. Asimismo, presenta los siguientes pisos ecológicos: matorral desértico - Premontano Tropical / matorral desértico - Tropical y monte espinoso - Tropical, monte espinoso - Premontano Tropical, bosque seco - Premontano Tropical, bosque seco - Montano Bajo Tropical y bosque húmedo - Montano Bajo Tropical.

1.2.4 Subcuenca Medio Piura

Abarca el 0.7% de la cuenca Piura, con un área de 73.3 km² y una longitud del cauce más largo de 10 km. Está comprendida por un tramo del río Piura, con una altitud media de 221 m s.n.m. y una pendiente del 13 %. ANA (2015)

1.2.5 Subcuenca Corrales

Abarca el 5.4% de la cuenca Piura, con un área de 586.6 km² y una longitud del cauce más largo de 39 km. Está comprendida por el río Corrales y recibe los aportes de las quebradas Chalaco y Las Gallegas, extendiéndose sobre los 150 m s.n.m., con una altitud media de 1387 m s.n.m. y pendiente de 40%. ANA (2015)

Se puede ubicar a los siguientes centros poblados: Morropón, Yamango, Chalaco, Paltashaco y Santo Domingo. Esta subcuenca presenta los pisos ecológicos: bosque seco - Premontano Tropical, matorral desértico - Premontano Tropical / matorral desértico - Tropical y monte espinoso - Tropical, bosque seco - Montano Bajo Tropical, monte espinoso - Premontano Tropical, bosque húmedo - Montano Bajo Tropical y bosque muy húmedo - Montano Bajo Tropical.

1.2.6 Subcuenca Unidad Hidrográfica 13784

La subcuenca Unidad Hidrográfica 13784 se encuentra en la margen izquierda, ocupa una superficie de 913.5 km², representa el 8.4% del área total de la cuenca y se extiende sobre los 150 m s.n.m., una altitud media de 202 m s.n.m., la cuenca presenta una pendiente de 4%. La principal fuente de agua es de origen subterráneo y se utiliza principalmente para uso agrícola. ANA (2015)

Este sector ofrece pobres condiciones para el desarrollo productivo debido a la escasez de agua, salvo el sector comprendido en el borde del río Piura. Presenta el piso ecológico matorral desértico - Tropical (md - T).

1.2.7 Subcuenca Medio Alto Piura

Abarca el 4.7% de la cuenca Piura, con un área de 505.8 km² y una longitud del cauce más largo de 29 km. Está comprendida por un tramo del río Piura y el río Seco por la margen izquierda, presentando una altitud media de 417 m s.n.m. y pendiente del 27%

Se puede ubicar al centro poblado de Buenos Aires, que ofrece el desarrollo agrícola a ambas márgenes del río Piura, además, presenta los siguientes pisos ecológicos: monte espinoso - Tropical, matorral desértico y Premontano Tropical / matorral desértico - Tropical. ANA (2015).

1.2.8 Subcuenca Bigote

Abarca el 6.2% de la cuenca Piura, con un área de 674.9 km² y una longitud del cauce más largo de 38 km. Está comprendida por el río Bigote el cual recibe los aportes de las quebradas Singocate y San Lorenzo, además, presenta los mayores picos

altitudinales de la cuenca, con una altitud media de 1295 m s.n.m. y una pendiente de 38%. ANA (2015)

Los principales centros poblados que se pueden ubicar son: San Juan de Bigote y Tunal, además, el recurso hídrico ha hecho posible el desarrollo agrícola a ambas márgenes del río Bigote, presentando suelos del tipo: bosque seco - Montano Bajo Tropical, matorral desértico - Premontano Tropical / matorral desértico - Tropical y monte espinoso - Tropical, monte espinoso - Premontano Tropical, bosque seco - Premontano Tropical y bosque muy húmedo - Montano Bajo Tropical. ANA (2015)

1.2.9 Subcuenca Alto Piura

Abarca el 10.6% de la cuenca Piura, con un área de 1152.1 km² y una longitud del cauce más largo de 29 km. Se extiende sobre los 200 m s.n.m., con una altitud media de 1164 m s.n.m. y una pendiente de 39%.

En este territorio se puede ubicar los centros poblados como: Salitral, Canchaque, Huarmaca y San Miguel del Faique. El recurso hídrico ha potenciado la actividad agrícola en la parte baja del río Canchaque-Huarmaca, donde se ofrecen las condiciones para el desarrollo productivo de: maracuyás, palto, lúcuma, café, granadilla, maíz amiláceo, arveja, pasto elefante, frijol, ajo, trigo, maíz amarillo duro, cacao, mamey, pasto elefante, caña de azúcar, naranja. Asimismo, presenta los siguientes pisos ecológicos: bosque seco - Montano Bajo Tropical, matorral desértico - Premontano Tropical / matorral desértico - Tropical y monte espinoso - Tropical, monte espinoso - Premontano Tropical, bosque seco - Premontano Tropical y bosque muy húmedo - Montano Bajo Tropical. ANA (2015)

1.3 Fenómeno El Niño

En el presente ítem se describirá la historia, evolución y definiciones del fenómeno El Niño, así como también sus variaciones, cuyo objetivo es entender el evento climático:

1.3.1 Corriente El Niño

Son aguas cálidas que van en dirección de norte a sur y que llegan a las costas ecuatorianas y peruanas aproximadamente desde el mes de diciembre, alterando la pesca local. Fue nombrada así por los pescadores de Paita y hacia 1890 fue reconocida por la Sociedad Geográfica de Lima.

Cuando se menciona “El Niño”, se está haciendo referencia a la corriente El Niño o a eventos producidos por esta corriente, como la lluvia. A continuación, en la Figura 2 se presenta el comportamiento de las corrientes cálidas (rojo), frías (celeste) y los vientos alisios (verde).

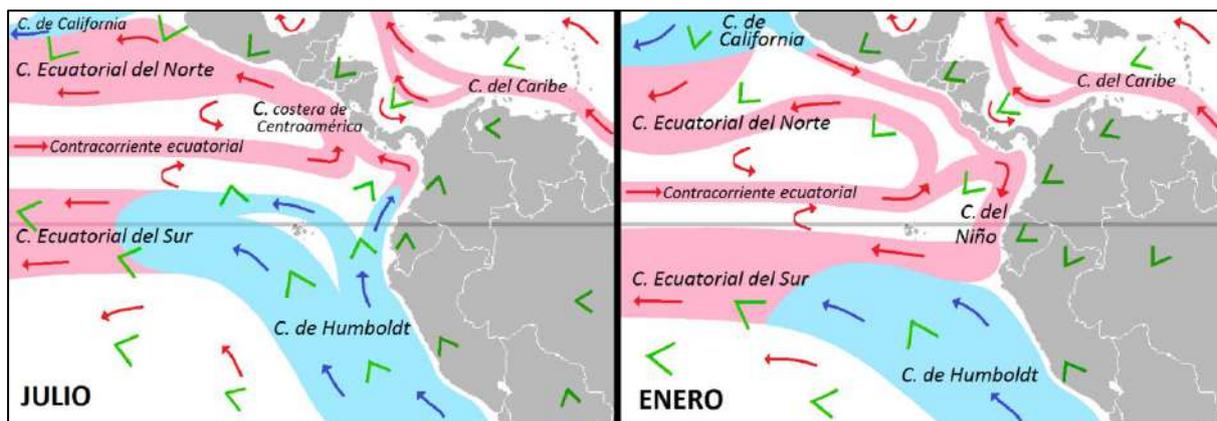


Figura 2. Corriente El Niño

Fuente: Farías (2020)

Durante el invierno austral, que está representado al lado izquierdo de la figura, se observa que la corriente fría de Humboldt, que viene de sur a norte se redirecciona en el Ecuador hacia el oeste y parte continua hacia el norte, para luego colisionar con las corrientes cálidas. Por otro lado, para el verano austral, que se presenta en el lado derecho de la figura, se observa la confluencia de la corriente cálida del Niño, que viene del norte hacia el sur, con la corriente fría de Humboldt, colisionan al sur de la línea ecuatorial y ambas se redireccionan hacia el oeste, lo que implica un cambio climático en las costas ecuatorianas y peruanas.

1.3.2 Fenómeno El Niño (FEN)

Se denomina Fenómeno cuando los eventos producidos por la Corriente El Niño se dan con gran intensidad. En el año 1983 se acuñó este término debido al evento extraordinario, inusual o anómalo que sucedió en esa época, posteriormente, este fenómeno se presentó en el año 1998, afectando el territorio peruano. El término Fenómeno El Niño (FEN) es general y se utiliza para referirse a un ENSO o un Niño Costero.

- El Fenómeno El Niño: Es la fase cálida del ENSO.
- El Fenómeno La Niña: Es la fase fría del ENSO.

1.3.3 Oscilación Sur

Esta referida a la alteración recurrente (aumento y disminución) de la presión atmosférica a lo largo del Pacífico Sur. Estudiada desde fines del s. XIX y nombrada así en 1928.

1.3.4 El Niño-Oscilación Sur (ENOS o ENSO)

Es la relación entre El Niño y la Oscilación Sur, fue establecida en la década de 1960. Es estudiado por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) de los Estados Unidos.

El ENOS es un fenómeno climático de interacción inestable entre el océano Pacífico y la atmósfera, que altera la temperatura superficial del mar y la presión atmosférica. Sus efectos climáticos repercuten en diferentes zonas del planeta (teleconexiones). El ENOS influye en todo el planeta sobre todo en el Pacífico.

Históricamente, la presencia de El Niño – Oscilación Sur, ENOS o Niño Global, está asociada a anomalías climáticas en el Pacífico que generan años muy lluviosos en las costas sudamericanas, especialmente en Perú y Ecuador. En la Figura 3, se presenta la comparación de anomalías de temperatura entre el evento Niño y Niña.

Se presenta tres fases:

- Neutra: Asia y Oceanía húmedos y América seca.
- El Niño: Asia y Oceanía secos y América húmeda. Opuesta a la fase Neutra.
- La Niña: Asia y Oceanía más húmedos y América más seca.

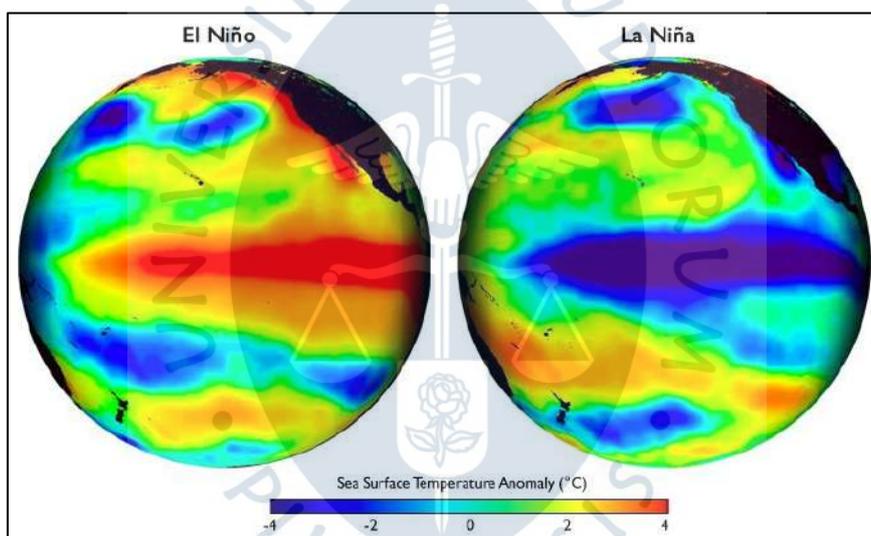


Figura 3. Anomalía de la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial, diferencia fase cálida y fría del ENOS

Fuente: Fiondella (2014)

1.3.5 El Niño Costero

En los últimos años se ha detectado una anomalía climática local diferente al ENSO, su estudio se está realizando en Perú y aún es incipiente. A esta nueva anomalía se le denomina El Niño Costero desde el año 2012.

La presencia más reciente de El Niño Costero fue en el año 2017, sus características se asocian a tormentas cortas pero muy intensas y la lluvia acumulada es menor que un FEN similar y solo influye en las costas del Perú y Ecuador. También existe una anomalía llamada la Niña Costera. Finalmente, en la Figura 4 se resume cada término de la Corriente El Niño.



Figura 4. Diferentes conceptos en torno a El Niño y las lluvias en la costa peruana

Fuente: Farías (2020)

1.4 Entidades encargadas del monitoreo del recurso hídrico de la región

1.4.1 Autoridad Nacional del Agua (ANA)

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) de acuerdo con la Ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos es un organismo adscrito al Ministerio de Agricultura y como ente rector, es la máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, el cual es parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiente. ANA (2020)

El ANA se creó el 13 de marzo del 2008 mediante Decreto Legislativo N°997, cuyo fin primordial es proteger, administrar conservar y aprovechar los recursos hídricos de las diferentes cuencas de manera sostenible, promoviendo a su vez la cultura del agua. Sus funciones son:

- Administrar y vigilar las fuentes naturales de agua.
- Autorizar volúmenes de agua que utilizan y/o distribuyen los prestadores de servicios de agua (EPS y Juntas de regantes).
- Evaluar instrumentos ambientales.
- Otorgar derechos de uso de agua, autorizaciones de vertimiento y reúso de agua residual tratada.
- Autorizar obras en fuentes naturales de agua.
- Conducir el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos.

A través de las Autoridades Administrativas de Agua, se aprueban estudios y obras de aprovechamiento de agua, se ejecutan obras, se otorga derechos de uso de agua, se vigila el uso de las fuentes de agua, se supervisa el cumplimiento del pago de retribución económica, además de ejecutar el manejo de los recursos hídricos a nivel de cuencas de gestión.

1.4.2 Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

Es un organismo público ejecutor adscrito al Ministerio del Ambiente, creado por D.L.Nº 17532 del 25 de Marzo de 1969, tiene por finalidad generar y proveer información; conocimiento meteorológico, climático de manera confiable e hidrológico; difundir información confiable y de calidad, oportuna y accesible en beneficio de la sociedad peruana. EL SENAMHI opera y mantiene una red nacional de más de 900 estaciones meteorológicas e hidrológicas a lo largo del Perú en conformidad con las normas técnicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). SENAMHI (2020)

1.4.3 Proyecto Especial Chira Piura (PECHP Piura)

El Proyecto Especial Chira Piura (PECHP) es un órgano desconcentrado de ejecución del Gobierno Regional Piura, creado el 01 de septiembre de 1970, constituye una Unidad Ejecutora que cuenta con autonomía económica, técnica financiera y administrativa, cuyo ámbito de jurisdicción son las cuencas Chira y Piura. PECHP (2020)

El PECHP, es el operador de la infraestructura hidráulica del sector hidráulico mayor Chira Piura - Clase A, gracias a la autorización del ANA mediante Resolución Jefatural N° 562-2013-ANA, con lo cual se le otorga las facultades para administrar el almacenamiento de los recursos hídricos existentes, riego y distribución, así como el mantenimiento de la infraestructura hidráulica principal construida y rehabilitada de los Valles del Chira y Piura.

El PECHP se encarga de monitorear, operar y regular el agua proveniente del sistema hidráulico de los ríos Chira y Piura que abastece 150 000 hectáreas de cultivos, mediante la captación, derivación y regulación en el reservorio Poechos, presas Ejidos y Sullana, Además, abastece de agua potable a las ciudades de Piura, Sullana, Paita y Talara a través de la EPS GRAU S.A.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Manejo pluviométrico

2.1.1 La precipitación

La precipitación es cualquier forma de agua que cae de la atmósfera y se presenta en forma de lluvia, nieve, rocío o neblina. Es la principal fuente de agua que alimenta la superficie terrestre y su medida es uno de los puntos fundamentales de estudio concerniente al control y uso del recurso hídrico. Gomez (2009)

2.1.1.1. Formación de la precipitación. La formación de la precipitación inicia con el vapor de agua que asciende a la atmósfera, hasta que empieza a enfriarse, condensándose y pasando al estado líquido, lo que da forma a las nubes, los cristales de hielo o la neblina. Para que este proceso se realice, se requiere de núcleos de condensación que unen a su alrededor todas las moléculas de agua, cuyos tamaños pueden variar desde 0.1 hasta 10 μm de diámetro, llegando a un punto que caen a la superficie por efecto de la gravedad. Si la velocidad de caída de las gotas de agua es superior a los 3 m/s, estas aumentan su peso provocando lluvia, y a medida que las gotas incrementan su peso se hace mayor la velocidad de caída, por lo que, la lluvia se intensifica llegando a presentarse como una tormenta. En la Figura 5 se presenta el ciclo de formación de la precipitación. Weimar & Cahuana (2009)

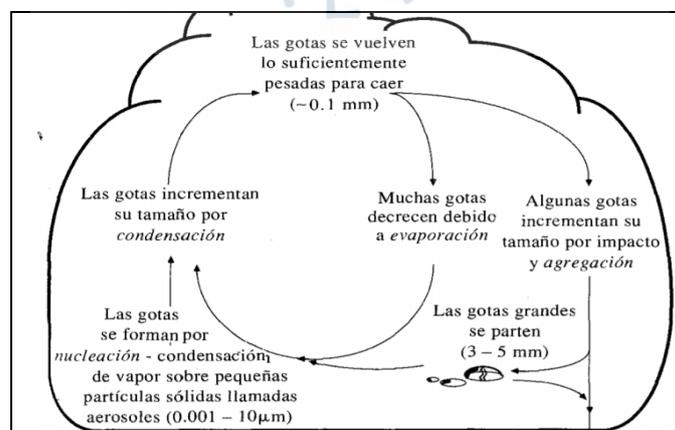


Figura 5. Proceso de formación de la precipitación

Fuente: Chow, Maidment, & Mays (1994)

2.1.1.2. Tipos de precipitación. Existen diversos factores que se encargan del levantamiento del aire para que se enfríe a gran escala y se produzca la lluvia; de acuerdo a estos factores se puede clasificar en 3 tipos la precipitación: Weimar & Cahuana (2009)

- **Precipitación ciclónica:** Se presenta cuando se encuentran dos masas de aire, una fría y otra caliente que convergen en zonas de baja presión. Las nubes más calientes son impulsadas a la parte alta en donde se produce condensación y la precipitación. La precipitación ciclónica se puede subclasificar en: frontal, no frontal, de frente cálido y de frente frío.
- **Precipitación convectiva:** Al ser el aire cálido menos pesado que el aire que circula por la atmosfera, este tiende a elevarse, llegando a un punto donde se empieza a enfriar hasta la formación de nubes o condensación, dando origen a la lluvia.
- **Precipitación orográfica:** El viento empuja a las partes más altas de las montañas el vapor de agua que se forma en la superficie de agua, en donde, se empiezan a integrar las nubes, ascendiendo a gran altura, hasta que se den las condiciones para la condensación y lluvia.

2.1.2 Medición de la precipitación

La cantidad de precipitación que cae hacia el suelo durante un periodo de lluvias, en un tiempo determinado, se puede expresar en términos de la altura de agua que se alcanzaría en una superficie horizontal. La medición de la precipitación se realiza a través de instrumentos que constan de un recipiente cilíndrico que recoge el agua de lluvia en la parte superior, resaltando, la importancia de la ubicación de los instrumentos de medición y la forma de captación de la precipitación para evitar pérdidas por salpicadura, viento o evaporación. OMM (2011)

Dentro del campo de medición de la precipitación se tiene un instrumento fundamental que es el pluviómetro, del cual existe diferentes variedades, clasificándose en dos grupos:

- Medidores sin registro, llamados pluviómetros.
- Medidores con registro, llamados pluviógrafos.

En los siguientes acápites se describirán los principales tipos de instrumentos de medición de la lluvia.

2.1.2.1. Pluviómetro convencional. Un pluviómetro convencional es un recipiente cilíndrico de aproximadamente 20 cm de diámetro en la parte de la captación, con una altura de 60 cm. Está conformado por un embudo receptor que se comunica con una probeta graduada que mide la altura de agua (hp), cuya sección circular es 10 veces menor a la tapa receptora (ver Figura 6). Esto permite realizar mediciones con una aproximación hasta decimos de milímetros.

Generalmente las medidas se realizan tres veces al día en los horarios de 7:00 am, 01:00 pm y 07:00 pm, y cada 24 horas se reinician las lecturas.

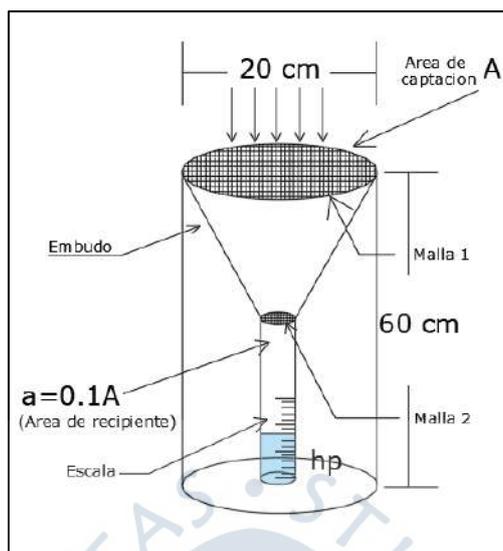


Figura 6. Pluviómetro Estándar
Fuente: National Weather Service

2.1.2.2. Pluviómetros totalizadores. Es una clase de pluviómetro que se suele ubicar en zonas de difícil acceso porque se visitan con escasa frecuencia (una vez al año). Uno de los modelos estándar de totalizadores, está conformado por un depósito de zinc, con una capacidad de almacenamiento de 150 litros y un área de recepción de 200 cm², para recoger precipitaciones hasta un máximo de 7500 mm (ver Figura 7).

En el interior del instrumento se debe colocar un aceite líquido de vaselina o parafina, para que cuando flote sobre el agua, evite la evaporación; además, se debe colocar cloruro de calcio anhídrido en caso sea necesario fundir la nieve.

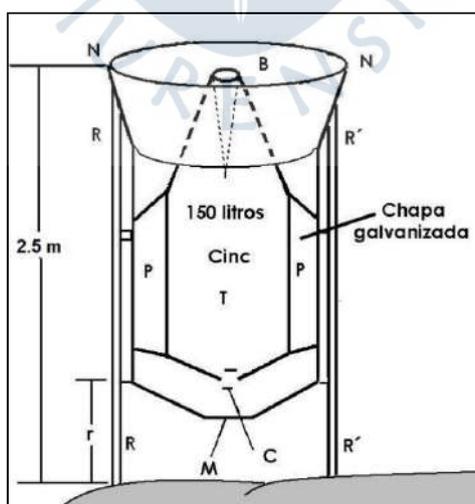


Figura 7. Pluviómetro tipo totalizador de montaña

Fuente: Weimar & Cahuana (2009)

2.1.2.3. Pluviógrafo convencional. Los pluviógrafos convencionales tienen la finalidad de registrar la precipitación automática y continuamente. El instrumento está conformado por un tambor que gira a velocidad constante, al que se le adhiere un papel graduado, en donde, un lapicero marcara en intervalos de tiempo pequeños el incremento del nivel de agua recolectado, dicho lapicero, es accionado mediante un flotador con plumillas que se ubican en el recipiente de captación del agua, el mismo que tiene una capacidad de almacenar 10 mm de lluvia (ver Figura 8). Cuando se alcanza la capacidad máxima se vacía automáticamente mediante un sistema de sifón.

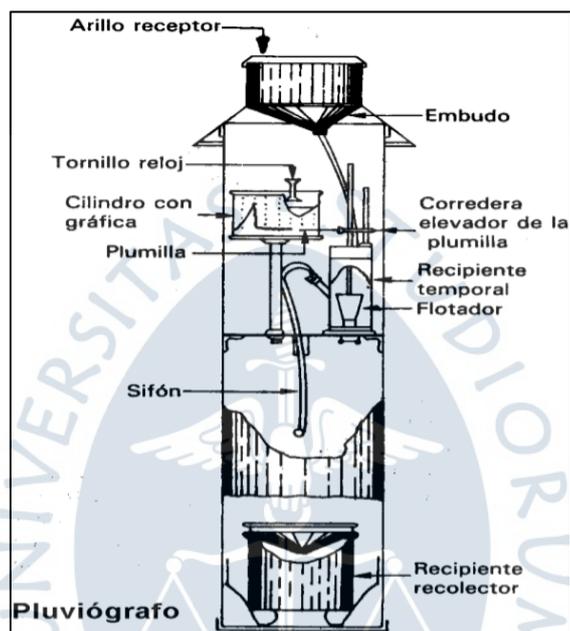


Figura 8. Pluviógrafo y sus componentes

Fuente: Weimar & Cahuana (2009)

2.1.2.4. Pluviógrafo de cubeta basculante. Este instrumento de medición está conformado por dos cubetas bajo el embudo colector, las cuales reciben la precipitación una a la vez, al llenarse se desequilibran provocando que se vuelquen junto con la cantidad de agua de almacenamiento que puede ser entre 0.1, 0.2 o 0.5 mm de lluvia (ver Figura 9), lo que acciona un circuito electrónico para registrar la información automáticamente. Luego, la segunda cubeta entra en acción realizando el mismo procedimiento descrito hasta su desequilibrio.

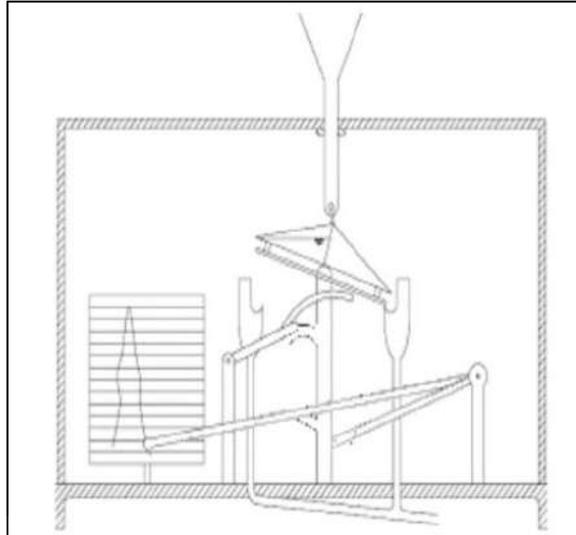


Figura 9. Pluviógrafo de Cubeta Basculante

Fuente: Weimar & Cahuana (2009)

2.1.2.5. Pluviógrafo de balanza. El instrumento tiene por finalidad pesar el agua o la nieve que cae dentro de la cubeta que se ubica sobre una plataforma con resorte (ver Figura 10), las mediciones se registran obteniéndose los valores de precipitación acumulada.

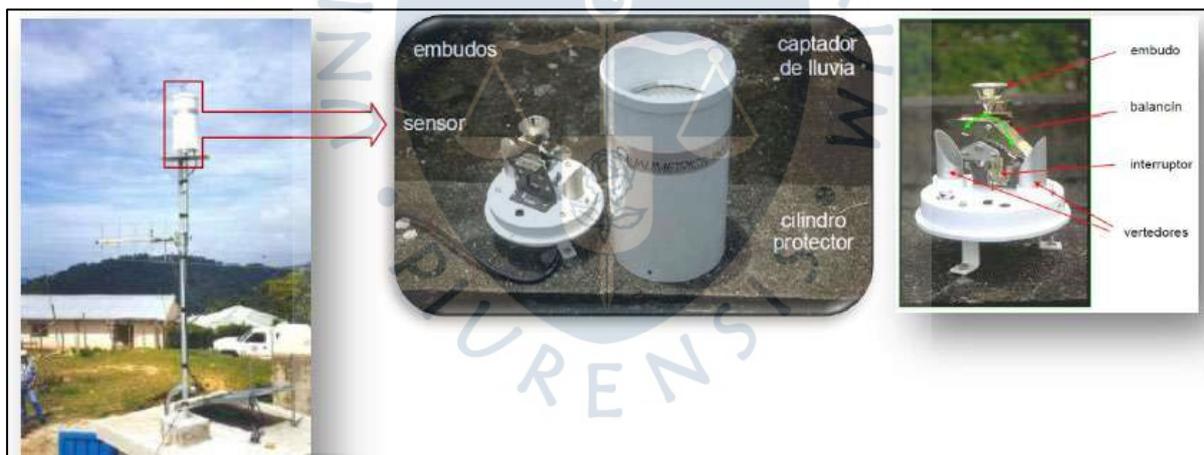


Figura 10. Pluviógrafo balancín

Fuente: Weimar & Cahuana (2009)

2.1.2.6. Pluviógrafo RRG-1. La medición de la precipitación se realiza de manera digital, posee la estructura básica de un pluviómetro estándar para recolectar el agua, el registro de información se almacena en una tarjeta de memoria que puede guardar datos de al menos 62 días, que luego se puede procesar en una computadora (ver Figura 11). Los elementos electrónicos están protegidos para evitar variaciones en las mediciones producto de los ruidos, golpes o el agua que directamente cae sobre el instrumento.



Figura 11. Pluviógrafo RRG-1

Fuente: Weimar & Cahuana (2009)

2.1.2.7. Pluviómetro RGR-122. Es una clase de pluviómetro automático en el que se puede monitorear la lluvia de manera remota a una distancia no mayor de 90 m. La transmisión de la información se hace por ondas de radio sin la necesidad de tener una comunicación directa entre el recipiente y el receptor (ver Figura 12).

En el equipo se puede almacenar datos de lluvias diarias, anuales y programar el instrumento para alertar en caso se supere los límites establecidos durante lluvias intensas, además, cuenta con un recipiente que se vacía de manera automática y un medidor interno de temperatura.



Figura 12. Pluviógrafo RGR-122

Fuente: Oregon Scientific (2020)

2.1.3 Ubicación de un pluviómetro

En un escenario ideal, un pluviómetro debería recolectar la precipitación que cae sobre una determinada zona y registrar con exactitud dicha medida, sin embargo, existen factores externos como el viento, que causa efectos sobre el propio instrumento o cambia la trayectoria de la lluvia, provocando resultados por exceso o defecto en la medida de la precipitación. Por dicho motivo, es de suma importancia identificar correctamente la zona en donde se ubicarán los instrumentos y en lo posible se protegerá en todas las direcciones de los efectos del viento utilizando barreras o árboles, cuya altura deberán ser uniforme y por lo menos la mitad de la distancia desde el pluviómetro a la barrera protectora (ver Figura 13), garantizando en lo posible que la lluvia sea vertical. OMM (2011)

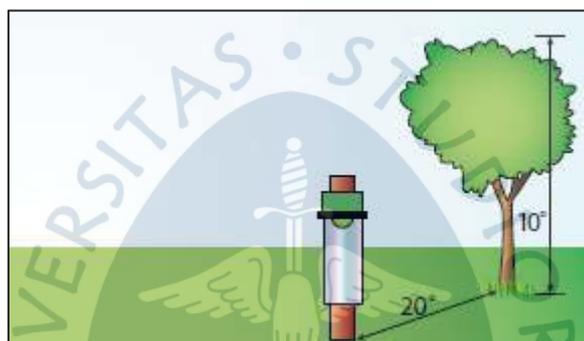


Figura 13. Instalación de pluviómetro

Fuente: OMM (2011)

Lo ideal es que, el ángulo formado entre la parte superior del pluviómetro y los objetos de protección sea, entre 30° y 45° . Cuando no se pueda garantizar una adecuada protección, será preferible eliminar todos los obstáculos en una distancia de cuatro veces sus respectivas alturas.

El terreno circundante al pluviómetro debe estar cubierto con césped, ripio o grava en una superficie plana y la parte superior debe encontrarse lo más cercano al suelo posible, debido a que el viento se incrementa con la altitud, recomendándose, alturas de instalación de 30 cm para zonas donde no se produzcan charcos que salpiquen agua dentro del instrumento. Si no se cumplen las condiciones, se recomienda la altura estándar de 1 m.

2.1.4 Estaciones meteorológicas, agrometeorológicas e hidrológicas

El SENAMHI como organismo técnico encargado del monitoreo climático, presentó en el 2013 el “Protocolo para la instalación y operación de estaciones meteorológicas, agrometeorológicas e hidrológicas”, en donde se indica que dichas estaciones son instalaciones destinadas a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas e hidrológicas, de las cuales se destacan las presentadas en la Tabla 3. SENAMHI (2013)

Tabla 3. 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: - Estaciones convencionales (operadas) Estaciones marítimas: - Estaciones marítimas fijas - Estaciones marítimas móviles - Estaciones marítimas automáticas b) Estaciones de altitud: - Estaciones de radio sondeo - Estaciones de radio sondas - Estaciones de radio viento - Estaciones de radio globo piloto
	Climatológicas Las observaciones se realizan en horas fijas entre 3 y 4 veces al día.	- Estaciones climatológicas principales - Estaciones climatológicas ordinarias - Estaciones climatológicas para propósitos específicos - Estaciones climatológicas pluviométricas
	Agrometeorológicas Efectúan simultáneamente observaciones meteorológicas y biológicas.	- Estaciones meteorológicas agrícolas principales - Estaciones meteorológicas agrícolas auxiliares - Estaciones meteorológicas agrícolas ordinarias - Estaciones meteorológicas agrícolas para propósitos específicos
	Hidrológicas Para observaciones de los cursos de agua.	- Estaciones hidrométricas (limnimétricas, limnigráficas, aforos y calidad del agua) - Estaciones climatológicas para fines hidrológicos - Estaciones de agua subterránea - Estaciones hidrológicas para propósitos específicos
	Propósitos específicos Denominadas así por tener una finalidad de acuerdo con el usuario.	Subterráneas (hidrológicas): - Instrumental dispuesto en el subsuelo para determinar la disponibilidad de los acuíferos. - Estaciones para investigación y otros fines especiales.
	Estaciones Aéreas Observaciones realizadas por aeronaves en las rutas aéreas internacionales.	

Fuente: SENAMHI (2013)

Las estaciones climáticas deberán estar georreferenciadas y ubicadas en lugares libres, donde el monitoreo de las variables medidas sea representativa de las condiciones atmosféricas del lugar y que no existan interferencias que alteren las mediciones.

Los horarios de observación recomendados, para la toma de datos se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Horarios de observación

Fines	Horario	Notas
<p>Meteorológicos sinópticos</p> <p>Las horas de observación (H) están referidas al tiempo universal coordinado (UTC)</p> <p>La hora efectiva de las observaciones meteorológicas sinópticas en altitud, se deberá aproximar en lo posible a H-30 y no deberá salir de los límites H-45</p>	<p>En superficie:</p> <p>Las horas fijas principales: 19:00; 01:00; 07:00 y 13:00 hora local (HL). (00:00; 06:00; 12:00 y 18:00 UTC)</p> <p>Las horas fijas intermedias: 22:00; 04:00; 10:00 y 18:00 HL. (03:00; 09:00; 12:00 y 18:00 UTC)</p> <p>Las horas fijas en altitud: 19:00; 01:00; 07:00 y 13:00 HL. (00:00; 06:00; 12:00 y 18:00 UTC)</p> <p>Para dos (02) observaciones diarias: 19:00 y 07:00 HL (00:00 y 12:00 UTC)</p>	<p>Las observaciones de la presión atmosférica se deben efectuar a la hora fija y exacta de la observación meteorológica sinóptica de superficie</p> <p>La observación de los elementos distintos de la presión atmosférica se deberá efectuar dentro de los 10 minutos que preceden a la hora fijada para la observación meteorológica sinóptica de superficie</p>
Climatológicas	<p>Para las estaciones climatológicas principales y ordinarias: Las horas fijas son las siguientes: 07:00; 13:00 y 19:00HL (12:00; 18:00 y 00:00 UTC). Sin embargo, se puede incrementar observaciones de acuerdo a los requerimientos del operador de la estación.</p> <p>Observaciones de precipitación: Las horas fijas: 07:00 y 19:00 HL (12:00 y 00:00 UTC)</p>	
Agrometeorológicas	<p>Para las estaciones meteorológicas agrícolas principales: Las horas fijas son las siguientes: 07:00; 10:00; 13:00; 16:00 y 19:00HL (12:00; 15:00; 18:00; 21:00 y 00:00 UTC). Sin embargo, se puede incrementar observaciones a otras horas de acuerdo a los requerimientos del operador de la estación</p> <p>Para las estaciones de propósitos específicos: Las horas son de acuerdo al programa del operador de la estación</p>	
Hidrológicos	<p>En las estaciones hidrológicas: Las horas fijas son las siguientes: 06:00; 10:00; 14:00 y 18:00 HL (11:00; 15:00; 19:00 y 23:00 UTC). Sin embargo, se puede incrementar observaciones a otras horas de acuerdo a los requerimientos del operador de la estación, según época de estiaje o avenida.</p> <p>La hora fija: 08:00HL, los días lunes, miércoles y viernes, o las horas y los días en que se observan variaciones importantes del nivel de agua.</p>	

Fuente: SENAMHI (2013)

Uno de los objetivos de la presente tesis ha sido la visita a toda la red hidrometeorológica de la cuenca Piura, en donde se recolectó información relacionada a las estaciones de medición, de las cuales se ha observado que el SENAMHI ha asignado varias subclasificaciones que figuran en los letreros de identificación de cada estación de acuerdo a la Tabla 3, sin embargo, dichas estaciones no cumplen con la medición de todos los parámetros que se exigen para que se les asigne la clasificación oficial, ya que, muchos de los instrumentos están deteriorados o no existen.

Los parámetros hidrometeorológicos que han sido objeto de las visitas y del proyecto principal son: la precipitación, el caudal y el nivel de agua, por lo que se ha realizado una reclasificación de acuerdo a la Tabla 3 para referirse al tipo de estación visitada que se detallarán más adelante, asignándoles el nombre de: estaciones pluviométricas convencionales o automáticas y estaciones hidrométricas convencionales o automáticas.

Dentro del grupo de estaciones automáticas, se ha identificado los instrumentos de medición y equipos complementarios que se presentan en la Tabla 5, y los instrumentos de medición de las estaciones convenciones que se presentan en la Tabla 6.

Tabla 5. Estaciones pluviométricas e hidrométricas automáticas

Instrumentos climatológicos	Parámetro de medición	Imagen referencial	Instrumentos complementarios	Imagen referencial
Sensor de nivel de agua OTT-RLS radárico	Nivel del agua		Plataforma colectora de datos (PCD) DA9000	
Sensor de nivel de agua OTT-PLZ piezómetro	Nivel del agua		Caja de protección QE9K	
Sensor de precipitación 52203 (bascula oscilante)	Precipitación		Trasmisor GTX-2.0	
Sensor de velocidad y dirección del viento serie 05103	Velocidad y dirección del viento		Antena YAGI	
Sensor de temperatura del aire TTEP	Temperatura del aire		Panel solar PANLW	
Sensor de humedad relativa del aire TRH	Humedad relativa		Batería BATT65	
Pluviómetro automático	Precipitación		Mástil de 6 metros de altura y Sistema de aterrizaje eléctrico (pararrayos)	

Fuente: SENAMHI (2013)

Tabla 6. Estaciones pluviométricas e hidrométricas convencionales

Instrumentos climatológicos	Parámetro de medición	Imagen referencial	Instrumentos climatológicos	Parámetro de medición	Imagen referencial
Termohidrógrafo	Temperatura y humedad relativa		Geotermómetros	Temperatura de la tierra	
Termómetros de máximas y mínimas	Temperatura		Anemómetro de empuje - veleta wild	Dirección y velocidad del viento	
Psicrómetro	Humedad relativa del aire		Tanque de evaporación	Evaporación del agua	
Pluviógrafo	Precipitación instantánea		Correntómetro	Velocidad del agua en un afluente	
			Microbarógrafo	Presión atmosférica	
Pluviómetro	Precipitación acumulada		Limnómetro	Nivel de agua en un afluente	
Heliógrafo	Duración de los rayos de sol		Limnógrafos	Nivel de agua instantáneo	

Fuente: SENAMHI (2013)

2.1.5 Densidad de estaciones de una red

El contar con una red hidrometeorológica que permita gestionar los recursos hídricos de manera eficiente, está relacionada a las condiciones económicas y necesidades medioambientales de un país, que le permiten establecer una densidad de estaciones de medición meteorológica apropiada para el monitoreo.

Las recomendaciones que establece la Organización Meteorológica Mundial OMM (1992) en los estudios realizados sobre densidades de estaciones de medición en la extensión de una cuenca, se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie en km² por estación)

Unidad fisiográfica	Precipitación		Evaporación	Flujo fluvial	Sedimentos	Calidad del agua
	No registradoras	Registradoras				
Costa	900	9 000	50 000	2 750	18 300	55 000
Montaña	250	2 500	50 000	1 000	6 700	20 000
Planicie interior	575	5 750	5 000	1 875	12 500	37 500
Montes/ondulaciones	575	5 750	50 000	1 875	12 500	47 500
Islas pequeñas	25	250	50 000	300	2 000	6 000
Áreas urbanas	-	10 a 20	-	-	-	-
Polos/terras áridas	10 000	100 000	100 000	20 000	200 000	200 000

Fuente: OMM (2011)

Es importante indicar que, la variabilidad de las lluvias que se pueden presentar en una red hidrográfica debido a los Fenómenos El Niño, el cambio climático y otros fenómenos atmosféricos, pueden llevar a la necesidad de contar con un mayor número de estaciones de medición a las mínimas recomendadas, por dicho motivo, es fundamental el estudio individual de cada cuenca hidrográfica para establecer el correcto monitoreo del recurso hídrico.

2.1.6 Precipitación media en una zona

La precipitación que cae sobre una determinada zona generalmente difiere de la que cae en los alrededores, debido a que las lluvias no se presentan de manera constante, por lo que, las medidas de precipitación que registran los pluviómetros son puntuales, es decir, dependen de la ubicación de la estación. La precipitación media sobre una cuenca puede estar referida a las medidas presentadas en la Tabla 8.

Tabla 8. Formas para calcular la precipitación media en una cuenca

Medida	Descripción
Precipitación diaria	Sumatoria total de lecturas observadas en un día
Precipitación media diaria	Promedio de lecturas observadas en un día
Precipitación mensual	Sumatoria total de lecturas observadas en un mes
Precipitación media mensual	Promedio de lecturas observadas en un mes
Precipitación anual	Sumatoria total de lecturas observadas en un año
Precipitación media anual	Promedio de lecturas observadas en un año
Precipitación promedio multianual	Promedio de lecturas observadas en varios años

Fuente: Villón (2002)

Si se desea conocer la precipitación media sobre una zona de estudio se puede utilizar los siguientes métodos: McCuen (1998)

2.1.6.1. Promedio aritmético. Es un método fácil de aplicar y consiste en calcular el promedio aritmético de las medidas de precipitación de todas las estaciones ubicadas dentro de una zona de estudio, su precisión, dependerá del número de estaciones disponibles para el cálculo, cuya expresión se presenta a continuación:

$$P_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (2.1)$$

Donde:

P_{med} : Precipitación media sobre la zona de estudio (mm)

P_i : Precipitación en las diferentes estaciones de medición (mm)

n : Número de estaciones de medición

2.1.6.2. Polígonos de Thiessen. El método se aplica conociendo la ubicación espacial de cada estación dentro o muy cercana al área de estudio, por lo que se requiere realizar una delimitación de las zonas de influencia de cada estación. La expresión utilizada es la siguiente:

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i * P_i \quad (2.2)$$

Donde:

P_{med} : Precipitación media sobre la zona de estudio (mm)

A_t : Área total de la zona de estudio o cuenca (km²)

A_i : Área de influencia de cada estación, según los polígonos de Thiessen (km²)

P_i : Precipitación de cada estación (mm)

n : Número de estaciones de medición

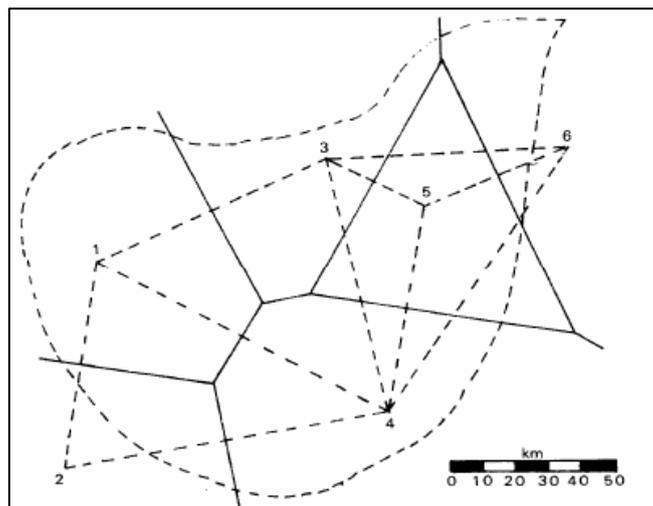


Figura 14. Polígonos de Thiessen

Fuente: Jacobo & Breña (2006)

Los pasos para el cálculo de los polígonos de Thiessen se describen a continuación:

- Se identificará las coordenadas de cada estación ubicada dentro y fuera (las más cercanas) a la cuenca o zona de estudio.
- Se unirá todas las estaciones formando triángulos menores de 90° en lo posible y se trazará las mediatrices de cada lado, las mismas que se unirán en un solo punto de intersección por cada triángulo formado.
- Identificados los puntos de intersección, se procederá a unirlos con los puntos de los triángulos vecinos, formando nuevos polígonos. El área de influencia de cada estación estará definida como el área que queda encerrada dentro de los polígonos formados.
- Finalmente se procederá a calcular la precipitación media utilizando la expresión antes indicada.

2.1.6.3. Isoyetas. Son curvas que se forman uniendo puntos de igual precipitación, se pueden generar a partir de la información de ubicación espacial de cada estación (coordenadas norte y este), reemplazando la variable de altura con el valor de la precipitación registrada. El proceso de generación de las isoyetas será similar a la interpolación para la creación de las curvas de nivel; gráficamente, se puede representar como la Figura 15.

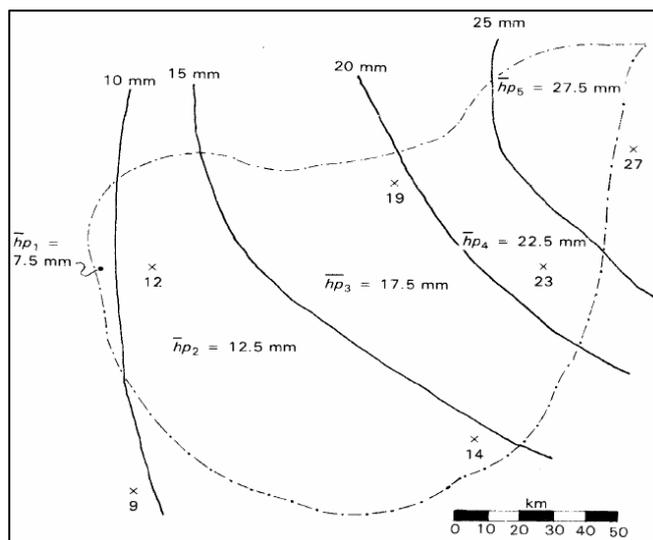


Figura 15. Isoyetas en una cuenca de estudio

Fuente: Jacobo & Breña (2006)

El cálculo de la precipitación media se realizará, determinado el área que encierran cada dos isoyetas consecutivas y calculando el promedio de precipitación entre de las dos isoyetas analizadas. La expresión utilizada se presenta a continuación:

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} * A_i \quad (2.3)$$

Donde:

P_{med} : Precipitación media sobre la zona de estudio (mm)

P_i : Precipitación de cada isoyeta (mm)

A_t : Área total de la zona de estudio o cuenca (km²)

A_i : Área parcial entre dos isoyetas consecutivas - P_{i-1} y P_i (km²)

n : Número de áreas formadas entre las isoyetas en la zona de estudio o cuenca

2.2. Manejo hidrométrico

2.2.1 Caudal fluvial

El caudal fluvial, se define como la tasa de agua a través de una sección transversal de un río o cuerpo de agua, cuyas unidades se expresan en, m³ · s⁻¹. Su importancia de medición y estudio se basa en conocer la cantidad de agua en los diferentes puntos de control, llamadas estaciones hidrométricas, a lo largo de un afluente principal, que servirán para el monitoreo del recurso hídrico que es fundamental para el desarrollo de las poblaciones, agricultura, ganadería, etc., además de evitar desbordes e inundaciones

en las cuencas bajas debido al exceso de agua que no se ha controlado adecuadamente. OMM (2011)

El nivel de exactitud con que se desea medir los caudales dependerá de los tiempos necesarios para realizar la medición y su variación de alturas durante dicho tiempo. Otros factores que afectan las medidas están referidas a las condiciones aguas abajo y arriba de los puntos de control que pueden alterar los regímenes normales de medición.

2.2.2 Instrumentos de medición del caudal fluvial

2.2.2.1. Reglas limnimétricas. Son reglas graduadas hechas de hierro fundido en alto relieve, segmentadas en centímetros que generalmente se ubican en uno de los márgenes de los puntos de control de un río o en otros casos, cuando se cuenta con estructuras como puentes se pintan en los pilares.

Estas reglas se construyen para evitar el deterioro por el contacto directo con el agua y deben ser instaladas de manera que el nivel mínimo de agua histórico registrado esté por encima del valor cero de la regla para evitar lecturas negativas.

Las lecturas del nivel de agua generalmente se realizan cuatro veces al día (06:00; 10:00; 14:00 y 18:00) en épocas de estiaje según SENAMHI, y cinco lecturas para máximas avenidas, sin embargo, cuando se presentan precipitaciones extraordinarias durante los FEN, los caudales se monitorean cada hora.

La información obtenida del nivel de agua está relacionada a los aforos realizados en los puntos de control, de los mismos que se obtiene la curva tirante versus caudal, por lo tanto, para obtener el flujo de descarga es suficiente ingresar a las curvas propias de la sección de medición y obtener su valor respectivo. A continuación, se presenta la Figura 16 donde se muestra lo antes descrito:

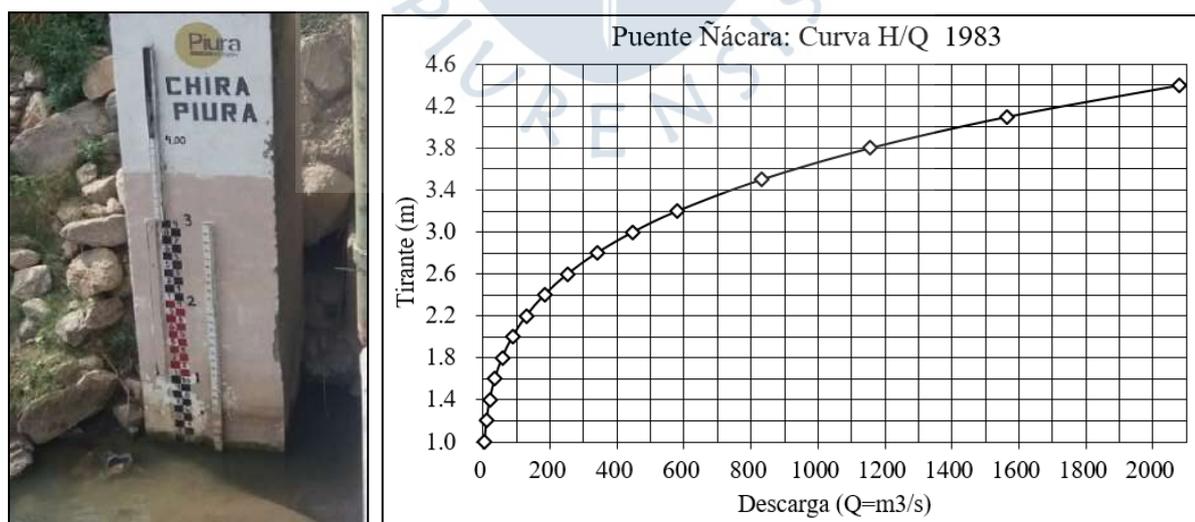


Figura 16. Mira limnimétrica en la estación hidrométrica Chulucanas y curva tirante versus caudal

Fuente: PECHP (2019)

2.2.2.2. Limnógrafos. Son instrumentos que cuentan con un medidor flotante de cinta graduada localizado en el interior de un pozo que se suele ubicar en una de las márgenes de los ríos, a medida que los niveles cambian la cinta graduada sube o baja, remarcando sobre un papel milimetrado los cambios del nivel de agua. En la Figura 17 se muestra referencialmente los limnógrafos:

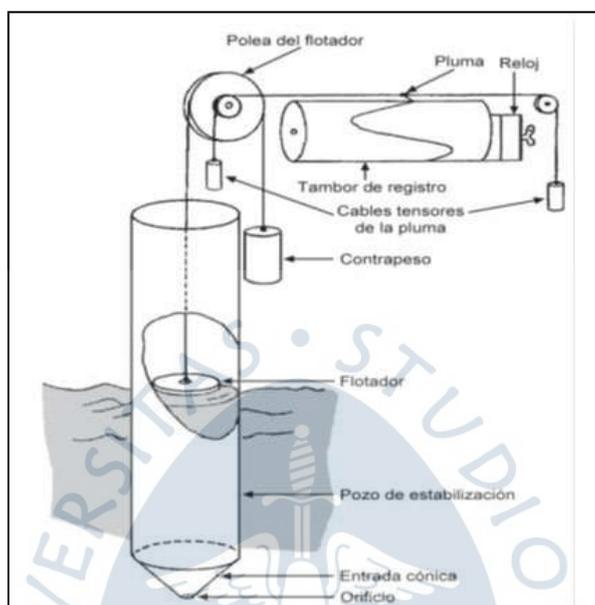


Figura 17. Limnógrafos en estación hidrométrica Chulucanas y esquema de funcionamiento de un limnógrafo

Fuente: Redin (2011)

2.2.2.3. Sensores de nivel de agua. Según los informes de ingeniería de detalle del SENAMHI que forman parte del “Proyecto de modernización de la gestión de los recursos hídricos (P.M.G.R.H)”, los sensores de nivel de agua son los instrumentos más modernos en temas de medición de nivel de agua, emplean sensores radáricos, de presión, acústicos, etc., cuya instalación se realiza por encima del nivel de agua.

En la cuenca Piura, el SENAMHI, ha instalado sensores del modelo OTT-RLS radárico en las estaciones: Corral del Medio, Puente Ñácara, Salitral, San Pedro y Tambogrande, y sensores del modelo OTT-PLZ piezómetro en la estación Hacienda Barrios. SENAMHI (2013)

En la Figura 18 se muestra los tipos de sensores de nivel de agua instalados:



Figura 18. Sensores de nivel de agua

Fuente: SENAMHI (2013)

2.2.3 Medición del caudal fluvial y aforo en ríos

Existen diferentes métodos para la medición del caudal fluvial, los cuales van desde medir el nivel de agua en horarios establecidos con ayuda de reglas limnimétricas, utilizar equipos como los limnógrafos que miden automáticamente los cambios instantáneos del nivel de agua, utilizar sensores o realizar aforos en puntos de control.

El aforo en ríos, tiene por objetivo determinar el caudal fluvial a través de una sección de un afluente, generalmente, es realizado por las brigadas hidrométricas en la red mayor de una cuenca, utilizando el método de área-velocidad; el cual se realiza seccionando el perfil transversal y midiendo las velocidades en dichas secciones con ayuda de correntómetros. Las velocidades y el área húmeda del perfil transversal en un río permiten determinar el caudal fluvial bajo diferentes métodos de cálculo, cuya expresión general es la siguiente:

$$Q = V \cdot A \quad (2.4)$$

Donde:

Q= Caudal fluvial ($m^3 \cdot s^{-1}$)

V=Velocidad medida ($m \cdot s^{-1}$)

A=Área húmeda de la sección (m^2)

En la Figura 19 se observa la forma en cómo se debe seccionar el cauce principal y los puntos de medición, en donde la variable “b” está relacionada al seccionamiento horizontal y “d” a la medida vertical.

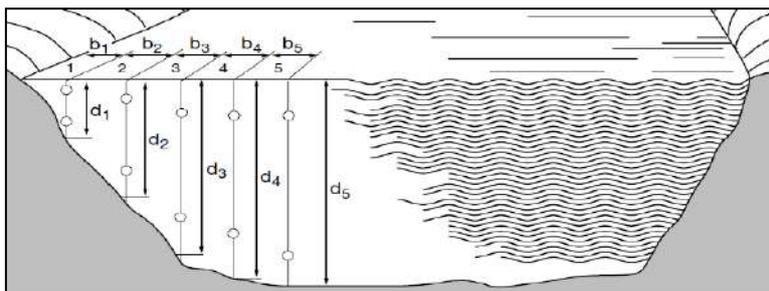


Figura 19. Sección de control en un curso de agua

Fuente: OMM (2011)

2.2.3.1. Selección del cauce para realizar el aforo en un río. Las recomendaciones indican que no es necesario efectuar el aforo exactamente en la misma sección de ubicación de la mira limnimétrica, ya que, si no existen aportes tributarios de otras afluentes en un tramo del río, el caudal suele ser el mismo, por lo tanto, la selección del emplazamiento debe garantizar las siguientes condiciones de acuerdo a las ISO,1979b: SENAMHI (2019)

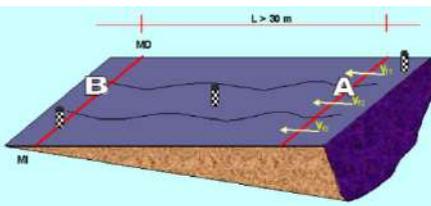
- Seleccionar un tramo de río lo más recto posible, regular y estable, con una longitud no menor que cinco veces el ancho del río aguas arriba y dos veces aguas abajo, para que las velocidades en todos los puntos horizontales sean paralela y normales a la sección trasversal.
- Las orillas de los ríos en donde se realizan los aforos, deben ser lo suficientemente resistentes para soportar los grandes caudales en épocas de crecidas y evitar desbordes que generaran incertidumbre en las mediciones.
- La distribución de velocidades deberá ser regular en los planos horizontales y verticales.
- Para poder efectuar las mediciones se deberá tener velocidades superiores a los 0.15 m/s y tirantes superiores a 0.30 m, ya que el flujo de agua lento, no evita el crecimiento de plantas que adulteran el perfil del cauce.
- No debe existir la vida acuática en el tramo seleccionado que interfiera durante las mediciones.
- El lugar de aforo debe estar lo suficientemente arriba de la confluencia con otros ríos y evitar las zonas cercanas a los estribos de puentes que adulteren las mediciones.

Identificar secciones de medición que cumplan los criterios antes descritos suele ser un trabajo difícil, debido a la sinuosidad y variabilidad de los ríos, por lo tanto, se deberá seleccionar las secciones que más convengas y sobre todo garantizar el fácil acceso de los operadores para realizar los aforos de manera frecuente.

2.2.3.2. Procedimientos para realizar aforos en ríos. Dentro de los procedimientos para realizar los aforos de ríos se pueden destacar los presentados en la Tabla 9.

Tabla 9. Procedimientos para realizar aforos

Métodos	Descripción	Imagen referencial
Aforo por suspensión	Es realizado desde una estructura como un puente o carro huaro, con ayuda de un correntómetro con lastre de 25 kg (depende del caudal a medir) que se baja mediante un cable guía para realizar las mediciones de velocidades en las profundidades.	
Aforo por vadeo	Se realiza cuando se tiene aguas poco profundas que permiten el ingreso directo de una persona que realizara las mediciones con ayuda del correntómetro, tomando como guía una cuerda horizontal extendida entre ambas márgenes del río.	
Aforo ADCP	Esta referido al uso de la tecnología Doppler, incorporada en un correntómetro hidroacústico que se monta sobre un pequeño bote eléctrico, permitiendo obtener rápidamente la distribución de velocidades, cuyos resultados se visualizan mediante un software de manera sencilla.	
Aforo con pistola de radar de velocidades	Forma parte de los equipos no intrusivos y se utiliza para la medición de la velocidad superficial del agua, utilizando el concepto del efecto Doppler para las mediciones. La finalidad, es mejorar la calibración de las curvas de gasto y una mejor estimación de los caudales en tiempos de trabajo reducidos.	

Métodos	Descripción	Imagen referencial
Aforo con flotador	El método se basa en utilizar un objeto que flote, el cual se deja sobre el cauce aguas arriba, midiendo el tiempo en que tarda recorrer una distancia establecida. Su uso es práctico y sencillo, obteniéndose buenos resultados para caudales pequeños, evitando los flujos turbulentos.	

Fuente: SENAMHI (2019)

2.2.4 Estaciones hidrométricas

Las estaciones hidrométricas según el protocolo de instalación de estaciones hidrometeorológicas del SENAMHI, deberán contar con instrumentos debidamente calibrados y en constante mantenimiento, con un operador encargado del cuidado de los equipos y toma de datos. La ubicación de las estaciones debe cumplir los criterios descritos en el ítem 2.2.2.1 con fácil acceso, además, los instrumentos básicos que se deberían encontrar en dichas estaciones son los siguientes:

- **Estaciones limnimétrica.** conformado por miras limnimétricas, limnógrafos o sensores eléctricos de nivel y calidad de agua.
- **Estaciones de aforo de caudales.** conformado por miras limnimétricas, limnógrafos, correntómetro, flotadores, estructuras de aforo para el método por suspensión y de manera opcional, los sensores de nivel de agua.

2.2.5 Caudal específico

El caudal específico es la cantidad de agua de una cuenca, medido en un punto de control o estación hidrométrica. Según la “Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur” realizado por la UNESCO (1982), el cálculo del caudal específico se realiza a cada subcuenca en que pueda dividirse la cuenca principal y los resultados se expresan en las unidades de l/s.km², calculándolo con la siguiente ecuación y visualizando la Figura 20:

$$q_{i+1} = \frac{Q_{i+1} - \sum Q_i}{A_{i+1}} \quad (2.5)$$

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)

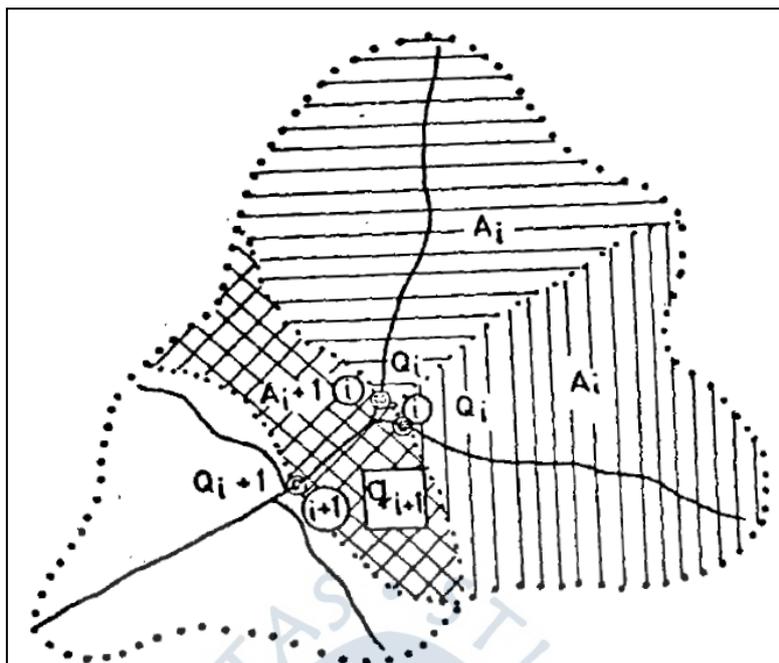


Figura 20. Mapa para el cálculo del caudal específico

Fuente: UNESCO-ROSLAC (1982)

2.3 Estimación de datos faltantes

La recopilación de datos de precipitaciones y caudales es una labor ardua que tarda años de trabajo diario para almacenar un gran número de información que permita resolver muchos problemas de análisis y diseño hidrológico, por lo que es fundamental contar con registros completos. Sin embargo, por diversos factores como el vandalismo, la descalibración de equipos, falta de personal, fallas de los instrumentos de medición o el error humano al momento de tomar las medidas, dan como resultado registros incompletos y de mala calidad.

En el Perú, el SENAMHI, el ANA, que son entidades oficiales que miden parámetros de precipitación y caudales, cuentan con equipos que poco a poco se han ido modernizando hasta llegar a tener instrumentos automáticos que transmiten la información directamente a las centrales o las almacenan en dispositivos digitales, con el objetivo de garantizar una continuidad en la toma de datos en intervalos de tiempo reducido. Sin embargo, dichas actualizaciones a la red hidrometeorológica se han realizado a partir del año 2014 y 2016, por ende, la mayor base de datos histórico con que se cuenta actualmente, fueron medidos diariamente con instrumentos convencionales por el personal encargado, sin embargo, existen vacíos e incertidumbre en la calidad de la información recolectada.

La estimación de datos faltantes, tiene por finalidad completar esos vacíos o interrupciones en el registro histórico de datos, de los cuales se destaca los siguientes métodos para estimar datos diarios, mensuales o anuales: Weimar & Cahuana (2009)

2.3.1 Método del promedio aritmético

Es el método más práctico para estimar datos faltantes y se utiliza cuando la precipitación media anual de cada estación no difiere en más del 10% a la registrada en la estación que posee la información incompleta. La ecuación utilizada se presenta a continuación:

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (2.6)$$

Donde:

P_x : Precipitación a estimar (mm)

n : Número de estaciones auxiliares

P_i : Precipitación registrada en las estaciones auxiliares (mm)

2.3.2 Método de la regresión normalizada

El método se suele utilizar para estimar datos cuando las precipitaciones medias anuales de las estaciones auxiliares difieren en más del 10% de la media de la estación con información incompleta, los datos faltantes se estimarán utilizando la siguiente expresión:

$$P_x = \frac{N_x}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{N_i} \quad (2.7)$$

Donde:

P_x : Precipitación a estimar (mm)

N_i : Precipitación media anual o mensual de las estaciones auxiliares (mm)

P_i : Precipitación anual o mensual registrada en las estaciones auxiliares (mm)

n : Número de estaciones auxiliares

Si se desea estimar datos mensuales, los valores de N_i corresponden al mes que se desea estimar.

2.3.3 Método de U.S. National Weather Bureau

El método consiste en estimar los datos faltantes utilizando las estaciones auxiliares circundantes, en el cual se pondera los datos observados con el recíproco de la distancia al cuadrado entre cada estación auxiliar y la estación con datos faltantes. A continuación, se presenta la expresión utilizada:

$$P_x = \frac{\sum (P_i W)_i}{\sum W_i} \quad (2.8)$$

Donde:

P_x : Precipitación a estimar (mm)

P_i : Precipitación registrada en las estaciones auxiliares para la fecha faltante (mm), como mínimo 2

$W_i = 1/D_i^2$: Siendo D_i la distancia entre cada estación auxiliar hasta la estación con datos faltantes (km)

Las recomendaciones sugieren utilizar las cuatro estaciones circundantes más cercanas (Figura 21), de tal manera que cada una se localice en un cuadrante definido por ejes coordenados cuyo inicio es la estación con datos faltantes.

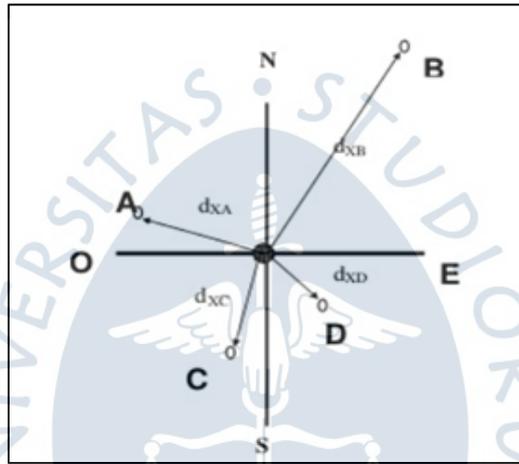


Figura 21. Esquema representativo del método U.S. National Weather Bureau

Fuente: Farías (2020)

2.3.4 Método de los promedios

Es un método utilizado para estimar datos anuales y para la aplicación se necesita de una estación auxiliar cercana a la estación con datos faltantes, utilizando la siguiente proporción:

$$P_x = \left(\frac{\bar{P}_x}{\bar{P}_A} \right) * P_A \quad (2.9)$$

Donde:

P_x : Precipitación anual a estimar (mm)

\bar{P}_x : Precipitación media anual de la estación con datos faltantes (mm)

\bar{P}_A : Precipitación media anual de la estación auxiliar (mm)

P_A : Precipitación anual registrada en las estaciones auxiliares para el año faltante (mm)

2.3.5 Métodos de regresión simple y múltiple

Son métodos que cuentan con una estadística consistente y se utilizan en la hidrología para estimar datos faltantes o ampliar una base de datos, utilizando como información de ingreso la serie historia de datos disponibles de precipitaciones o caudales.

Es indispensable la selección de datos de similar comportamiento, es decir, dentro de una misma área de estudio para garantizar una correlación consistente entre la información evaluada. Dentro de los modelos de regresión, se destacan los siguientes: Fattorelli & Fernandez (2011)

2.3.5.1. Modelo regresión simple. Geométricamente es una recta que predice valores a partir de un ajuste lineal a un grupo de datos. El modelo se presenta a continuación:

$$y_i = a + b * x_i + e_i \quad (2.10)$$

Donde:

- y_i : Variable dependiente o regresada
- X_i : Variable independiente o regresora
- a : Termino constante
- b : Pendiente de la recta
- e_i : Termino de error

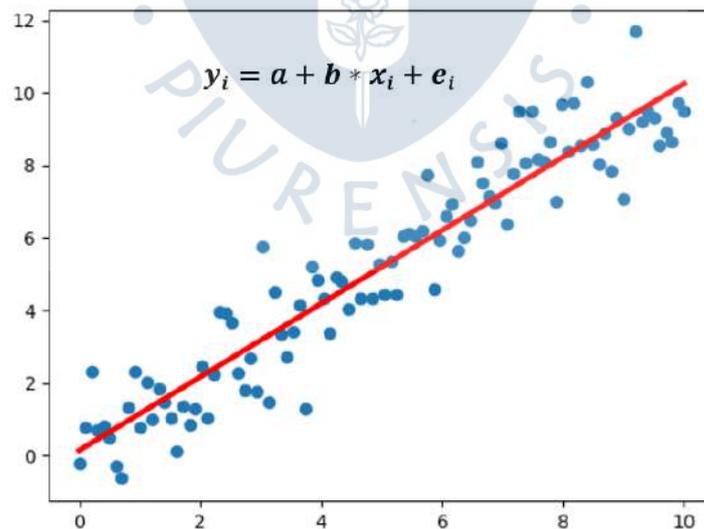


Figura 22. Modelo de regresión simple

- **Coefficiente de correlación (r):** Es una medida que permite expresar el grado de asociación entre dos variables, cuya expresión de cálculo es la siguiente:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N ((x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y}))}{N * \sigma_x * \sigma_y} \quad (2.11)$$

Donde:

N : Numero de pares de datos analizados

$x; y$: Pares observados

$\bar{x}; \bar{y}$: Promedio de valores observados

$\sigma_x; \sigma_y$: Desviación estándar de valores observados

El valor de “r” oscila entre +1 y -1; si es positivo indica que las dos variables relacionadas crecen al mismo tiempo, en cambio, si es negativo indica que ambas variables disminuyen. Usualmente, para el análisis comparativo de las diferentes correlaciones que se pueden establecer entre un conjunto de variables, se utiliza el coeficiente de determinación (r^2) que es una medida de la diferencia entre las varianzas σ^2 de los datos observados y el estimado en la recta de regresión. El valor de r^2 más cercano a 1, siempre será indicativo de un mejor ajuste, por lo que las mejores ecuaciones de correlación se obtienen con r^2 superiores a 0.8, sin embargo, en la presente tesis se ha aceptado valores encima de 0.7 debido a la gran cantidad de datos históricos de precipitaciones diarias de casi 50 años que contenían datos faltantes, en donde se han presentado tres Fenómenos El Niño de gran importancia y existe incertidumbre en la recolección de la información pluviométrica e hidrométrica.

2.3.5.2. Modelo regresión múltiple: Es la extensión del modelo predictivo de correlación simple, diferenciándose, en la gran cantidad de variables independientes que se pueden incluir en el análisis, cuya expresión general se presenta a continuación:

$$y_i = a + b * x_i + c * x_{i+1} + d * x_{i+2} + \dots e_i \quad (2.12)$$

Donde:

y_i : Variable dependiente o regresada

$X_i; X_{i+1}; X_{i+2} \dots$: Variables independiente o regresoras

a : Término constante

$b; c; d \dots$: Coeficientes

e_i : Término de error

El cálculo del coeficiente de correlación y determinación es similar al explicado en el modelo de regresión simple. Finalmente, se ha seguido el criterio de utilizar valores de r^2 superiores a 0.7 para la evaluación de las mejores regresiones múltiples para relleno de datos faltantes que presentaran más adelante.

2.4 Análisis de consistencia

Si se desea realizar la evaluación espacial de las precipitaciones que caen en un área de estudio o cuenca, es fundamental contar con un registro de datos completo en un mismo periodo de tiempo, cuya información no debe presentar errores de medición, diferencia en los modelos de instrumentos que toman las medidas y que no se haya cambiado la ubicación de las estaciones desde su instalación, es decir que la información sea consistente. UNESCO-ROSTLAC (1982)

Para verificar que la serie de datos que se posee es consistente, se recomienda utilizar las curvas doble masa acumulada (CDA), que es un método aplicable a una región donde se presente regímenes pluviométricos semejantes. El método consiste en el cálculo del patrón de precipitaciones anuales (PPA), que representa el promedio de la precipitación acumulada anual de varios años, de un conjunto de registros pluviométricos homogéneos. Si se lleva a graficar el par $(\sum PPA; \sum P_x)$, los puntos para cada estación deberían quedar alineados a las rectas de ajuste si la estación presenta un buen registro de datos, lo que estadísticamente es consistente. En caso se presente algún quiebre o los puntos queden por encima o debajo de la gráfica, se puede definir que la estación evaluado no es consistente y se procederá a corregir.

Los datos que se suelen corregir para las estaciones inconsistentes suelen ser los más antiguos ya que se considera que fueron tomados con técnicas de menor calidad a las actuales o porque los equipos de medición han cambiado, lo que influenciara en el registro de datos. Los casos que generalmente se presentan cuando se realiza el análisis de consistencia son los siguientes (ver Figura 23):

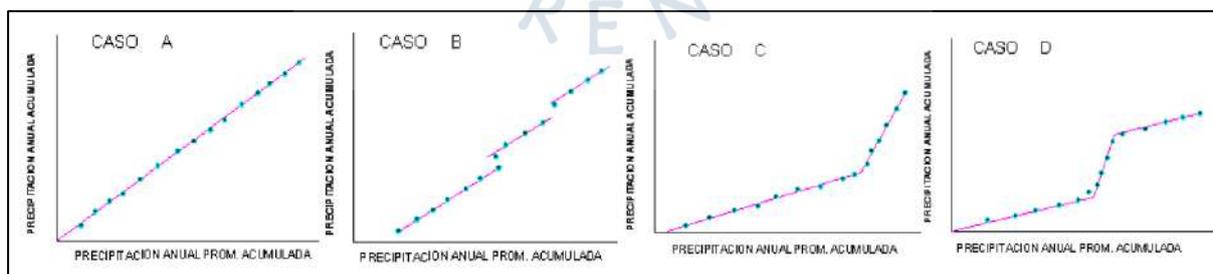


Figura 23. Tipos de curvas doble masa acumulada

Fuente: Weimar & Cahuana (2009)

- **Caso A.** Se presenta cuando los puntos se ajustan perfectamente a la recta, lo que indica que las estaciones analizadas son estadísticamente consistentes.
- **Caso B.** Se suelen presentar rectas paralelas que, si bien indican proporcionalidad y ajuste, existen años medidos por defecto o exceso.
- **Caso C.** Se presentan dos rectas con diferente pendiente, lo que es un error sistemático en las medidas de la precipitación, cuya corrección se debe realizar siguiendo la tendencia de la recta con los datos más recientes
- **Caso D.** Se presenta un tramo central con diferente pendiente, lo que es un indicativo de un error en la toma de medidas de precipitación, por lo que se deberá seleccionar dicho tramo central a corregir.

El procedimiento para realizar el análisis de consistencia se describirá a continuación (UNESCO):

- **Primero:** Se seleccionará grupos de estaciones con lluvias semejantes y registros de datos grandes.
- **Segundo:** Se calculará el patrón de precipitaciones anuales (PPA) utilizando la siguiente expresión:

$$PPA = \frac{1}{N} \sum P_x \quad (2.13)$$

Donde:

PPA : Patrón de precipitaciones anuales (mm)

P_x : Precipitación anual de la estación X (mm)

N : Número de estaciones

- **Tercero:** Se acumularán los valores anuales del PPA y de las estaciones de manera cronológica, obteniéndose el siguiente cuadro:

Tabla 10. Calculo de las curvas doble masa acumulada

Año	P_1	P_2	---	P_N	PPA	$\sum P_1$	$\sum P_2$	---	$\sum P_N$	$\sum PPA$

Fuente: Paulini (2005)

- **Cuarto:** Se graficará los puntos ($\sum PPA; \sum P_i$) y se visualizará si se sigue la tendencia de la recta sin que está presente quiebres, lo que garantizará que la serie es consistente, en caso se presente un gran número de quiebres y dispersión de los puntos sobre la recta, se elegirá la estación que presenta la inconsistencia y se eliminará del cálculo del PPA, repitiendo desde el segundo paso.
- **Quinto:** Si se observa que la serie de datos presenta pocos quiebres y pequeños errores fáciles de identificar, entonces se procederá a corregir la serie de datos de la estación, sin cambiar el PPA, la corrección se realizará de la siguiente forma:



Figura 24. Curvas doble masa acumulada

Fuente: Paulini (2005)

En la Figura 24 se observa que las curvas doble masa acumulada presentan un buen ajuste, sin embargo, existe un cambio de pendientes, por lo que es un error fácil de corregir. El ajuste se debería realizar siguiendo la tendencia del registro reciente, sin embargo, se deberá analizar independientemente las rectas para identificar otras posibles razones por las que existe dicho cambio, ya sea por descalibración de equipos, problemas de medición, etc.

La corrección se realizará multiplicando todos o algunos de los valores de la serie que presenta problemas con el siguiente factor:

$$\beta_i = \frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_2} \quad (2.14)$$

Realizada la corrección se repite el procedimiento desde el segundo paso y se visualiza las nuevas curvas doble masa obtenidas.

Es importante indicar que el PPA está referido a la corrección de datos pluviométricos, si se desea corregir datos hidrométricos (caudales) se deberá utilizar el patrón de caudales anuales (PQA), cuyo cálculo, es el promedio de los caudales diarios por cada año de las estaciones evaluadas, luego, el procedimiento es el mismo para la formación y análisis de las curvas doble masa acumulada.

Al aplicar el método CDA se debe haber identificado muy bien el cambio de pendiente que debe estar respaldado por un registro mínimo de 5 años consecutivos, ya que cuándo se trazan las curvas suelen presentarse ondulaciones que son típicas de este tipo de observaciones y no deberían interpretarse como cambios de tendencia.

2.5 Análisis Clúster

El término *clúster* hace referencia a una amplia variedad de procedimientos que se pueden emplear para realizar clasificaciones. Específicamente, es un procedimiento estadístico multivariable que se inicia con un conjunto de datos y con información característica de cada uno de ellos, cuyo objetivo es realizar un análisis para reorganizarlos en grupos relativamente homogéneos a los cuales que se les denomina clústeres.

A diferencia de otros métodos multivariantes, el análisis clúster es una técnica netamente descriptiva en lugar de explicativa, es decir, sus resultados no se basan en una estadística que permita explicar las situaciones obtenidas; algún cambio en las variables que se relacionan puede generar resultados distintos sobre el mismo grupo de elementos, por tanto, es de suma importancia validar los resultados.

El número de formas en la cual se puede agrupar un conjunto de elementos de tal manera que no se generen repeticiones entre ellos, se puede determinar mediante la herramienta de combinatoria sin repetición; en donde se tiene lo siguiente:

Para “n” elementos formados en grupos de “r” elementos sin repetición se emplea la expresión matemática:

$$C_n^r = \binom{n}{r} = \frac{V_n^r}{P_r} = \frac{n \cdot (n - 1) \cdot (n - 2) \cdots (n - r + 1)}{r!} = \frac{n!}{r! \cdot (n - r)!} \quad (2.15)$$

El problema se complica cuando se decide trabajar con un gran número de elementos para los cuales el número de formas en que se puede agrupar es muy grande, por dicho motivo, el uso del análisis Clúster permite dividir en subgrupos el conjunto de elementos, que en la presente tesis son las estaciones pluviométricas activas en la cuenca Piura. A dicho subgrupos se les aplicará las técnicas de relleno de información faltante mediante el método de correlaciones simples y múltiples (ítem 2.3.5.). Esto permite realizar todas las combinaciones sin repetición entre los elementos de dichos subgrupos, obteniendo así los mejores ajustes, algo que sería dificultoso si se trabajara con todos los elementos, ya que se obtendrían muchas más formas de combinar los elementos.

El análisis Clúster se puede dividir en cinco etapas: Aldenderfer & Blashfield (1984

- **Selección de la muestra de análisis a dividir:** Es el primer paso para realizar el análisis y corresponde en identificar los objetivos que se pretende conseguir con la división del grupo de elementos.

- **Definición de las variables representativas de los elementos:** La elección de las variables representativas es de suma importancia ya que definirán los resultados obtenidos y que son objeto del análisis, una variación entre las variables seleccionadas puede llevar a obtener diferentes resultados.
- **Determinación de las similitudes entre los elementos:** Para poder realizar la agrupación de los elementos se debe conocer la semejanza entre los mismos, esta puede ser la variable de distancia entre cada par, de forma que los más cercanos se reúnan en grupos homogéneos. Otras variables utilizadas con frecuencia son: medidas de correlación entre los elementos o medidas de asociación para variables no métricas.
- **Aplicación del método Clúster:** Se distinguen métodos jerárquicos y no jerárquicos. Dentro del primer método se destaca el método de aglomeración, los cuales inician con la división del grupo de elementos, para posteriormente ir agrupándolos en sucesivos pasos aquellos que presentan mayor similitud.

A continuación, se presentará un ejemplo del método Clúster aglomerativo, que se aplicaría con las estaciones pluviométricas de la cuenca Piura. Peña (2002)

Primero. Se determina la matriz de distancia (variable de semejanza) entre cada uno de los tres elementos de la Tabla 11.

Tabla 11. Matriz de distancias para la aplicación del método Clúster

	A	B	C
A	0.0		
B	2.5	0.0	
C	2.0	1.5	0.0

Segundo. Corresponde a identificar el primer nivel de los clústeres, eligiendo el menor valor de distancia de la Tabla 11, así se obtiene el grupo:

Nivel K=1

$\text{Min} \{d(C_i, C_j)\} = d(B; C) = 1.5$, por lo tanto, el primer clúster estará formado por los elementos (B, C).

Tercero. Se escoge la menor distancia de los elementos (B, C) con respecto a los demás elementos (A) y se reemplazan en la Tabla 12.

Tabla 12. Matriz de distancias luego de la elección del primer grupo de clústeres

	A	(B,C)
A	0.0	
(B,C)	2.0	0.0

Cuarto. Se forma el segundo y último grupo de clústeres, evidentemente, se tendrá un único *clúster* formado por los 3 elementos iniciales.

Nivel K=2

$\text{Mim} \{d(C_i, C_j)\} = d(A; (B, C)) = 2$, por lo tanto, el segundo clúster estará formado por los elementos (A; (B, C)).

Quinto. Se determina el dendograma asociado que es una representación gráfica entre de los grupos de *clúster* formados por el método aglomerativo (ver Figura 25).

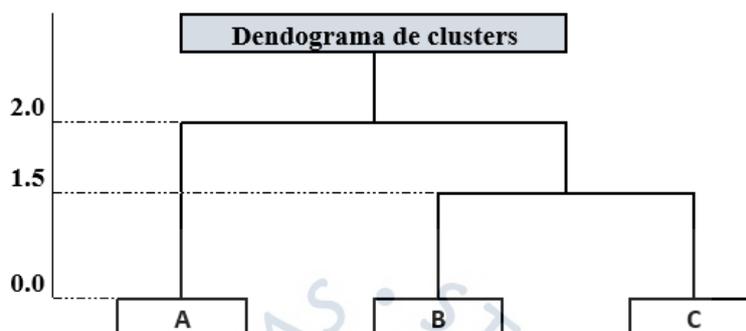


Figura 25. Dendograma de clasificación de clústeres

- **Validación e interpretación de resultados:** Existen diferentes procedimientos para comprobar los resultados obtenidos. Luque (2012) y Diaz (2002) presentan los siguientes:

Repetir el proceso con diferentes variables de agrupamiento para comprobar si los resultados se mantienen.

Dividir la muestra en dos partes y repetir el análisis para comprobar si los resultados se mantienen.

Efectuar un análisis discriminante que permita identificar el porcentaje de elementos que están correctamente asignados.

Realizar un análisis de la varianza para comprobar si la variabilidad entre grupos es mayor que dentro de cada uno.

Por lo expuesto anteriormente; el análisis de clúster se utilizará como una de las herramientas para el análisis de la información pluviométrica que se presentará en el capítulo 3.

2.6 Uso de GIS para generación de mapas

Los sistemas de información geográfica (GIS) son un conjunto de herramientas integradoras que gestiona, analiza y almacena datos espaciales que se pueden georreferenciar. Su importancia y utilidad han permitido mejorar los análisis e investigaciones en el campo de la hidrología. Puerta, Rengifo, & Bravo (2011)

Dentro de la gran variedad de software GIS, se encuentra el ArcGis, que ha sido diseñado por la empresa californiana “Environmental Systems Research Institute (ESRI)” cuya evolución se refleja en las diferentes actualizaciones del software.

La variedad de funciones con que cuenta el ArcGIS se puede diferenciar en la siguiente Figura 26:

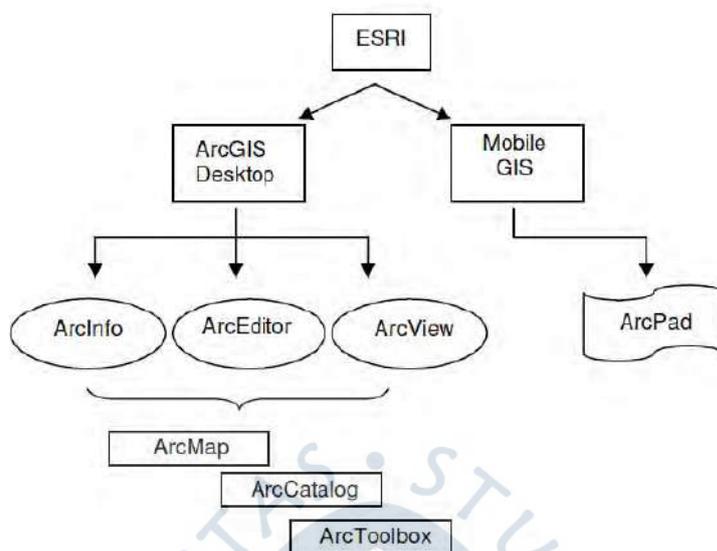


Figura 26. Esquema de la arquitectura del ArcGIS

Fuente: Puerta, Rengifo, & Bravo (2011)

- **ArcInfo:** Permite realizar operaciones de análisis, modelado SIG, convertir datos en diferentes formatos, además de crear y gestionar bases de datos con un diseño personalizados.
- **ArcEditor:** Su funcionalidad principal es crear y editar geodatabase, además de implementar topología con reglas, entre otros.
- **ArcView:** Posee funciones de análisis y visualización, así como crear y editar datos alfanuméricos y geográficos, está compuesto por las siguientes extensiones:

ArcMap. Su función es crear mapas a partir de capas o datos espaciales, personalizar e integrar simbología, diseñando mapas hasta sus salidas para impresión.

ArcCatalog. Permite conectar folders y datos a la red de trabajo los cuales son presentados en una estructura de árbol, fácil de visualizar.

ArcToolbox. Su funcionalidad se base en que permite la conversión de datos espaciales en diferentes formatos e introducir sistemas de referencia.

- **ArcPad:** Es un sistema de mapeo portátil conformado por: SIG, GPS, comunicación inalámbrica y un equipo liviano, para la recolección y validación de información en campo.

El uso del SIG en la presente tesis tiene por finalidad la generación de los mapas temáticos que representen los resultados de la creación de la base de datos de precipitaciones y caudales, luego de cumplir con los objetivos propuestos. La

representación se realizará creando los mapas de isoyetas y caudales específicos en toda la extensión de la cuenca Piura, además de crear mapas de ubicación de las estaciones pluviométricas, hidrométricas, etc.

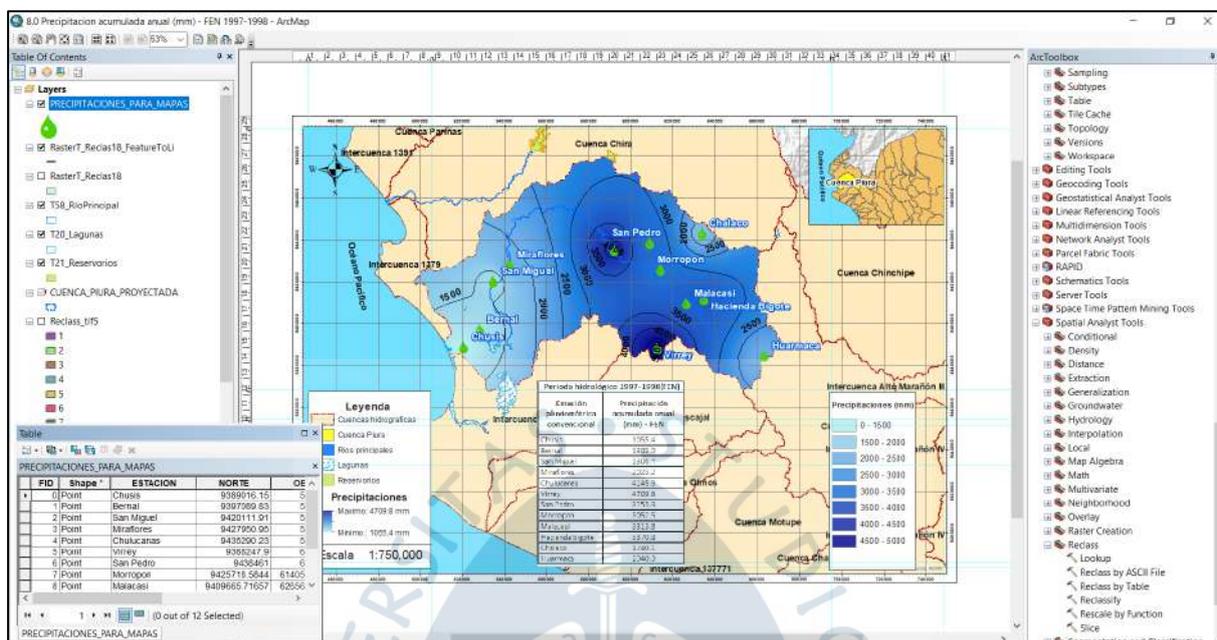


Figura 27. Visualización principal del escritorio del software ArcGis 10.5 para la creación de mapas temáticos

2.7 Uso del software Minitab 18

Minitab es un software estadístico de fácil accesos y uso, desarrollado por Minitab Inc, que tiene la finalidad de analizar e interpretar una gran cantidad de datos, cuyos resultados se expresan mediante gráficos que permiten ser interpretados de manera sencilla.

Una de las ventajas del Minitab, es su facilidad para realizar correlaciones simples y múltiples a una gran cantidad de datos. Esta ventaja será de gran ayuda, ya que, para cumplir con los objetivos de la presente tesis, se contará con un registro histórico de información de precipitaciones y caudales de casi 50 años de mediciones diarias, que suelen ser complicados para procesar si se usa otros softwares del mercado, por dicho motivo, el procesamiento de la información para obtener las ecuaciones de correlación simples y múltiples entre las estaciones pluviométricas e hidrométricas se realizó con dicho programa.

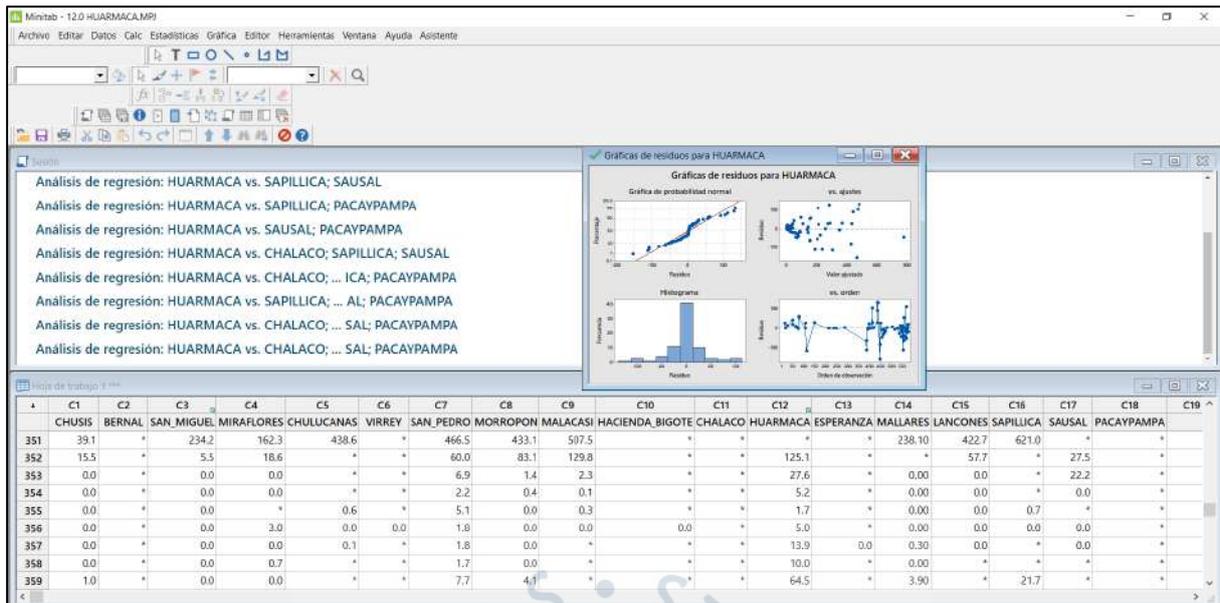


Figura 28. Visualización principal del escritorio del software Minitab 18 para el procesamiento de la información pluviométrica e hidrométrica



Capítulo 3

Pluviometría de la cuenca del río Piura

3.1 Estaciones pluviométricas de la red

En el 2015, el ANA presentó un estudio titulado “Mejoramiento de la red hidroclimática de la cuenca piloto Chira-Piura”, donde llegó a la conclusión que muchas de las estaciones de medición de la cuenca Chira-Piura se encontraban cerradas, con instrumentos inoperativos u obsoletos, con registros poco fiables y ubicadas en zonas inseguras y vulnerables a sufrir robo instrumental. Además, afirma que de las 59 estaciones entre pluviométricas e hidrométricas evaluadas y operadas por instituciones como SENAMHI o el PECHP, solo 30 se encontraban enlazadas con el Sistema de Alerta Temprana (SIAT). El SIAT necesita para su funcionamiento, datos de precipitaciones y niveles de agua, para procesarlos y analizarlos en el software NAXOS-PRAEDICT, permitiendo la estimación de los caudales del afluente principal, que son comunicados al Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER) para la toma de decisiones, especialmente en épocas de Fenómenos El Niño, ANA (2015). A continuación, en la Figura 29, se presenta los componentes principales del SIAT:

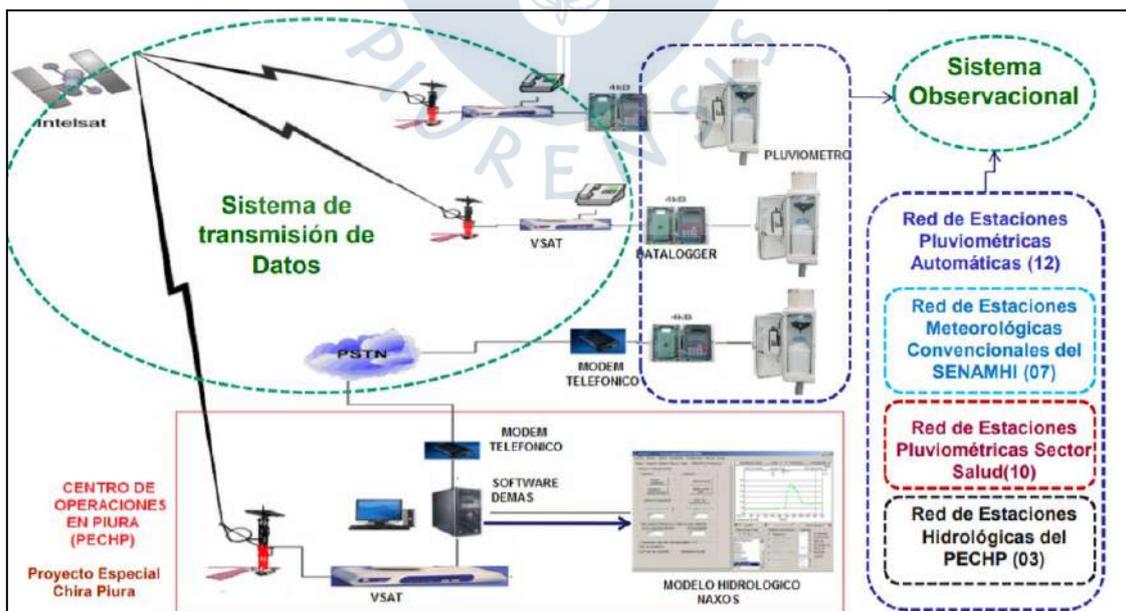


Figura 29. Componentes del sistema de alerta temprano de la cuenca del río Piura

Fuente: INDECI (2015)

Por la experiencia ocurrida durante el FEN 2017 que afectó a la región Piura, quedó evidenciado que el SIAT para la predicción de avenidas en la estación hidrométrica Presa Los Ejidos estaba descalibrado. En el evento extremo de marzo de 2017, el SIAT pronosticó un caudal máximo de 2900 m³/s para las 22:00 horas del día 26 de marzo; sin embargo, el caudal máximo real que se registró fue de 3468 m³/s para las 12:00 horas del día 27 de marzo, lo que ocasionó el desborde del río Piura y que puso en riesgo la vida de la población, generando grandes pérdidas materiales. La falta de calibración del modelo debido a la pérdida de operatividad de la red hidrometeorológica a lo largo de la cuenca Piura, dieron como resultados pronósticos imprecisos, que son indicativo de una falla generalizada del modelo existente. A partir de esa fecha, el Gobierno Regional de Piura dejó de emplear el SIAT. Es aquí donde nace la necesidad de contar con un modelo predictivo fiable a corto plazo, cuya base esencial es el registro histórico de datos hidrométricos y pluviométricos, confiables y de calidad.

Uno de los objetivos principales de la presente tesis es realizar una evaluación de la red hidrometeorológica de la cuenca Piura e identificar las estaciones pluviométricas activas que se encuentran en buenas condiciones de funcionamiento.

Para el cumplimiento de los objetivos se organizó un grupo de trabajo encabezado por el Ing. Jorge Alonso Peña Valdivia (docente de la Universidad de Piura), el Bach. Antony Steevin Abad Paucar y el Bach. Juan Carlos Mendoza Lalupu, quienes visitaron la mayoría de las estaciones pluviométricas de la cuenca Piura. Previamente, se realizó una investigación para identificar el número de estaciones activas que se encuentran registradas en los portales oficiales de entidades como el ANA, SENAMHI y el PECHP. Se determinó que actualmente existen un total de 23 estaciones activas en la cuenca Piura, de las cuales 18 son controladas por SENAMHI y 5 por el ANA, entre estaciones pluviométricas automáticas y convencionales. A continuación, en la Tabla 13 se presenta un resumen de lo antes indicado:

Identificadas las estaciones pluviométricas activas, se procedió a realizar las visitas de campo junto con el equipo de trabajo, cuyo cronograma de visitas se presenta en la Figura 30, además, en los Apéndices de la presente tesis se expone las fichas de evaluación detallada de cada estación visitada, así como las incidencias y resultados obtenidos de los mismos

De la Tabla 13, se puede notar que la mayoría de estaciones visitadas son manejadas por el SENAMHI, la razón se fundamenta en que las estaciones pluviométricas del ANA se han instalado después del Fenómeno El Niño Costero de 2017 como parte del Sistema de Monitoreo y Alerta por Activación de Quebradas, por dicho motivo, solo funcionan durante los periodos lluviosos y no se garantiza que se mantenga el mismo número de estaciones instaladas todos los años, por ende, no poseen una base de datos histórica que permita definir el régimen de lluvias de la cuenca del río Piura.

En la Figura 31 se presenta la ubicación y distribución espacial de las estaciones pluviométricas activas manejadas por las dos entidades antes mencionadas.

Tabla 13. Estaciones pluviométricas activas de la cuenca Piura

Nº	Estación	Ubicación		Clase convencional (C) automática (A)	Entidad que opera	Coordenadas UTM		Visita
		Provincia	Distrito			Norte (m)	Este (m)	
1	Bernal	Sechura	Bernal	C	SENAMHI	9397090	528511	Si
2	Canchaque	Huancabamba	Canchaque	C	SENAMHI	9402879	654520	Si
3	Chalaco	Morropón	Chalaco	C - A	SENAMHI	9442939	633949	No
4	Chulucanas	Morropón	Chulucanas	C - A	SENAMHI	9435290	592046	Si
5	Chusis	Sechura	Sechura	C	SENAMHI	9389016	520740	Si
6	Corral del Medio	Morropón	Buenos Aires	A	SENAMHI	9426381	622865	No
7	Hacienda Barrios	Morropón	San Juan de Bigote	A	SENAMHI	9415145	644142	Si
8	Hacienda Bigote	Morropón	San Juan de Bigote	C - A	SENAMHI	9411722	634554	Si
9	Huarmaca	Huancabamba	Huarmaca	C - A	SENAMHI	9384682	663949	No
10	Malacasí	Morropón	Salitral	C - A	SENAMHI	9409660	626543	Si
11	Miraflores	Piura	Castilla	C - A	SENAMHI	9427951	542498	Si
12	Morropón	Morropón	Morropón	C - A	SENAMHI	9425719	614029	Si
13	Puente Ñacara	Morropón	Chulucanas	A	SENAMHI	9434808	591668	Si
14	Salitral	Morropón	Salitral	A	SENAMHI	9408989	628764	Si
15	San Miguel	Piura	Catacaos	C - A	SENAMHI	9420112	534977	Si
16	San Pedro	Morropón	Chulucanas	C - A	SENAMHI	9438461	609049	Si
17	Tambogrande	Piura	Tambogrande	A	SENAMHI	9454100	572393	Si
18	Virrey	Morropón	La Matanza	A	SENAMHI	9388011	612518	Si
19	Qda. Bigote	Morropón	San Juan de Bigote	A	ANA	9411495	634713	No
20	Qda. Carrizo	Morropón	Buenos Aires	A	ANA	9420865	617606	Si
21	Qda. El Gallo	Piura	Castilla	A	ANA	9426964	545222	No
22	Qda. El Ingenio	Morropón	Buenos Aires	A	ANA	9424169	617217	Si
23	Qda. La Pilca	Morropón	Buenos Aires	A	ANA	9423188	616871	Si

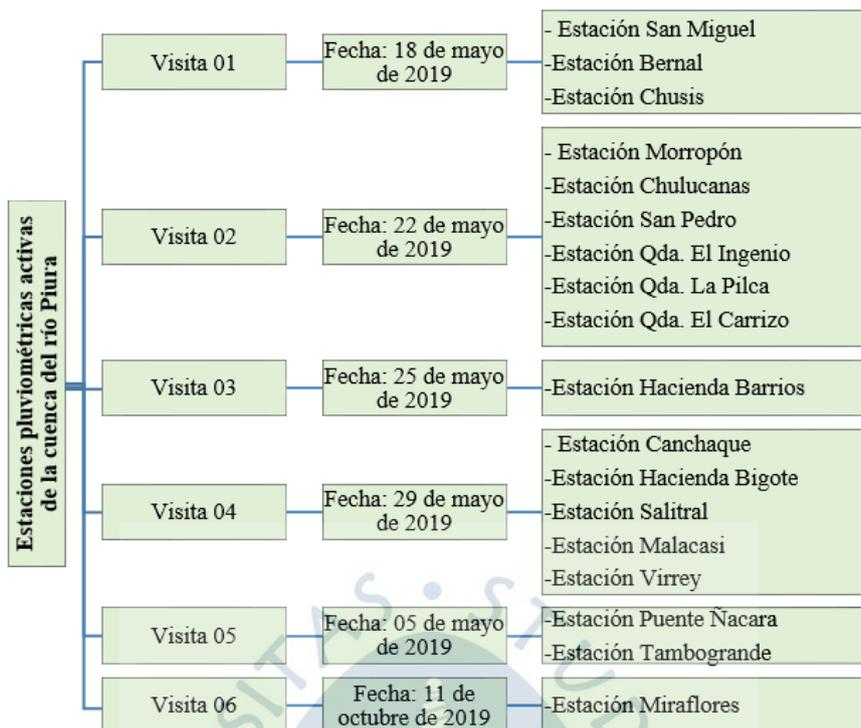


Figura 30. Visitas de campo a las estaciones activas de la cuenca del río Piura

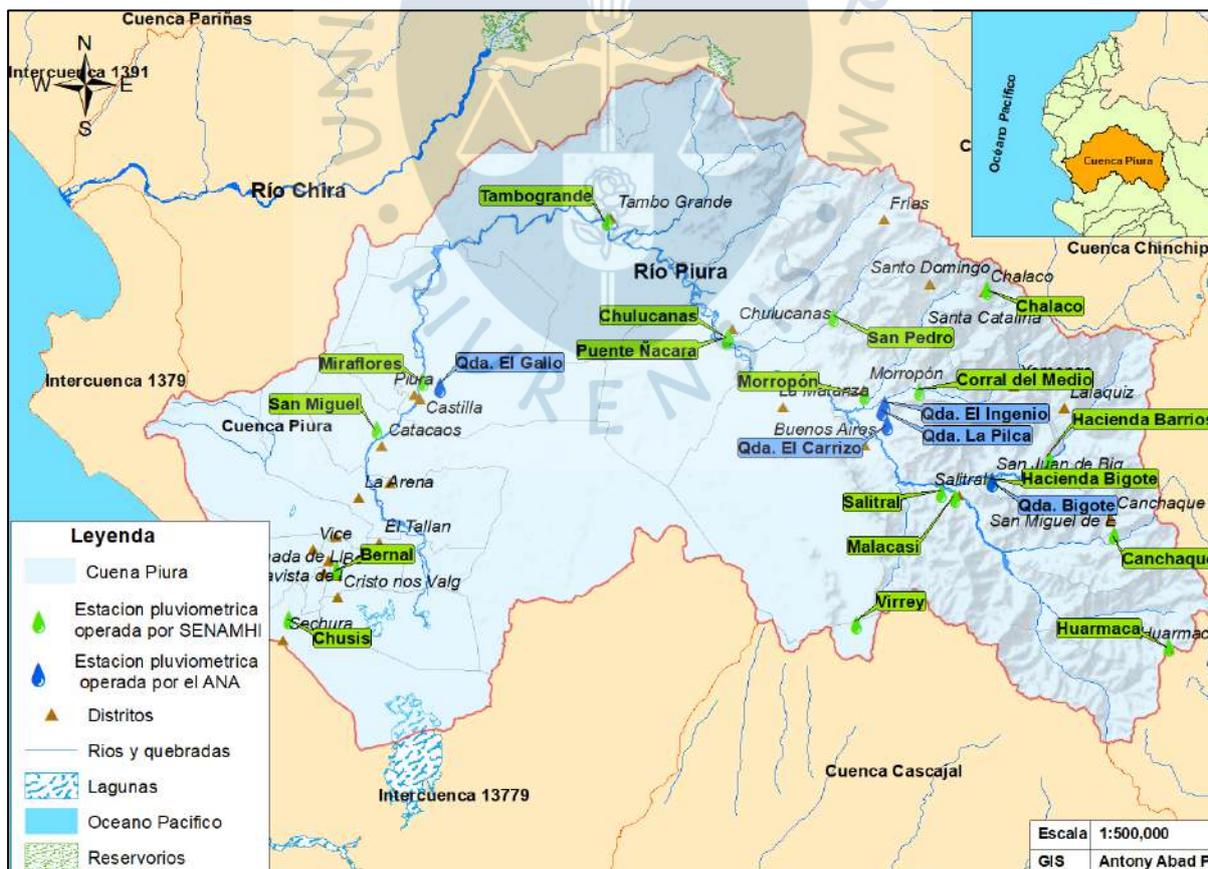


Figura 31. Estaciones pluviométricas activas de la cuenca del Piura

3.2 El radar de lluvias en la región Piura

Es importante mencionar que en la región Piura se cuenta con el primer radar de lluvias (PIUXX), ubicado en la estación científica Ramón Mugica de la Universidad de Piura (UDEP), en las coordenadas: 05° 10' 14"S - 80° 38' 18.6"O con una altitud de 67 msnm, cuyas operaciones iniciaron en el mes de mayo de 2019. La iniciativa del proyecto surgió luego de los eventos catastróficos que ocasiono del Fenómeno del Niño Costero en el año 2017, siendo financiado por Innóvate Perú, Petro Perú y la Universidad de Piura. Actualmente, viene siendo operado por investigadores de la UDEP y de la Universidad de Marburg de Alemania.

El radar cuenta con la característica principal de detectar y medir las precipitaciones en un radio de 100 km, cuyo rango de alcance abarca las provincias de Piura, Morropón, Sechura, Paita y Sullana. Cuenta con una antena parabólica que gira y emite ondas electromagnéticas, además de recibir ondas de radiofrecuencia; el objetivo es escanear toda la atmosfera en búsqueda de las zonas donde se están produciendo lluvias, es ahí cuando se ubica los blancos, los cuales se reflejan en ondas de múltiples direcciones hasta que la antena detecta su magnitud, conocida como reflectividad (Z). La señal se analiza y se procesa para determinar la velocidad, dirección y posición de la precipitación. Chunga (2020)

Es importante mencionar que la Universidad de Piura cuenta con un convenio con el SENAMHI para la calibración e interpretación de la información y que a futuro servirá de mucha ayuda para fortalecer la red hidrometeorológica en la región Piura. A continuación, en la Figura 32 se muestra el esquema de funcionamiento de un radar de lluvias similar al PIUXX, cuyo ángulo de elevación es de 2° con un rango de alcance de 100 km.

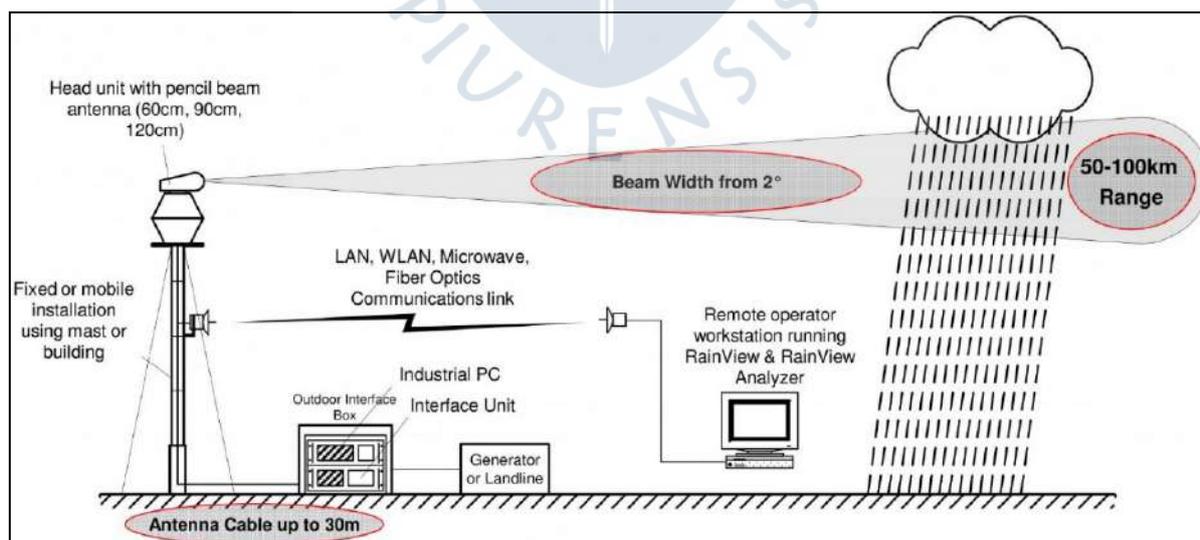


Figura 32. Esquema de funcionamiento de un radar de lluvias

Fuente: Selex (2013)

3.3 Diagnóstico de las estaciones pluviométricas

El diagnóstico de la situación actual de la red pluviométrica de la cuenca Piura, se realizó gracias a la coordinación con las entidades como el SENAMHI y el ANA, quienes facilitaron información para realizar las visitas de campo, así como, la entrevista con los operadores de cada estación, en donde se ha podido realizar el inventario de los instrumentos, horarios de medición, sucesos relevantes sobre la toma histórica de datos y el estado de conservación que se clasifica en 3 categorías:

- Estaciones en buen estado de conservación, que son las que poseen instrumentos que en su mayoría funcionan adecuadamente y en un menor porcentaje les hace falta mantenimiento.
- Estaciones en regular estado de conservación, a las que en su mayoría poseen instrumentos que les hace falta mantenimiento y en un menor porcentaje que han dejado de funcionar momentáneamente.
- Estaciones en mal estado de conservación, a las que poseen instrumentos que en su mayoría han dejado de funcionar y en un menor porcentaje les hace falta mantenimiento.

La presente tesis se ha enfocado en trabajar con las estaciones a cargo del SENAMHI, debido a que sus registros históricos garantizan una continuidad en la toma de datos, que es fundamental para el desarrollo del modelo predictivo indicado en el proyecto principal. A continuación, se describirá la ubicación y acceso a cada estación visitada, así como, un resumen de sus condiciones actuales.

Se puede mencionar que las estaciones en su mayoría se encuentran en buen estado de conservación, con excepción de las estaciones pluviométricas convencionales, Chusis, Miraflores y Puente Ñácara que poseen instrumentos deteriorados. También se ha notado la presencia de personal responsable encargado de la operación y conservación de los equipos. En general las estaciones se encuentran en lugares descampados, a las afueras de los centros poblados en donde no existan obstáculos (árboles, viviendas, postes de energía eléctrica, etc.) que ocasionen interferencia en la toma de datos. Las estaciones están protegidas por un cerco perimétrico de malla de acero y el registro de la información pluviométrica de las estaciones convencionales se realiza de manera diaria en los horarios de 07:00 am, 01:00 pm y 07:00 pm, para los periodos lluviosos y en estiaje el registro se realiza en los horarios de 07:00 am y 07:00 pm, por otra parte, la mayoría de estaciones automáticas envían la información climatológica directamente a la central de SENAMHI y el operador solo tiene que asegurar la protección de los equipos y limpieza.

Las visitas de campo permitieron identificar posibles fuentes de error durante la medición y registro de datos pluviométricos, debido a que, se continua utilizando la metodología tradicional de registrar datos en fichas o planillas que pueden generar errores tipográficos o de entendimiento de los datos que luego son publicados en la página web de la entidad, además, de no contar con un medio eficiente y formal, como por

ejemplo una aplicación electrónica, para que los operadores envíen el registro a las centrales de SENAMHI, quienes muchas veces deben usar las redes sociales o llamadas telefónicas para transmitir dicha información, que luego se corrobora mensualmente cuando la ficha de datos es llevada a las oficinas de la institución.

3.3.1 Estación San Miguel

La estación San Miguel es operada por el SENAMHI; se encuentra ubicada en los campos de cultivo del centro poblado de San Jacinto en el distrito de Catacaos, al sur-oeste de la ciudad de Piura y cercano a la margen derecha del río Piura. Para acceder al lugar de estudio, se toma la carretera Panamericana Norte rumbo al centro poblado de La Legua y posteriormente a la localidad de San Jacinto, la vía se encuentra en su mayoría debidamente asfaltada y en buen estado de conservación, excepto, por la carretera no pavimentada que obligatoriamente se debe tomar en la parte final del acceso.

En la Tabla 14 se presentan los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación San Miguel.

Tabla 14. Condiciones actuales de la estación pluviométrica San Miguel

Nombre		San Miguel
Tipo		Pluviométrica (convencional y automática)
Entidad responsable		SENAMHI
Coordenadas UTM	UTM	534977.04 m E - 9420111.91 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°14'46.33"S - 80°41'3.69"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Buena
Horarios de medición		07:00am, 01:00pm y 07:00pm
Año de inicio de operación		1973
Instrumentos en operación		-Convencionales: Microbarógrafo, barómetro mercurial, anemómetro de empuje, termohidrógrafo, psicrómetro, termómetro de máximas y mínimas, heliógrafo, geotermómetros, tanque de evaporación y pluviómetro.
		-Automáticos: anemómetro totalizador y anemómetro de hélice.
Observaciones		-La computadora que almacena la información del pluviómetro automático no cuenta con baterías.
Fotografía actual de la estación		
		

3.3.2 Estación Bernal

La estación Bernal es operada por el SENAMHI, se encuentra ubicada en los campos de cultivo del distrito de Bernal, al sur-oeste de la ciudad de Piura y muy cercano a la margen derecha del canal de regadío de dicho distrito. La vía en su mayoría se encuentra debidamente asfaltada y en buen estado de conservación.

En la Tabla 15 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Bernal.

Tabla 15. Condiciones actuales de la estación pluviométrica Bernal

Nombre		Bernal
Tipo		Pluviométrica (convencional)
Entidad responsable		SENAMHI
Coordenadas UTM	UTM	528510.98 m E - 9397090.13 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°27'16.18"S - 80°44'33.47"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Buena
Horarios de medición		07:00am, 01:00pm y 07:00pm
Año de inicio de operación		1963
Instrumentos en operación		-Convencionales: Anemómetro de empuje (veleta Wild), psicrómetro, heliógrafo, tanque de evaporación y pluviómetro ordinario.
Observaciones		-No se presentaron observaciones.
Fotografía actual de la estación		
		

3.3.3 Estación Chusis

La estación Chusis es operada por el SENAMHI; se encuentra ubicada a las afueras del centro poblado de Chusis, al sur-oeste de la ciudad de Piura y muy cercano al margen derecho del canal de regadillo de dicho distrito. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera rumbo al bajo Piura, con dirección a la provincia de Sechura; la vía de acceso en su mayoría se encuentra debidamente asfaltada.

En la Tabla 16 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Chusis.

Tabla 16. Condiciones actuales de la estación pluviométrica Chusis

Nombre		Chusis
Tipo		Pluviométrica (convencional)
Entidad responsable		SENAMHI
Coordenadas UTM	UTM	520740.03 m E - 9389015.85 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°31'39.23"S - 80°48'45.90"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Mala
Horarios de medición		07:00am, 01:00pm y 07:00pm
Año de inicio de operación		1963
Instrumentos en operación		-Convencionales: Anemómetro de empuje (veleta wild), geotermómetros, termómetro de máximas y mínimas, heliógrafo, tanque de evaporación y pluviómetro ordinario.
Observaciones		-No se presentaron observaciones.
Fotografía actual de la estación		
		

3.3.4 Estación Morropón

La estación Morropón es operada por el SENAMHI; se encuentra ubicada en la entrada de los campos de cultivo del distrito de Morropón, al este de la ciudad de Piura y en la margen derecha de la carretera principal. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte con dirección al distrito de Olmos hasta el Empalme 1B (km 80 de la IIRSA Norte), desvío que se dirige al distrito de Morropón y que se encuentra debidamente asfaltada. Antes de llegar al lugar de estudio es necesario tomar la trocha carrozable que se dirige a los campos de cultivo del distrito, dicha vía se encuentra ubicada al lado derecho de la carretera asfaltada.

En la Tabla 17 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Morropón.

Tabla 17. Condiciones actuales de la estación pluviométrica Morropón

Nombre		Morropón
Tipo		Pluviométrica (convencional y automática)
Entidad responsable		SENAMHI
Coordenadas UTM	UTM	614028.53 m E - 9425718.63 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°11'41.00"S - 79°58'16.00"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Bueno
Horarios de medición		07:00am, 01:00pm y 07:00pm
Año de inicio de operación		1963
Instrumentos en operación		-Convencionales: pluviómetro, Pluviógrafo, tanque de evaporación, heliógrafo, termómetro de máxima y mínima, psicrómetro y el anemómetro de empuje (Veleta wild).
		-Automáticos: sensor de precipitación, sensor de temperatura y humedad relativa del aire y sensor de velocidad del viento.
Observaciones		-No se presentaron observaciones.
Fotografía actual de la estación		
		

3.3.5 Estación Quebrada El Ingenio

Esta estación está ubicada en el caserío El Ingenio, al este de la ciudad de Piura y al sur-este del campo deportivo del distrito de Morropón. La entidad que opera dicha estación es el ANA y solo mide las precipitaciones en las temporadas de lluvia (Enero – Mayo). Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera asfaltada IIRSA Norte con dirección al distrito de Olmos hasta el Empalme 1B (km 80 de la IIRSA Norte), desvío que nos lleva al distrito de Morropón y posteriormente al centro poblado El Ingenio, tomando la trocha carrozable en buenas condiciones de transitabilidad.

En la Tabla 18 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Qda. El Ingenio.

Tabla 18. Condiciones actuales de la estación pluviométrica Qda. El Ingenio

Nombre		Qda. El Ingenio
Tipo		Pluviométrica (automática)
Entidad responsable		ANA
Coordenadas UTM	UTM	617217.02 m E - 9424169.03 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°12'31.29"S - 79°56'32.36"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Bueno
Horarios de medición		Automático
Año de inicio de operación		2018
Instrumentos en operación		- Automáticos: pluviómetro que funciona alimentada con un panel solar
Observaciones		-No se contó con la presencia del operador al momento de la visita.
Fotografía actual de la estación		
		

3.3.6 Estación Quebrada La Pilca

Esta estación es operada por el ANA; se encuentra ubicada en el caserío La Pilca, a 20 minutos de la estación Qda. El Ingenio, tomando como vía de acceso una trocha carrozable en buenas condiciones de transitabilidad.

En la Tabla 19 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Qda. La Pilca.

Tabla 19. Condiciones actuales de la estación pluviométrica Qda. La Pilca

Nombre		Qda. La Pilca
Tipo		Pluviométrica (automática)
Entidad responsable		ANA
Coordenadas UTM	UTM	616871.03 m E - 9423188.01 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°13'3.25"S - 79°56'43.54"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Bueno
Horarios de medición		Automático
Año de inicio de operación		2018
Instrumentos en operación		- Automáticos: pluviómetro automático que funciona alimentada con un panel solar
Observaciones		-No se contó con la presencia del operador al momento de la visita.
Fotografía actual de la estación		
		

3.3.7 Estación Quebrada El Carrizo

La estación Qda. El Carrizo es operada por el ANA; se encuentra ubicada en el caserío El Carrizo, a 20 minutos de la estación Qda. La Pilca, tomando como vía de acceso una trocha carrozable en buenas condiciones de transitabilidad.

En la Tabla 20 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Qda. El Carrizo.

Tabla 20. Condiciones actuales de la estación pluviométrica Qda. El carrizo

Nombre		Qda. El carrizo
Tipo		Pluviométrica (automática)
Entidad responsable		ANA
Coordenadas UTM	UTM	617606.03 m E - 9420864.99 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°14'18.88"S - 79°56'19.54"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Bueno
Horarios de medición		Automático
Año de inicio de operación		2018
Instrumentos en operación		- Automáticos: pluviómetro que funciona alimentada con un panel solar
Observaciones		-No se contó con la presencia del operador al momento de la visita.
Fotografía actual de la estación		



3.3.8 Estación Chulucanas

La estación Chulucanas es operada por el SENAMHI; se encuentra ubicada en la entrada del distrito de Chulucanas y al interior de la I.E Agropecuario Amauta. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte, rumbo al distrito de Olmos hasta el empalme – km 50, desvío que se dirige al distrito de Chulucanas con un tiempo de viaje de 1 hora en camioneta desde la ciudad de Piura; en una vía debidamente asfaltada y en buenas condiciones de transitabilidad.

En la Tabla 21 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Chulucanas.

Tabla 21. Condiciones actuales de la estación pluviométrica Chulucanas

Nombre		Chulucanas
Tipo		Pluviométrica (convencional y automática)
Entidad responsable		SENAMHI
Coordenadas UTM	UTM	592045.34 m E – 9435290.23 m S – Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5° 06' 31" S – 80° 10' 10.43" O
Operatividad/Conservación		Operativo/Buena
Horarios de medición		07:00am y 07:00pm
Año de inicio de operación		1972
Instrumentos en operación		-Convencionales: pluviómetro, geotermómetro, tanque de evaporación, termómetro de máxima y mínima, psicrómetro, anemómetro de empuje y heliógrafo,
		-Automáticos: sensor de precipitación, sensor de temperatura y humedad relativa del aire, sensor de velocidad y dirección del viento.
Observaciones		-No se presentaron observaciones.
Fotografía actual de la estación		



3.3.9 Estación San Pedro

Estación operada por el SENAMHI; se encuentra ubicada al noroeste del centro poblado San Pedro del distrito de Chulucanas y provincia de Morropón; localizada en la margen derecha del río San Pedro.

Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte rumbo al distrito de Olmos hasta el empalme - km 50, desvío que se dirige al distrito de Chulucanas con un tiempo de viaje de 1 hora en camioneta desde la ciudad de Piura, luego se debe tomar la carretera Piura la vieja en dirección al centro poblado de Batanes y acceder a la ruta PI-725 que conduce al centro poblado de San Pedro.

En la Tabla 22 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación San Pedro.

Tabla 22. Condiciones actuales de la estación pluviométrica San Pedro

Nombre	San Pedro	
Tipo	Pluviométrica (convencional y automática) e Hidrométrica (convencional)	
Entidad responsable	SENAMHI	
Coordenadas UTM	UTM	609038.88 m E - 9438477.29 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5° 4'45.80"S- 80° 0'58.70"O
Operatividad/Conservación	Operativo/Buena	
Horarios de medición	07:00am y 07:00pm	
Año de inicio de operación	1972	
Instrumentos en operación	-Convencionales: pluviómetro.	
	-Automáticos: Sensor de precipitación.	
Observaciones	-No se contó con la presencia del operador al momento de la visita.	
Fotografía actual de la estación		



3.3.10 Estación Hacienda Barrios

La estación es operada por el SENAMHI; se encuentra ubicada en el distrito de Barrios, en la margen izquierda del río Bigote. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte rumbo al distrito de Olmos hasta el Empalme 1B (km 80 de la IIRSA Norte), desvío que nos lleva al centro poblado de Malacasí, para luego tomar la carretera hacia el distrito de Salitral y continuamente al distrito de San Juan de Bigote. Finalmente se deberá transitar por una trocha carrozable, en malas condiciones, rumbo al distrito de Barrios.

En la Tabla 23 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación.

Tabla 23. Condiciones actuales de la estación Hacienda Barrios

Nombre		Hacienda Barrios
Tipo		Pluviométrica (automática)
Entidad responsable		SENAMHI
Coordenadas UTM	UTM	644159.68 m E - 9415184.08 m S Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°17'22.19"S - 79°41'56.69"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Buena
Horarios de medición		Automática
Año de inicio de operación		2014
Instrumentos en operación		-Automáticos: Sensor de precipitación.
Observaciones		-No se contó con la presencia del operador al momento de la visita.
Fotografía actual de la estación		
		

3.3.11 Estación Canchaque

La estación Canchaque es operada por el SENAMHI. A pesar del nombre, se encuentra ubicada en el distrito de San Miguel El Faique, detrás de la posta médica de la localidad y al sur del distrito de Canchaque. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte con dirección al distrito de Olmos hasta el Empalme 1B (km 80 de la IIRSA Norte), desvío que nos lleva al distrito de Canchaque, aproximadamente a 2.5 horas de la ciudad de Piura. Luego se deberá tomar la trocha carrozable, que no se encuentra en buen estado de conservación, rumbo al caserío Palambra y seguidamente se encontrará el distrito de San Miguel El Faique, aproximadamente a 20 minutos de Canchaque.

En la Tabla 24 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Canchaque.

Tabla 24. Condiciones actuales de la estación Canchaque

Nombre		Canchaque
Tipo		Pluviométrica (Automática)
Entidad responsable		SENAMHI
Coordenadas UTM	UTM	654538.59 m E - 9402883.40 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°24'1.94"S - 79°36'18.67"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Buena
Horarios de medición		Automática
Año de inicio de operación		2014
Instrumentos en operación		-Automático: sensor de precipitación, sensor de temperatura y humedad relativa del aire, sensor de velocidad y dirección del viento.
Observaciones		-Es a partir del año 2014 que la estación Canchaque empezó a transmitir los datos de manera automática.
Fotografía actual de la estación		
		

3.3.12 Estación Hacienda Bigote

Esta estación es operada por el SENAMHI; se encuentra ubicada en el distrito de San Juan de Bigote, en la margen izquierda de la quebrada que atraviesa la localidad y al sur-este de la Plaza de Armas. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte rumbo al distrito de Olmos hasta el Empalme 1B (km 80 de la IIRSA Norte), desvío que nos lleva al centro poblado de Malacasí para luego tomar la carretera hacia el distrito de Salitral y continuamente al distrito de San Juan de Bigote, vía que se encuentra en buenas condiciones de transitabilidad.

En la Tabla 25 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Hacienda Bigote.

Tabla 25. Condiciones actuales de la estación Hacienda Bigote

Nombre		Hacienda Bigote
Tipo		Pluviométrica (Automática y convencional)
Entidad responsable		SENAMHI
Coordenadas UTM	UTM	634554 m E - 9411722 m S Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°19'15.55"S - 79°47'8.48"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Buena
Horarios de medición		07:00am y 07:00pm
Año de inicio de operación		1972 (Convencional) y 2014 (Automática)
Instrumentos en operación		-Convencionales: pluviómetro.
		-Automático: sensor de precipitación, sensor de temperatura y humedad relativa del aire, sensor de velocidad y dirección del viento.
Observaciones		-No se presentaron observaciones.
Fotografía actual de la estación		



3.3.13 Estación Salitral

Esta estación es operada por el SENAMHI; se encuentra ubicada en el distrito de Salitral de la provincia de Morropón. La estación pluviométrica se localiza en la margen izquierda del río principal, al este del centro poblado de Malacasí. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte rumbo al distrito de Olmos hasta el Empalme 1B (km 80 de la IIRSA Norte), desvío que nos lleva al centro poblado de Malacasí para luego tomar la carretera hacia el distrito de Salitral.

En la Tabla 26 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Salitral.

Tabla 26. Condiciones actuales de la estación Salitral

Nombre	Salitral	
Tipo	Pluviométrica (automática)	
Entidad responsable	SENAMHI	
Coordenadas UTM	UTM	628762.06 m E - 9408990.54 m S Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°20'44.85"S - 79°50'16.46"O
Operatividad/Conservación	Operativo/Buena	
Horarios de medición	Automática	
Año de inicio de operación	2014	
Instrumentos en operación	-Automáticos: Sensor de precipitación.	
Observaciones	-No se presentaron observaciones.	
Fotografía actual de la estación		
		

3.3.14 Estación Malacasí

Esta estación es operada por el SENAMHI; se encuentra ubicada en el centro poblado de Malacasí del distrito de Salitral, dentro de los campos de cultivo de la localidad y al norte de la plaza de armas. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte rumbo al distrito de Olmos hasta el Empalme 1B (km 80 de la IIRSA Norte), desvío que nos lleva al centro poblado de Malacasí.

En la Tabla 27 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Malacasí.

Tabla 27. Condiciones actuales de la estación Malacasí

Nombre		Malacasí
Tipo		Pluviómetrica (convencional y automática)
Entidad responsable		SENAMHI
Coordenadas UTM	UTM	626542.96 m E - 9409659.91 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°20'23.22"S - 79°51'28.62"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Buena
Horarios de medición		07:00am y 07:00pm
Año de inicio de operación		1998 (Convencional) y 2014 (Automática)
Instrumentos en operación		-Convencionales: pluviómetro, geotermómetro, tanque de evaporación, termómetro de máxima y mínima, psicrómetro, anemómetro de empuje (veleta wild) y heliógrafo,
		-Automáticos: sensor de precipitación, sensor de temperatura y humedad relativa del aire, sensor de velocidad y dirección del viento.
Observaciones		-No se presentaron observaciones.
Fotografía actual de la estación		
		

3.3.15 Estación Virrey

Esta estación es operada por el SENAMHI; se encuentra ubicada en el centro poblado El Virrey del distrito de La Matanza, en la margen izquierda de la quebrada principal que atraviesa la localidad y a la margen derecha de la carretera con dirección Piura-Olmos. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte hasta el Empalme 1B (km 80 de la IIRSA Norte), desvío que nos lleva al distrito de La Matanza.

En la Tabla 28 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Virrey.

Tabla 28. Condiciones actuales de la estación Virrey

Nombre		Virrey
Tipo		Pluviométrica (automática)
Entidad responsable		SENAMHI
Coordenadas UTM	UTM	612517.73 m E - 9388011.32 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°32'8.93"S - 79°59'3.06"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Buena
Horarios de medición		Automática y convencional
Año de inicio de operación		1964 (Convencional) y 2014 (Automática)
Instrumentos en operación		-Automáticos: sensor de precipitación, sensor de temperatura y humedad relativa del aire, sensor de velocidad y dirección del viento.
Observaciones		-Los instrumentos de medición convencionales ya no funcionan debido a la modernización de la estación por parte del SENAMHI, por dicho motivo actualmente la medición se realiza automáticamente.
Fotografía actual de la estación		
		

3.3.16 Estación Puente Ñácara

Esta estación es operada por el SENAMHI; se encuentra ubicada en el distrito de Chulucanas de la provincia de Morropón, en la margen derecha del río Piura y al sur-este de la Plaza de Armas de dicha localidad. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte rumbo al distrito de Olmos hasta el empalme - km 50, desvío que se dirige al distrito de Chulucanas con un tiempo de viaje de 1 hora en camioneta, en una vía debidamente asfaltada y en buenas condiciones de transitabilidad

En la Tabla 29 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Puente Ñácara.

Tabla 29. Condiciones actuales de la estación Puente Ñácara

Nombre	Puente Ñácara	
Tipo	Pluviométrica (automática)	
Entidad responsable	SENAMHI	
Coordenadas UTM	UTM	591672.44 m E - 9434795.69 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5° 6'46.48"S - 80°10'22.52"O
Operatividad/Conservación	Operativo/Buena	
Horarios de medición	Automática	
Año de inicio de operación	2015	
Instrumentos en operación	-Automáticos: Sensor de precipitación.	
Observaciones	-No se presentaron observaciones.	
Fotografía actual de la estación		



3.3.17 Estación Tambogrande

Esta estación es operada por el SENAMHI; se encuentra ubicada en el distrito de Tambogrande de la provincia de Piura, en la margen derecha del río principal y al sur-este de la plaza de armas de dicha localidad. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte rumbo al distrito de Olmos hasta el empalme - km 21, desvío que se dirige al distrito de Tambogrande con un tiempo de viaje de 50 minutos en camioneta, en una vía debidamente asfaltada y en buenas condiciones de transitabilidad.

En la Tabla 30 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Puente Ñácara.

Tabla 30. Condiciones actuales de la estación Tambogrande

Nombre		Estación Puente Tambogrande
Tipo		Pluviométrica (automática)
Entidad responsable		SENAMHI
Coordenadas UTM	UTM	572392.00 m E - 9454102.00 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	4°56'18.48"S - 80°20'49.34"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Buena
Horarios de medición		Automática
Año de inicio de operación		2014
Instrumentos en operación		-Automáticos: Sensor de precipitación.
Observaciones		-No se presentaron observaciones.
Fotografía actual de la estación		
		

3.3.18 Estación Miraflores

Esta estación es operada por el SENAMHI; se encuentra ubicada dentro del campus de la Universidad Nacional de Piura (margen izquierda del río Piura). Para acceder al lugar de estudio, desde la UDEP se toma la Av. Andrés Avelino Cáceres hasta la intersección con la Av. Luis Montero, donde se encuentra una de las puertas de ingreso de la UNP. Posteriormente se toma la vía rumbo a la Facultad de Minas y el desvío hacia los campos agrícolas de la universidad, la vía en su mayoría se encuentra debidamente asfaltada y en buen estado de conservación. En la Tabla 31 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Miraflores.

Tabla 31. Condiciones actuales de la estación Miraflores

Nombre		Miraflores
Tipo		Pluviométrica (convencional y automática)
Entidad responsable		SENAMHI
Coordenadas UTM	UTM	542498.38 m E - 9427950.95 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	05°10'30.9"S - 80°36'59.5"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Regular
Horarios de medición		07:00am, 01:00pm y 07:00pm
Año de inicio de operación		1971
Instrumentos en operación		-Convencionales: Anemómetro de empuje, heliógrafo, geotermómetros, termómetro de máxima y mínima, hidrógrafo, psicrómetro, tanque de evaporación, evapotranspirómetro, pluviómetro y Pluviógrafo. -Automáticos: Sensor de precipitaciones y sensor de velocidad y dirección del viento.
Observaciones		-La estación se encuentra con instrumentos de medición deteriorados y el Pluviógrafo no funciona.
Fotografía actual de la estación		
		

3.4 Recopilación de información

Las visitas de campo permitieron cumplir con el primer paso para identificar las estaciones pluviométricas activas y en buen estado de conservación, que se utilizarían para describir el régimen de lluvias de la cuenca del río Piura. El siguiente paso correspondió a definir el número de datos históricos que posee cada estación visitada y la calidad de los mismos.

La información histórica de precipitaciones máximas diarias registrada por las estaciones pluviométricas automáticas y convencionales fue proporcionada por el SENAMHI, gracias al convenio y colaboración entre dicha institución y la Universidad de Piura como parte del proyecto principal. Logrando así, obtener una base de datos inicial, la cual se procesó, con el objetivo de filtrar información errónea y obtener la cantidad de datos faltantes. Posteriormente, se determinó que se trabajaría con 12 estaciones pluviométricas convencionales: Chusis, Bernal, San Miguel, Miraflores, Chulucanas, Virrey, San Pedro, Morropón, Malacasí, Hacienda Bigote, Chalaco y Huarmaca, debido a su calidad de información y funcionamiento activo.

Para describir el régimen de lluvias de la cuenca del río Piura, se debe tomar como base principal el registro histórico de las estaciones pluviométricas que se ubican dentro de la cuenca de estudio, sin embargo, se ha observado que para las estaciones pluviométricas convencionales existen estaciones ubicadas muy cerca a la divisoria de la cuenca en estudio; estas son: La Esperanza, Mallares, Lancones, Sapillica, Sausal, Pacaypampa y Chalaco (ver Figura 33) que pertenecen a la cuenca Chira y que también han sido objeto de estudio como parte del proyecto principal, cuyos resultados se presentan en la tesis "Evaluación de la red hidrometeorológica y conformación de base de datos de la cuenca del río Chira", Chavez & Coronado (2020). A pesar de encontrarse fuera de los límites de la cuenca Piura, sus medidas de precipitación pueden ayudar en el proceso de relleno de la información faltante, debido, a que se encuentran cercanas a otras estaciones que si se ubican dentro de los límites de la cuenca Piura. Dentro de las estaciones pluviométricas automáticas se ha determinado que actualmente operan 13 estaciones dentro de la cuenca Piura y 10 estaciones dentro de la cuenca Chira, dichas estaciones en su mayoría han empezado a funcionar a partir del año 2014, como una de las propuestas de modernización de la red hidrometeorológica del SENAMHI.

En la Figura 33 y Figura 34 se presenta la distribución espacial de la red pluviométrica convencional y automática de la cuenca Chira-Piura.

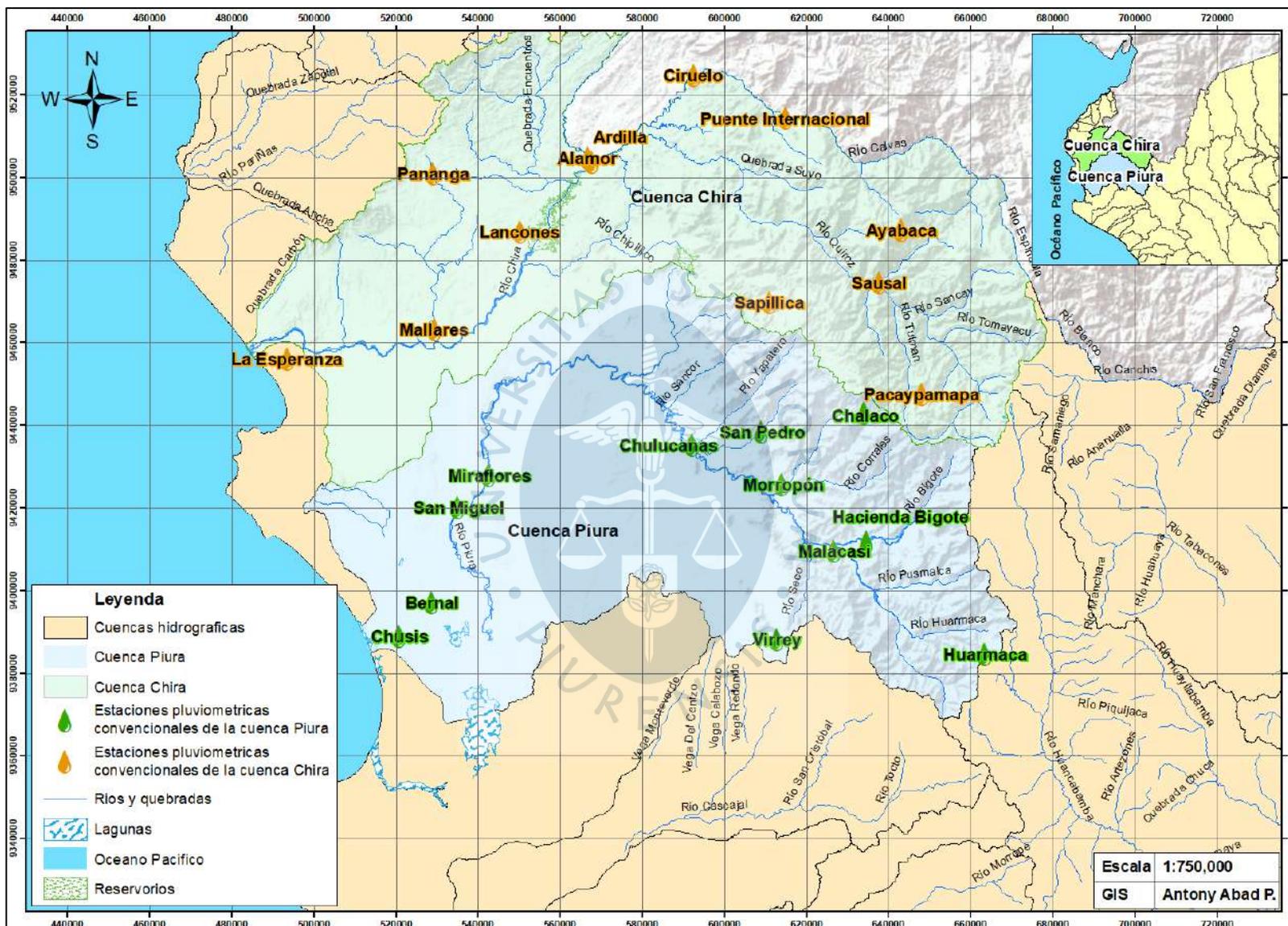


Figura 33. Estaciones pluviométricas convencionales de la Cuenca Chira y Piura

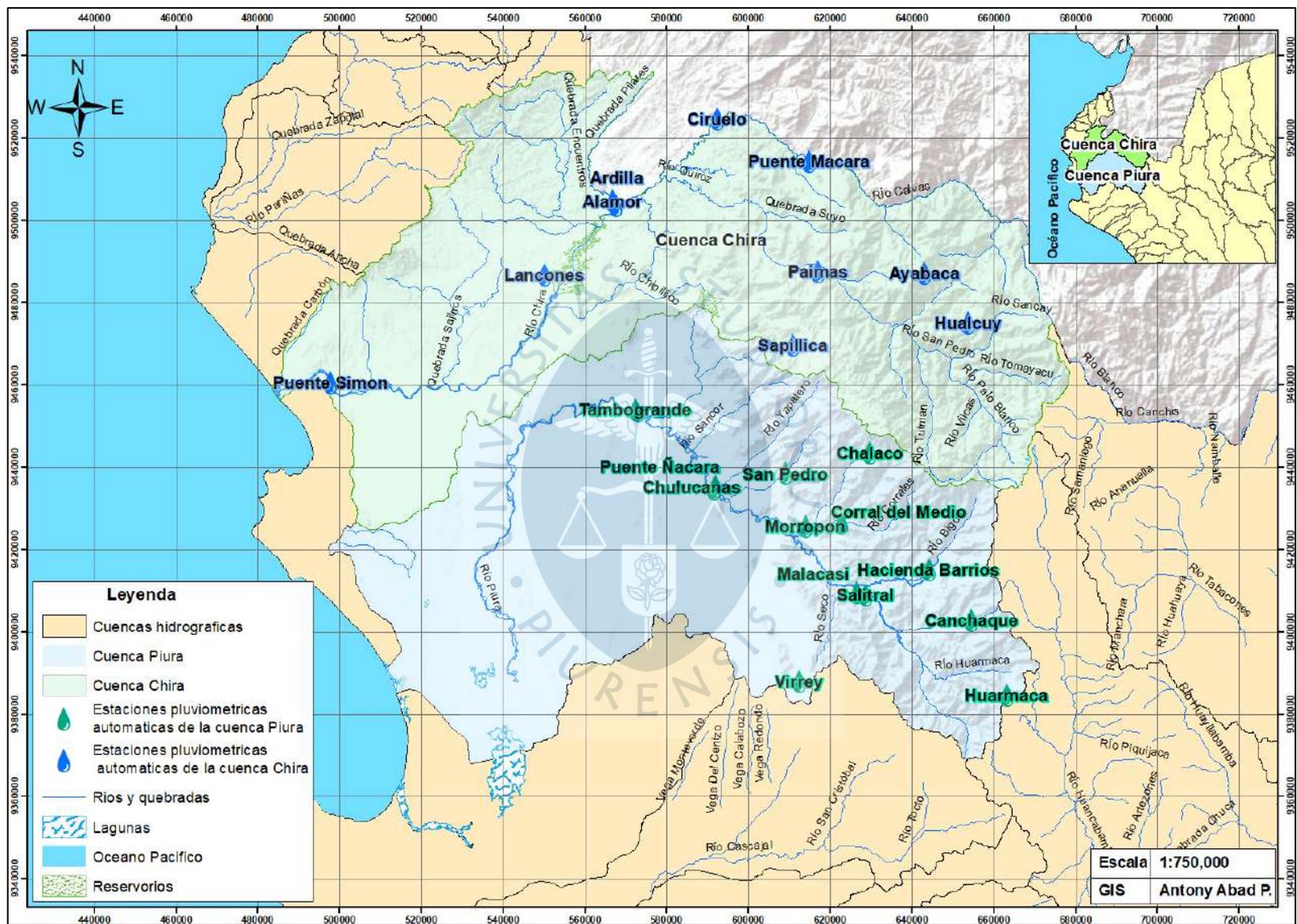


Figura 34. Estaciones pluviométricas automáticas de la Cuenca Chira y Piura

3.5 Análisis de la información pluviométrica

Para efectuar el análisis de la información pluviométrica, primero se determinó la cantidad de datos de precipitación diaria obtenida de cada estación, para dicho análisis se utilizó la Tabla 33 y Tabla 34, que son un comparativo de la información disponible mes por mes, para cada estación.

Como se puede observar en la tabla indicada, cada celda contiene un valor numérico del 1 al 12, que indica la cantidad de meses con datos; las celdas en blanco significan que la estación no existía o no funciono; las celdas en azul significan que la estación ha tomado datos solo en los meses del año que indica el valor numérico y las celdas en celeste significan que la información está casi completa, es decir, el número de datos diarios existentes en todo el año es superior al 95% de información que corresponde a un mínimo de 347 datos anuales, por dicho motivo se asigna el número 12 indicando que la información está completa o casi completa. El objetivo del procedimiento es determinar visualmente los periodos homogéneos de operación, los mismos que están remarcados de color rojo y que abarcan desde el año 1972 hasta el 2019 para las estaciones convencionales y el periodo 2015 hasta 2019 para las estaciones automáticas que pertenecen a la cuenca Piura y las 5 estaciones utilizadas de la cuenca Chira.

El análisis ha determinado que el relleno de información para las 12 estaciones pluviométricas convencionales de la cuenca Piura en los periodos homogéneos, corresponde a un número de 2655 datos de precipitación acumulada mensual y 28798 datos diarios a rellenar, tal y como se presenta en la Tabla 32.

Tabla 32. Registro de precipitaciones mensuales faltantes

Estaciones		Registro histórico de precipitaciones acumuladas mensuales entre los años 1972 - 2019			
		Cantidad de datos mensuales	Cantidad de datos disponibles	Cantidad de datos faltantes	Porcentaje de datos faltantes
1	Chusis	576	446	130	23%
2	Bernal	576	263	313	54%
3	San Miguel	576	318	258	45%
4	Miraflores	576	496	80	14%
5	Chulucanas	576	376	200	35%
6	Virrey	576	223	353	61%
7	San Pedro	576	509	67	12%
8	Morropón	576	512	64	11%
9	Malacasí	576	210	366	64%
10	Hacienda Bigote	576	256	320	56%
11	Chalaco	576	118	458	80%
12	Huarmaca	576	530	46	8%
Total		6912	4257	2655	38%

Tabla 33. Registro histórico de precipitaciones de las estaciones convencionales entre el periodo 1963 - 1991

Estaciones / Años		Datos de precipitaciones diarios disponibles																													
		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	1991	
Estaciones pluviométricas convencionales utilizadas para el relleno de la información faltante de la cuenca Piura	1 Chusis	1	5	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	3		3	11	12	11	1		
	2 Bernal	2	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	2		4	12	12	12	12	12	12	
	3 San Miguel																														
	4 Miraflores									9	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	
	5 Chulucanas																														
	6 virrey		8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	12	12	12	12	12	12	12	6	12
	7 San Pedro																														
	8 Morropon	3	12	12	12	5	12	12	11	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	11	12
	9 Malacasi																														
	10 Hacienda Bigote	1	7	12	12	12	7	9	8	12	12	12	12	12	11	10	12	12	12	11	2	12	6	12	12	12	12	12	12	12	12
	11 Chalaco	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	12	12	11	12
	12 Huarmaca	3	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	13 La esperanza					11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	12
	14 Mallares																														
	15 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	12	11	12	12	12	12
	16 Sapollica	5		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	12	12	12	12	12	2		12	12	12	12	12	12	12	12
	17 Sausal	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	9	12	12	12	12	12	12	12	12	10
	18 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	11

Tabla 34. Registro histórico de precipitaciones de las estaciones convencionales y automáticas entre el periodo 1991 - 2020

Estaciones / Años		Datos de precipitaciones diarios disponibles																												
		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	2020
Estaciones pluviométricas convencionales utilizadas para el relleno de la información faltante de la cuenca Piura	1 Chusis			5	12	12	11	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	6	
	2 Bernal	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	6	
	3 San Miguel	3	12	12	12	12	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	6	
	4 Miraflores	12	1		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	12	12	12	12	11	11	11	11	12	6
	5 Chulucanas					2	9	7	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	12	12	12	12	10	10	12	6	
	6 virrey	12	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	12	6	
	7 San Pedro	8		9	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	6	
	8 Morropon	11	7	12	12	12	12	9	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	6	
	9 Malacasi						1	11	11	12	12	12	12	11	12	11	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	6	
	10 Hacienda Bigote	9	11	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	6	
	11 Chalaco	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	9	12	6	
	12 Huarmaca	11	5	8	12	12	12	12	10	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	6	
	13 La esperanza	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	6	
	14 Mallares	10	3	12	12	11	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	6	
	15 Lancones	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	6	
	16 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	6	
	17 Sausal	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	6	
	18 Pacaypampa		7	12	3									7	12	12	12	10	8	10	12	10	6	12	12	12	6			
Estaciones pluviométricas automáticas utilizadas para el relleno de la información faltante de la cuenca Piura	1 Canchaque																											6		
	2 Chalaco																												6	
	3 Chulucanas																													
	4 Corral del Medio																													
	5 Virrey																													
	6 Hacienda Barrios																													
	7 Huarmaca										10	11	11	10	12	12	12	12	8	8	2	5	12	12	12	12	12	9	6	
	8 Malacasi																													
	9 Morropon																													
	10 Puente Ñacara																													
	11 Salital																													
	12 San Pedro																													
	13 Tambogrande																													
	14 Alamor																													
	15 Ayabaca																													
	16 Ciruelo																													
	17 Hualcuy																													
	18 Ardilla																													
	19 Lancones																													
	20 Paimas																													
	21 Puente Macara																													
	22 Puente Simon																													
	23 Sapillica																													

3.5.1 Análisis Clúster de las estaciones

Identificado el tipo de información obtenida y faltante para las 18 estaciones pluviométricas convencionales de las cuencas Piura y Chira, se definió la metodología para el relleno de datos, que ha consistido en agrupar las estaciones siguiendo el procedimiento jerárquico de análisis Clúster, descrito en el ítem 2.5. Este método fue elegido como una herramienta de simplificación para el agrupamiento de elementos con similares características, porque al tener que rellenar datos en 18 estaciones pluviométricas activas, el número de las combinaciones posibles de correlaciones simples y múltiples entre ellas (como se explicará en el ítem 3.5.2), es muy grande.

El objetivo ha sido agrupar las estaciones tomando como variable de relación las coordenadas UTM: norte, oeste y la altitud (ver Tabla 35), estandarizándolas al dividir cada valor entre su promedio simple (ver Tabla 36). Posteriormente, se calculó el módulo de distancia estandarizada entre cada par de estaciones y se realizó el análisis jerárquico aglomerativo, obteniendo la formación de 3 clústeres de 5 niveles (ver Figura 35) que han servido para realizar las correlaciones múltiples y simples como herramienta de relleno de datos.

Tabla 35. Coordenadas ubicación de las estaciones pluviométricas convencionales de la cuenca Piura

Estaciones		Coordenadas geográficas y UTM WGS-84 (zona 17S)				
		Latitud	Longitud	Norte (m)	Este (m)	Altitud (m.s.n.m)
1	Chusis	5°31'39.22"	80°48'45.90"	9389016	520740	8
2	Bernal	5°27'16.19"	80°44'33.44"	9397090	528511	14
3	San Miguel	5°14'46.33"	80°41'3.69"	9420112	534977	24
4	Miraflores	5°10'30.90"	80°36'59.50"	9427951	542498	30
5	Chulucanas	5° 6'30.36"	80°10'10.42"	9435290	592046	89
6	Virrey	5°32'8.93"	79°59'3.06"	9388011	612518	211
7	San Pedro	5° 4'46.33"	80° 0'58.37"	9438461	609049	240
8	Morropón	5°11'41.00"	79°58'16.00"	9425719	614029	141
9	Malacasí	5°20'23.22"	79°51'28.62"	9409660	626543	153
10	Hacienda Bigote	5°19'15.55"	79°47'8.48"	9411722	634554	208
11	Chalaco	5° 2'19.15"	79°47'30.06"	9442939	633949	2296
12	Huarmaca	5°33'53.82"	79°31'11.51"	9384682	663949	2233
13	Esperanza	4°55'16.09"	81°3'34.89"	9456053	493382	7
14	Mallares	4°51'20.67"	80°44'8"	9463276	529321	44
15	Lancones	4°38'34.36"	80°32'49.83"	9486795	550224	133
16	Sapillica	4°46'41.41"	79°58'54.51"	9471773	612917	1466
17	Sausal	4°45'8.55"	79°45'28.52"	9474584	637751	997
18	Pacaypampa	4°59'47.16"	79°39'54.09"	9447580	648002	2028

Las variables elegidas para determinar los clústeres, fueron seleccionadas porque la medición de la precipitación depende mucho de la ubicación en planta y especialmente la altitud a la cual se encuentran las estaciones de medición, así, una estación pluviométrica localizada a gran altitud, registrará en promedio un valor muy alto de lluvias, comparada a otra que se encuentra en la parte baja, por lo tanto, dichas variables pueden ayudar a seleccionar estaciones pluviométricas que se encuentran cercas y con similares condiciones de medición.

En la Figura 35 se presenta los 3 clústeres formados de acuerdo a su similitud en las variables relacionadas.

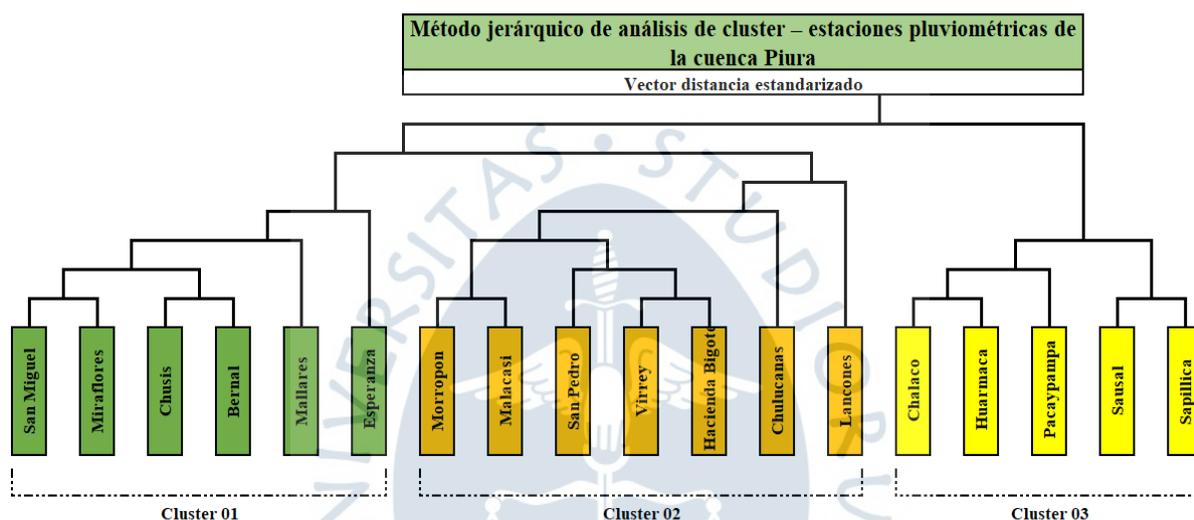


Figura 35. Formación de 3 clústeres del mismo nivel entre el grupo de 18 estaciones convencionales de la cuenca Piura.

Tabla 36. Vector distancia estandarizado entre las estaciones pluviométricas convencionales

Estaciones	Vector distancia estandarizado																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Chusis	Bernal	San Miguel	Miraflores	Chulucanas	Virrey	San Pedro	Morropon	Malacasi	Hacienda Bigote	Chalaco	Huarmaca	Esperanza	Mallares	Lancones	Sapillica	Sausal	Pacaypampa
1 Chusis	0.000	0.017	0.037	0.054	0.187	0.381	0.434	0.282	0.303	0.386	4.024	3.820	0.047	0.065	0.225	2.566	1.749	3.555
2 Bernal	0.017	0.000	0.021	0.037	0.170	0.366	0.420	0.266	0.287	0.370	4.013	3.809	0.061	0.053	0.213	2.555	1.737	3.544
3 San Miguel	0.037	0.021	0.000	0.017	0.150	0.346	0.400	0.246	0.266	0.349	3.995	3.790	0.077	0.037	0.193	2.537	1.718	3.526
4 Miraflores	0.054	0.037	0.017	0.000	0.134	0.331	0.386	0.230	0.250	0.334	3.984	3.779	0.093	0.033	0.182	2.526	1.707	3.515
5 Chulucanas	0.187	0.170	0.150	0.134	0.000	0.209	0.267	0.099	0.118	0.205	3.878	3.672	0.221	0.133	0.105	2.419	1.597	3.408
6 Virrey	0.381	0.366	0.346	0.331	0.209	0.000	0.060	0.114	0.106	0.040	3.672	3.465	0.404	0.318	0.167	2.214	1.390	3.201
7 San Pedro	0.434	0.420	0.400	0.386	0.267	0.060	0.000	0.174	0.166	0.086	3.612	3.406	0.454	0.370	0.213	2.154	1.331	3.142
8 Morropon	0.282	0.266	0.246	0.230	0.099	0.114	0.174	0.000	0.024	0.106	3.786	3.580	0.312	0.223	0.110	2.328	1.504	3.316
9 Malacasi	0.303	0.287	0.266	0.250	0.118	0.106	0.166	0.024	0.000	0.091	3.775	3.569	0.334	0.245	0.132	2.317	1.493	3.305
10 Hacienda Bigote	0.386	0.370	0.349	0.334	0.205	0.040	0.086	0.106	0.091	0.000	3.686	3.479	0.413	0.324	0.183	2.228	1.404	3.215
11 Chalaco	4.024	4.013	3.995	3.984	3.878	3.672	3.612	3.786	3.775	3.686	0.000	0.213	4.028	3.960	3.803	1.459	2.282	0.471
12 Huarmaca	3.820	3.809	3.790	3.779	3.672	3.465	3.406	3.580	3.569	3.479	0.213	0.000	3.825	3.756	3.598	1.254	2.075	0.265
13 Esperanza	0.047	0.061	0.077	0.093	0.221	0.404	0.454	0.312	0.334	0.413	4.028	3.825	0.000	0.089	0.242	2.571	1.756	3.560
14 Mallares	0.065	0.053	0.037	0.033	0.133	0.318	0.370	0.223	0.245	0.324	3.960	3.756	0.089	0.000	0.160	2.502	1.684	3.491
15 Lancones	0.225	0.213	0.193	0.182	0.105	0.167	0.213	0.110	0.132	0.183	3.803	3.598	0.242	0.160	0.000	2.344	1.525	3.333
16 Sapillica	2.566	2.555	2.537	2.526	2.419	2.214	2.154	2.328	2.317	2.228	1.459	1.254	2.571	2.502	2.344	0.000	0.825	0.989
17 Sausal	1.749	1.737	1.718	1.707	1.597	1.390	1.331	1.504	1.493	1.404	2.282	2.075	1.756	1.684	1.525	0.825	0.000	1.811
18 Pacaypampa	3.555	3.544	3.526	3.515	3.408	3.201	3.142	3.316	3.305	3.215	0.471	0.265	3.560	3.491	3.333	0.989	1.811	0.000

3.5.2 Relleno de datos faltantes

El relleno de datos faltantes se ha realizado a nivel de precipitación acumulada mensual, los cuales corresponderían a un total de 576 datos por cada estación entre el periodo 1972 - 2019, además, solo se ha considerado los meses cuyos datos estaban al 100% completos, es decir, en caso existieran meses a los cuales les falte algunos datos, se le asignó directamente como mes incompleto y se procedió a efectuar el relleno.

Se ha empleado el método de correlaciones simples y múltiples para el relleno de la información faltante, además de contar con el apoyo del software estadístico MINITAB para determinar las correlaciones. La prioridad ha sido determinar todas las posibles ecuaciones de correlación múltiple para cada uno de los 3 clústeres formados; por ejemplo, para el *clúster* 1 que está constituido por 6 estaciones pluviométricas (San Miguel, Miraflores, Chusis, Bernal, Mallares y esperanza), se ha obtenido todas las posibles combinaciones tal y como se puede observar en la Tabla 37, donde cada letra (A, B, C, D, E y F) que correspondería a cada una de las 6 estaciones pluviométricas, se han combinado para obtener una correlación múltiple que necesita como mínimo 2 variables regresoras (estaciones pluviométricas) y como máximo el número de elementos que conforman el clúster, así se obtuvo que para cada variable regresada se necesitaran desarrollar como máximo 26 correlaciones múltiples entre cada una de las estaciones, obteniendo un total de 104 ecuaciones de correlación para las 4 estaciones de la cuenca Piura que integran el clúster 1.

Tabla 37. Combinación sin repetición de los elementos del clúster 1 para realizar correlaciones múltiples

N°	Descripción	Variable regresada	Variables regresoras				Combinación	
1	Grupos de 02 variables regresoras	A	B	C			B;C	
2		A	B		D		B;D	
3		A	B			E	B;E	
4		A	B				F	B;F
5		A		C	D			C;D
6		A		C		E		C;E
7		A		C			F	C;F
8		A			D	E		D;E
9		A				D	F	D;F
10		A					E	F
11	Grupos de 03 variables regresoras	A	B	C	D			B;C;D
12		A	B	C		E		B;C;E
13		A	B	C			F	B;C;F
14		A		C	D	E		C;D;E
15		A		C	D		F	C;D;F
16		A			D	E	F	D;E;F
17		A	B			E	F	B;E;F
18		A		C		E	F	C;E;F
19		A	B		D	E		B;D;E
20		A	B			D	F	B;D;F
21	Grupos de 04 variables regresoras	A	B	C	D	E		B;C;D;E
22		A	B	C	D		F	B;C;D;F
23		A	B		D	E	F	B;D;E;F
24		A		C	D	E	F	C;D;E;F
25		A	B	C		E	F	B;C;E;F
26	Grupos de 05 variables regresoras	A	B	C	D	E	F	B;C;D;E;F

El mismo procedimiento se realizó para los elementos que conforman los clústeres 2 y 3, arrojando un número de 57 y 11 ecuaciones de correlación múltiple por cada estación de la cuenca Piura respectivamente, esto resulta un total de 468 ecuaciones de correlación múltiple entre los clústeres 1, 2 y 3, de los cuales solo 126 se ajustan a los criterios que se describen en el siguiente párrafo.

Realizadas las correlaciones en el software MINITAB se ha escogido los mejores ajustes que tengan valores de coeficiente de correlación múltiple ajustado mayores a 0.7 y estableciendo un valor de cero al término constante de cada ecuación. Si bien el criterio establecido disminuye en una pequeña proporción el ajuste, debido a que, se obliga a la ecuación lineal pasar por el origen, es necesario ya que la estimación de un dato faltante en un periodo en donde no se han presentado lluvias y las medidas de precipitación en las estaciones cercanas son iguales a cero, es lógico deducir que la precipitación en la estación evaluada es igual a cero y no al valor constante.

Posteriormente, se estableció el criterio de eliminar las variables independientes cuyo coeficiente de correlación es negativo porque físicamente no se puede presentar valores negativos para la precipitación, además, se utilizó el descarte de variables regresoras no significativas con ayuda del estadístico "P-valor" de cada variable independiente correlacionada; este evaluara como hipótesis nula a los coeficiente iguales a cero (no hay efecto) y para un "P-valor" bajo (< 0.05) indicara que se no se puede aceptar la hipótesis nula, es decir, existe la probabilidad que un predictor que tenga un "P-valor" bajo sea una adición significativa al modelo, ya que los cambios en la variable de respuesta se relacionan con los cambios en el valor del predictor. Por otra parte, un "P-valor" más grande (insignificante) quiere decir que los cambios en el predictor no están asociados con modificación en la respuesta, lo que llevara a eliminar la variable independiente y descartar la variable correlacionada. Neyra & Olivares (2019)

En la Tabla 38, se presenta un ejemplo de los resultados obtenidos de la correlación entre la estación San Miguel vs Chusis, Miraflores y Esperanza; nótese, que la ecuación es la misma que la presentada en la primera fila de la Tabla 39 que corresponde a todas las correlaciones aceptadas para el relleno de datos.

Tabla 38. Correlación múltiple realizada en el software MINITAB entre las estaciones San Miguel vs Chusis, Miraflores y Esperanza

Análisis de regresión: SAN_MIGUEL vs. CHUSIS; ... LORES; ESPERANZA					
Método					
Filas no utilizadas: 489					
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	124443	41481.1	25889.88	0.000
CHUSIS	1	49	48.5	30.28	0.000
MIRAFLORES	1	136	135.9	84.80	0.000
ESPERANZA	1	168	167.9	104.79	0.000
Error	84	135	1.6		
Falta de ajuste	23	134	5.8	606.95	0.000
Error puro	61	1	0.0		
Total	87	124578			
Resumen del modelo					
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)		
1.26579	99.89%	99.89%	87.07%		
Coefficientes					
Término	Coef	EE del coef	Valor T	Valor p	FIV
CHUSIS	1.224	0.222	5.50	0.000	21.39
MIRAFLORES	0.4181	0.0454	9.21	0.000	187.70
ESPERANZA	0.3049	0.0298	10.24	0.000	156.05
Ecuación de regresión					
SAN_MIGUEL = 1.224 CHUSIS + 0.4181 MIRAFLORES + 0.3049 ESPERANZA					

Tabla 39. Ecuaciones de correlación múltiple aceptadas para el relleno de datos faltantes de precipitaciones

N°	V. Regresada	Ecuación de correlación múltiple	N° de variables regresoras	R2 ajustado	P-valor máximo	Filas utilizadas
1	San_Miguel	1.224 Chusis + 0.4181 Miraflores + 0.3049 Esperanza	3	0.9989	0.0000	87
2	San_Miguel	1.705 Chusis + 0.5065 Esperanza + 0.0863 Mallares	3	0.9980	0.0000	87
3	San_Miguel	1.911 Chusis + 0.5717 Esperanza	2	0.9977	0.0000	92
4	San_Miguel	0.3897 Miraflores + 0.3969 Esperanza	2	0.9849	0.0000	112
5	San_Miguel	0.3885 Esperanza + 0.3335 Mallares	2	0.9847	0.0000	114
6	San_Miguel	0.2490 Chusis + 0.6199 Bernal + 0.1019 Mallares	3	0.9802	0.0150	109
7	San_Miguel	0.1814 Chusis + 0.8190 Bernal	2	0.9790	0.0000	104
8	San_Miguel	0.2762 Chusis + 0.1595 Miraflores + 0.4095 Mallares	3	0.9382	0.0110	233
9	San_Miguel	0.3553 Chusis + 0.5202 Mallares	2	0.9373	0.0000	247
10	San_Miguel	0.4750 Miraflores + 0.2408 Mallares	2	0.9277	0.0000	277
11	San_Miguel	0.1177 Chusis + 0.6453 Miraflores	2	0.9186	0.0050	250
12	Miraflores	0.646 Chusis + 0.2560 Esperanza + 0.4920 Mallares	3	0.9803	0.0000	131
13	Miraflores	0.1393 Chusis + 0.725 Bernal + 0.4271 Mallares	3	0.9735	0.0360	154
14	Miraflores	0.9303 Bernal + 0.3764 Mallares	2	0.9727	0.0000	208
15	Miraflores	0.1643 Esperanza + 0.6729 Mallares	2	0.9646	0.0000	180

N°	V. Regresada	Ecuación de correlación múltiple	N° de variables regresoras	R2 ajustado	P-valor máximo	Filas utilizadas
16	Miraflores	0.4339 Chusis + 0.1747 San_Miguel + 0.6033 Mallares	3	0.9621	0.0110	233
17	Miraflores	0.9968 Bernal + 0.827 Esperanza + 0.1297 Mallares	3	0.9582	0.0030	109
18	Miraflores	0.5096 Chusis + 0.6848 Mallares	2	0.9562	0.0000	368
19	Miraflores	1.656 Chusis + 0.6390 Esperanza	2	0.9551	0.0000	138
20	Miraflores	1.0144 Bernal + 1.2049 Esperanza	2	0.9463	0.0000	116
21	Miraflores	0.6445 San_Miguel + 0.4988 Mallares	2	0.9457	0.0000	277
22	Miraflores	1.190 Chusis + 0.688 Bernal + 0.731 Esperanza	3	0.9311	0.0180	81
23	Miraflores	0.3047 Chusis + 1.0354 San_Miguel	2	0.9268	0.0000	250
24	Chusis	0.3488 Bernal + 0.1205 Esperanza + 0.0941 Mallares	3	0.9721	0.0130	86
25	Chusis	0.3774 Bernal + 0.0597 Miraflores + 0.1857 Esperanza	3	0.9627	0.0170	81
26	Chusis	0.4488 Bernal + 0.2488 Esperanza	2	0.9599	0.0000	91
27	Chusis	0.2608 San_Miguel + 0.4208 Miraflores	2	0.7862	0.0050	250
28	Bernal	0.5012 San_Miguel + 0.3454 Miraflores	2	0.9869	0.0000	132
29	Bernal	0.2196 Chusis + 0.4755 San_Miguel + 0.2220 Mallares	3	0.9843	0.0000	109
30	Bernal	0.3650 Chusis + 0.3370 Miraflores + 0.0983 Mallares	3	0.9740	0.0080	154
31	Bernal	0.3321 Chusis + 0.4492 Miraflores	2	0.9726	0.0000	161
32	Bernal	0.5466 Chusis + 0.3190 Mallares	2	0.9657	0.0000	173
33	Bernal	0.7574 San_Miguel + 0.1703 Mallares	2	0.9470	0.0000	137
34	Morropón	0.5331 Virrey + 0.2489 Malacasí	2	1.0000	0.0000	57
35	Morropón	0.4954 Virrey + 0.1175 San_Pedro + 0.1804 Malacasí	3	1.0000	0.0000	57
36	Morropón	0.3919 Virrey + 0.2816 Malacasí + 0.260 Lancones	3	1.0000	0.0250	55
37	Morropón	0.3315 Virrey + 0.1221 San_Pedro + 0.2154 Malacasí + 0.2992 Lancones	4	1.0000	0.0030	55
38	Morropón	0.4189 Virrey + 0.2517 San_Pedro + 0.1508 Hacienda_Bigote	3	0.9996	0.0000	81
39	Morropón	0.1968 Chulucanas + 0.2544 Virrey + 0.2302 San_Pedro + 0.1565 Hacienda_Bigote	4	0.9996	0.0460	71
40	Morropón	0.322 Chulucanas + 0.270 Virrey + 0.2133 Hacienda_Bigote	3	0.9994	0.0130	77
41	Morropón	0.2136 Virrey + 0.2506 Hacienda_Bigote + 0.699 Lancones	3	0.9993	0.0190	83
42	Morropón	0.5580 Virrey + 0.2132 Hacienda_Bigote	2	0.9992	0.0000	87
43	Morropón	0.1274 Chulucanas + 0.3597 San_Pedro + 0.3166 Malacasí + 0.1679 Hacienda_Bigote	4	0.9936	0.0080	73
44	Morropón	0.1615 Chulucanas + 0.3848 San_Pedro + 0.4491 Malacasí	3	0.9897	0.0000	143
45	Morropón	0.5384 Malacasí + 0.2817 Hacienda_Bigote + 0.3044 Lancones	3	0.9848	0.0000	90
46	Morropón	0.2686 Chulucanas + 0.7357 Malacasí	2	0.9830	0.0000	145

N°	V. Regresada	Ecuación de correlación múltiple	N° de variables regresoras	R2 ajustado	P-valor máximo	Filas utilizadas
47	Morropón	0.5277 Virrey + 0.1961 San_Pedro	2	0.9816	0.0000	191
48	Morropón	0.1460 San_Pedro + 0.4796 Malacasí + 0.3721 Hacienda_Bigote	3	0.9807	0.0060	96
49	Morropón	0.6711 Malacasí + 0.3176 Hacienda_Bigote	2	0.9793	0.0000	96
50	Morropón	0.2685 Chulucanas + 0.4154 San_Pedro + 0.2503 Hacienda_Bigote	3	0.9761	0.0000	147
51	Morropón	0.8310 Malacasí + 0.2360 Lancones	2	0.9740	0.0000	179
52	Morropón	0.1916 San_Pedro + 0.7977 Malacasí	2	0.9674	0.0000	200
53	Morropón	0.2930 Chulucanas + 0.4290 Hacienda_Bigote + 0.3517 Lancones	3	0.9661	0.0000	155
54	Morropón	0.3541 San_Pedro + 0.4767 Hacienda_Bigote + 0.2722 Lancones	3	0.9628	0.0000	189
55	Morropón	0.4791 Chulucanas + 0.4459 Hacienda_Bigote	2	0.9568	0.0000	166
56	Morropón	0.4104 San_Pedro + 0.5629 Hacienda_Bigote	2	0.9529	0.0000	200
57	Morropón	0.6879 Hacienda_Bigote + 0.4462 Lancones	2	0.9467	0.0000	204
58	Morropón	0.2872 Chulucanas + 0.6170 San_Pedro	2	0.9312	0.0000	317
59	Morropón	0.6861 San_Pedro + 0.2952 Lancones	2	0.9081	0.0000	422
60	Malacasí	0.4868 Virrey + 0.2819 San_Pedro	2	0.9999	0.0020	58
61	Malacasí	0.1585 Chulucanas + 0.2250 San_Pedro + 0.5572 Hacienda_Bigote	3	0.9895	0.0000	76
62	Malacasí	0.1585 Chulucanas + 0.2250 San_Pedro + 0.5572 Hacienda_Bigote	3	0.9895	0.0000	76
63	Malacasí	0.2569 Chulucanas + 0.6647 Hacienda_Bigote	2	0.9874	0.0000	76
64	Malacasí	0.3536 San_Pedro + 0.6298 Hacienda_Bigote	2	0.9850	0.0000	103
65	Malacasí	0.2314 San_Pedro + 0.4266 Morropón + 0.3383 Hacienda_Bigote	3	0.9827	0.0000	96
66	Malacasí	0.7060 Morropón + 0.2726 Hacienda_Bigote	2	0.9780	0.0000	96
67	Malacasí	0.8481 Hacienda_Bigote + 0.1760 Lancones	2	0.9736	0.0000	137
68	Malacasí	0.2018 San_Pedro + 0.7816 Morropón	2	0.9679	0.0000	200
69	Malacasí	0.2401 Chulucanas + 0.7087 San_Pedro	2	0.9552	0.0000	146
70	Malacasí	0.6096 Chulucanas + 0.5257 Lancones	2	0.9107	0.0000	135
71	San_Pedro	0.321 Virrey + 0.583 Malacasí	2	0.9998	0.0110	58
72	San_Pedro	0.5524 Virrey + 0.2477 Hacienda_Bigote	2	0.9945	0.0000	88
73	San_Pedro	0.1058 Chulucanas + 0.6478 Malacasí + 0.3665 Lancones	3	0.9709	0.0300	133
74	San_Pedro	0.5186 Virrey + 0.4402 Lancones	2	0.9648	0.0000	191
75	San_Pedro	0.1623 Chulucanas + 0.3999 Hacienda_Bigote + 0.6571 Lancones	3	0.9648	0.0000	151

N°	V. Regresada	Ecuación de correlación múltiple	N° de variables regresoras	R2 ajustado	P-valor máximo	Filas utilizadas
76	San_Pedro	0.2781 Chulucanas + 0.7453 Malacasí	2	0.9567	0.0000	146
77	San_Pedro	0.3080 Virrey + 0.685 Morropón	2	0.9521	0.0000	191
78	San_Pedro	0.7747 Malacasí + 0.3366 Lancones	2	0.9505	0.0000	184
79	San_Pedro	0.3241 Chulucanas + 0.6859 Morropón	2	0.9329	0.0000	317
80	San_Pedro	0.476 Morropón + 0.512 Malacasí	2	0.9225	0.0000	200
81	San_Pedro	0.6103 Hacienda_Bigote + 0.4952 Lancones	2	0.9221	0.0000	209
82	San_Pedro	0.4978 Chulucanas + 0.4623 Hacienda_Bigote	2	0.9071	0.0000	160
83	San_Pedro	0.8580 Morropón + 0.2105 Lancones	2	0.8996	0.0000	422
84	Virrey	0.4279 Malacasí + 1.5447 Lancones	2	1.0000	0.0000	56
85	Virrey	0.346 San_Pedro + 1.085 Malacasí	2	0.9999	0.0110	58
86	Virrey	0.717 Chulucanas + 0.0509 Hacienda_Bigote + 0.707 Lancones	3	0.9997	0.0060	78
87	Virrey	0.1244 Hacienda_Bigote + 2.0032 Lancones	2	0.9995	0.0000	93
88	Virrey	0.5773 Chulucanas + 0.6595 Morropón	2	0.9946	0.0000	151
89	Virrey	1.1821 Morropón + 0.3194 Lancones	2	0.9878	0.0000	190
90	Virrey	0.2026 San_Pedro + 1.2123 Morropón	2	0.9800	0.0000	191
91	Hacienda Bigote	0.1573 Virrey + 0.7716 Malacasí	2	1.0000	0.0000	33
92	Hacienda Bigote	0.1566 Virrey + 0.0910 San_Pedro + 0.6774 Malacasí	3	1.0000	0.0030	33
93	Hacienda Bigote	0.561 Morropón + 0.458 Malacasí	2	0.9656	0.0000	87
94	Hacienda Bigote	0.1836 Chulucanas + 1.300 San_Pedro - 0.774 Lancones	3	0.9023	0.0210	151
95	Hacienda Bigote	0.2662 Chulucanas + 0.7083 San_Pedro	2	0.8665	0.0010	160
96	Chulucanas	0.6672 Virrey + 0.3309 Malacasí	2	1.0000	0.0000	51
97	Chulucanas	0.5662 Virrey + 0.1496 San_Pedro + 0.3203 Malacasí	3	1.0000	0.0000	51
98	Chulucanas	0.2690 Virrey + 0.677 Morropón + 0.2165 Malacasí	3	1.0000	0.0010	50
99	Chulucanas	0.5020 Virrey + 0.2198 Malacasí + 0.530 Lancones	3	1.0000	0.0020	50
100	Chulucanas	0.2736 Virrey + 0.0935 San_Pedro + 0.562 Morropón + 0.2294 Malacasí	4	1.0000	0.0070	50
101	Chulucanas	0.3327 Virrey + 0.1830 San_Pedro + 0.1760 Malacasí + 0.678 Lancones	4	1.0000	0.0000	50
102	Chulucanas	0.4645 Virrey + 0.0443 Hacienda_Bigote + 0.878 Lancones	3	0.9997	0.0030	78
103	Chulucanas	0.4331 Virrey + 0.3376 Morropón + 0.49183 Lancones	3	0.9996	0.0000	143
104	Chulucanas	0.58463 Virrey + 0.2158 San_Pedro + 0.3386 Lancones	3	0.9994	0.0000	145
105	Chulucanas	0.69789 Virrey + 0.4307 Lancones	2	0.9988	0.0000	152
106	Chulucanas	0.5027 Virrey + 0.5757 San_Pedro	2	0.9953	0.0000	154
107	Chulucanas	0.3260 San_Pedro + 0.2316 Morropón + 0.6306 Lancones	3	0.9456	0.0000	289
108	Chulucanas	0.5190 San_Pedro + 0.6561 Lancones	2	0.9428	0.0000	359

N°	V. Regresada	Ecuación de correlación múltiple	N° de variables regresoras	R2 ajustado	P-valor máximo	Filas utilizadas
109	Chulucanas	0.4923 Morropón + 0.7150 Lancones	2	0.9391	0.0000	307
110	Chulucanas	0.508 San_Pedro + 0.461 Malacasí	2	0.9184	0.0000	146
111	Chulucanas	0.336 San_Pedro + 0.411 Malacasí + 0.330 Lancones	3	0.9083	0.0300	133
112	Chulucanas	0.6523 Malacasí + 0.470 Lancones	2	0.9056	0.0000	135
113	Chulucanas	0.5193 San_Pedro + 0.5116 Morropón	2	0.9007	0.0000	317
114	Chulucanas	0.558 San_Pedro + 0.1942 Hacienda_Bigote + 0.395 Lancones	3	0.8916	0.0210	151
115	Chulucanas	0.4841 Hacienda_Bigote + 0.7562 Lancones	2	0.8755	0.0000	175
116	Chulucanas	0.7012 San_Pedro + 0.2448 Hacienda_Bigote	2	0.8708	0.0010	160
117	Chalaco	1.945 Sausal + 0.4035 Pacaypampa	2	0.9623	0.0000	55
118	Chalaco	0.4481 Huarmaca + 1.531 Sausal	2	0.9579	0.0000	103
119	Chalaco	0.7431 Huarmaca + 0.1374 Sapollica	2	0.9426	0.0450	79
120	Chalaco	0.2486 Sapollica + 2.431 Sausal	2	0.9406	0.0000	72
121	Chalaco	0.320 Sapollica + 0.7565 Pacaypampa	2	0.9214	0.0110	41
122	Huarmaca	0.6147 Chalaco + 0.5973 Pacaypampa	2	0.9643	0.0000	61
123	Huarmaca	1.0056 Chalaco + 0.1675 Sapollica	2	0.9429	0.0360	79
124	Huarmaca	0.4932 Sapollica + 0.7758 Pacaypampa	2	0.8968	0.0000	182
125	Huarmaca	0.4765 Sapollica + 2.020 Sausal	2	0.8789	0.0000	253
126	Huarmaca	1.290 Sausal + 0.6023 Pacaypampa	2	0.8682	0.0000	272

Con las ecuaciones de correlación múltiple determinadas, se procedió al relleno de datos faltantes, obteniendo un relleno de 2223 datos de precipitación acumulada mensual de los 2655 datos totales, quedando así un déficit de 432 datos por rellenar. Esto se debe a que, de las 126 correlaciones múltiples determinadas y que cumplen las condiciones para el relleno de información, solo se pudieron utilizar 83, porque las variables regresoras empleadas para el resto de las ecuaciones poseen datos faltantes, por lo tanto, no se pueden utilizar.

Para completar el relleno de información, se procedió a determinar todas las posibles correlaciones simples entre cada una de las 18 estaciones pluviométricas consideradas, determinado así las ecuaciones para el relleno de los 432 datos faltantes y que se muestran en la Tabla 40. Finalmente, se logró obtener 120 correlaciones simples aceptadas, de las cuales solo se utilizaron 63 para el relleno de los 432 datos faltantes.

Tabla 40. Ecuaciones de correlación simple aceptadas para el relleno de datos faltantes

Nº	Variable regresada	Ecuación de correlación simple	R ² ajustado	P-valor máximo	Filas utilizadas
1	San_Miguel	0.42467 Virrey	0.9793	0.0000	133
2	San_Miguel	0.9959 Bernal	0.9674	0.0000	142
3	San_Miguel	0.7466 Esperanza	0.9527	0.0000	119
4	San_Miguel	0.7108 Miraflores	0.9188	0.0000	294
5	San_Miguel	0.6902 Mallares	0.8980	0.0000	298
6	San_Miguel	0.35524 Chulucanas	0.8628	0.0000	229
7	San_Miguel	0.3963 Lancones	0.8213	0.0000	278
8	San_Miguel	0.3408 San_Pedro	0.7625	0.0000	308
9	San_Miguel	0.9470 Chusis	0.7576	0.0000	266
10	San_Miguel	0.3719 Malacasí	0.7134	0.0000	162
11	San_Miguel	0.3939 Hacienda_Bigote	0.6735	0.0000	153
12	San_Miguel	0.3028 Morropón	0.5539	0.0000	296
13	Miraflores	0.43209 Virrey	0.9647	0.0000	194
14	Miraflores	1.4236 Bernal	0.9510	0.0000	219
15	Miraflores	1.2931 San_Miguel	0.9188	0.0000	294
16	Miraflores	0.9203 Mallares	0.9130	0.0000	462
17	Miraflores	0.38193 Chulucanas	0.8811	0.0000	342
18	Miraflores	0.5306 Lancones	0.8577	0.0000	437
19	Miraflores	0.9270 Esperanza	0.8381	0.0000	189
20	Miraflores	1.3104 Chusis	0.7641	0.0000	398
21	Miraflores	0.4031 San_Pedro	0.7218	0.0000	459
22	Miraflores	0.3283 Morropón	0.6320	0.0000	451
23	Miraflores	0.4066 Malacasí	0.5820	0.0000	201
24	Miraflores	0.4273 Hacienda_Bigote	0.5261	0.0000	222
25	Chusis	1.0081 Bernal	0.9089	0.0000	182
26	Chusis	0.3891 Virrey	0.8240	0.0000	156
27	Chusis	0.5835 Miraflores	0.7641	0.0000	398
28	Chusis	0.7990 San_Miguel	0.7557	0.0000	266
29	Chusis	0.5126 Mallares	0.5987	0.0000	413
30	Chusis	0.2900 Lancones	0.5433	0.0000	394
31	Chusis	0.2508 Chulucanas	0.5396	0.0000	306
32	Bernal	0.337197 Virrey	0.9982	0.0000	124
33	Bernal	0.9716 San_Miguel	0.9674	0.0000	142
34	Bernal	0.6682 Miraflores	0.9510	0.0000	219
35	Bernal	0.9021 Chusis	0.9089	0.0000	182
36	Bernal	0.31492 Chulucanas	0.8670	0.0000	158
37	Bernal	0.6440 Mallares	0.8432	0.0000	240
38	Bernal	0.4718 Malacasí	0.8290	0.0000	59
39	Bernal	0.3853 Lancones	0.8086	0.0000	243
40	Bernal	0.3627 San_Pedro	0.8047	0.0000	218
41	Bernal	0.9220 Esperanza	0.7006	0.0000	133

Nº	Variable regresada	Ecuación de correlación simple	R ² ajustado	P-valor máximo	Filas utilizadas
42	Bernal	0.4203 Hacienda_Bigote	0.6937	0.0000	127
43	Bernal	0.2785 Morropón	0.6704	0.0000	227
44	Morropón	0.67937 Virrey	0.9788	0.0000	202
45	Morropón	0.9856 Malacasí	0.9644	0.0000	202
46	Morropón	0.9125 Hacienda_Bigote	0.9161	0.0000	220
47	Morropón	0.8730 San_Pedro	0.8932	0.0000	473
48	Morropón	0.8568 Chulucanas	0.8763	0.0000	340
49	Morropón	1.0779 Lancones	0.7763	0.0000	454
50	Morropón	1.6688 Mallares	0.6887	0.0000	473
51	Morropón	2.412 Bernal	0.6718	0.0000	227
52	Morropón	1.9276 Miraflores	0.6320	0.0000	451
53	Morropón	1.8338 San_Miguel	0.5539	0.0000	296
54	Malacasí	0.69071 Virrey	0.9999	0.0000	58
55	Malacasí	0.9786 Morropón	0.9944	0.0000	202
56	Malacasí	0.9919 Hacienda_Bigote	0.9646	0.0000	103
57	Malacasí	0.8795 San_Pedro	0.9307	0.0000	208
58	Malacasí	0.9267 Chulucanas	0.9057	0.0000	148
59	Malacasí	1.763 Bernal	0.8290	0.0000	59
60	Malacasí	0.9383 Lancones	0.7640	0.0000	186
61	Malacasí	1.5889 Mallares	0.7545	0.0000	189
62	Malacasí	1.9229 San_Miguel	0.7134	0.0000	162
63	Malacasí	1.4365 Miraflores	0.5820	0.0000	201
64	San_Pedro	0.7734 Virrey	0.9434	0.0000	203
65	San_Pedro	1.0586 Malacasí	0.9307	0.0000	208
66	San_Pedro	1.0234 Morropón	0.8932	0.0000	444
67	San_Pedro	0.9075 Chulucanas	0.8841	0.0000	339
68	San_Pedro	1.0163 Hacienda_Bigote	0.8398	0.0000	222
69	San_Pedro	2.2196 Bernal	0.8042	0.0000	218
70	San_Pedro	1.0094 Lancones	0.7861	0.0000	454
71	San_Pedro	1.6966 Mallares	0.7763	0.0000	474
72	San_Pedro	2.2396 San_Miguel	0.7522	0.0000	308
73	San_Pedro	1.7922 Miraflores	0.7218	0.0000	459
74	San_Pedro	1.6573 Esperanza	0.6299	0.0000	190
75	Virrey	1.44758 Malacasí	0.9999	0.0000	58
76	Virrey	1.22486 Esperanza	0.9997	0.0000	113
77	Virrey	2.96337 Bernal	0.9992	0.0000	124
78	Virrey	1.04156 Chulucanas	0.9865	0.0000	162
79	Virrey	2.3065 San_Miguel	0.9793	0.0000	133
80	Virrey	1.4410 Morropón	0.9788	0.0000	202
81	Virrey	2.2330 Miraflores	0.9647	0.0000	194
82	Virrey	1.3826 Hacienda_Bigote	0.9599	0.0000	99
83	Virrey	1.2199 San_Pedro	0.9432	0.0000	203
84	Virrey	2.1007 Mallares	0.8935	0.0000	206

N°	Variable regresada	Ecuación de correlación simple	R ² ajustado	P-valor máximo	Filas utilizadas
85	Virrey	1.4645 Lancones	0.8469	0.0000	209
86	Virrey	2.1203 Chusis	0.8240	0.0000	156
87	Chulucanas	2.158 Chusis	0.5396	0.0000	306
88	Hacienda_Bigote	0.9729 Malacasí	0.9646	0.0000	103
89	Hacienda_Bigote	0.6945 Virrey	0.9599	0.0000	99
90	Hacienda_Bigote	1.0044 Morropón	0.9161	0.0000	220
91	Hacienda_Bigote	0.8270 San_Pedro	0.8398	0.0000	222
92	Hacienda_Bigote	0.9305 Chulucanas	0.7998	0.0000	190
93	Hacienda_Bigote	1.6563 Bernal	0.6937	0.0000	127
94	Hacienda_Bigote	1.7151 San_Miguel	0.6735	0.0000	153
95	Hacienda_Bigote	1.3644 Mallares	0.6225	0.0000	242
96	Hacienda_Bigote	0.7765 Lancones	0.6178	0.0000	236
97	Hacienda_Bigote	5.253 Esperanza	0.5534	0.0000	88
98	Hacienda_Bigote	1.2363 Miraflores	0.5261	0.0000	222
99	Chulucanas	0.94721 Virrey	0.9865	0.0000	162
100	Chulucanas	0.9780 Malacasí	0.9057	0.0000	148
101	Chulucanas	1.9791 Mallares	0.8930	0.0000	359
102	Chulucanas	1.1974 Lancones	0.8916	0.0000	338
103	Chulucanas	0.9745 San_Pedro	0.8841	0.0000	339
104	Chulucanas	2.3079 Miraflores	0.8811	0.0000	342
105	Chulucanas	1.0233 Morropón	0.8763	0.0000	340
106	Chulucanas	2.7558 Bernal	0.8670	0.0000	158
107	Chulucanas	2.4304 San_Miguel	0.8628	0.0000	229
108	Chulucanas	1.7991 Esperanza	0.8190	0.0000	152
109	Chulucanas	0.8595 Hacienda_Bigote	0.7987	0.0000	190
110	Chalaco	0.8478 Huarmaca	0.9205	0.0000	115
111	Chalaco	2.9337 Sausal	0.9191	0.0000	105
112	Chalaco	0.9502 Pacaypampa	0.9000	0.0000	63
113	Chalaco	1.0358 Sapillica	0.7756	0.0000	80
114	Chalaco	1.507 Lancones	0.5596	0.0000	108
115	Huarmaca	1.0866 Chalaco	0.9205	0.0000	115
116	Huarmaca	1.0536 Pacaypampa	0.8590	0.0000	324
117	Huarmaca	2.9496 Sausal	0.8484	0.0000	414
118	Huarmaca	1.0866 Sapillica	0.7704	0.0000	320
119	Huarmaca	0.9377 Hacienda_Bigote	0.7355	0.0000	237
120	Huarmaca	0.7012 Lancones	0.5420	0.0000	469

Establecidos los criterios antes descritos se logró culminar con el relleno de la información. En la Tabla 41 y Tabla 42 se presentan los resultados obtenidos del relleno, como una base de datos preliminar para la verificación de consistencia.

Tabla 41. Base datos preliminar de precipitación anual rellenada - A

Precipitación acumulada anual para las estaciones de la cuenca Piura							
Datos generales		Clúster 01				Clúster 02	
Nº	Año hidrológico	Chusis	Bernal	San_Miguel	Miraflores	Chulucanas	Virrey
1	1972 - 1973	41.3	56.2	64.4	107	489	733.2
2	1973 - 1974	15.6	9.7	17	19.2	56	61.2
3	1974 - 1975	42	29.5	55.4	41.3	207.4	278.5
4	1975 - 1976	40.7	52.2	89.7	72.4	362.4	368.1
5	1976 - 1977	40.6	60	54.7	58.3	334.8	235.4
6	1977 - 1978	9.5	24.2	31.2	43.9	139.4	39
7	1978 - 1979	13.6	10	12.9	15.6	62.5	97.8
8	1979 - 1980	14	21.5	6.8	52.2	127.5	139.8
9	1980 - 1981	31.6	33	38.5	36.8	279.2	583.6
10	1981 - 1982	9.4	5.3	5.4	9.1	12.8	3.3
11	1982 - 1983	1024.7	1482.7	1612.3	2094.3	4290.8	4477.9
12	1983 - 1984	10.5	24.7	31.5	50.9	236.5	312.5
13	1984 - 1985	5.5	6	6.4	13.5	103.2	42.7
14	1985 - 1986	13.2	13.3	8.6	19	84.7	51.3
15	1986 - 1987	79	100.9	65.8	224.7	535.3	750.6
16	1987 - 1988	7	18.8	27.8	20.6	33.9	32.8
17	1988 - 1989	17.4	36.4	37.1	55.2	459.9	516.4
18	1989 - 1990	1.2	4.7	3.7	7.6	71.6	38.7
19	1990 - 1991	7.7	9.3	5.2	6.5	69	0.9
20	1991 - 1992	83.3	97.5	225.2	347.8	866.5	1129
21	1992 - 1993	46	59.1	24.8	82.2	313.9	609.5
22	1993 - 1994	26.4	24.1	24.6	32.8	111.6	347
23	1994 - 1995	18.7	21.1	19.1	18.9	189.7	199.6
24	1995 - 1996	6.7	8.9	10.7	12.7	82.5	172.9
25	1996 - 1997	12.2	22.3	27.5	62.1	193.2	322.5
26	1997 - 1998	1027.2	1302	1306.4	2023.2	4145.8	7171
27	1998 - 1999	48.2	54.9	61.8	67.3	406.4	626
28	1999 - 2000	11.8	27.1	35.7	50.4	307	728.5
29	2000 - 2001	69.5	204.5	255.8	221	715.8	1400.8
30	2001 - 2002	92.5	185.7	177.2	280.8	756.7	981
31	2002 - 2003	13.7	21.3	18.3	35	156.6	178.4
32	2003 - 2004	5.2	13.1	12.4	19.9	133.7	140.1
33	2004 - 2005	9.4	21.6	23.2	29.5	194.8	259
34	2005 - 2006	47	39.3	36.6	60.7	400.6	596.6
35	2006 - 2007	8.1	11.4	15	14.9	157.4	173
36	2007 - 2008	40.5	131.5	146	193.7	1002.3	1619.3
37	2008 - 2009	56.4	55.8	65.3	74.7	554.3	708.2
38	2009 - 2010	56.8	73.5	111.1	108.3	435	642.8
39	2010 - 2011	14.8	18.1	28.1	21.7	170.3	244
40	2011 - 2012	61.2	85.4	128.7	113.5	935.6	1737.5
41	2012 - 2013	28.3	40	57	61.3	184.8	578
42	2013 - 2014	3.4	14.2	12.5	25.4	67.8	94.9
43	2014 - 2015	16.6	32.8	47.5	53.8	433.5	565.9
44	2015 - 2016	67.5	56.3	93.5	144.4	641.1	1224.5
45	2016 - 2017	662.7	562.1	623.4	776.8	2026.1	2340.7
46	2017 - 2018	8.2	9.7	11	10.9	104.5	105.1
47	2018 - 2019	19.8	25.6	43.8	50.4	447.7	530.7

Tabla 42. Base datos preliminar de precipitación anual rellenada - B

Precipitación acumulada anual para las estaciones de la cuenca Piura							
Datos generales		Clúster 02				Clúster 03	
Nº	Año hidrológico	San Pedro	Morropón	Malacasí	Hacienda Bigote	Chalaco	Huarmaca
1	1972 - 1973	662.3	656.5	614	723.6	962.7	1113.8
2	1973 - 1974	68.3	73.9	83	103	722.7	620.3
3	1974 - 1975	412.8	385.1	419.4	544.7	1345.7	1213.1
4	1975 - 1976	662	317.9	378.1	630.4	1035.5	1184.3
5	1976 - 1977	509.2	348.9	423	818.5	882.9	966.4
6	1977 - 1978	163.9	147.9	134.2	164.1	398	677.1
7	1978 - 1979	202.9	117.2	121.6	220.7	625.4	809.8
8	1979 - 1980	196.1	125.5	136.7	311.3	416.6	472.2
9	1980 - 1981	607.2	627.4	612.9	862.4	1118.8	930.4
10	1981 - 1982	77.3	32	23.6	49.6	455.1	561.5
11	1982 - 1983	3723.4	2985.7	3155.2	7227.4	2076	2293.7
12	1983 - 1984	408.1	357.7	210.6	316	1199.9	1192.7
13	1984 - 1985	321.4	133.2	111.8	298.5	520.5	664.3
14	1985 - 1986	232.4	71.8	86.8	135.7	843	789.4
15	1986 - 1987	718.4	691.7	684.6	1054.1	1038	901.6
16	1987 - 1988	112.2	53.4	55	136.1	757.1	654.3
17	1988 - 1989	632	386.8	425.4	717.5	1032.3	1318.3
18	1989 - 1990	177.6	33.9	56.8	126.2	631.9	559.8
19	1990 - 1991	180.3	66.2	51.4	1.9	710.8	767.2
20	1991 - 1992	1054.8	857.1	856.4	821.4	997.3	1132.9
21	1992 - 1993	443.7	532.3	456	513	1108.9	1249.6
22	1993 - 1994	255.4	256.8	252.3	258.1	1543.6	1651.6
23	1994 - 1995	254.5	224.6	206.5	196.7	664.8	865
24	1995 - 1996	108.4	140.7	132.5	141.2	547.2	573.3
25	1996 - 1997	271.2	196.9	291.7	321.5	424.6	542
26	1997 - 1998	3151.3	3052.5	2419.8	2184.4	1740.1	2040
27	1998 - 1999	516.4	607.2	554.8	837.1	1304.8	1424.6
28	1999 - 2000	485.3	570.8	648	769.4	1299.2	1547.8
29	2000 - 2001	818.4	752.9	915.8	858.9	1318.5	1408.1
30	2001 - 2002	1168.7	769.7	715.7	739.7	1109.3	1183.2
31	2002 - 2003	311.1	146.8	165.7	224.7	776.9	799.6
32	2003 - 2004	182.3	188.4	152.2	168.9	734.5	505.9
33	2004 - 2005	247	166.7	212.3	187.8	1284.4	966.5
34	2005 - 2006	680.4	593.8	505.1	639.4	1241.4	1342.3
35	2006 - 2007	228.9	183.9	117.2	168.2	963	773.5
36	2007 - 2008	1256.1	1177.6	1172.4	1197.2	1583.4	2070
37	2008 - 2009	785.2	458.9	570.4	532.7	1393.9	1444.8
38	2009 - 2010	425.1	371	465.6	445.7	1144.5	1048.3
39	2010 - 2011	301.9	238	214.9	230.9	923.5	919.6
40	2011 - 2012	791.3	1201.5	1137.5	1196.7	1567.7	1693.5
41	2012 - 2013	406.3	209.9	181.8	185.5	1074	711.2
42	2013 - 2014	144.8	85.4	133.2	158.1	1163.4	629.3
43	2014 - 2015	609.2	515.7	639.7	466.2	1363.1	1138.6
44	2015 - 2016	538	570.4	469.9	536.1	1205.4	993.8
45	2016 - 2017	2083.5	1890.4	1881.5	1890.2	1758.2	1845.4
46	2017 - 2018	106.7	108.7	127.2	199.2	1058.8	740
47	2018 - 2019	472.1	508.6	539	889.8	1026.8	1085.5

3.5.3 Análisis de consistencia

Como método de evaluación de la consistencia de la base de datos se ha utilizado las curvas doble masa acumulada. El procedimiento consistió en realizar la acumulación de la precipitación anual de los años hidrológicos 1972 a 2019 y posteriormente calcular el patrón de precipitaciones anuales (PPA), el cual es graficado junto con la precipitación acumulada, observado así, los mejores ajustes y las medidas de precipitación calculadas por defecto o exceso que necesitan ser corregidas.

3.5.3.1. Análisis de consistencia para el clúster 01. Para las estaciones que pertenecen a la cuenca Piura e integran el clúster 01 (Chusis, Bernal, San Miguel, Miraflores), el PPA inicial fue calculado como el promedio del acumulado de precipitaciones entre las 4 estaciones, observando que se presentan 3 saltos significativos producto de los Fenómenos El Niño, estableciendo así, 3 periodos de análisis: periodo 1 que inicia en el año hidrológico 2018-2019 y termina en 1998-1999; periodo 2 entre 1997-1998 con 1983-1984 y periodo 3 entre 1982-1983 con 1972-1973, dado que la acumulación es regresiva.

Como se puede observar en la Figura 36, la estación Chusis presenta medidas de precipitación acumulada por encima de la línea de tendencia para el periodo 1, cuyo valor de ajuste r^2 es el menor con respecto a las otras estaciones. Cuanto más cercano sea este valor a 1, existirá una mejor correlación entre las estaciones, obteniéndose valores más confiables, por dicho motivo, se decidió tomar como estaciones patrón a Bernal, San Miguel y Miraflores, corrigiendo los valores de precipitación de la estación Chusis.

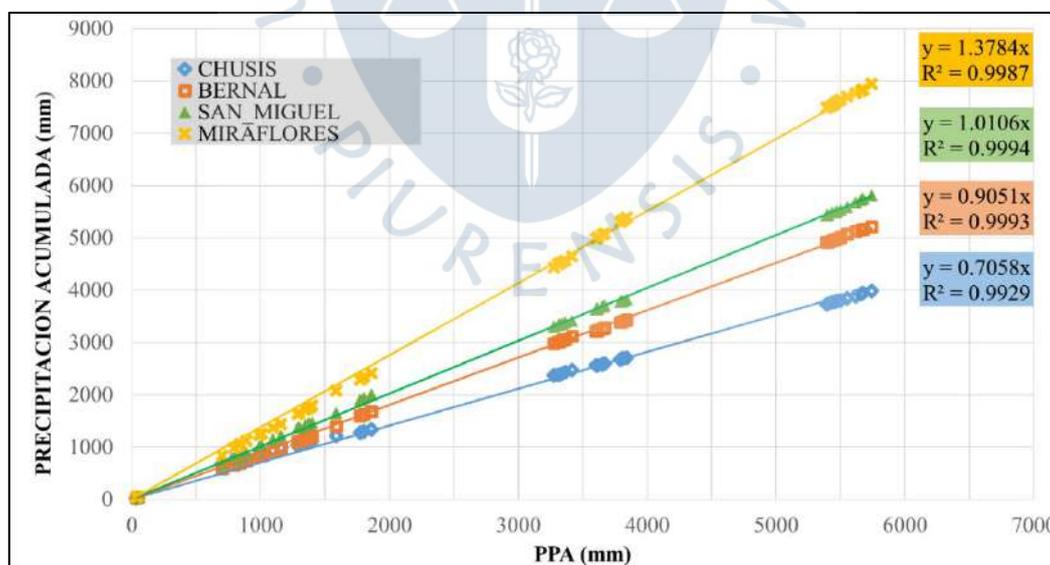


Figura 36. Curvas doble masa acumulada para el clúster 01

Calculado el nuevo PPA entre las 3 estaciones patrón del clúster 1, se puede observar en la Figura 37 que los coeficientes de correlación R^2 son cercanos a 1, es decir se mantienen con un buen ajuste al haber retirado los valores de la estación Chusis del cálculo del PPA, lo cual corrobora la elección de las 3 estaciones patrón seleccionadas.

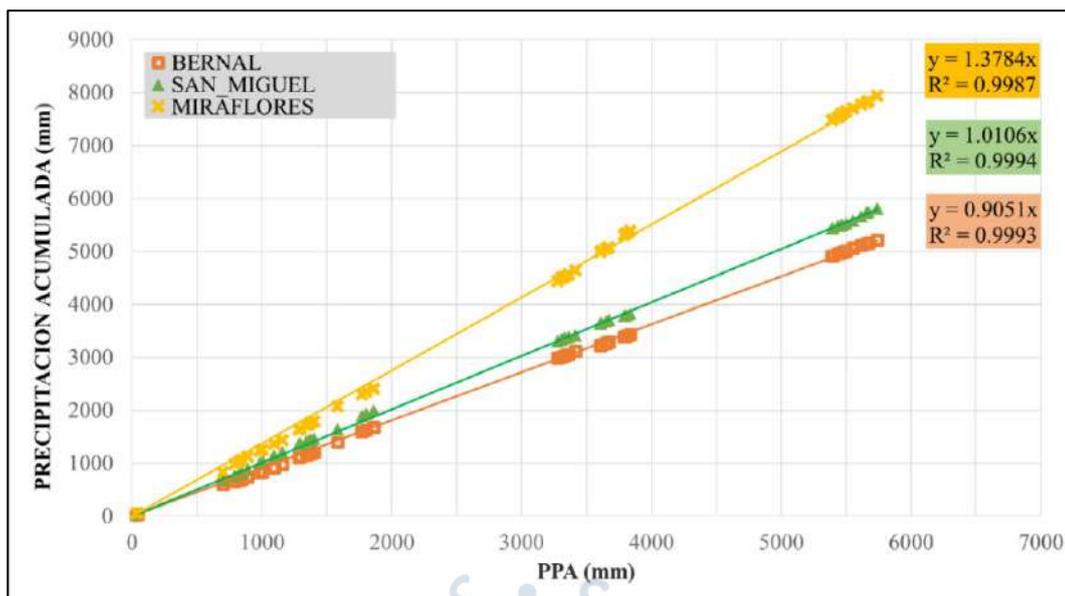


Figura 37. Curvas doble masa acumulada para el clúster 01 – PPA para las estaciones: Bernal, San Miguel y Miraflores

Con el nuevo valor del PPA, se determina el nuevo ajuste para la estación Chusis (ver Figura 38), en donde se observa que los periodos 2 y 3, se ajustan muy bien a la línea de tendencia, mientras que el periodo 1 presenta datos medidos por exceso (encima de la línea de tendencia) y por defecto (debajo de la línea de tendencia), por lo tanto, se decidió corregir los años 2016-2017, 2001-2002 y 1997-1998, con la pendiente de la curva 0.7004.

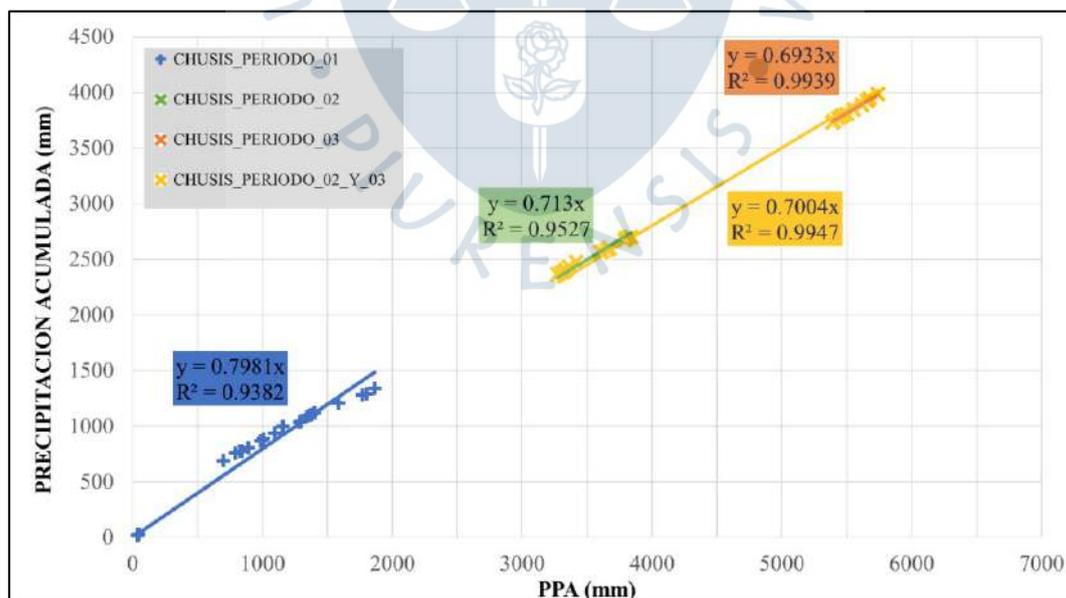


Figura 38. Curvas doble masa acumulada para el clúster 01 – corrección de estación Chusis

Finalmente, en la Figura 39, se presenta los ajustes para las 4 estaciones pluviométricas que conforman el clúster 1 luego de la corrección de la estación Chusis, mejorando el nivel de ajuste R2 inicial de 0.9929 a 0.9995, luego de la corrección. Además, según la Figura 40, la distribución de precipitaciones acumuladas sigue un mismo patrón luego de la corrección, lo cual corrobora la consistencia de los datos.

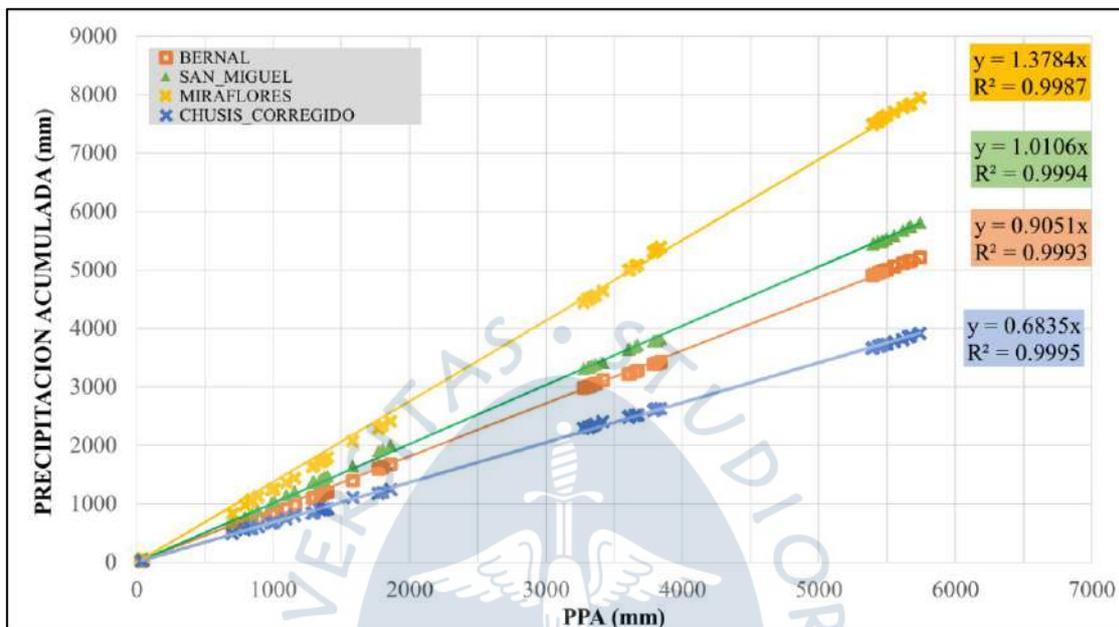


Figura 39. Curvas doble masa acumulada corregida para el clúster 01

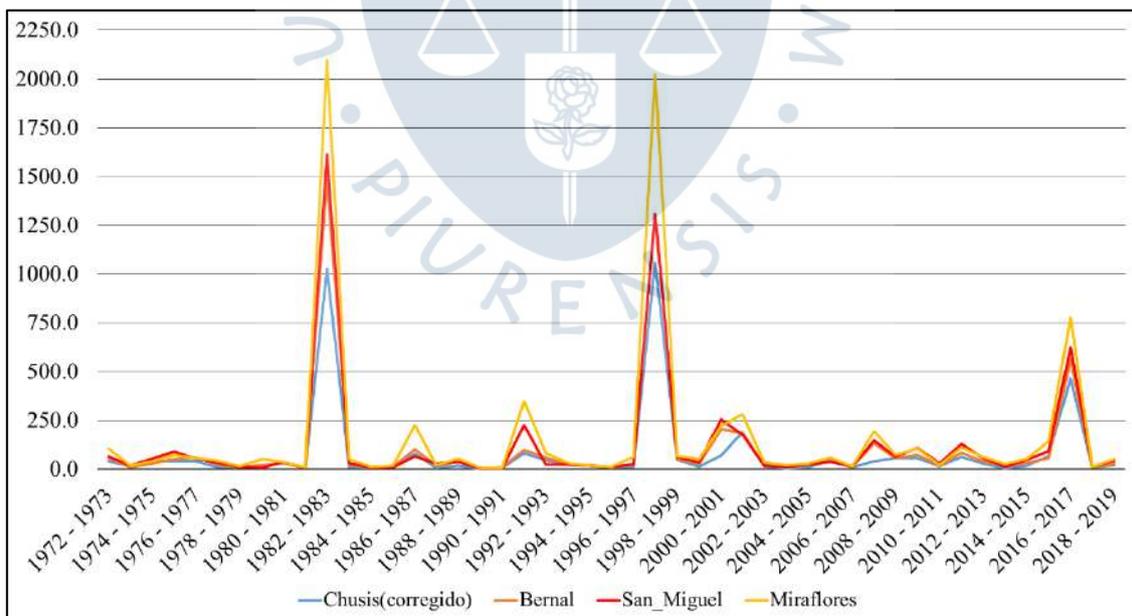


Figura 40. Distribución de precipitaciones acumuladas anuales consistente para el clúster 01

3.5.3.2. Análisis de consistencia para el clúster 02. Para efectuar el análisis de consistencia de las estaciones que conforman el clúster 2 (ver Figura 41), se ha verificado que las estaciones Virrey, Malacasí y Hacienda Bigote son las que presentan un valor de R^2 menor y visualmente los valores de precipitación acumulada se encuentran fuera de la línea de tendencia, por dicho motivo serán corregidas, tomando como estaciones patrón a Chulucanas, San Pedro y Morropón por su calidad de datos.

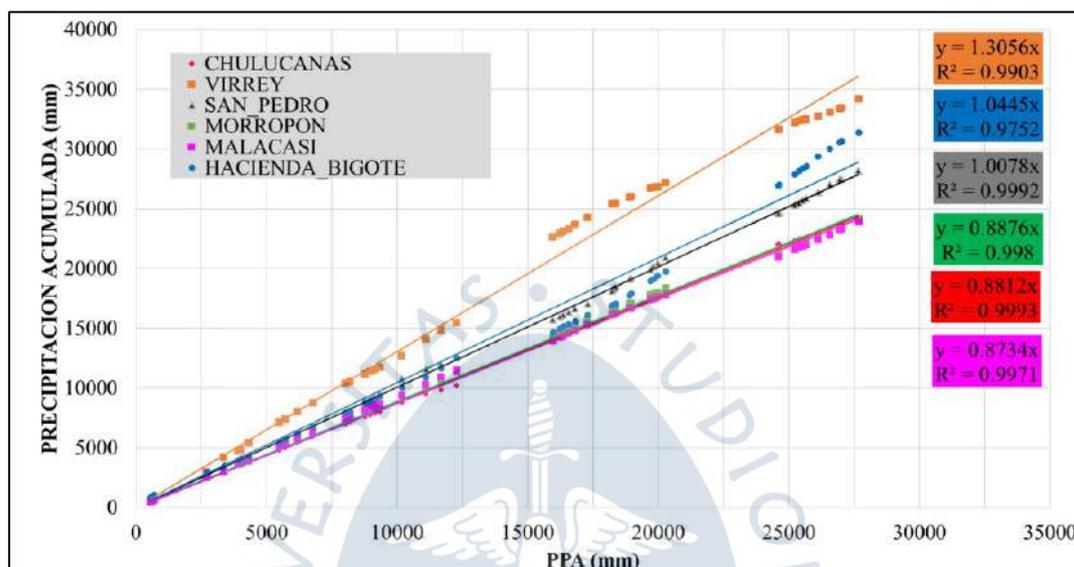


Figura 41. Curvas doble masa acumulada para el clúster 02

Calculado el nuevo PPA entre las 3 estaciones patrón del clúster 2, se puede observar en la Figura 42, donde los coeficientes de correlación R^2 son cercanos a 1, es decir se mantienen con un buen ajuste al haber retirado del cálculo del PPA los valores de las otras 3 estaciones a corregir, lo cual corrobora la elección de las 3 estaciones patrón seleccionadas.

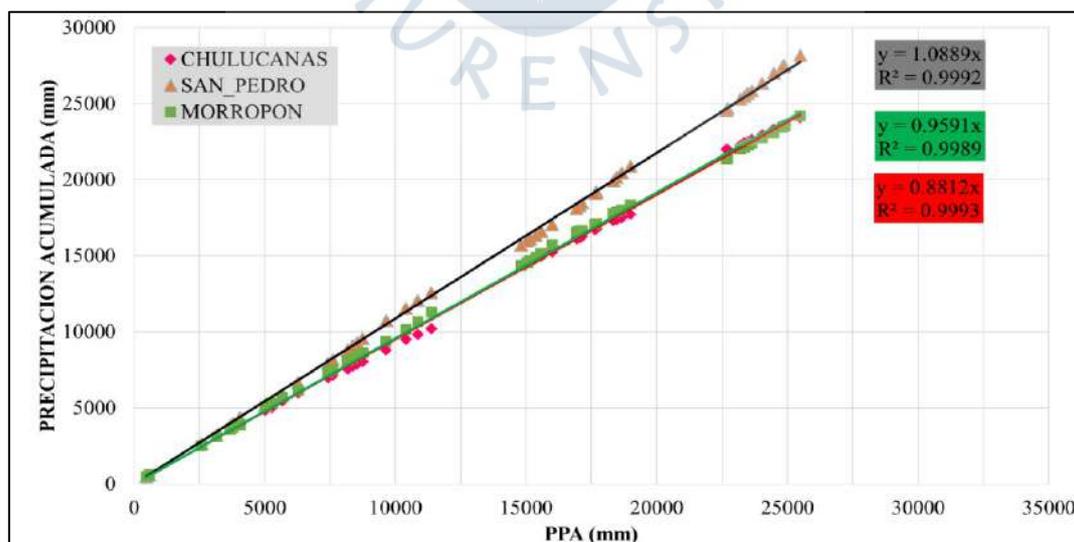


Figura 42. Curvas doble masa acumulada para el clúster 02 - PPA para las estaciones: Chulucanas, San Pedro y Morropón

Con el nuevo valor del PPA, se determina el nuevo ajuste para la estación Virrey (ver Figura 43), en donde se observa que los datos del periodo 1 se ajustan muy bien a la línea de tendencia, mientras que el periodo 2 y 3 tiene medidas por exceso y por defecto, por lo tanto, se decidió corregir los años 1997-1998, 1988-1989, 1985-1985, 1982-1983, 1977-1978 y 1975-1976 con la pendiente de la curva 1.3621. Los resultados obtenidos de la corrección se presentan en la Figura 44, cuyo nivel de ajuste R^2 inicial pasó de 0.9903 a 0.9997 luego de la corrección de la estación Virrey.

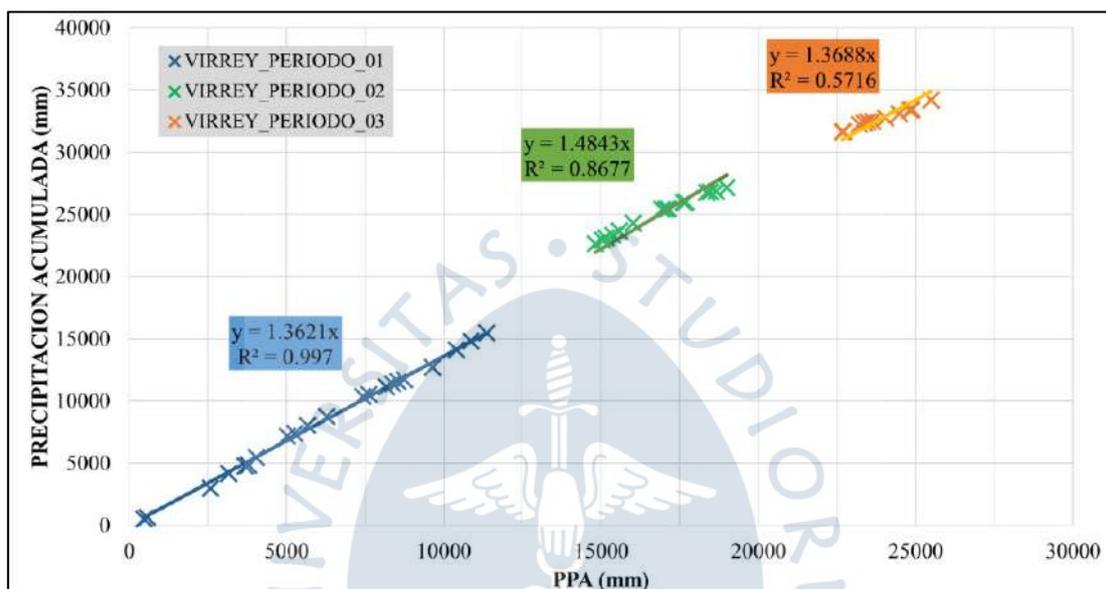


Figura 43. Curvas doble masa acumulada para el clúster 02 - corrección de estación Virrey

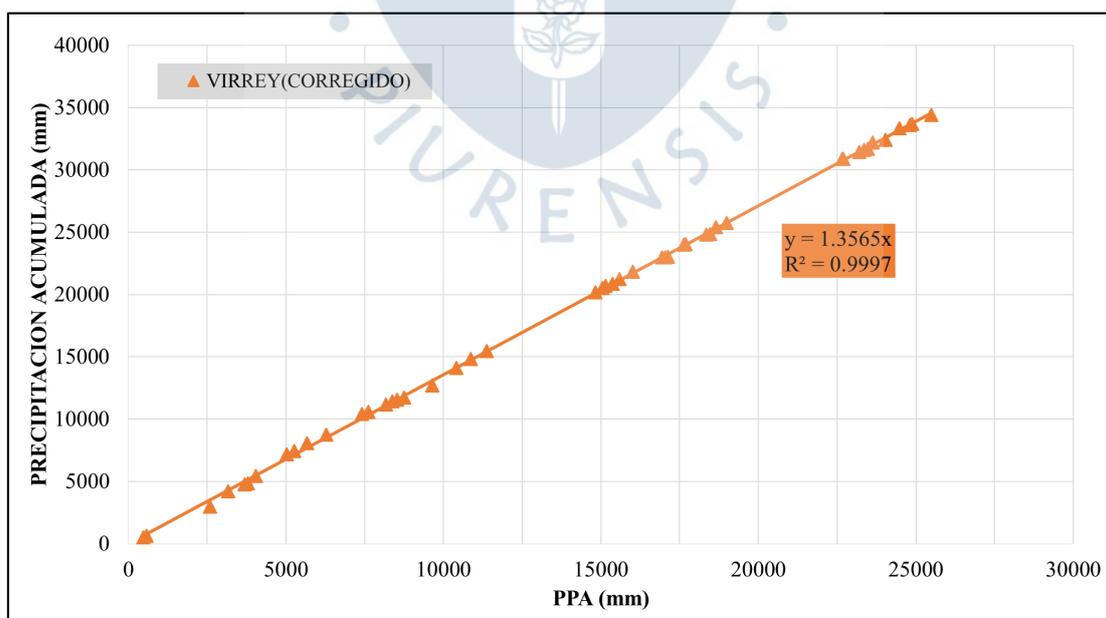


Figura 44. Curva doble masa acumulada corregida para la estación Virrey

Para la corrección de la estación Malacasí; en la Figura 45 se observa que los datos del periodo 1 se ajustan muy bien a la línea de tendencia, mientras que el periodo 2 y 3 tiene medidas por exceso y por defecto, por lo tanto, se decidió corregir los años 1997-1998 y 1982-1983 con la pendiente de la curva 1.001. Los resultados obtenidos de la corrección se presentan en la Figura 46 cuyo nivel de ajuste R^2 inicial pasó de 0.9971 a 0.9998 luego de la corrección de la estación Malacasí.

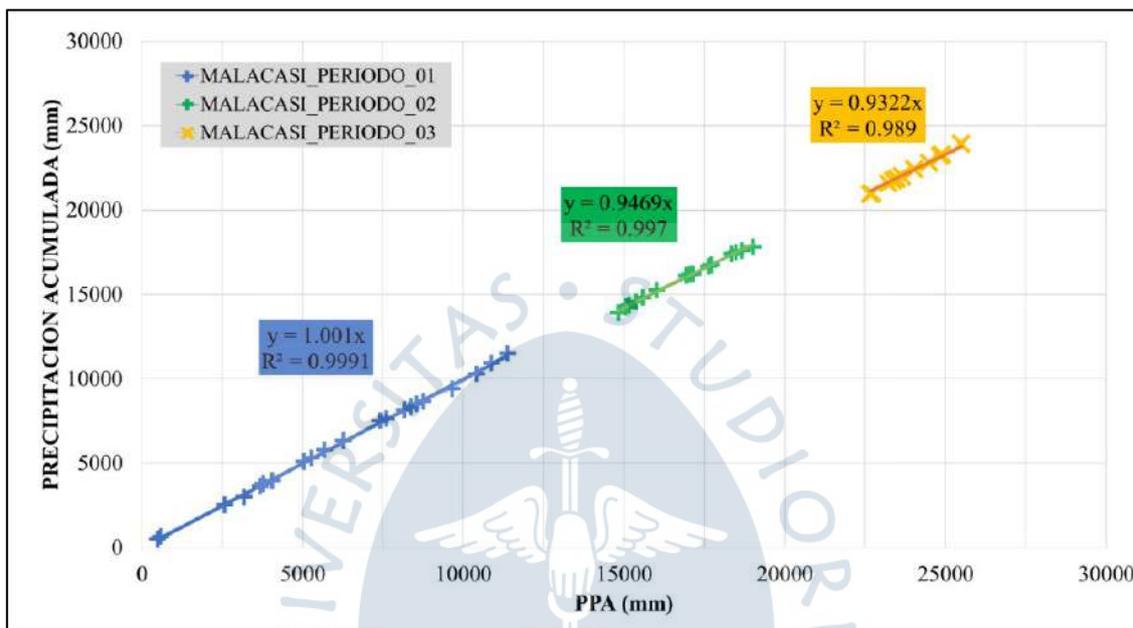


Figura 45. Curvas doble masa acumulada para el clúster 02 - corrección de estación Malacasí

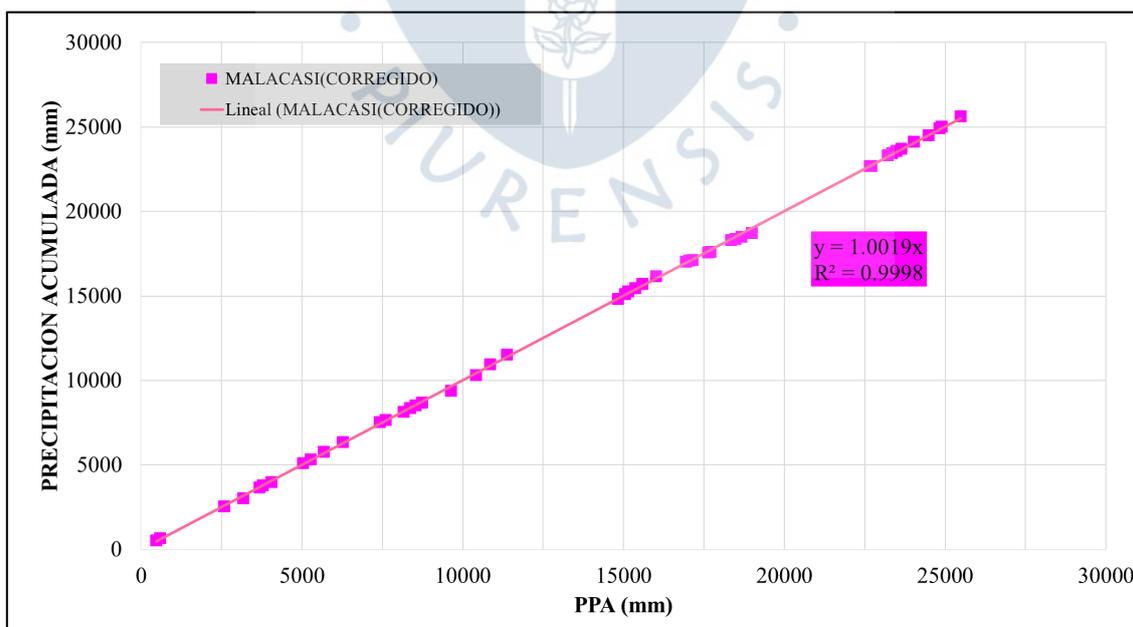


Figura 46. Curvas doble masa acumulada corregida para la estación Malacasí

Para la corrección de la estación Hacienda Bigote; en la Figura 47 se observa que los datos del periodo 1 se ajustan muy bien a la línea de tendencia, mientras que el periodo 2 y 3 tiene medidas por exceso y por defecto, por lo tanto, se decidió corregir los años 1997-1998, 1982-1983, 1980-1981 y 1976-1977 con la pendiente de la curva 1.0725. Los resultados obtenidos de la corrección se presentan en la Figura 48 cuyo nivel de ajuste R^2 pasó de 0.9752 (inicialmente) a 0.9998 luego de la corrección de la estación Hacienda Bigote.

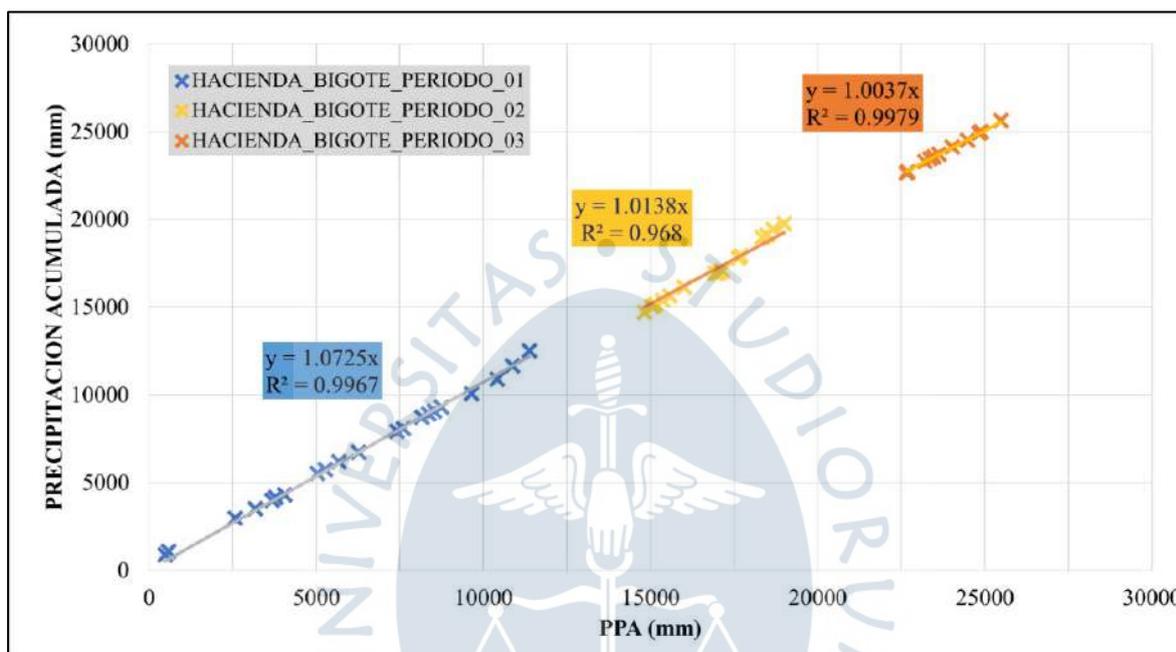


Figura 47. Curvas doble masa acumulada para el clúster 02 - corrección de estación Hacienda Bigote

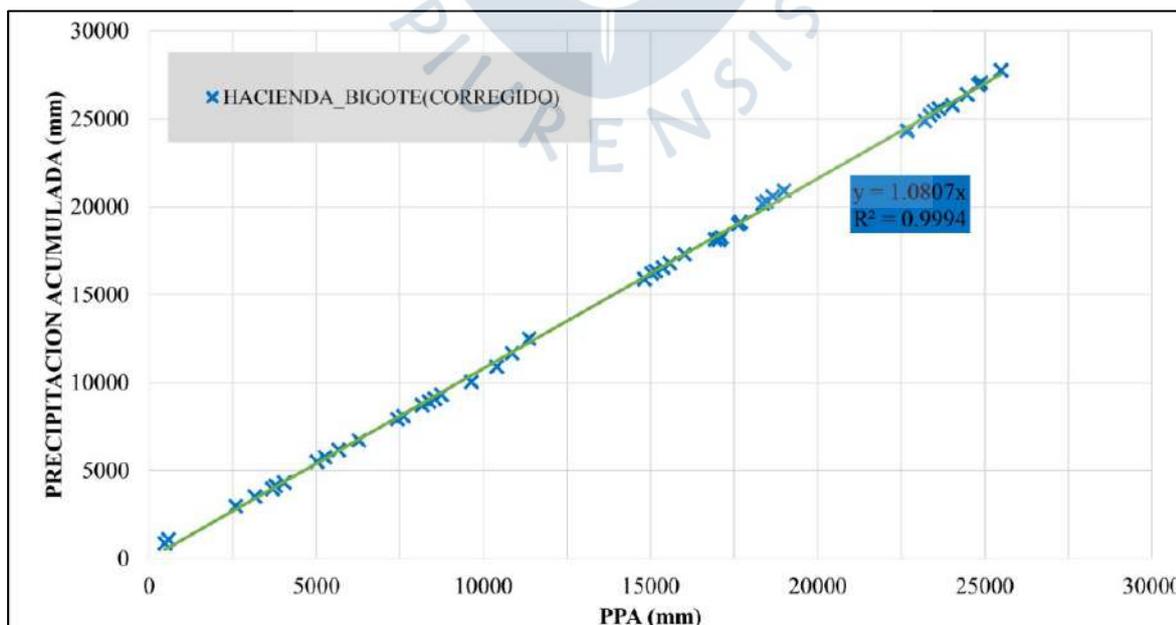


Figura 48. Curvas doble masa acumulada corregida para la estación Hacienda Bigote

Finalmente, en la Figura 49 se presenta los ajustes para las 6 estaciones pluviométricas que conforman el clúster 2 luego de la corrección de la estación Virrey, Malacasí y hacienda Bigote, observando, una mejora significativa en los ajustes y consecuentemente en la calidad de los datos, además, según la Figura 50 la distribución de precipitaciones acumuladas sigue un mismo patrón luego de la corrección, lo cual corrobora la consistencia de los datos.

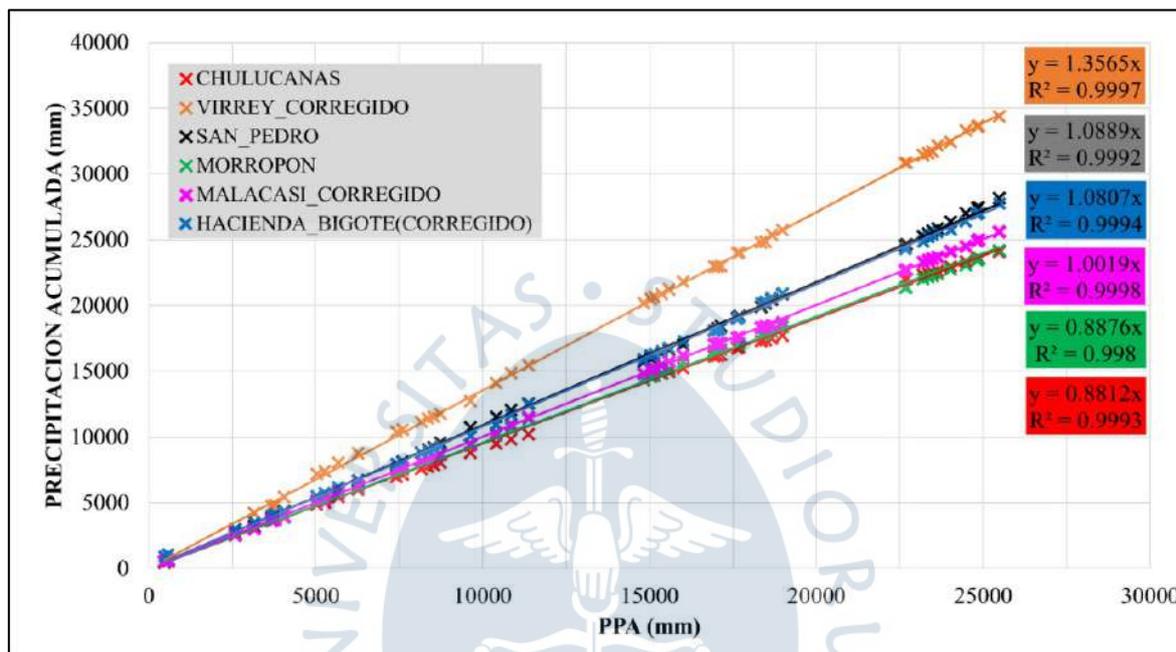


Figura 49. Curvas doble masa acumulada corregida para el clúster 02

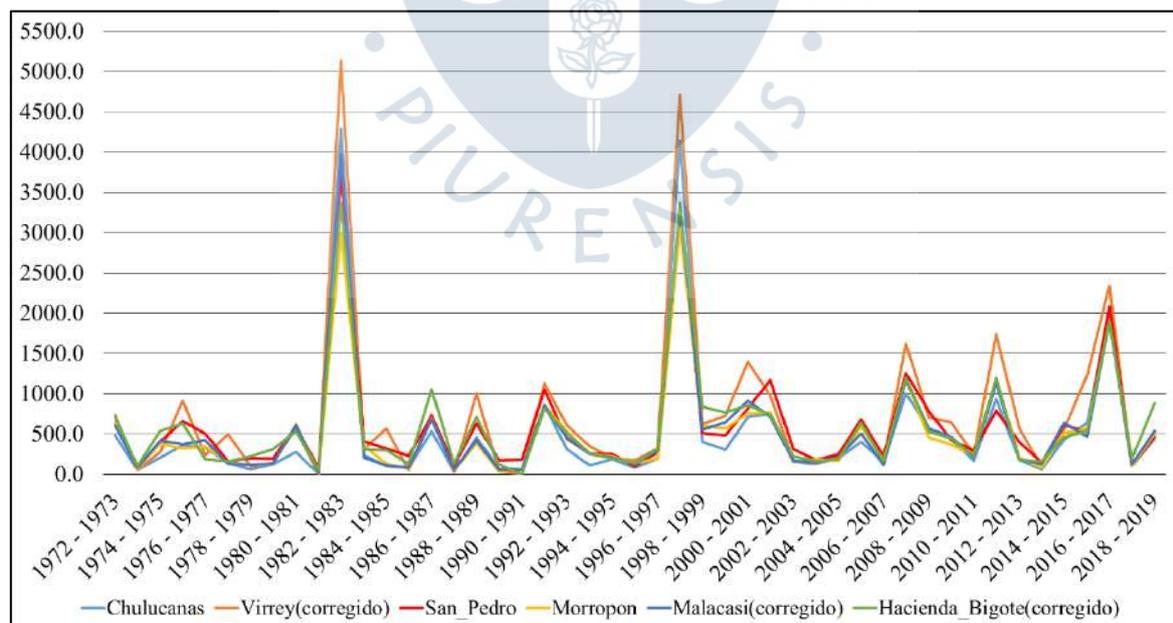


Figura 50. Distribución de precipitaciones acumuladas anuales consistente para el clúster 02

3.5.3.3. Análisis de consistencia para el clúster 03. Se determinó el valor del PPA para el clúster 03 entre las estaciones Chalaco y Huarmaca, que según la Figura 51 presentan un buen nivel de ajuste y visualmente las medidas de precipitación acumulada siguen una misma tendencia, por dicho motivo, se decidió no efectuar ninguna corrección tomando como consistente la base de datos inicial, además, según la Figura 52 la distribución de precipitaciones acumuladas se mantiene con un mismo patrón lo cual corrobora la consistencia de los datos.

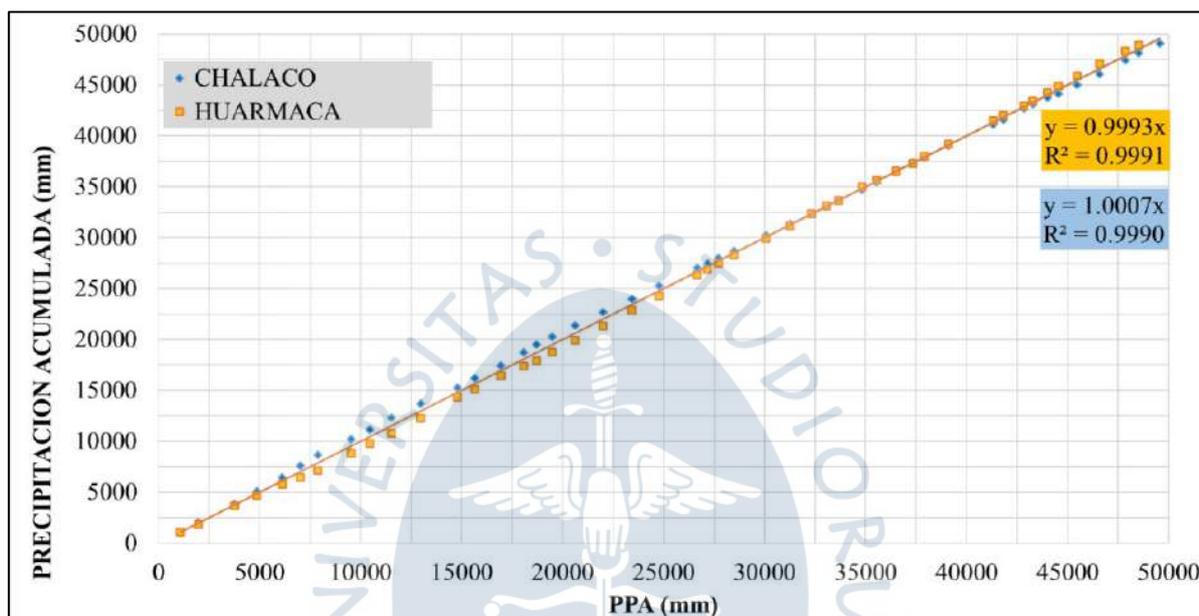


Figura 51. Curvas doble masa acumulada para el clúster 03

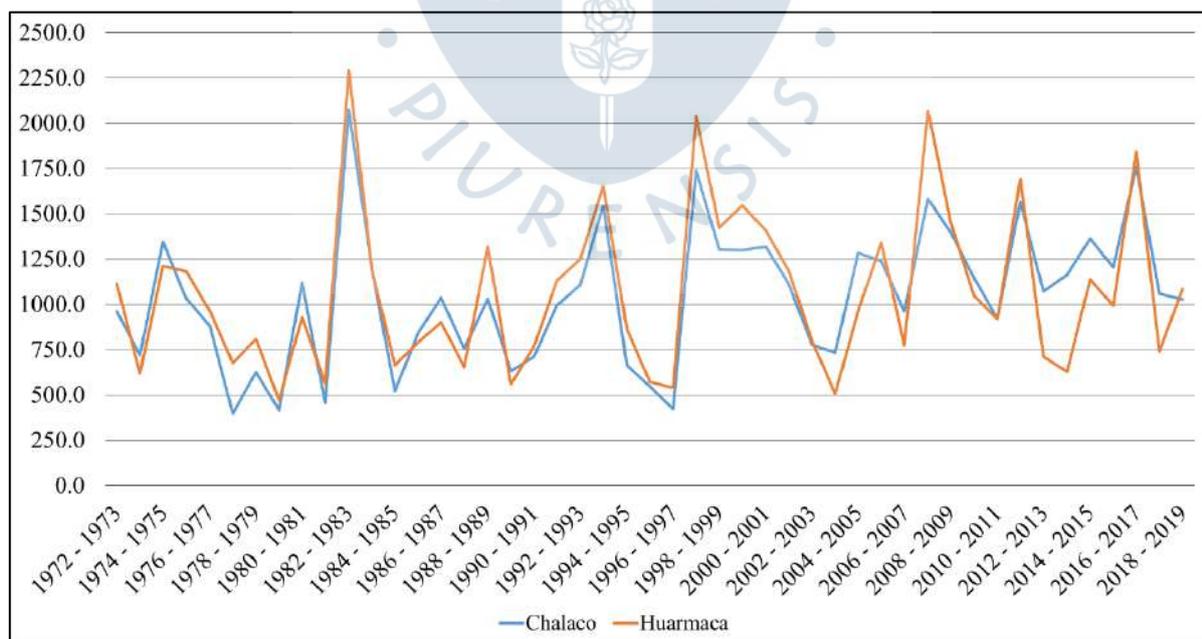


Figura 52. Distribución de precipitaciones acumuladas anuales consistente para el clúster 03

3.6 Resultados del análisis pluviométrico

En la Tabla 43 y Tabla 44 se presenta la base de datos de precipitaciones anuales consistente, en la que se puede observar celdas de color azul que corresponden a los datos corregidos durante el análisis de consistencia.

Tabla 43. Base datos de precipitación anual rellenada (consistente) – A

Precipitación acumulada anual consistente para las estaciones de la cuenca Piura							
Datos generales		1	2	3	4	5	6
N°	Año hidrológico	Chusis	Bernal	San_Miguel	Miraflores	Chulucanas	Virrey
1	1972 - 1973	41.3	56.2	64.4	107	489	733.2
2	1973 - 1974	15.6	9.7	17	19.2	56	61.2
3	1974 - 1975	42	29.5	55.4	41.3	207.4	278.5
4	1975 - 1976	40.7	52.2	89.7	72.4	362.4	915.7
5	1976 - 1977	40.6	60	54.7	58.3	334.8	235.4
6	1977 - 1978	9.5	24.2	31.2	43.9	139.4	500.7
7	1978 - 1979	13.6	10	12.9	15.6	62.5	97.8
8	1979 - 1980	14	21.5	6.8	52.2	127.5	139.8
9	1980 - 1981	31.6	33	38.5	36.8	279.2	583.6
10	1981 - 1982	9.4	5.3	5.4	9.1	12.8	3.3
11	1982 - 1983	1024.7	1482.7	1612.3	2094.3	4290.8	5136.9
12	1983 - 1984	10.5	24.7	31.5	50.9	236.5	312.5
13	1984 - 1985	5.5	6	6.4	13.5	103.2	569
14	1985 - 1986	13.2	13.3	8.6	19	84.7	51.3
15	1986 - 1987	79	100.9	65.8	224.7	535.3	750.6
16	1987 - 1988	7	18.8	27.8	20.6	33.9	32.8
17	1988 - 1989	17.4	36.4	37.1	55.2	459.9	1007.9
18	1989 - 1990	1.2	4.7	3.7	7.6	71.6	38.7
19	1990 - 1991	7.7	9.3	5.2	6.5	69	0.9
20	1991 - 1992	83.3	97.5	225.2	347.8	866.5	1129
21	1992 - 1993	46	59.1	24.8	82.2	313.9	609.5
22	1993 - 1994	26.4	24.1	24.6	32.8	111.6	347
23	1994 - 1995	18.7	21.1	19.1	18.9	189.7	199.6
24	1995 - 1996	6.7	8.9	10.7	12.7	82.5	172.9
25	1996 - 1997	12.2	22.3	27.5	62.1	193.2	322.5
26	1997 - 1998	1055.4	1302	1306.4	2023.2	4145.8	4709.8
27	1998 - 1999	48.2	54.9	61.8	67.3	406.4	626
28	1999 - 2000	11.8	27.1	35.7	50.4	307	728.5
29	2000 - 2001	69.5	204.5	255.8	221	715.8	1400.8
30	2001 - 2002	189.4	185.7	177.2	280.8	756.7	981
31	2002 - 2003	13.7	21.3	18.3	35	156.6	178.4
32	2003 - 2004	5.2	13.1	12.4	19.9	133.7	140.1
33	2004 - 2005	9.4	21.6	23.2	29.5	194.8	259
34	2005 - 2006	47	39.3	36.6	60.7	400.6	596.6
35	2006 - 2007	8.1	11.4	15	14.9	157.4	173
36	2007 - 2008	40.5	131.5	146	193.7	1002.3	1619.3
37	2008 - 2009	56.4	55.8	65.3	74.7	554.3	708.2
38	2009 - 2010	56.8	73.5	111.1	108.3	435	642.8
39	2010 - 2011	14.8	18.1	28.1	21.7	170.3	244
40	2011 - 2012	61.2	85.4	128.7	113.5	935.6	1737.5
41	2012 - 2013	28.3	40	57	61.3	184.8	578
42	2013 - 2014	3.4	14.2	12.5	25.4	67.8	94.9
43	2014 - 2015	16.6	32.8	47.5	53.8	433.5	565.9
44	2015 - 2016	67.5	56.3	93.5	144.4	641.1	1224.5
45	2016 - 2017	463.1	562.1	623.4	776.8	2026.1	2340.7
46	2017 - 2018	8.2	9.7	11	10.9	104.5	105.1
47	2018 - 2019	19.8	25.6	43.8	50.4	447.7	530.7

Tabla 44. Base datos de precipitación anual rellenada (consistente) – B

Precipitación acumulada anual consistente para las estaciones de la cuenca Piura							
Datos generales		7	8	9	10	11	12
N°	Año hidrológico	San_Pedro	Morropón	Malacasí	Hacienda_Bigote	Chalaco	Huarmaca
1	1972 - 1973	662.3	656.5	614	723.6	962.7	1113.8
2	1973 - 1974	68.3	73.9	83	103	722.7	620.3
3	1974 - 1975	412.8	385.1	419.4	544.7	1345.7	1213.1
4	1975 - 1976	662	317.9	378.1	630.4	1035.5	1184.3
5	1976 - 1977	509.2	348.9	423	189	882.9	966.4
6	1977 - 1978	163.9	147.9	134.2	164.1	398	677.1
7	1978 - 1979	202.9	117.2	121.6	220.7	625.4	809.8
8	1979 - 1980	196.1	125.5	136.7	311.3	416.6	472.2
9	1980 - 1981	607.2	627.4	612.9	535.2	1118.8	930.4
10	1981 - 1982	77.3	32	23.6	49.6	455.1	561.5
11	1982 - 1983	3723.4	2985.7	3971.7	3372.3	2076	2293.7
12	1983 - 1984	408.1	357.7	210.6	316	1199.9	1192.7
13	1984 - 1985	321.4	133.2	111.8	298.5	520.5	664.3
14	1985 - 1986	232.4	71.8	86.8	135.7	843	789.4
15	1986 - 1987	718.4	691.7	684.6	1054.1	1038	901.6
16	1987 - 1988	112.2	53.4	55	136.1	757.1	654.3
17	1988 - 1989	632	386.8	425.4	717.5	1032.3	1318.3
18	1989 - 1990	177.6	33.9	56.8	126.2	631.9	559.8
19	1990 - 1991	180.3	66.2	51.4	1.9	710.8	767.2
20	1991 - 1992	1054.8	857.1	856.4	821.4	997.3	1132.9
21	1992 - 1993	443.7	532.3	456	513	1108.9	1249.6
22	1993 - 1994	255.4	256.8	252.3	258.1	1543.6	1651.6
23	1994 - 1995	254.5	224.6	206.5	196.7	664.8	865
24	1995 - 1996	108.4	140.7	132.5	141.2	547.2	573.3
25	1996 - 1997	271.2	196.9	291.7	321.5	424.6	542
26	1997 - 1998	3151.3	3052.5	3313.8	3370.8	1740.1	2040
27	1998 - 1999	516.4	607.2	554.8	837.1	1304.8	1424.6
28	1999 - 2000	485.3	570.8	648	769.4	1299.2	1547.8
29	2000 - 2001	818.4	752.9	915.8	858.9	1318.5	1408.1
30	2001 - 2002	1168.7	769.7	715.7	739.7	1109.3	1183.2
31	2002 - 2003	311.1	146.8	165.7	224.7	776.9	799.6
32	2003 - 2004	182.3	188.4	152.2	168.9	734.5	505.9
33	2004 - 2005	247	166.7	212.3	187.8	1284.4	966.5
34	2005 - 2006	680.4	593.8	505.1	639.4	1241.4	1342.3
35	2006 - 2007	228.9	183.9	117.2	168.2	963	773.5
36	2007 - 2008	1256.1	1177.6	1172.4	1197.2	1583.4	2070
37	2008 - 2009	785.2	458.9	570.4	532.7	1393.9	1444.8
38	2009 - 2010	425.1	371	465.6	445.7	1144.5	1048.3
39	2010 - 2011	301.9	238	214.9	230.9	923.5	919.6
40	2011 - 2012	791.3	1201.5	1137.5	1196.7	1567.7	1693.5
41	2012 - 2013	406.3	209.9	181.8	185.5	1074	711.2
42	2013 - 2014	144.8	85.4	133.2	158.1	1163.4	629.3
43	2014 - 2015	609.2	515.7	639.7	466.2	1363.1	1138.6
44	2015 - 2016	538	570.4	469.9	536.1	1205.4	993.8
45	2016 - 2017	2083.5	1890.4	1881.5	1890.2	1758.2	1845.4
46	2017 - 2018	106.7	108.7	127.2	199.2	1058.8	740
47	2018 - 2019	472.1	508.6	539	889.8	1026.8	1085.5

3.6.1 Mapas de isoyetas

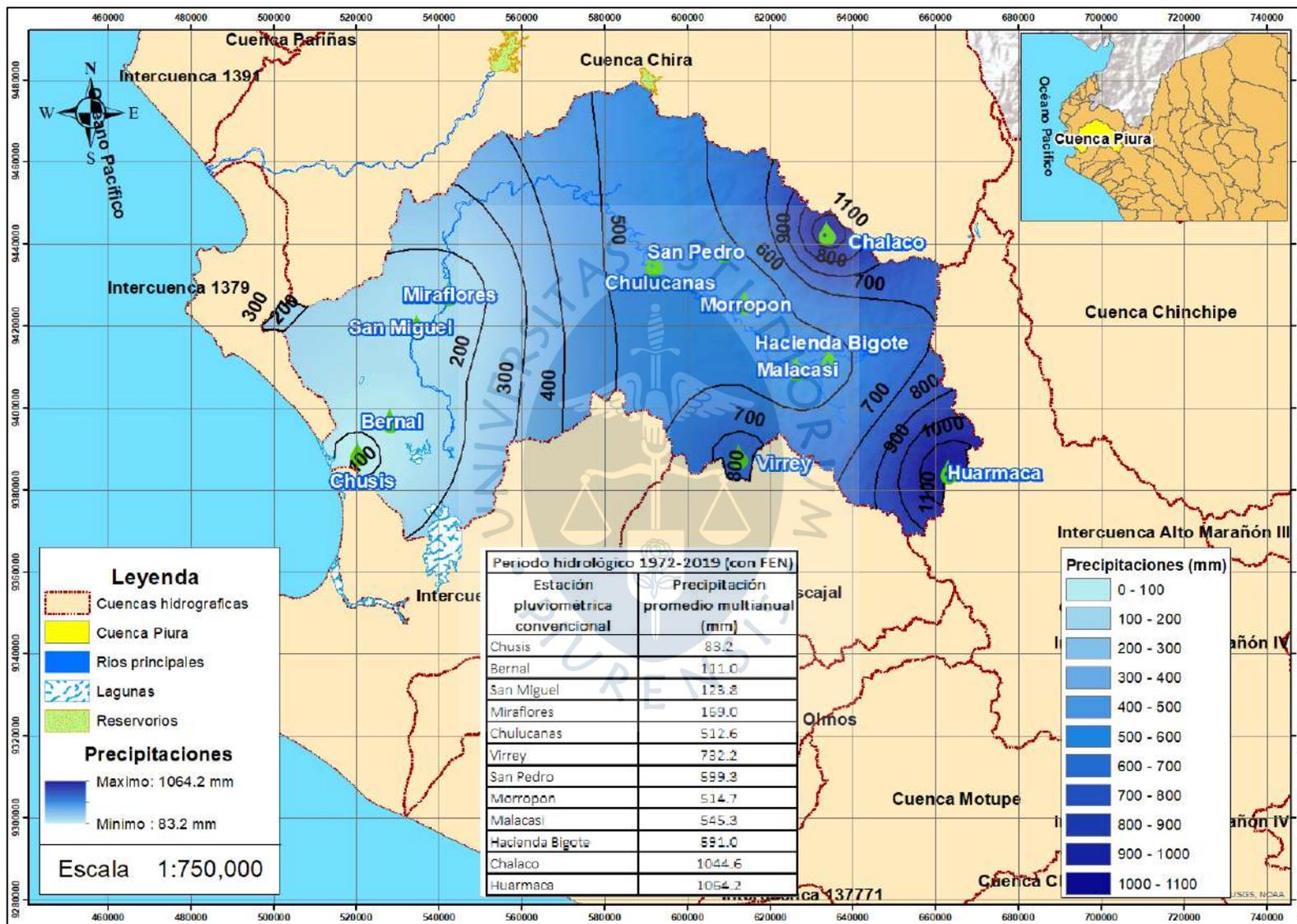


Figura 53. Mapa de isoyetas de la precipitación promedio multianual para el periodo hidrológico 1972-2019 considerando los FEN

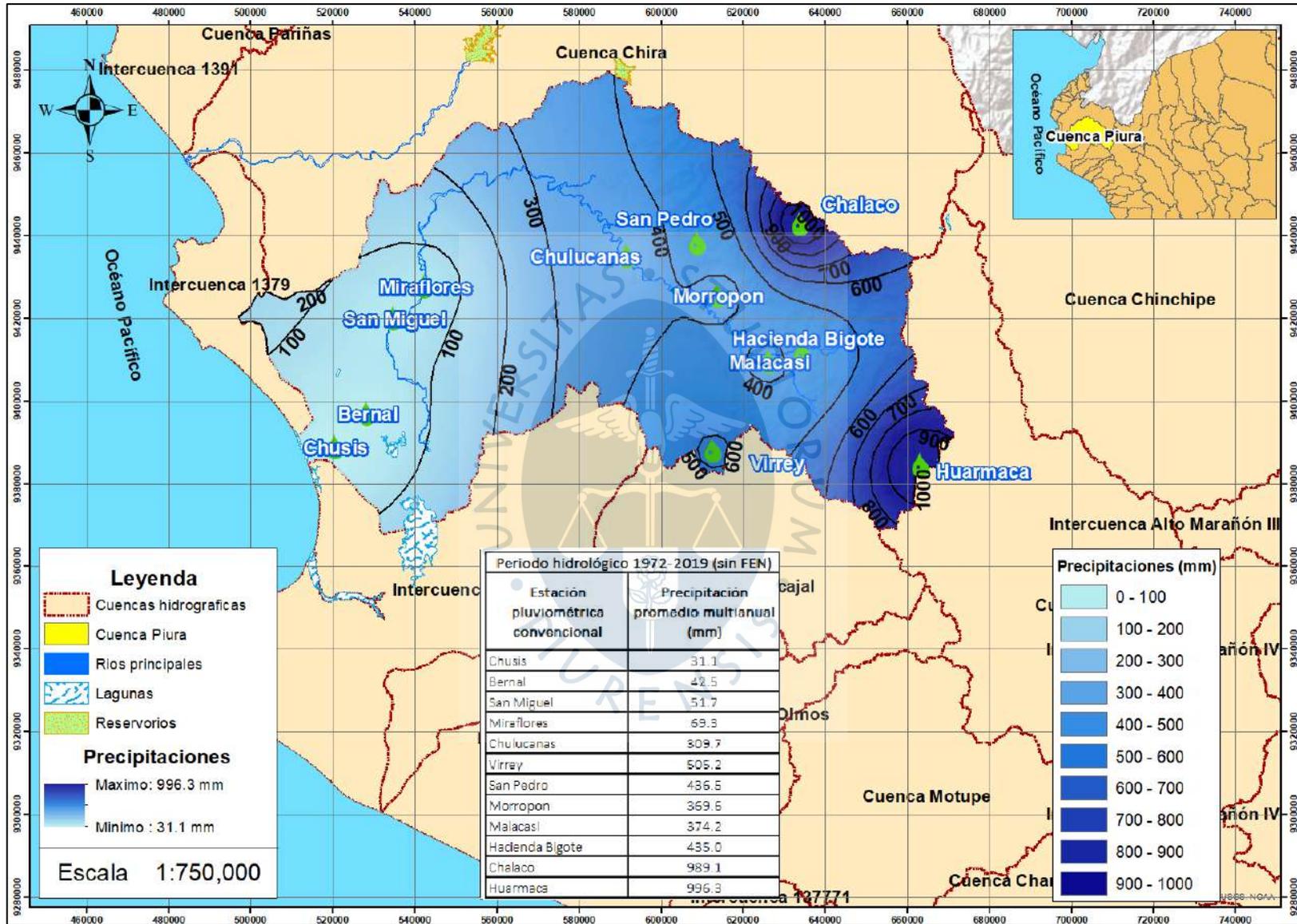


Figura 54. Mapa de isoyetas de la precipitación promedio multianual para el periodo hidrológico 1972-2019 sin considerando los FEN

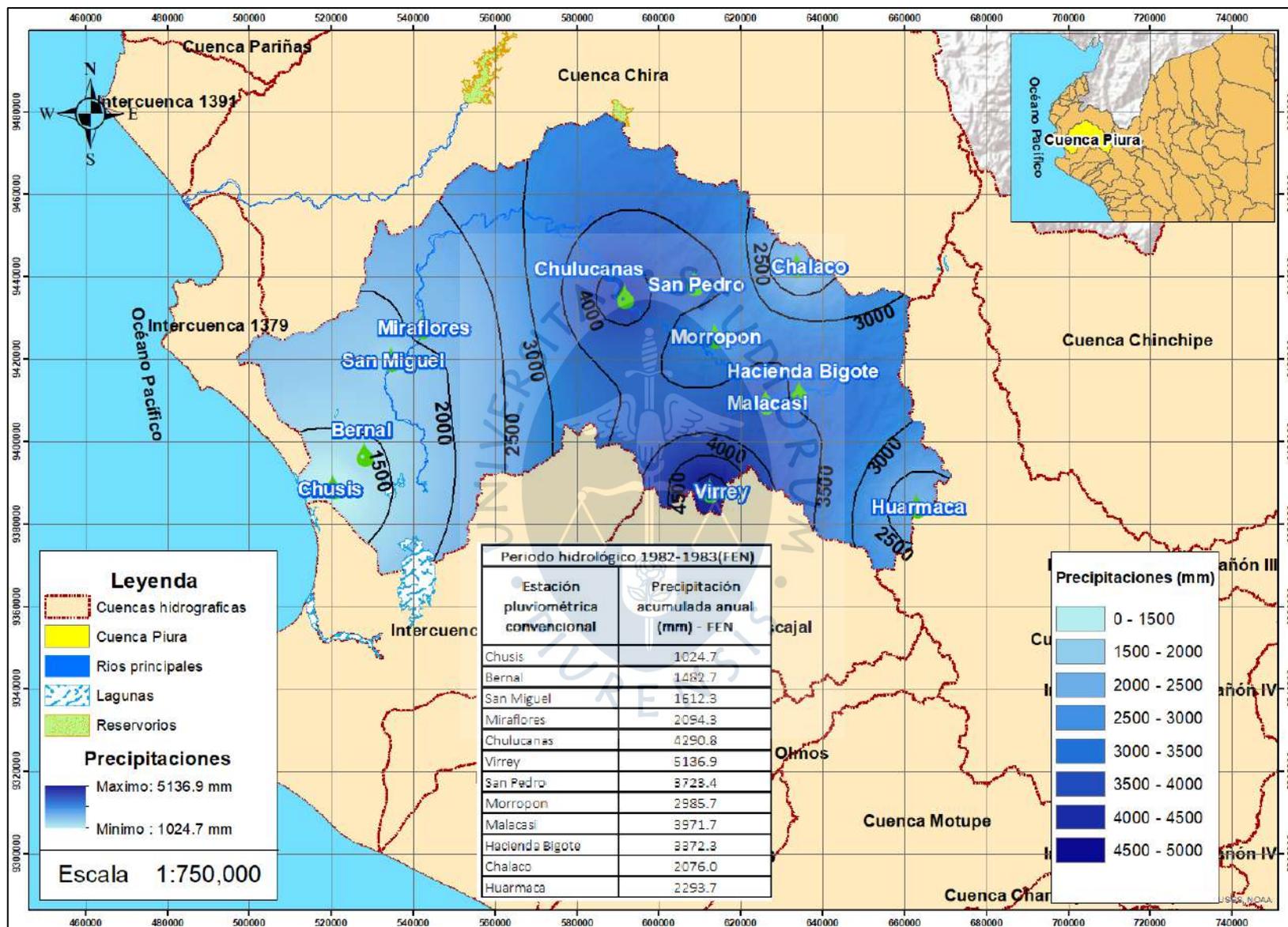


Figura 55. Mapa de isoyetas de la precipitación acumulada anual para el periodo hidrológico 1982-1983 (FEN)

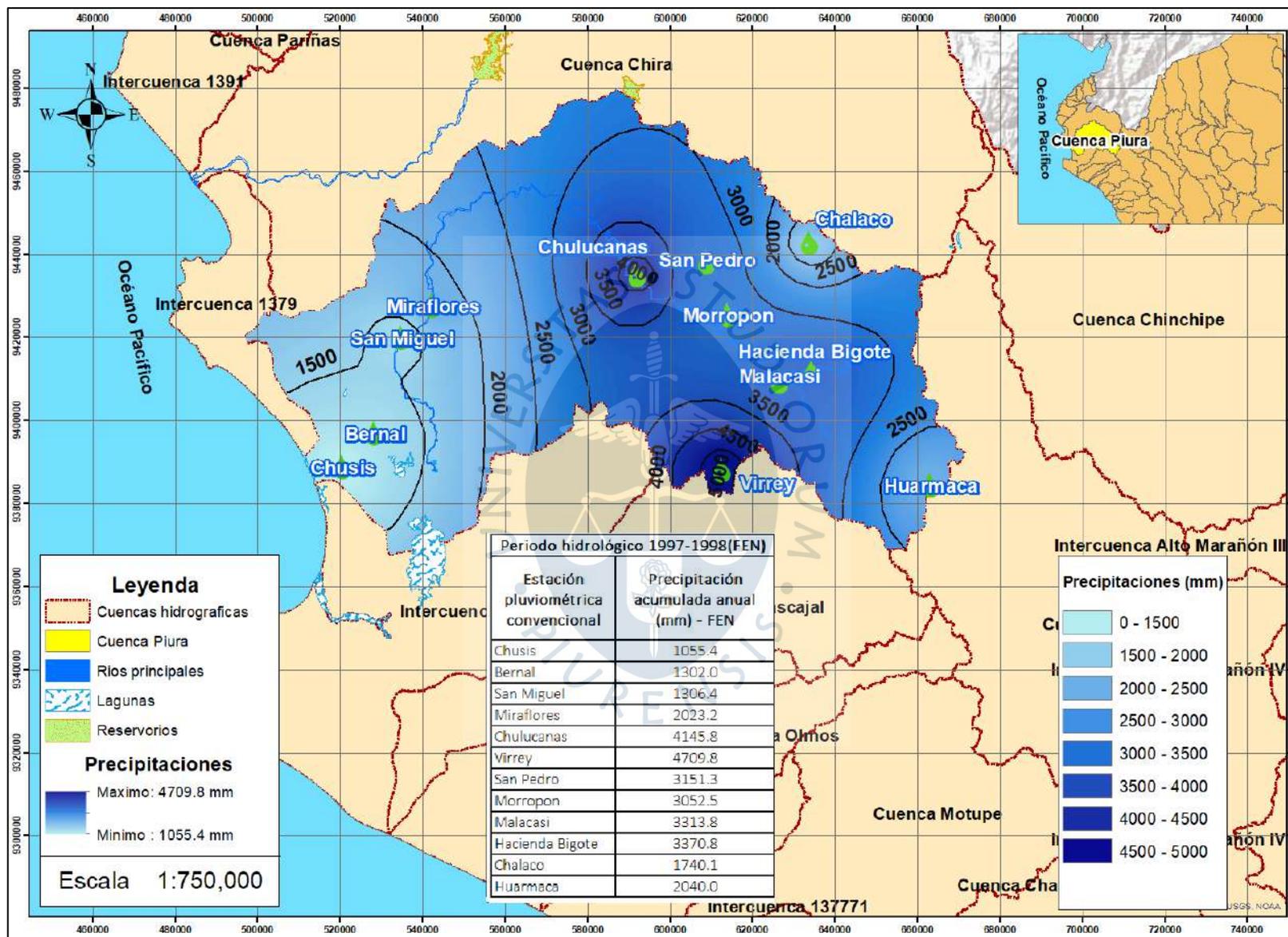


Figura 56. Mapa de isoyetas de la precipitación acumulada anual para el periodo hidrológico 1997-1998 (FEN)

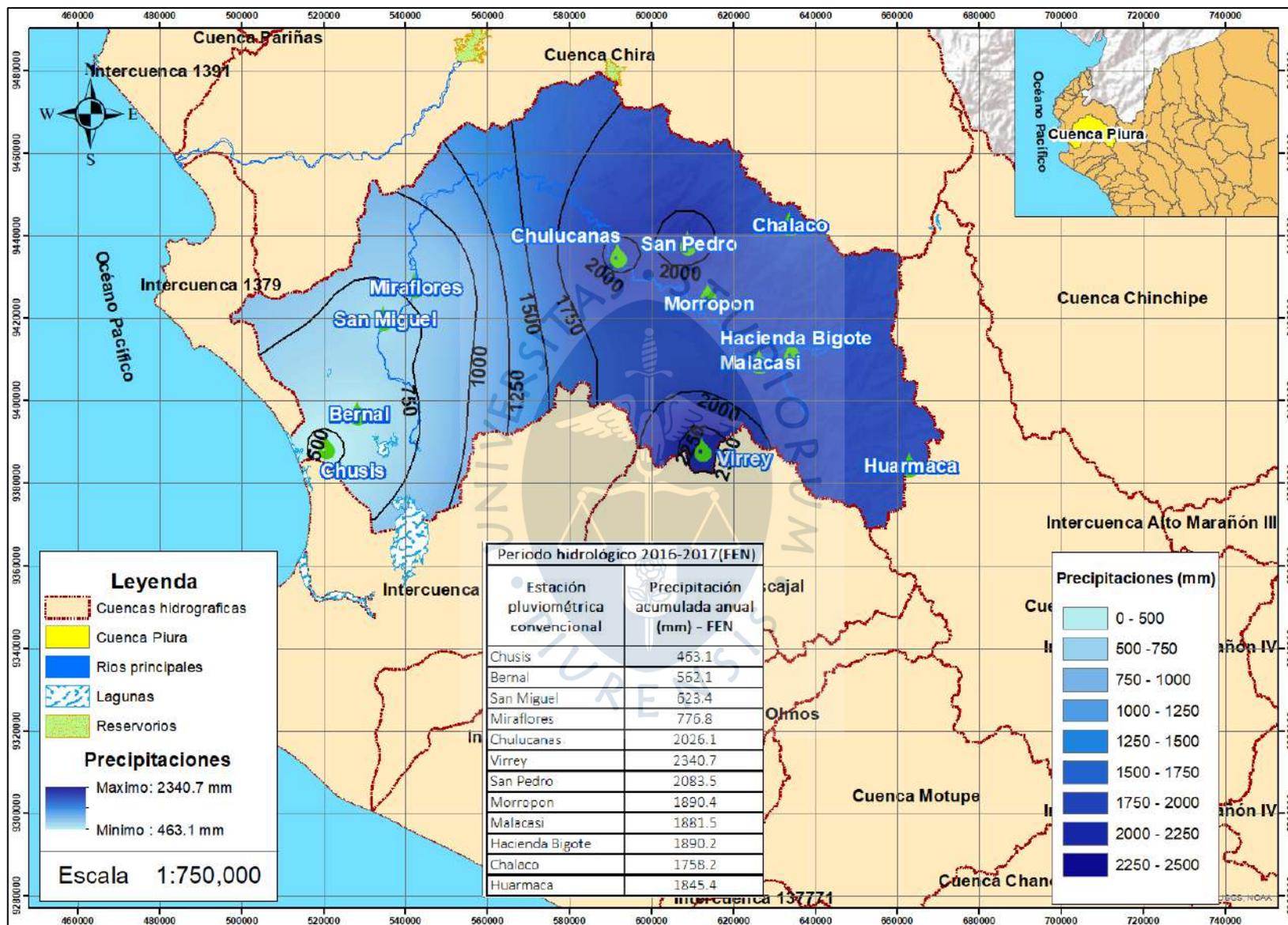


Figura 57. Mapa de isoyetas de la precipitación acumulada anual para el periodo hidrológico 2016-2017 (FEN)

3.6.2 Precipitación media en la cuenca Piura

Los resultados obtenidos del análisis de consistencia permitieron determinar un nuevo registro de datos, cuya información ha servido como base para calcular las precipitaciones medias en las principales subcuencas de la cuenca del río Piura, empleado el método de isoyetas que fueron generadas en el software ArcGis 10.5 en un formato ráster, el mismo al que se le calculo la media con la herramienta ArcToolbox<<Spatial Analyst Tools<<Zonal<<Zonal Statistics, obteniendo así el valor del parámetro deseado. Los resultados se presentan en la Tabla 45:

Tabla 45. Precipitación media en la cuenca Piura

Nombre de la Subcuenca	Área (km ²)	Precipitación anual (mm)				
		Precipitación promedio multianual (con FEN)	Precipitación promedio multianual (SIN FEN)	Precipitación acumulada para el FEN 1982-1983	Precipitación acumulada para el FEN 1997-1998	Precipitación acumulada para el FEN 2016-2017
Alto Piura	1152.1	790.5	668.0	3076.4	2804.9	1875.2
Medio Alto Piura	505.8	591.0	426.6	3710.9	3367.6	1931.1
Unidad Geográfica 13784	913.5	601.7	427.5	3897.7	3599.7	1971.3
Medio Piura	73.3	555.9	404.4	3280.4	3113.6	1936.8
Bigote	674.9	666.8	527.6	3241.6	3020.2	1862.5
Corrales	586.6	767.3	655.3	2818.2	2562.9	1843.4
Medio Bajo Piura	1789.1	551.3	391.1	3553.0	3279.6	1867.2
Bajo Piura	4721.5	251.1	152.1	2157.7	1982.0	969.8
San Francisco	455.4	543.6	395.5	3320.6	3057.4	1764.1
Cuenca Piura	10872.2	469.1	342.7	2861.3	2630.6	1485.0

3.6.3 Análisis de resultados

Para el período 1972-2019 la precipitación multianual en la cuenca del río Piura va desde los 83 mm en Chusis (Sechura) hasta más de mil milímetros en las alturas de Huarmaca y Chalaco. Cuando se excluyen de este período de 47 años los tres años de eventos FEN extraordinarios ocurridos en este período, la precipitación va desde los 31 mm hasta cerca de 1000 mm en los mismos lugares. Aunque parecería que no hay mayores cambios, cabe señalar que la precipitación multianual en la zona de la ciudad de Piura se reduce de 169 mm a 69 mm mientras que, en Chulucanas, Morropón y Malacasí desciende de valores que exceden los 500 mm a estar apenas sobre 300 mm. Este cambio notorio en la parte media de la cuenca es producto de la fuerte influencia que ejercen en la media estos tres eventos FEN, de 1983, 1998 y 2017.

Si se analizan los FEN de 1983 y 1998, se aprecia que la lluvia va desde los 1000 mm en el Bajo Piura hasta valores de 4000 mm a más en el eje Chulucanas – Virrey para luego descender hacia el Alto Piura a valores de 2000 mm. Esto indica la mayor incidencia del FEN en la zona media de la cuenca.

El Niño del año 2017, por su carácter costero, fue un evento más corto, pero mantuvo el patrón antes señalado de los FEN con valores por encima de 460 mm en el Bajo Piura hasta valores mayores a 2000 mm en Virrey y cerrando con Chalaco y Huarmaca alrededor de 1800 mm.

Finalmente, se puede indicar que en promedio las máximas precipitaciones anuales se presentan en la subcuenca Alto Piura para el periodo hidrológico 1972-2019 con y sin la presencia de Fenómenos El Niño. Por otra parte, para los FEN 1982-1983; 1997-1998 y 2016-2017 las mayores precipitaciones anuales se han registrado en la subcuenca “13784”, donde se ubica la estación Virrey, además de observarse que el FEN 1982-1983 ha registrado las máximas precipitaciones anuales históricas, en toda la extensión de la cuenca Piura.



Capítulo 4

Hidrometría de la cuenca del río Piura

4.1 Estaciones hidrométricas de la red

Para la evaluación de la red hidrométrica de la cuenca del río Piura, cuyo afluente principal tiene una longitud aproximada de 243 km, se realizó una investigación previa sobre las estaciones hidrométricas que se encuentran activas y las entidades que las operan, identificándose que el PECHP actualmente cuenta con el manejo de 04 estaciones convencionales, las cuales son: Salitral, Puente Ñácara, Tambogrande y Presa Los Ejidos, en las que se realizan frecuentemente aforos y medidas del nivel de altura del agua para determinar el caudal fluvial. Por otro lado, el SENAMHI cuenta con una red de 06 estaciones hidrométricas automáticas, las cuales son: Hacienda Barrios, Corral del Medio, San Pedro, Salitral, Puente Ñácara y Tambogrande, en las que se monitorea la altura del nivel del agua, cuya información recolectada se envía automáticamente cada 10 minutos a la central de SENAMHI, obteniéndose así una medida en tiempo real del recurso hídrico.

Es importante indicar que, de las estaciones antes mencionadas algunas no se encuentran operativas debido al deterioro de su infraestructura, la cual se vio afectada durante el FEN del Niño Costero de 2017, posteriormente, se detallará las condiciones actuales de todas las estaciones. A continuación, en la Tabla 46 se presenta la descripción general de las estaciones hidrométricas del río Piura.

Tabla 46. Estaciones hidrométricas del río Piura

Nº	Estación	Ubicación (Departamento de Piura)		Clase: convencional (C) automática (A)	Entidad que opera	¿Estación visitada?	¿operativa?
		Provincia	Distrito				
1	Presa Los Ejidos	Piura	Castilla	C	PECHP	Si	Si
2	Puente Ñácara	Chulucanas	Chulucanas	C	PECHP	Si	Si
3	Salitral	Morropón	Salitral	C	PECHP	Si	No
4	Tambogrande	Piura	Castilla	C	PECHP	Si	Si
5	Corral del Medio	Morropón	Buenos Aires	A	SENAMHI	No	Si
6	Hacienda Barrios	Morropón	San Juan de Bigote	A	SENAMHI	Si	Si
7	Puente Ñácara	Morropón	Chulucanas	A	SENAMHI	Si	Si
8	Salitral	Morropón	Salitral	A	SENAMHI	Si	Si
9	San Pedro	Morropón	Morropón	A	SENAMHI	Si	Si
10	Tambogrande	Piura	Tambogrande	A	SENAMHI	Si	Si

Identificadas las estaciones hidrométricas activas, se procedió a realizar las visitas de campo junto con el equipo de trabajo, cuyo cronograma de visitas se presenta en la Figura 58, además, en los apéndices de la presente tesis se expone las fichas de evaluación realizadas a cada estación visitada, así como las incidencias y resultados obtenidos de los mismos.



Figura 58. Visitas de campo a las estaciones hidrométricas ubicadas en el cauce del río Piura

Las visitas de campo, permitieron realizar un diagnóstico sobre la operatividad de cada estación e identificar el grupo de estaciones cuyo registro histórico de caudales se adecua al cumplimiento de los objetivos de la presente tesis, cuyos resultados indicaron que las estaciones activas operadas por el PECHP, son las únicas que poseen un registro histórico de casi 50 años, en cambio las estaciones operadas por SENAMHI poseen un registro de 5 años y son parte del reciente proyecto de modernización de estaciones a cargo de dicha entidad, por ende, se tomó la decisión de trabajar con las estaciones operadas por el PECHP ya que son las únicas que garantizan un diagnóstico sobre el comportamiento del río Piura.

En la Tabla 47 y Figura 59 se presenta la distribución espacial de la red hidrométrica convencional y automática, ubicada en el cauce del río Piura, en donde “Q” significa que el parámetro de medición es directamente el caudal fluvial mediante estaciones de aforo y “H” es la medida de la altura del nivel el agua.

Tabla 47. Ubicación de estaciones hidrométricas del río Piura

Estaciones		Coordenadas geográficas y UTM WGS-84 (zona 17S)					Entidad que opera	Parámetro de medición
		Latitud	Longitud	Norte (m)	Este (m)	Altitud (m s.n.m)		
1	Presa Los Ejidos	5° 10'	80° 37'	9428899.78	542483.56	28	PECHP	Q
2	Puente Ñacara	5° 6'46.83"	80°10'22.37"	9434784.94	591677.05	87		Q
3	Salitral	5°20'45.68"	79°50'15.10"	9408965.38	628804.25	156		H
4	Tambogrande	4°56'11.47"	80°20'45.08"	9454317.11	572523.26	57		Q
5	Corral del Medio	5°11'18.96"	79°53'29.04"	9426380.58	622864.90	207	SENAMHI	H
6	Hacienda Barrios	5°17'23.46"	79°41'57.26"	9415145.11	644142.05	324		H
7	Puente Ñacara	5° 6'46.08"	80°10'22.66"	9434807.98	591668.15	91		H
8	Salitral	5°20'45.67"	79°50'15.40"	9408965.30	628794.64	156		H
9	San Pedro	5°4'46.34"	80°0'58.32"	9438461.30	609050.56	240		H
10	Tambogrande	4°56'18.53"	80°20'49.31"	9454100.45	572392.77	60		H

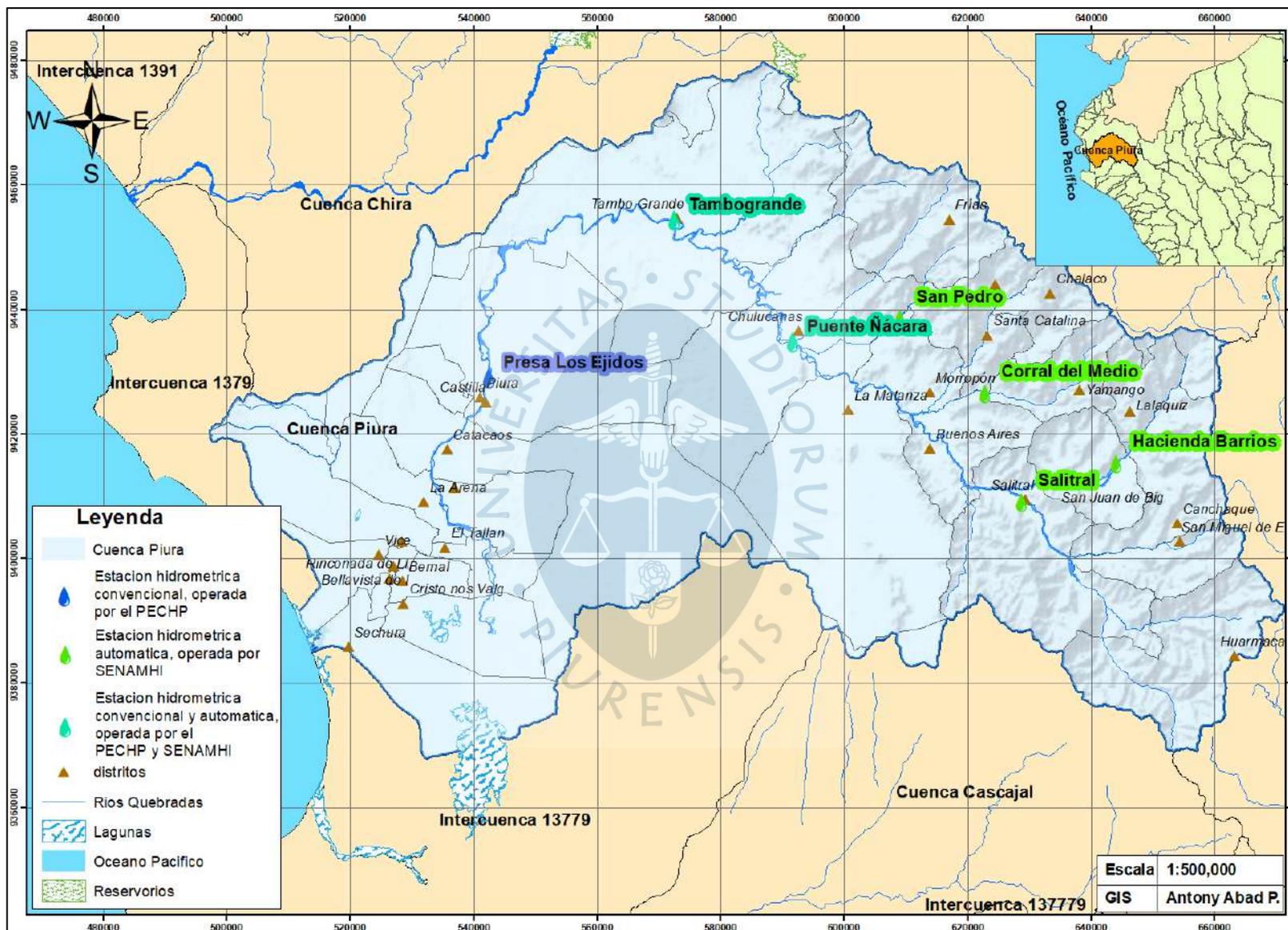


Figura 59. Mapa de ubicación de las estaciones hidrométricas convencionales y automáticas activas en el río Piura

4.2 Diagnóstico de las estaciones hidrométricas

La evaluación de las condiciones actuales de funcionamiento de la red hidrométrica del río Piura, se realizó gracias a la coordinación con las entidades como el SENAMHI y el PECHP, quienes facilitaron información para planificar las visitas de campo, así como, la entrevista con los operadores de cada estación, realizar aforos, realizar un inventario de los instrumentos, horarios de medición, sucesos relevantes sobre la toma de datos históricos y el estado de conservación de la estación, cuyos resultado se presentan a continuación:

4.2.1 Estación San Pedro

La estación San Pedro es operada por SENAMHI, ubicada en la margen derecha del río principal. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte rumbo al distrito de Olmos hasta el empalme - km 50, desvío que se dirige al distrito de Chulucanas con un tiempo de viaje de 1 hora en camioneta desde la ciudad de Piura, luego se debe tomar la carretera Piura la vieja en dirección al centro poblado de Batanes y acceder a la ruta PI-725 que conduce al centro poblado de San Pedro, en donde se encuentra ubicada la estación hidrométrica. En la Tabla 48 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación San Pedro.

Tabla 48. Condiciones actuales de la estación hidrométrica San Pedro

Nombre	Estación San Pedro	
Tipo	Hidrométrica (convencional)	
Entidad responsable	SENAMHI	
Coordenadas UTM	UTM	609050.55 m E - 9438460.69 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°4'46.34"S - 80°0'58.32"O
Operatividad/Conservación	Operativo/Buena	
Horarios de medición	-	
Año de inicio de operación	2015	
Instrumentos en operación	- Convencional: Mira limnimétrica de fierro fundido graduado en alto relieve, limnógrafo, caseta de registro de datos, carro huaro y correntómetro	
Observaciones	-La estación hidrométrica se encuentra ubicada en uno de los meandros del río, lo que ocasiona mayores velocidades del flujo de agua en la margen izquierdo y acumulación de sedimentos en la margen derecha del río.	
Fotografía actual de la estación		
		

4.2.2 Estación Hacienda Barrios

Esta estación es operada por SENAMHI, ubicada en la margen izquierda del río Bigote. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte rumbo al distrito de Olmos hasta el Empalme 1B (km 80 de la IIRSA Norte), desvío que nos lleva al centro poblado de Malacasí, para luego tomar la carretera hacia el distrito de Salitral y continuamente al distrito de San Juan de Bigote. Finalmente, se deberá transitar por una trocha carrozable, en malas condiciones, rumbo al distrito de Barrios en donde se encuentra ubicada una estación hidrométrica y otra pluviométrica que forman parte de la red hidrometeorológica del SENAMHI.

En la Tabla 49 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Hacienda Barrios.

Tabla 49. Condiciones actuales de la estación hidrométrica Hacienda Barrios

Nombre		Estación Hacienda Barrios
Tipo		Hidrométrica (Convencional y automática)
Entidad responsable		SENAMHI
Coordenadas UTM	UTM	644142.05 m E – 9415145.11 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°17'23.46"S - 79°41'57.26"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Buena
Horarios de medición		-
Año de inicio de operación		2015
Instrumentos en operación		-Convencional: Mira limnimétrica de fierro fundido graduada, carro huaro, correntómetro. -Automático: Sensor de nivel de agua.
Observaciones		-No se presentaron observaciones.
Fotografía actual de la estación		
		

4.2.3 Estación Salitral

Estación operada por SENAMHI y el PECHP, ubicada en la margen izquierda del río principal. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte rumbo al distrito de Olmos hasta el Empalme 1B (km 80 de la IIRSA Norte), desvío que nos lleva al centro poblado de Malacasí para luego tomar la carretera hacia el distrito de Salitral, en donde se encuentra ubicada una estación hidrométrica y otra pluviométrica que forman parte de la red hidrometeorológica de las dos entidades.

En la Tabla 50 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Salitral.

Tabla 50. Condiciones actuales de la estación hidrométrica Salitral

Nombre		Estación Salitral
Tipo		Hidrométrica (convencional y automática)
Entidad responsable		SENAMHI - PECHP
Coordenadas UTM	UTM	628794.64 m E - 9408965.30 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	5°20'45.67"S - 79°50'15.40"O
Operatividad/Conservación		Operativo/(Buena-automática) y (Mala-convencional)
Horarios de medición		-
Año de inicio de operación		2015
Instrumentos en operación		-Convencional: Mira limnimétrica de aluminio graduado. -Automática: Sensor de nivel de agua
Observaciones		-La estación hidrométrica Salitral operada por el PECHP, se ubica en uno de los pilares del puente principal de la localidad, que tiene una longitud aproximada de 100 m; se ha observado que cuenta con una mira limnimétrica de fierro fundido graduado en alto relieve color blanco. En general la estación hidrométrica se encuentra en malas condiciones debido al deterioro de la infraestructura en el FEN 2017.
Fotografía actual de la estación		
		

4.2.4 Estación Puente Ñácara

Estación operada por SENAMHI y el PECHP, ubicada en la margen izquierda del río principal. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte rumbo al distrito de Olmos hasta el empalme - km 50, desvío que se dirige al distrito de Chulucanas con un tiempo de viaje de 1 hora en camioneta, en una vía debidamente asfaltada y en buenas condiciones de transitabilidad, en donde se encuentra ubicada una estación hidrométrica que forman parte de la red hidrometeorológica de las dos entidades.

En la Tabla 51 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Puente Ñácara.

Tabla 51. Condiciones actuales de la estación hidrométrica Puente Ñácara

Nombre		Estación Puente Ñácara
Tipo		Hidrométrica (automática y convencional)
Entidad responsable		SENAMHI - PECHP
Coordenadas UTM	UTM	Automática: 591668.15 m E - 9434807.98 m S - Zona 17S-WGS84 Convencional: 591677.05 m E - 9434784.94 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	Automática: 5° 6'46.08"S - 80°10'22.66"O Convencional: 5° 6'46.83"S - 80°10'22.37"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Buena
Horarios de medición		-
Año de inicio de operación		Automática 2015 - 2020 Convencional 1972 -2020
Instrumentos en operación		-Convencionales: Mira liminimétrica de fierro fundido graduado en alto relieve, limnógrafos, caseta de registro de datos. -Automáticos: Sensor de niveles de agua.
Observaciones		-La estación hidrométrica se encuentra ubicada aproximadamente a 300 m de la confluencia de la quebrada chulucanas y el río Piura, así como, en uno de los meandros del río, lo que ocasiona mayores velocidades del flujo de agua en la margen derecha y acumulación de sedimentos en la margen izquierda del río.
Fotografía actual de la estación		
		

4.2.5 Estación Tambogrande

Estación operada por SENAMHI y el PECHP, ubicada en la margen izquierda del río principal. Desde la ciudad de Piura se deberá tomar la carretera IIRSA Norte rumbo al distrito de Olmos hasta el empalme - km 21, desvío que se dirige al distrito de Tambogrande con un tiempo de viaje de 50 minutos en camioneta, en una vía debidamente asfaltada y en buenas condiciones de transitabilidad, en donde se encuentra ubicada una estación hidrométrica que forman parte de la red hidrometeorológica de las dos entidades.

En la Tabla 52 se presenta los datos más relevantes de la visita de campo efectuada a la estación Tambogrande.

Tabla 52. Condiciones actuales de la estación hidrométrica Tambogrande

Nombre		Estación Tambogrande
Tipo		Hidrométrica (convencional)
Entidad responsable		PECHP
Coordenadas UTM	UTM	Automática: 572392.77 m E - 9454100.45 m S - Zona 17S-WGS84 Convencional: 572523.26 m E - 9454317.11 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	Automática: 4°56'18.53"S - 80°20'49.31"O Convencional: 4°56'11.47"S - 80°20'45.08"O
Operatividad/Conservación		Operativo/Regular
Horarios de medición		-
Año de inicio de operación		Automática 2015 - 2020 Convencional 1972 -2020
Instrumentos en operación		-Convencionales: Mira limnimétrica graduado y pintada en el pilar del puente principal.
Observaciones		-La estación hidrométrica se encuentra ubicada aproximadamente a 380 m entre la confluencia de la quebrada Carneros y el río Piura. -Se ha observado que el flujo de agua se encuentra a la margen derecha del río y acumulación de sedimentos en la margen izquierda.
Fotografía actual de la estación		
		

4.2.6 Estación Presa Los Ejidos

La presa Los Ejidos forma parte de la segunda etapa del Proyecto Especial Chira – Piura, actualmente se encuentra a cargo del PECHP y es una estructura diseñada para captar caudales entre los 64 y $60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ que son derivados por el canal Baggio Arbulú, además de permitir el paso de un caudal de $3200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

El acceso desde la Universidad de Piura, se realizará siguiendo la Av. Andrés Avelino Cáceres hasta la intersección con la Av. Guillermo Irazola, girando a la izquierda y recorriendo una distancia de 3.5 km en un tiempo de viaje de 10 minutos en una vía asfaltada, llegando a la ubicación de la infraestructura hidráulica.

En la Tabla 53 se presenta los datos más relevantes de la medición de caudales en la Presa Los Ejidos

Tabla 53. Condiciones actuales de la estación hidrométrica Los Ejidos

Nombre		Estación Presa Los Ejidos
Tipo		Hidrométrica
Entidad responsable		PECHP
Coordenadas UTM	UTM	542483.56 m E - 9428899.78 m S - Zona 17S-WGS84
	Geográficas	$5^{\circ} 10' \text{S}$ - $80^{\circ} 37' 0$
Operatividad/Conservación		Operativo/Buena
Año de construcción de la Presa		1980 -1989
Observaciones		La medición de caudales en este tipo de estructuras hidráulicas es un procedimiento más complejo a comparación de las estaciones hidrométricas estándar. El caudal se calcula como la sumatoria de los flujos que atraviesan el vertedero libre, el canal de limpia y el aliviadero de compuertas de la presa.
Fotografía actual de la estación		
		

Fuente: Google Earth (2020) y PECHP

Descritas las estaciones hidrométricas, se logró identificar las que poseen un registro histórico de caudales y que se encuentran en bueno, regular y mal estado de conservación, concluyendo, que las estaciones convencionales operadas por el PECHP, tales como: Puente Ñácara, Tambogrande y Presa Los Ejidos, serán las seleccionadas para ser utilizadas como objeto de estudio en la presente tesis. Esto se debe a que las otras estaciones evaluadas, actualmente presentan dificultades en la toma de datos debido al deterioro de su infraestructura, falta de mantenimiento o poseen un registro de datos muy escaso.

Las visitas de campo, han permitido identificar posibles fuentes de error, relacionadas a la falta de precisión en la toma de datos, las deficiencias en el los aforos y la facilidad para transmitir los datos en el menor tiempo posible, debido a que las estaciones analizadas son convencionales.

4.3 Recopilación de información

La recopilación de la información hidrométrica para las estaciones convencionales, se logró gracias al apoyo del PECHP, quienes brindaron información relacionada al registro histórico de caudales medios diarios, así como información de aforos realizados y la metodología empleada para determinar los caudales. Por otra parte, el SENAMHI brindo la información hidrométrica de las estaciones automáticas mediante el acceso de un usuario a la página web <http://aplicaciones.senamhi.gob.pe:8080/sisdad-mcd/#/auth/login>, donde se encuentran en tiempo real las mediciones del nivel del agua cada 10 minutos de las seis estaciones pertenecientes al río Piura.

La ubicación y distribuciones espacial de las estaciones hidrométricas que serán utilizadas en el análisis de la hidrometría del río Piura se presenta en la Figura 60.

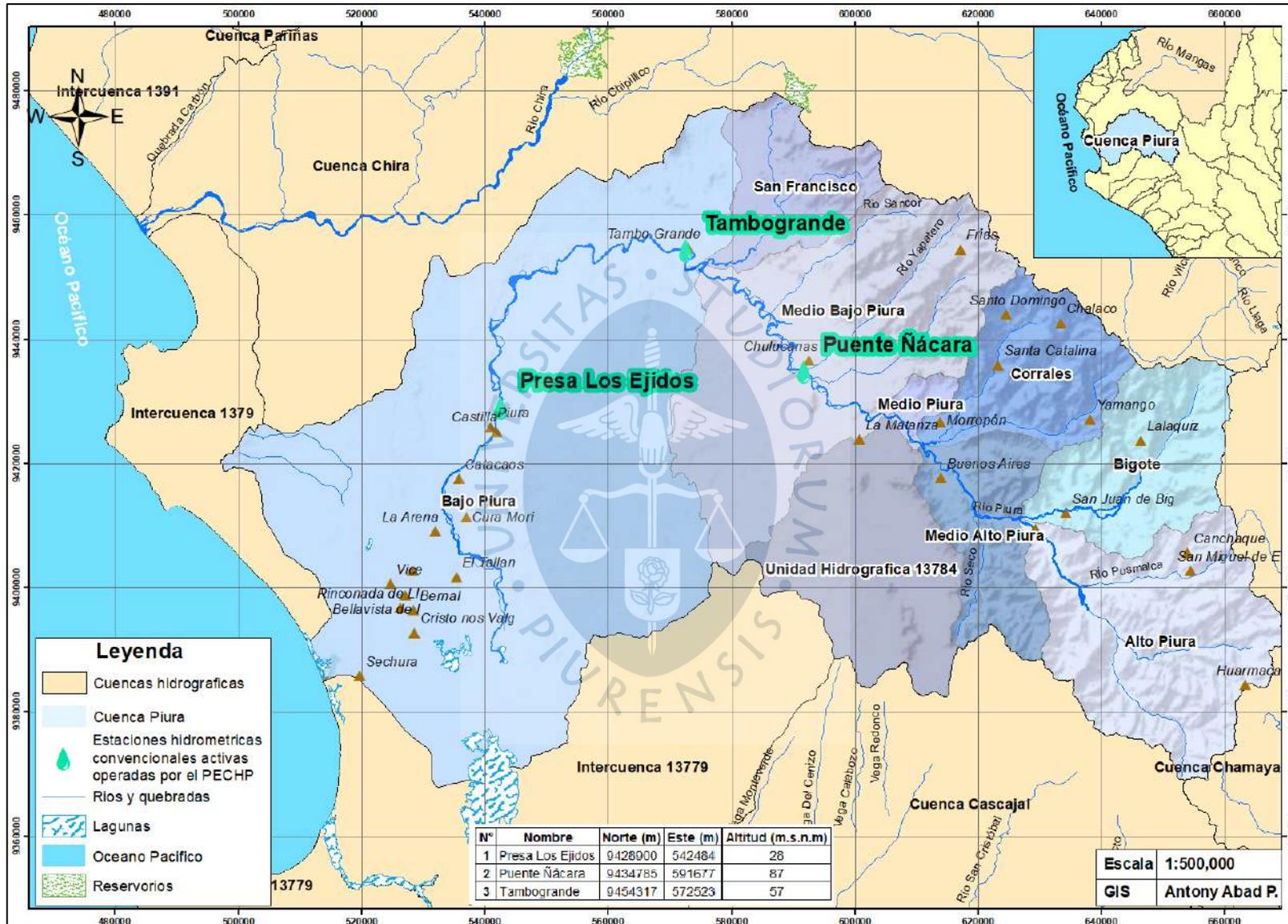


Figura 60. Mapa estaciones hidrométricas convencionales operadas por el PECHP

4.4 Análisis de la información hidrométrica

Con las visitas de campo realizadas y la recolección de la información de datos históricos de caudales, se logró conformar una base de datos inicial para las estaciones convencionales activas, Puente Nácara, Tambogrande y Los Ejidos, operadas por el PECHP, con la finalidad de identificar un periodo homogéneo de operación, siguiendo los mismos criterios descritos en el ítem 3.4 de la presente tesis.

El análisis ha determinado, que las 03 estaciones hidrométricas convencionales tienen un periodo común de operación entre los años 1972-2019, de los cuales se ha utilizado los años hidrológicos comprendidos entre los periodos 1972-2018 (ver Tabla 55) para el análisis de datos faltantes, los mismos que se remarcan de rojo. Por otro lado, el periodo común de operación de las estaciones hidrométricas automáticas comprende los años 2015 - 2019.

En la Tabla 54, se presenta la cantidad de datos faltantes que serán rellenados utilizando los métodos de correlación múltiple, que describirán más adelante.

Tabla 54. Información hidrométrica disponible

Estaciones		Registro histórico de caudales medios diarios entre los años hidrológicos 1972 - 2018			
		Cantidad de datos diarios	Cantidad de datos disponibles	Cantidad de datos faltantes	Porcentaje de datos faltantes
1	Presa Los Ejidos	16801	16801	0	0%
2	Tambogrande	16801	10177	6624	39%
3	Puente Nácara	16801	13961	2840	17%
Total		50403	40939	9464	19%

Tabla 55. Registro histórico de caudales de las estaciones convencionales (periodo 1972 - 2019) y registro de niveles de agua de las estaciones automáticas (periodo 2015-2019)

Estaciones hidrométricas convencionales	Estaciones / Años	Datos disponibles de caudales medios diarios																								
		1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
1	Puente Ñacara			12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12				
2	Tambogrande			12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	1			12	1					7			
3	Presa los Ejidos		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
Estaciones hidrométricas convencionales	Estaciones / Años	Datos disponibles de caudales medios diarios																								
		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	Puente Ñacara			1	8	8	5	12	12	12	6	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4	
2	Tambogrande			1	7	6	6	12	12	12	5	12	8	4	12	5	12	12	12	6	12	7	8	12	7	3
3	Presa los Ejidos	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
Estaciones hidrométricas automáticas	Estaciones / Años	Datos disponibles del nivel de agua																								
		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	Hacienda Barrios																				1	12	12	12	12	12
2	Salitral EHA																					7	12	12	12	12
3	Corral del Medio																				1	8	2			
4	San Pedro																				1	12	12	12	7	7
5	Puente Ñacara																					7	8	11	8	10
6	Tambogrande																				1	12	8	6	10	12

4.4.1 Relleno de datos faltantes

Para el relleno de datos faltantes se utilizó el método de correlaciones simples y múltiples, entre las tres estaciones convencionales analizadas, cuyo registro histórico de caudales medios diarios inicia en el mes de septiembre de 1972 hasta agosto de 2018 (año hidrológico), datos que fueron trabajados en el software estadístico MINITAB, con el objetivo de obtener las ecuaciones de correlación de todas las posibles combinaciones que se pueden formar entre las estaciones analizadas, procedimiento similar al utilizado en el ítem 3.4.2, cuyos resultados de combinación sin repetición se presentan en la Tabla 56, donde se observa que existe un total de 2 ecuaciones simples y 1 ecuación múltiple que se puede formar por cada estación analizada.

Tabla 56. Combinación sin repetición para realizar todas las posibles correlaciones simples y múltiples

N°	Descripción	Variable regresada	Variables regresoras		Combinación
1	Grupos de 01 variable regresora	A	B		A;B
2		A		C	A;C
3	Grupos de 02 variables regresoras	A	B	C	A;B;C

Calculadas las ecuaciones de correlación en el software MINITAB, se obtuvo un total de 9 ecuaciones (Tabla 57), de las cuales se han escogido los mejores ajustes, ordenados de mayor a menor según su valor de r^2 , además de seguir los criterios descritos en el ítem 3.4.2, es decir, de acuerdo a su coeficiente de correlación simple y múltiple mayor a 0.7, estableciendo un valor de cero al término constante, esto se realizó con el fin de evitar obtener un término constante con valores negativos, ya que al presentarse caudales cercanos a cero en el registro de las variables regresoras se puede llegar a obtener resultados de caudales negativos, lo cual físicamente es incorrecto. Por otra parte, se utilizó el criterio "P-valor" de cada variable independiente, siendo significativas todas las variables cuyo "P-valor" sea ≤ 0.05 y descartando todas las ecuaciones cuyos coeficientes de las variables regresoras sean negativos, para evitar obtener resultados incoherentes.

A continuación, en la Tabla 57 se presenta todas las correlaciones obtenidas, así como los criterios de evaluación para la elección de las mejores ecuaciones de ajuste utilizadas para el relleno de datos faltantes.

Tabla 57. Ecuaciones de correlación simple y múltiple aceptadas para el relleno de datos faltantes de caudales medios

N°	V. Regresada	Ecuación de correlación múltiple	N° de variables regresoras	R ² ajustado	P-valor máximo	Filas utilizadas
1	Presa Los Ejidos	1.1371 Tambogrande + 0.1081 Puente Ñácara	2	0.8764	0	9891
2	Presa Los Ejidos	1.19586 Tambogrande	1	0.8764	0	10177
3	Presa Los Ejidos	1.80301 Puente Ñácara	1	0.7505	0	13961
4	Tambogrande	0.47278 Presa Los Ejidos + 0.61668 Puente Ñácara	2	0.9558	0	9891
5	Tambogrande	0.73371 Presa Los Ejidos	1	0.8764	0	10177
6	Tambogrande	1.44420 Puente Ñácara	1	0.8178	0	9892
7	Puente Ñácara	0.03797 Presa Los Ejidos + 0.52081 Tambogrande	2	0.8186	0	9892
8	Puente Ñácara	0.41628 Presa Los Ejidos	1	0.7505	0	13963
9	Puente Ñácara	0.56631 Tambogrande	1	0.8178	0	9894

Con las ecuaciones de correlación múltiple determinadas, se procedió al relleno de datos faltantes, obteniendo un relleno de 4356 datos de caudales medios diarios con las ecuaciones de correlación múltiple y 5108 datos con las ecuaciones de correlación simple que hacen un total de 9464 datos rellenados entre la estación Puente Ñácara y Tambogrande, ya que la estación Presa Los Ejidos posee una base de datos completa.

Realizado el relleno de la información, siguiendo los criterios antes descritos, se logró obtener una base de datos preliminar para su verificación de consistencia, la cual se presenta en la Tabla 58.

Tabla 58. Base datos preliminar del caudal medio anual

Caudal medio anual					
Datos generales			Estaciones hidrométricas del río Piura		
N°	Periodos identificados	Año hidrológico	Presa Los Ejidos	Tambogrande	Puente Ñácara
1	Periodo 03	1972 - 1973	52.8	47.1	42.4
2		1973 - 1974	9.2	8.8	1.7
3		1974 - 1975	19.2	16	15.2
4		1975 - 1976	31.3	26.5	28.3
5		1976 - 1977	36.7	19.6	21.3
6		1977 - 1978	13.4	4.1	2.1
7		1978 - 1979	16.1	3.5	2.8
8		1979 - 1980	17	1.5	0.4
9		1980 - 1981	28.2	11	8.5
10		1981 - 1982	13.5	0.5	0
11		1982 - 1983	362.7	263.5	155.6

Caudal medio anual						
Datos generales			Estaciones hidrométricas del río Piura			
N°	Periodos identificados	Año hidrológico	Presa Los Ejidos	Tambogrande	Puente Ñacara	
12	Periodo 02	1983 - 1984	56.5	55.6	46.8	
13		1984 - 1985	17.2	11.5	5.5	
14		1985 - 1986	5.3	3.1	2.6	
15		1986 - 1987	39.5	37.7	31.9	
16		1987 - 1988	1.7	1.2	0.6	
17		1988 - 1989	39.3	40	34.8	
18		1989 - 1990	1.6	0.8	0	
19		1990 - 1991	0.5	1.5	2.1	
20		1991 - 1992	62.4	56.4	31.7	
21		1992 - 1993	40.5	29.7	16.9	
22		1993 - 1994	36.6	26.9	15.2	
23		1994 - 1995	2.6	1.9	1.1	
24		1995 - 1996	1.8	1.3	0.8	
25		1996 - 1997	0.5	0.4	0.2	
26		1997 - 1998	445.5	311.7	178.3	
27		Periodo 01	1998 - 1999	80.9	75.7	57.3
28			1999 - 2000	65.4	69.7	54.8
29	2000 - 2001		110	74.8	62	
30	2001 - 2002		92.9	74.3	59	
31	2002 - 2003		6	12.1	10.3	
32	2003 - 2004		0.4	1.7	1.5	
33	2004 - 2005		4.9	6.8	7.6	
34	2005 - 2006		25.4	29.1	32.3	
35	2006 - 2007		3.4	4.7	4.4	
36	2007 - 2008		113.7	110	83.6	
37	2008 - 2009		65.3	58	53.1	
38	2009 - 2010		34.4	33.8	27.4	
39	2010 - 2011		9.8	9.1	6.9	
40	2011 - 2012		97.8	90.1	64.9	
41	2012 - 2013		7.4	11.5	9.4	
42	2013 - 2014		1.9	4.4	2.7	
43	2014 - 2015		28.4	31.8	22.5	
44	2015 - 2016		20.3	27	23	
45	2016 - 2017		203.6	189	96.8	
46	2017 - 2018		4.3	9.9	7.9	

4.4.2 Análisis de consistencia

Se ha empleado las curvas doble masa acumulada para realizar el análisis de consistencia de la base de datos preliminar, obtenida del relleno de los caudales medios diarios faltantes, cuyo procedimiento de análisis se basó en obtener la precipitación media anual entre los años hidrológicos 1972 - 2018, posteriormente, se realizó el acumulado de todos los datos para cada estación y se obtuvo como resultado el patrón de caudales anuales (PQA) para cada año, que es el promedio de los acumulados entre las tres estaciones analizadas.

Con el tratamiento de la información antes descrita, se procedió a graficar y observar los patrones de caudales medios anuales que se presentan en la Figura 61, donde se visualiza que las 3 estaciones tienen una tendencia similar, debido a que pertenecen al mismo afluente principal y sus caudales están relacionados.

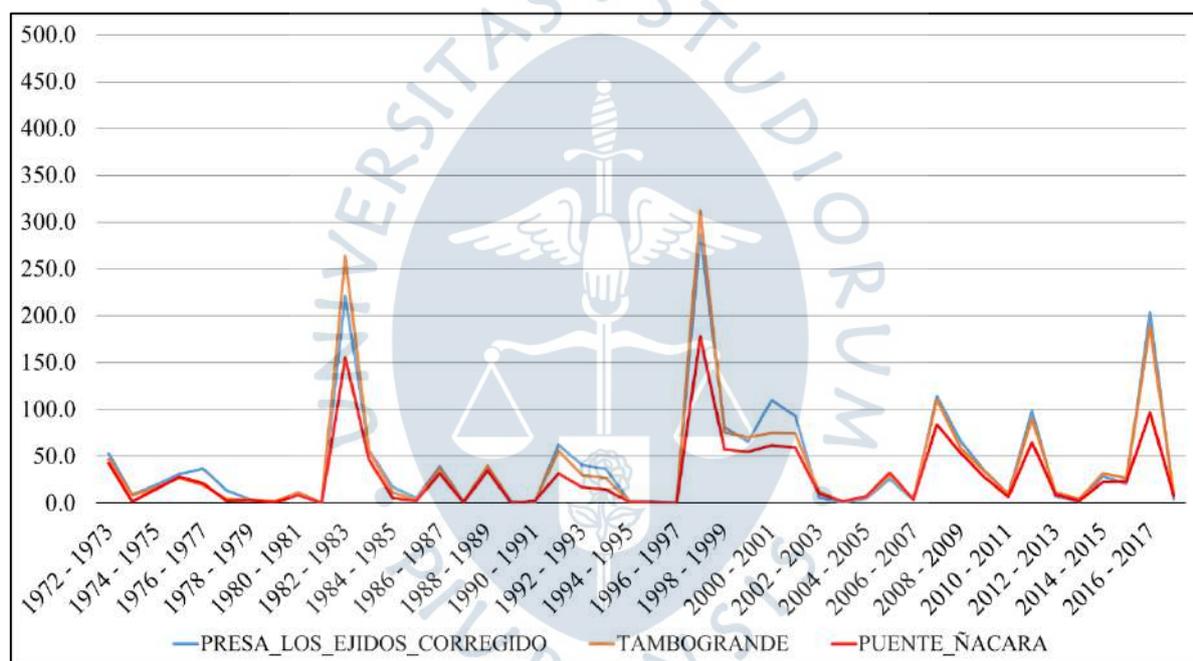


Figura 61. Distribución inicial de caudales medios anuales

Posteriormente, en la Figura 62 se presenta las curvas doble masa acumulada para el PQA inicial, en la cual se puede observar que se han formado tres saltos significativos producto de los Fenómenos El Niño y que forman tres periodos de evaluación, además de tener un buen ajuste entre las 3 estaciones hidrométricas analizadas, ya que los valores de r^2 son cercanos a 1, sin embargo, se puede mejorar los resultados, definiendo como estación patrón a la estación Presa Los Ejidos, ya que es la única estación que presentaba una base datos completa y confiable en su medición.

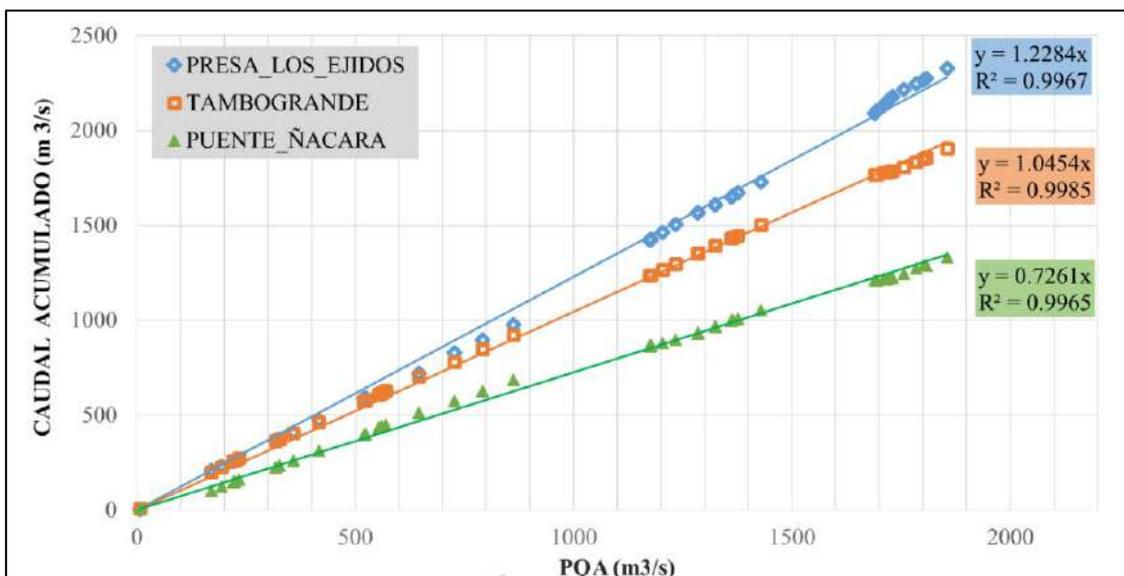


Figura 62. Curvas doble masa acumulada para el PQA inicial

Al definir como estación patrón a la Presa Los Ejidos, se obtuvo una nueva curva doble masa acumulada (ver Figura 63) que tiene un ajuste perfecto es decir el valor de r^2 es 1 y servirá como base para las correcciones de los datos de las estaciones Tambogrande y Puente Ñacara.

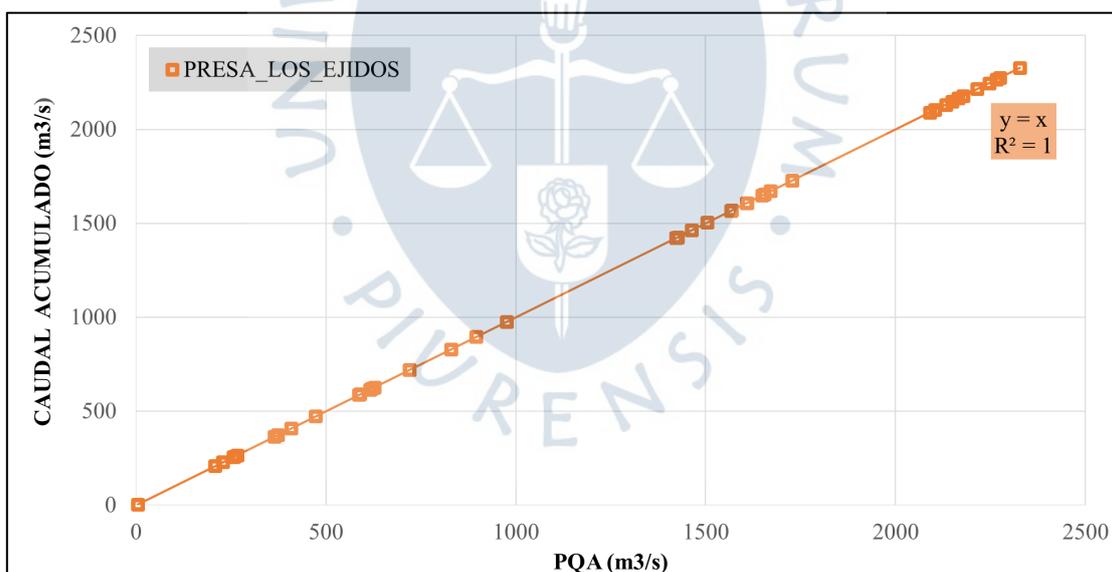


Figura 63. Curvas doble masa acumulada - PQA para la estación Presa Los Ejidos

4.4.2.1. Análisis de consistencia para la estación Tambogrande. Para el análisis de consistencia de la estación hidrométrica Tambogrande se graficó las tendencias en los tres periodos identificados (Figura 64), de la cual se observa que el periodo tres presenta un menor ajuste es decir un valor de r^2 igual a 0.751 con valores por encima de la línea de tendencia. Por otro lado, el periodo uno y dos presenta un buen ajuste con un r^2 igual a 0.9979 y 0.9967 respectivamente, sin embargo, las pendientes de las rectas son diferentes, por ende, se estableció ajustar el periodo dos y tres a la tendencia

del periodo uno (pendiente 0.9715) ya que su registro es de años recientes y de mayor control de calidad en la toma de datos.

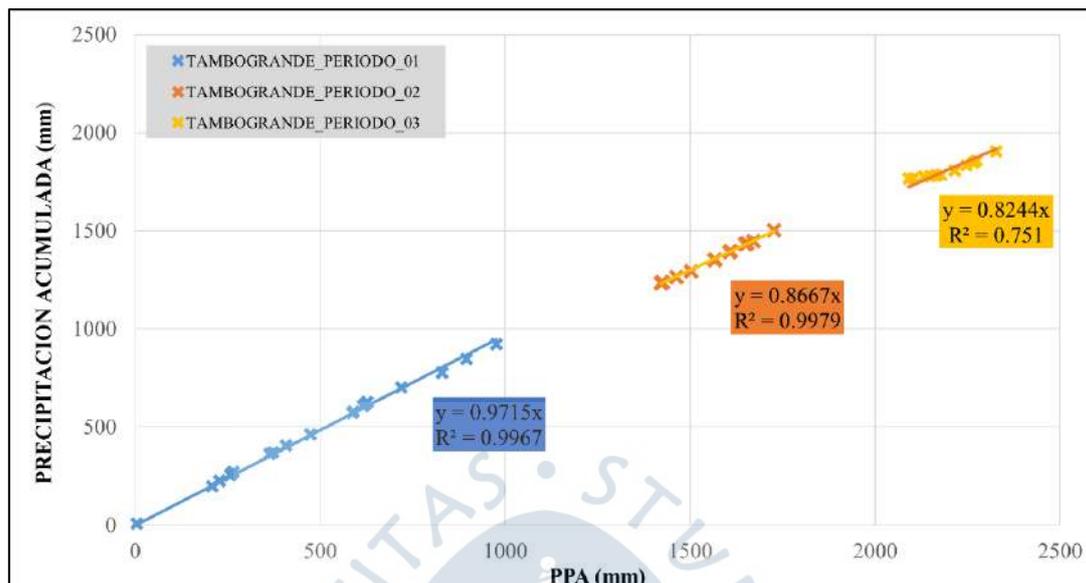


Figura 64. Curvas doble masa acumulada – corrección de la estación hidrométrica Tamborgande

4.4.2.2. Análisis de consistencia para la estación Puente Ñacara. Para el análisis de consistencia de la estación hidrométrica Puente Ñacara se graficó las tendencias en los 3 periodos identificados (ver Figura 65), y se siguió los mismos criterios de evaluación descritos en el ítem anterior, identificando, que se ajustara el periodo dos y tres a la tendencia del periodo uno (pendiente 0.6908) por presentar un mejor ajuste y control de calidad de la información.

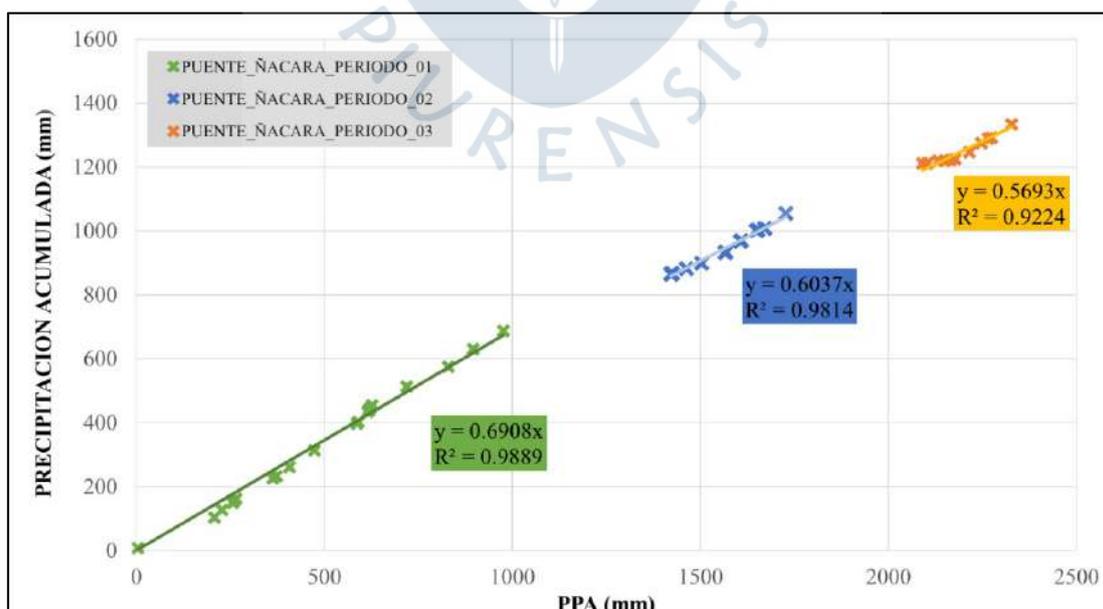


Figura 65. Curvas doble masa acumulada – corrección de la estación hidrométrica Puente Ñacara

Finalmente, en la Figura 66 se presenta las curvas doble masa acumulada corregida para las tres estaciones hidrométricas: Presa Los Ejidos, Tambogrande y Puente Ñacara, en la cual se visualiza valores de R^2 cercanos a 1 y visualmente los datos presentan una mejora en su ajuste a las rectas, si se compara con las curvas doble masa acumulada iniciales (ver Figura 66).

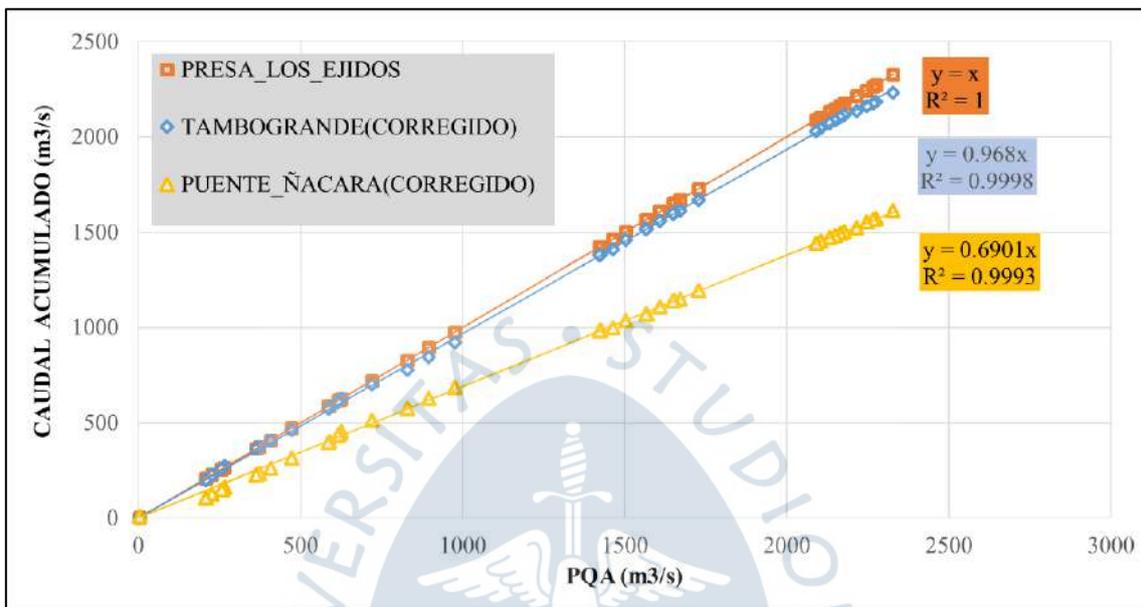


Figura 66. Curvas doble masa acumulada corregidas

4.5 Resultados del análisis hidrométrico

Conformada la base de datos consistente se puede obtener diversos resultados del análisis, por ejemplo, en la Figura 67 se presenta la distribución de caudales medios anuales consistentes, donde se observa una mejora en el patrón de tendencia luego de la corrección, lo cual corrobora la consistencia de los datos, además de identificar tres grandes picos producto de los fenómenos el niño 1982-1983, 1997-1998 y 2016-2017.

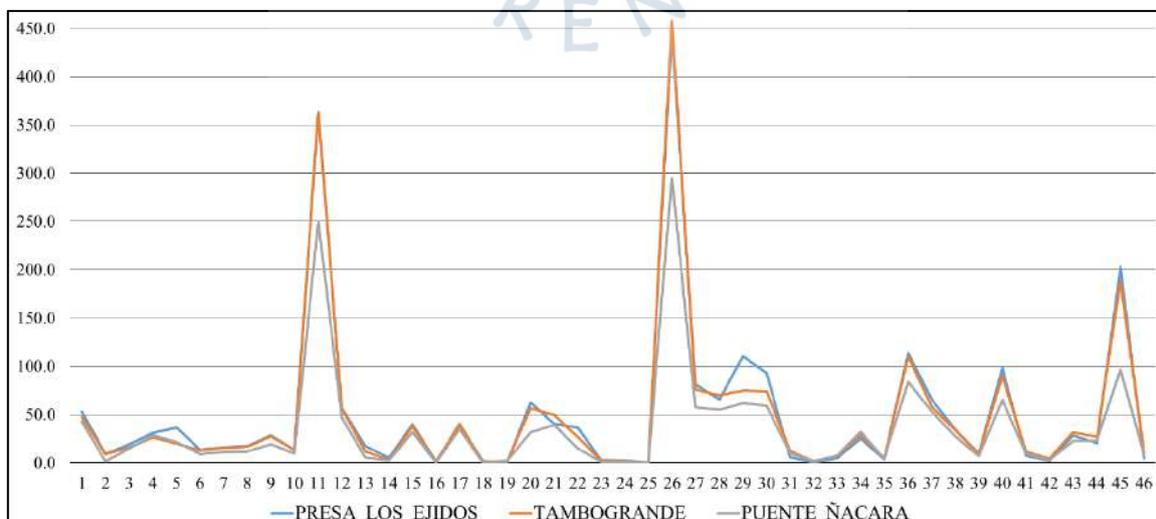


Figura 67. Distribución de caudales medios anuales consistentes

Por otro lado, en la Tabla 59 se observa el cálculo de los caudales medios en el periodo evaluado, identificando que el máximo caudal medio anual se presentó en el FEN 1997-1998, donde la estación Tambogrande posee un caudal de $457.7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y el menor caudal histórico se registró en la estación Puente Ñacara con un valor de $96.8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para el FEN 2016-2017.

Tabla 59. Caudales medios anuales en el periodo hidrológico 1972-2018

Caudal medio (m^3/s)				
N°	Año de evaluación	Estaciones hidrométricas evaluadas		
		Puente Ñacara	Tambogrande	Presa Los Ejidos
1	1972-2018 (con FEN)	35.1	48.6	50.6
2	1972-2018 (sin FEN)	22.6	28.5	30.6
3	FEN 1982-1983	249.3	362.2	362.7
4	FEN 1997-1998	294.7	457.7	445.5
5	FEN 2016-2017	96.8	189.0	203.6

Si se desea realizar una comparación entre el caudal que presenta un curso de agua para diferentes cuencas que pertenecen a una misma vertiente y expresarlo gráficamente en un mapa, se puede utilizar el cálculo del caudal específico que se describe a continuación:

Se ha identificado la formación de 3 subcuencas principales, cuyo punto de desfogue es la ubicación de las estaciones hidrométricas evaluadas, delimitando así, cada subcuenca con ayuda del software ArcGis 10.5 y las curvas de nivel obtenidas de las cartas nacionales, lo que da como resultado las áreas presentadas en la Tabla 60 de cada subcuenca formada:

Tabla 60. Área de las subcuencas que conforman la cuenca Piura

N°	Subcuencas	Área (km^2)	Diferencia de áreas (km^2)
1	Puente Ñacara	4543.0	4543.0
2	Tambogrande	5725.5	1182.5
3	Presa Los Ejidos	7593.8	1868.3
4	Cuenca Piura	10872.0	-

Identificando las subcuencas principales y los caudales medios anuales, se procedió a realizar el cálculo del caudal específico, que se presenta en la Tabla 61, donde se observa que los mayores valores para los diferentes periodos de evaluación se presentan en la estación Tambogrande, debido a que posee la menor diferencia de áreas entre la subcuenca Puente Ñacara y Tambogrande, además de presentar caudales muy grandes. Por otro lado, la estación Presa Los Ejidos es la que presenta menor caudal específico debido a su menor diferencia de áreas entre las subcuencas Tambogrande y Presa Los ejidos, a pesar de tener caudales similares a los registrados en la estación hidrométrica Tambogrande.

Tabla 61. Cálculo de caudales específicos en cada subcuenca evaluada

Caudal específico (L/s*km ²)				
N°	Periodo de evaluación	Estaciones hidrométricas evaluadas		
		Puente Ñacara	Tambogrande	Presa Los Ejidos
1	1972-2018 (con FEN)	7.7	11.4	1.1
2	1972-2018 (sin FEN)	5.0	5.0	1.1
3	FEN 1982-1983	54.9	95.5	0.3
4	FEN 1997-1998	64.9	137.8	-6.5
5	FEN 2016-2017	21.3	78.0	7.8

4.5.1 Base de datos anuales

En la Tabla 62 se presenta la base de datos de caudales anuales consistente, en la que se puede observar celdas de color azul que corresponden a los datos corregidos durante el análisis de consistencia

Tabla 62. Base datos de caudales medios anuales rellenados (consistente)

Caudal medio anual consistente del río Piura				
Datos generales		1	2	3
N°	Año hidrológico	Presa Los Ejidos	Tambogrande	Puente Ñacara
1	1972 - 1973	52.8	47.1	42.4
2	1973 - 1974	9.2	8.8	1.7
3	1974 - 1975	19.2	16	15.2
4	1975 - 1976	31.3	26.5	28.3
5	1976 - 1977	36.7	19.6	21.3
6	1977 - 1978	13.4	13.0	9.3
7	1978 - 1979	16.1	15.6	11.1
8	1979 - 1980	17.0	16.5	11.7
9	1980 - 1981	28.2	27.4	19.5
10	1981 - 1982	13.5	13.1	9.3
11	1982 - 1983	362.7	362.2	249.3
12	1983 - 1984	56.5	55.6	46.8
13	1984 - 1985	17.2	11.5	5.5
14	1985 - 1986	5.3	3.1	2.6
15	1986 - 1987	39.5	37.7	31.9
16	1987 - 1988	1.7	1.2	0.6
17	1988 - 1989	39.3	40	34.8
18	1989 - 1990	1.6	0.8	0
19	1990 - 1991	0.5	1.5	2.1
20	1991 - 1992	62.4	56.4	31.7
21	1992 - 1993	40.5	49.2	39.3
22	1993 - 1994	36.6	26.9	15.2
23	1994 - 1995	2.6	1.9	1.1

Caudal medio anual consistente del río Piura				
Datos generales		1	2	3
N°	Año hidrológico	Presa Los Ejidos	Tambogrande	Puente Ñácara
24	1995 - 1996	1.8	1.3	0.8
25	1996 - 1997	0.5	0.4	0.2
26	1997 - 1998	445.5	457.7	294.7
27	1998 - 1999	80.9	75.7	57.3
28	1999 - 2000	65.4	69.7	54.8
29	2000 - 2001	110.0	74.8	62
30	2001 - 2002	92.9	74.3	59
31	2002 - 2003	6.0	12.1	10.3
32	2003 - 2004	0.4	1.7	1.5
33	2004 - 2005	4.9	6.8	7.6
34	2005 - 2006	25.4	29.1	32.3
35	2006 - 2007	3.4	4.7	4.4
36	2007 - 2008	113.7	110	83.6
37	2008 - 2009	65.3	58	53.1
38	2009 - 2010	34.4	33.8	27.4
39	2010 - 2011	9.8	9.1	6.9
40	2011 - 2012	97.8	90.1	64.9
41	2012 - 2013	7.4	11.5	9.4
42	2013 - 2014	1.9	4.4	2.7
43	2014 - 2015	28.4	31.8	22.5
44	2015 - 2016	20.3	27	23
45	2016 - 2017	203.6	189	96.8
46	2017 - 2018	4.3	9.9	7.9

4.5.2 Mapas de caudal específico

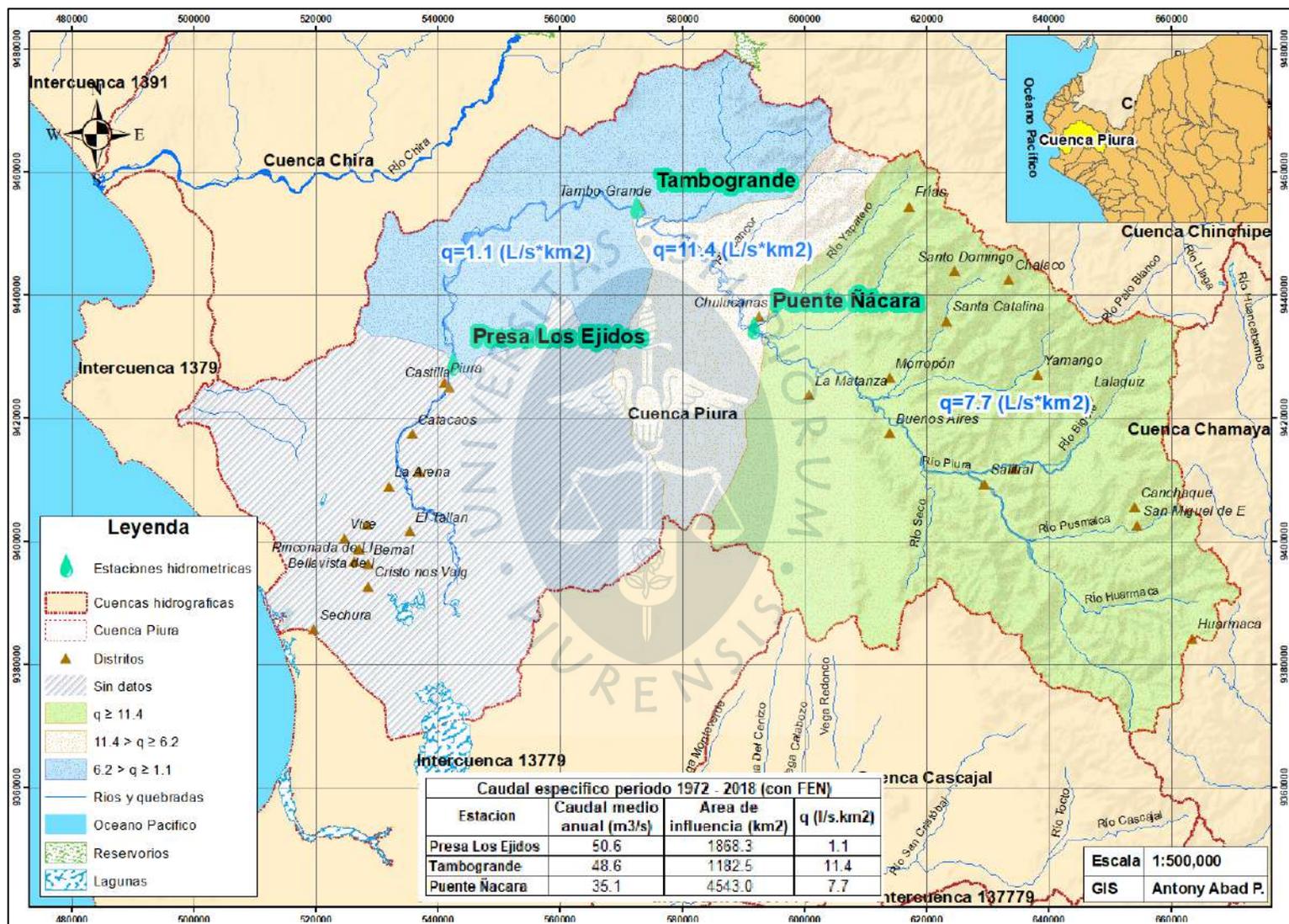


Figura 68. Mapa de caudales específicos en el periodo 1972 - 2018 (incluyendo años FEN)

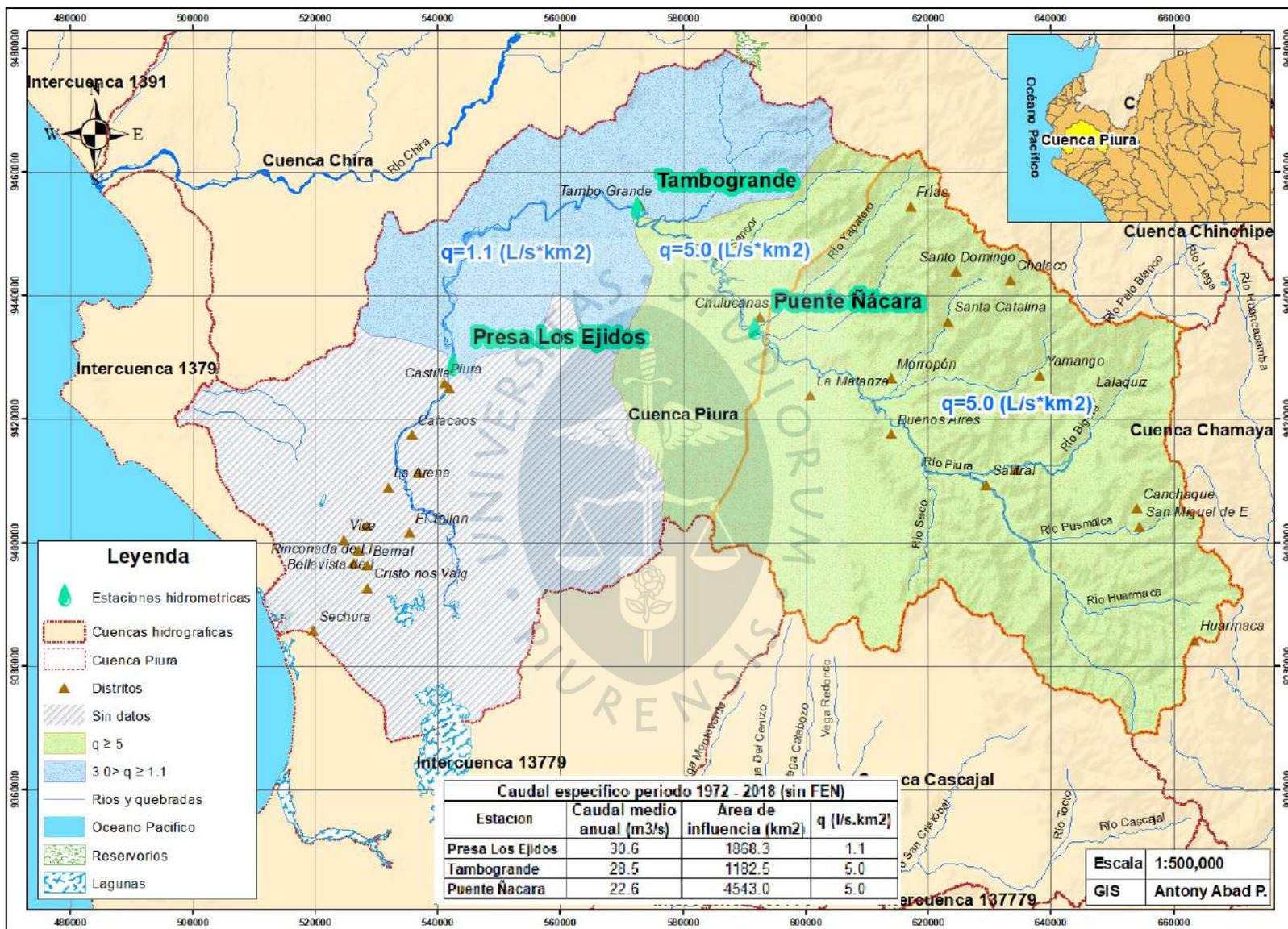


Figura 69. Mapa de caudales específicos en el periodo 1972 - 2018 (sin incluir años FEN)

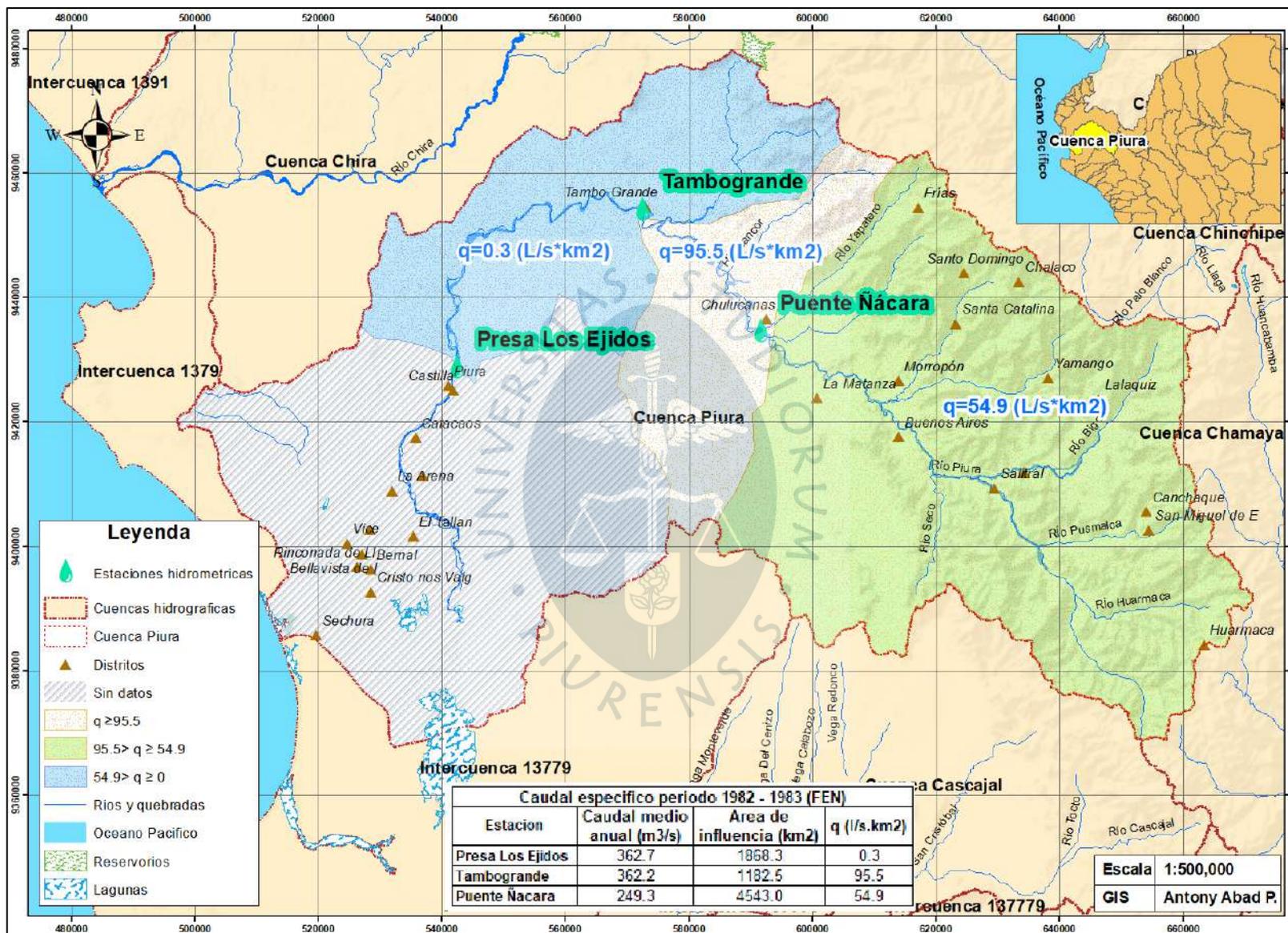


Figura 70. Mapa de caudales específicos para el periodo 1982-1983 (FEN)

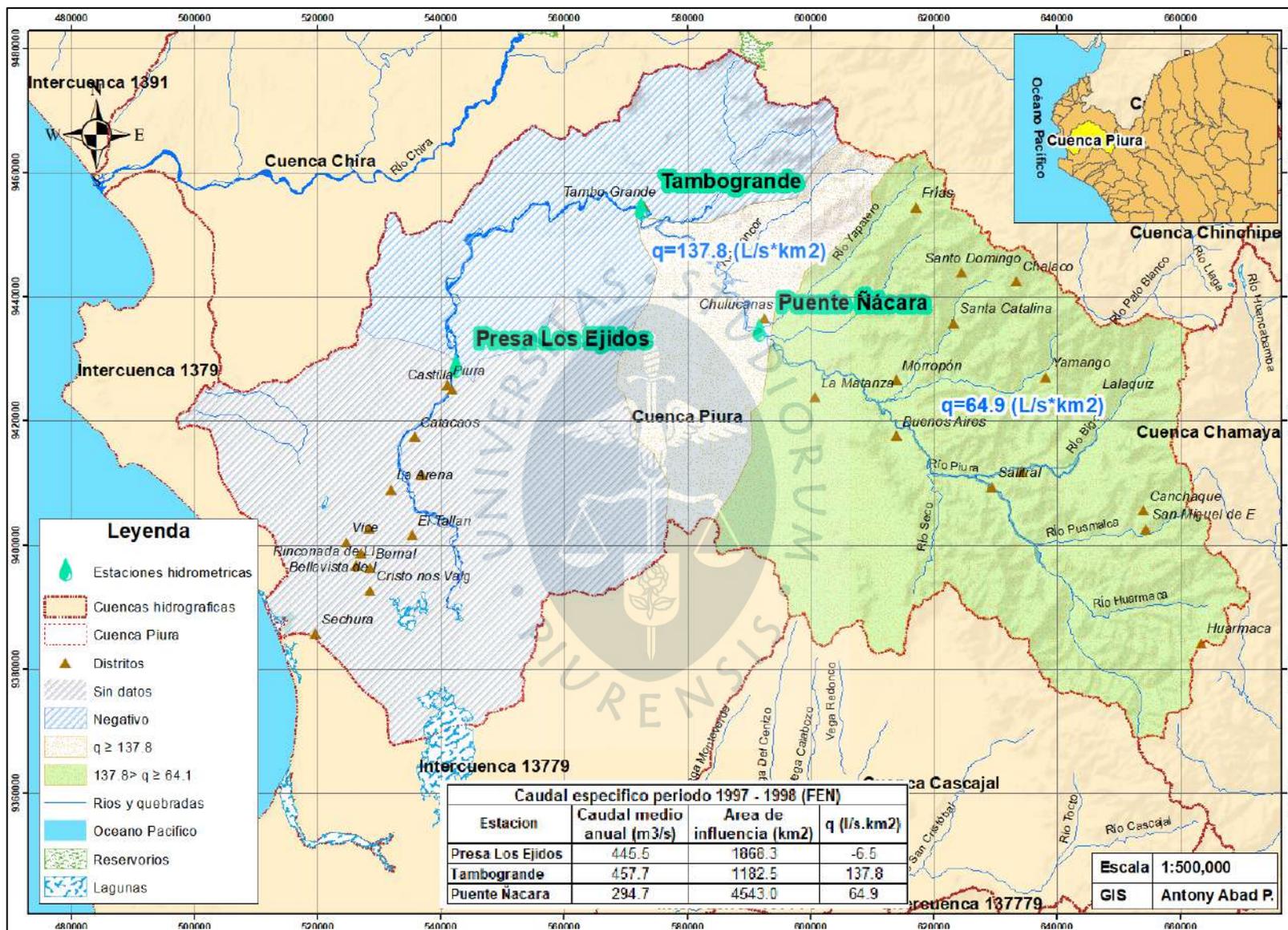


Figura 71. Mapa de caudales específicos para el periodo 1997-1998 (FEN)

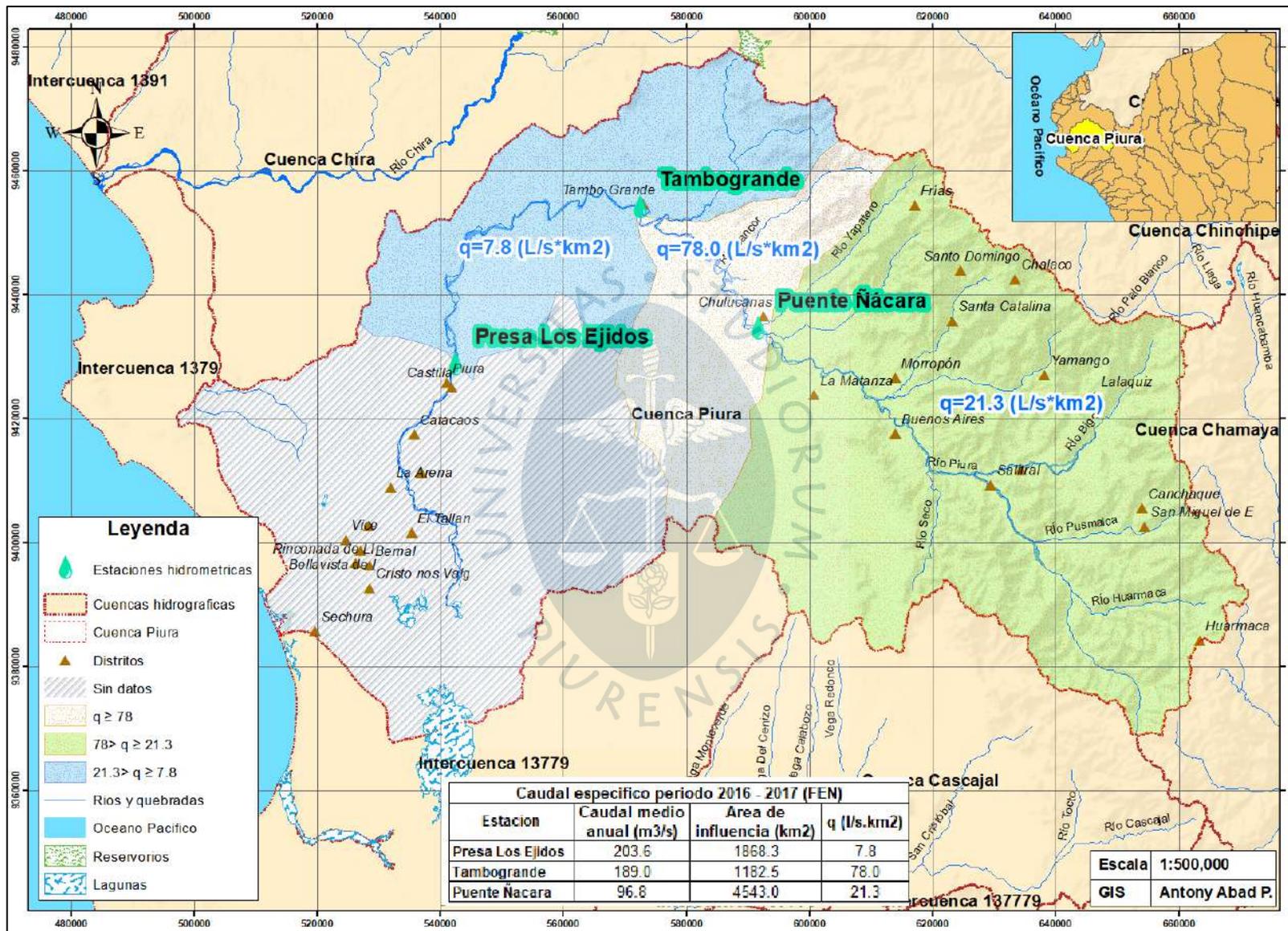


Figura 72. Mapa de caudales específicos para el periodo 2016-2017 (FEN)

Conclusiones

Mediante las visitas de campo y el diagnóstico efectuado, se logró identificar que en la cuenca Piura existen un total de doce estaciones pluviométricas convencionales activas a cargo del SENAMHI: Bernal, San Miguel, Chulucanas, Virrey, San Pedro, Morropón, Malacasí, Hacienda Bigote, Chalaco y Huarmaca, en buen estado de conservación, ya que poseen instrumentos que en su mayoría funcionan adecuadamente y en un menor porcentaje les hace falta mantenimiento. Por otro lado, la estación Miraflores se encuentra en regular estado de conservación, ya que les hace falta mantenimiento a los instrumentos y algunos han dejado de funcionar. Finalmente, la estación Chusis se encuentra en mal estado de conservación, ya que en su mayoría los instrumentos han dejado de funcionar y les hace falta mantenimiento.

La red de monitoreo actual se está viendo repotenciada con el proyecto de modernización de la red hidrometeorológica que SENAMHI ha implementado a partir del año 2014, con un total de trece estaciones pluviométricas automáticas que son: Tambogrande, Puente Ñácara, Chulucanas, San Pedro, Morropón, Chalaco, Corral del Medio, Virrey, Malacasí, Salitral, Hacienda Barrios, Canchaque y Huarmaca. Con el paso del tiempo estos datos acumulados constituirán registros valiosos para la gestión de recursos hídricos.

Actualmente el ANA cuenta con una red de cinco pluviómetros automáticos ubicados dentro de la cuenca Piura, instalados como parte del Sistema de Monitoreo y Alerta por Activación de Quebradas a partir del año 2017. Las estaciones funcionan durante los periodos lluviosos, de diciembre a abril y en ocasiones se suele cambiar el número de estaciones instaladas durante el año, distribuyéndose en su mayoría en la cuenca media, las cuales son: Qda. Bigote, Qda. Carrizo, Qda. El Gallo, Qda. El Ingenio y Qda. La Pilca.

En lo concerniente a estaciones hidrométricas, se ha identificado que el PECHP cuenta con una red de tres estaciones activas ubicadas a lo largo del río Piura, de las cuales se ha establecido que las estaciones Presa Los Ejidos y Puente Ñácara se encuentran en buen estado de conservación, y la estación Tambogrande se encuentra en regular estado de conservación, además, en dichas estaciones se realiza aforos constantes, manteniendo actualizado el registro histórico de caudales que data del año 1971. Por otro lado, el SENAMHI cuenta con una red hidrométrica más extensa, conformada por seis estaciones

que solo miden el nivel de agua desde el año 2014, las cuales son: Corral del Medio, Hacienda Barrios, Puente Ñácara, Salitral, San Pedro y Tambogrande.

Se estableció un periodo de análisis entre las estaciones pluviométricas convencionales operadas por SENAMHI, el cual corresponde a los años hidrológicos 1972 hasta 2019, obteniendo un 38% de registros faltantes que fueron rellenados utilizando el método de correlaciones simples y múltiples. Posteriormente, se aplicó el análisis de consistencia y se obtuvo una base de datos confiable que se presentó en la Tabla 43 y Tabla 44.

Generalmente las precipitaciones en la cuenca Piura según los mapas de isoyetas, se distribuyen en relación a la altitud del terreno entre la cuenca baja, media y alta, sin embargo, durante épocas de Fenómenos El Niño, se rompe la tendencia y las máximas precipitaciones se presentan en la cuenca media, en el eje Chulucanas - Virrey, esto se ha evidenciado en los tres últimos FEN extraordinarios ocurrido, 1983, 1998 y 2017; registrando que la máxima precipitación acumulada anual se presentó en el FEN 1982-1983, con una lluvia de más de 5000 mm en la estación Virrey y una precipitación anual media de 2861.3 mm para toda la cuenca Piura.

Se ha establecido un periodo común de operación entre las estaciones hidrométricas convencionales operadas por el PECHP, el cual corresponde a los años hidrológicos 1972 hasta 2018, con 19% faltante del registro histórico, que fue rellenado empleando la metodología similar para el tratamiento de la información pluviométrica, cuya base de datos confiable se presentó en la Tabla 62.

Según los mapas de caudales específicos de la cuenca del río Piura, se visualiza que los caudales máximos se presentan en el área de influencia de la estación hidrométrica Tambogrande, donde se ha registrado un caudal específico de $137.8 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ durante el FEN 1997-1998 y un caudal promedio anual de $457.7 \text{ m}^3/\text{s}$, estación que pertenece a la cuenca media y corrobora los resultados obtenidos en el análisis pluviométrico, sobre que, las precipitaciones máximas durante los FEN que luego discurre por el río Piura se presentan en la cuenca media, esto es entre Tambogrande y Chulucanas.

La cuenca Piura posee una baja densidad de estaciones pluviométricas en la cuenca media, donde se presentan las máximas precipitaciones durante los FEN, siendo la estación hidrométrica Tambogrande la que registra el mayor incremento de caudales, además, existe un número reducido de estaciones hidrométricas, lo cual dificulta el monitoreo de las avenidas que permita tomar decisiones rápidas. Por dicho motivo, el radar de lluvias (PIUXX) instalado en la estación científica Ramón Mugica de la Universidad de Piura (UDEP), cuyo alcance abarca las provincias de Piura, Morropón, Sechura, Paita y Sullana, se ha presentado como una de las alternativas de solución más factibles que permitirá mejora el monitoreo de las precipitaciones en la cuenca.

Recomendaciones

Se recomienda que las instituciones encargadas del monitoreo del recurso hídrico, tales como el SENAMHI, el PECHP y el ANA, trabajen conjuntamente para continuar con el proyecto de modernización de la red hidrometeorológica de la cuenca Piura, mediante la instalación de estaciones automáticas y el incremento de la densidad de estaciones a lo largo de la cuenca Piura, para que se logre cumplir con los mínimos valores recomendados por la Organización Meteorológica Mundial (Tabla 7) y de acuerdo a las necesidades medioambientales de la región y el país.

Se recomienda que dichas instituciones implementen protocolos específicos para cada tipo de estación hidrometeorológica, para que sean aplicados por los operadores de cada estación, en donde se detalle como mínimo, el funcionamiento de cada equipo y sus partes, su importancia, solución de problemas típicos que pueden presentar los equipos, condiciones generales de limpieza que debe mantener la estación a lo largo del año y cumplir con un programa de visitas de los técnicos de las instituciones para mantenimiento preventivo y correctivo de los instrumentos, con el objetivo de garantizar una correcta medición y que los operadores en lo posible garanticen una continuidad en la toma de datos.

Se recomienda que tanto el SENAMHI como el PECHP, que aun cuentan con estaciones convencionales, implementen aplicativos tecnológicos oficiales para que los operadores almacenen y transmitan el registro diario de manera digital y así evitar posibles errores de escritura o interpretación, con el objetivo de garantizar una fluidez en la comunicación de los datos a las centrales, evitando la informalidad de la transmisión de información tal y como se está realizando actualmente mediante las redes sociales o mensajes de texto.

Se recomienda que el SENAMHI, el PECHP y el ANA tomen en cuenta las fichas de evaluación que se presentan en los apéndices del presente proyecto de tesis, en donde se detalla las condiciones actuales de los instrumentos de medición, observaciones, entre otros, con el objetivo de dar soluciones rápidas para que se mejore el funcionamiento de cada estación.

Se recomienda que tanto del SENAMHI como el PECHP, que tienen a cargo las estaciones hidrométricas, trabajen conjuntamente para uniformizar los criterios de medición y aforos del río Piura, con el objetivo de poder contar con una mayor cantidad

de estaciones de monitoreo enlazadas y que la información pueda ser utilizada para el manejo del recurso hídrico y prevención de grandes avenidas que puedan afectar a la población.

Se recomienda la reactivación de la estación hidrométrica Salitral, que fue dañada durante el FEN de 2017 y que hasta la actualidad no ha sido reconstruida, debido a que esta monitoreaba los caudales de la cuenca alta y era de fácil acceso para realizar los aforos del río de manera frecuente, a comparación de la estación hidrométrica Hacienda Barrios que actualmente si está en funcionamiento, pero debido a la dificultad para acceder a la zona no presenta una continuidad en los aforos.



Referencias bibliográficas

- AACHCP. (2007). *Plan de defensas ribereñas - Resumen del diagnostico situacional*. Piura, Peru. Obtenido de <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/32/ANA0000535.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aldenderfer, M., & Blashfield, R. (1984). *Cluster analysis*. California: Sage Publications.
- ANA. (2015). *Evaluacion de recursos hidricos superficiales en la cuenca del río Piura*. Lima: Resolucion directorial N°005-2015-ANA-DCPRH. pp 8,11,13-16.
- ANA. (2015). *Mejoramiento de la red hidroclimática de la cuenca piloto Chira-Piura*. Piura.
- ANA. (20 de julio de 2020). *Página de inicio*. Obtenido de <http://www.ana.gob.pe/>
- Chavez, H., & Coronado, A. (2020). *Evaluación de la red hidrometeorológica y conformación de base de datos de la cuenca del río Chira (Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil)*. Piura: Universidad de Piura.
- Chow, Maidment, & Mays. (1994). *Hidrología aplicada*. Colombia.
- Chunga, I. E. (2020). *Diseño de un sistema de alimentación eléctrico fotovoltaico para el radar de lluvias de UDEP*. Piura.
- Diaz, V. (2002). *Técnicas de análisis multivariante para investigación social y comercial* (segunda ed.). Madrid: Díaz, V. (2002). *Técnicas de análisis multivariante para investigación social y comercial*. Madrid: RA-MA Editorial.
- Farías, M. (2020). *Elementos de climatología - Apuntes de clase*. Piura: Universidad de Piura.
- Fattorelli, & Fernandez. (2011). *Diseño hidrológico*. Zaragoza: Water Assessment & Advisory Global Network.
- Fiondella, F. (junio de 2014). *Ocho conceptos erróneos sobre El Niño y La Niña*. Obtenido de <https://iri.columbia.edu/news/eight-misconceptions-about-el-nino/>
- Gomez, W. (2009). *Texto basico de hidrologia*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/textos/np10g192.pdf>
- INDECI. (2015). *Sistema de alerta temprano "SIAT"-Experiencia regional y local en la cuenca del rio Piura*. Piura.

- Jacobo, M., & Breña, A. (27 de marzo de 2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. Ciudad de Mexico: Universidad Autonoma Metropolitana. Obtenido de Principios y fundamentos de la Hidrología Superficial: https://uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf
- Luque, T. (2012). *Técnicas de análisis de datos en investigación de marcas* (segunda ed.). Madrid: Ediciones Pirámide.
- McCuen, R. (1998). *Hydrologic Analysis and Design*. London: Department of civil Engineering University of Maryland.
- Neyra, D., & Olivares, A. (2019). *Análisis hidrometeorológico de la cuenca del río Piura (Tesis para optar el título de ingeniero civil)*. UDEP: Universidad de Piura.
- OMM, O. M. (2011). *Guía de practicas hidrológicas* (sexta ed., Vol. VI). Ginebra, Suiza.
- Paulini, A. (2005). *Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del río Quiroz (tesis de licenciatura en Ingeniería Civil)*. Piura: Universidad de Piura.
- PECHP. (2020). *Página de inicio*. Obtenido de <http://www.chirapiura.gob.pe/proyecto>
- Peña, D. (2002). *Análisis de datos multivariantes*. Madrid: Programas de las Naciones Unidad para el Desarrollo.
- Puerta, R., Rengifo, J., & Bravo, N. (2011). *ArcGIS básico 10*. Tingo Maria, Peru: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Redin, I. (2011). *La observación de efectos en las mareas terrestres*. Mexico.
- Selex. (2013). *Radar basics rainview analyzer*.
- SENAMHI. (2013). *Protocolo para la instalación y operación de estaciones meteorológicas, agrometeorológicas e hidrológicas*. Lima: Resolución presidencial ejecutiva N°0174 SENAMHI-PREJ-OGOT/2013.
- SENAMHI. (2013). *Proyecto de modernización de la gestión de los recursos hídricos (P.M.G.R.H)*. Piura.
- SENAMHI. (2013). *Suministro, instalación y puesta en funcionamiento de estaciones (Hidrologicas, Hidrometereologicas y Metereologicas) automaticas y suministro de equipos de medicion para fines de gestion de recurso hidrico*. Piura.
- SENAMHI. (2019). *Manual de hidrometria*. Lima: Resolucion de presicendia ejecutiva N°182-2018-SENAMHI/PREJ.
- SENAMHI. (2020). *página de inicio*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=senamhi>

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 - ROSTLAC.

Villón, M. (2002). *Hidrología* (segunda ed.). Lima: Villón.

Weimar, Y., & Cahuana, A. (2009). Material de apoyo didactico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrologia CIV-233. Bolivia.



Apéndices



Apéndice A Ficha de evaluación de la estación pluviométrica San Miguel

FICHA 1/3						
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"						
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS						
I. DATOS GENERALES						
Nombre del evaluador		Jorge Alonso Peña Valdivia /Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu				
Fecha de evaluación		18/05/2019				
Hora de inicio/fin de evaluación		08:00 am - 09:00 am				
Nombre de la estación		Bernal				
Clasificación de estación		Meteorológica				
Subclasificación de estación		Convencional y Automática				
Entidad responsable		SENAMHI				
Nombre del responsable de operación		Dago Berto Gomez Mena				
Número de contacto del responsable		969333023				
Periodo de operación		(Aprox 80 años)-corroborar-según-data historica				
Horarios de lecturas		7 am ; 1:00 pm ; 07:00 pm				
Cuenca hidrográfica		Piura				
Ubicación política		Departamento	Provincia	Distrito	Localidad	
		Piura	Piura	Catacaos	San Jacinto	
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)		
		5° 14' 46.33"S	80° 41' 3.69"O	20		
	UTM	Norte	Este	Datum		
Referencias ubicación		9420111.19 S 534977.04 E Zona 17S-WGS84				
Dentro de los campos de cultivo de la localidad de San Jacinto.						
II. EVALUACIÓN GENERAL						
Condición		Operativo			Inoperativo	
Estado de conservación		Bueno	Regular	Malo		
Período y responsable de mantenimiento y/o calibración		Trimestralmente ; SENAMHI				
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1. Anemómetro totalizador	0	B	A	-	No tiene batería	

III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (O), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
2. Anemómetro de hélice	0	B	A	-	N	
3. Anemómetro de empuje(Veleta wild)	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm	N	
4. Caseta meteorológica						
4.1 Termohidrógrafo	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm	N	
4.2 Psicrómetro	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm	N	
4.3 Termómetro de máxima y mínima.	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm	N	
5. Heliógrafo	0	B	C	7am, 7 pm	N	
6. Geotermómetro	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm	Están mal ubicados según el operador	
7. Tanque de evaporación	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm	N	

III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (1)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
8. Microbarógrafo	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm	N	
9. Pluviómetro ordinario	0	B	C	Dia de Precipitacion	N	
10. Barómetro Mercurial	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm	N	

IV.OBSERVACIONES

-Se firmó el correspondiente cuadernos de visitas

-El mantenimiento solo se realiza trimestralmente por parte de SENAMHI

V. PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 1. Estacion Meteorológica Agrícola Principal San Miguel

Foto 2. Estacion San Miguel y Caseta meteorológica

Apéndice B Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Bernal

FICHA 1/2						
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"						
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS						
I. DATOS GENERALES						
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdivia /Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu					
Fecha de evaluación	18/05/2019					
Hora de inicio/fin de evaluación	10:00 am - 10:20 am					
Nombre de la estación	Bernal					
Clasificación de estación	Climatológica					
Subclasificación de estación	Ordinaria					
Entidad responsable	SENAMHI					
Nombre del responsable de operación	Isabel Antón Ruiz					
Número de contacto del responsable	945116757					
Período de operación	(Aprox 50 años)-corroborar-según-data historica					
Horarios de lecturas	7 am ; 1:00 pm ; 07:00 pm					
Cuenca hidrográfica	Piura					
Ubicación política	Departamento	Provincia	Distrito	Localidad		
	Piura	Sechura	Bernal	Campos de cultivo del distrito de Bernal		
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)		
		5° 27' 16.18"S	80° 44' 33.47"O	8		
	UTM	Norte	Este	Datum		
		9397090.13 S	528510.98 E	Zona 17S-WGS84		
Referencias ubicación	Dentro de los campos de cultivo del distrito de Bernal.					
II. EVALUACIÓN GENERAL						
Condición	Operativo			Inoperativo		
Estado de conservación	Buena	Regular	Malo			
Período y responsable de mantenimiento y/o calibración	Trimestralmente ; SENAMHI					
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (O), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1. Veleta wild	0	B	C	Solo se visualiza la dirección del viento	N	
2. Caseta meteorológica						
2.1 Psicrómetro	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm *	N	

III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
3. Heliógrafo	0	B	C	7 am - 7 pm	N	
4. Tanque de evaporación	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm	N	
5. Pluviómetro ordinario	0	B	C	7 am - 7 pm	N	

IV. OBSERVACIONES

-Se firmó el correspondiente cuadernos de visitas
 -el mantenimiento solo Se realiza trimestralmente por parte de SENAMHI

V. PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 1. Estacion Climatologica Ordinaria Bernal



Foto 2. Condiciones Pluviómetro convencional



Apéndice C Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Chusis

FICHA 1/2						
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"						
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS						
I. DATOS GENERALES						
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdivia /Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu					
Fecha de evaluación	18/05/2019					
Hora de inicio/fin de evaluación	11:15 am - 11:40 am					
Nombre de la estación	Chusis					
Clasificación de estación	Climatológica					
Subclasificación de estación	Ordinaria					
Entidad responsable	SENAMHI					
Nombre del responsable de operación	Carlos Galan Pazo					
Número de contacto del responsable	969332554					
Periodo de operación	(Aprox 30 años)-corroborar-según-data historica					
Horarios de lecturas	7 am ; 1:00 pm ; 07:00 pm					
Cuenca hidrográfica	Piura					
Ubicación política		Departamento	Provincia	Distrito	Localidad	
		Piura	Sechura	Chusis	Campos de cultivo del distrito de Bernal	
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)		
		5° 31' 39.23"S	80° 48' 45.9"O	14		
	UTM	Norte	Este	Datum		
		9389015.85 N	520740.03 E	Zona 17S-WGS84		
Referencias ubicación		Margen derecho del canal de regadillo del distrito de Chusis				
II. EVALUACIÓN GENERAL						
Condición	Operativo			Inoperativo		
Estado de conservación	Bueno	Regular	Malo			
Periodo y responsable de mantenimiento y/o calibración	Trimestralmente ; SENAMHI					
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1. Anemómetro de empuje(Veleta wild)	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm	N	
2. Caseta meteorológica						
2.1 Termómetro de máximas y mínimas	0	R	C	7am, 1 pm, 7 pm	N	

Ficha 2/2						
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
3. Heliógrafo	I	M	C	7 am - 7 pm	La esfera fue robada	
4. Geotermómetro	I	R	C	7am, 1 pm, 7 pm	Sin mantenimiento	
5. Tanque de evaporación	I	M	C	7am, 1 pm, 7 pm	Tanque con signos de oxidación	
6. Pluviómetro ordinario	0	R		7 am - 7 pm	Sin mantenimiento	
IV.OBSERVACIONES						
-Se firmó el correspondiente cuadernos de visitas -el mantenimiento solo Se realiza trimestralmente por parte de SENAMHI						
V. PANEL FOTOGRÁFICO						
						
Foto 1. Estación climatológica ordinaria Chusis		Foto 2. Condiciones del pluviómetro convencional				

Apéndice D Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Morropón

FICHA 1/3						
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"						
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS						
I. DATOS GENERALES						
Nombre del evaluador		Jorge Alonso Peña Valdivia / Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu				
Fecha de evaluación		22/05/2019				
Hora de inicio/fin de evaluación		08:50 am - 09:10 am				
Nombre de la estación		Morropón				
Clasificación de estación		Climatológica				
Subclasificación de estación		Ordinaria				
Entidad responsable		SENAMHI				
Nombre del responsable de operación		Gloria Cordova Viuda de Terrones.				
Número de contacto del responsable		987947522				
Periodo de operación		-				
Horarios de lecturas		7 am ; 1:00 pm ; 07:00 pm				
Cuenca hidrográfica		Piura				
Ubicación política		Departamento	Provincia	Distrito	Localidad	
		Piura	Morropón	Morropón	Morropón	
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)		
		5°11'41.00"S	79°58'16.00"O	141		
	UTM	Norte	Este	Datum		
		9425718.63 m S	614028.53 m E	Zona 17S-WGS84		
Referencias ubicación		Margen derecha de la carretera asfaltada, antes de entrar al distrito y dentro de los campos de cultivo				
II. EVALUACIÓN GENERAL						
Condición		Operativo			Inoperativo	
Estado de conservación		Bueno	Regular	Malo		
Período y responsable de mantenimiento y/o calibración		Mensualmente ; SENAMHI				
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático (A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1. Pluviómetro convencional	0	B	C	Una vez al día	N	

Ficha 2/3						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
2. Sensor de precipitación 52203 (báscula oscilante)	0	B	A	-	N	
3. Pluviógrafo	0	B	C	-	N	
4. Tanque de evaporación	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm	N	
5. Heliógrafo	0	B	C	7 am - 7 pm	No se encontraba operaba operativa a la hora de la visita	
6. Caseta meteorológica						
6.1 Termómetro de máxima y mínima	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm *	N	
6.2 Psicrómetro	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm *	N	
7. Caja de protección QE9K						
7.1 Plataforma colectora de datos	0	B	A	-	N	
7.2 Sensor de temperatura del aire(TTEP)	0	B	A	-	N	
7.3 Sensor de humedad relativa del aire(THR)	0	B	A	-	N	

Ficha 3/3

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
8. Sensor de velocidad del viento 05103	0	B	A	-	N	
9. Sistema de aterrizaje eléctrico (Pararrayos)	0	B	A	-	N	
10. Anemómetro de empuje(Veleta wild)	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm	N	

IV. OBSERVACIONES
 -El mantenimiento solo se realiza mensualmente por parte de SENAMHI
 -La fuente de alimentación para la estación automática se realiza a través de panel solar PANLW

V. PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 1. Estacion Climatologica Ordinaria Morropon



Foto 2. Condiciones Pluviografo y Sensor de Precipitacion

Apéndice E Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Qda. El Ingenio

FICHA 1/2						
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"						
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS						
I. DATOS GENERALES						
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdivia /Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu					
Fecha de evaluación	22/05/2019					
Hora de inicio/fin de evaluación	09:30 am - 09:45 am					
Nombre de la estación	Qda. El Ingenio					
Clasificación de estación	Meteorológica					
Subclasificación de estación	Pluviométrica automática					
Entidad responsable	ANA					
Nombre del responsable de operación	Zaida Adriana García Távara y Liliana Isabel Morey Montalván					
Número de contacto del responsable	944696425					
Periodo de operación	Corroborar-según-data histórica					
Horarios de lecturas	No aplica por ser del tipo automática					
Cuenca hidrográfica	Piura					
Ubicación política	Departamento	Provincia	Distrito	Localidad		
	Piura	Morropón	Buenos Aires	Buenos Aires		
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)		
		5°12'31.29"S	79°56'32.36"O	154		
	UTM	Norte	Este	Datum		
		9424169.03 m S	617217.02 m E	Zona 17S-WGS84		
Referencias ubicación	Cruzar el canal de regadillo del caserío El Ingenio, ubicada en la parte alta de la comunidad					
II. EVALUACIÓN GENERAL						
Condición	Operativo			Inoperativo		
Estado de conservación	Bueno	Regular		Malo		
Período y responsable de mantenimiento y/o calibración	No se encontró responsable directo para brindar información					
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (O), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1. Pluviómetro automático	O	B	A	-	N	

III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1. Pluviómetro automático	0	B	A	-	N	
2. Sistema de aterrizaje eléctrico (Pararrayos)	0	B	-	-	N	

IV. OBSERVACIONES

- No se encontró al operador de la estación para brindar información acerca del periodo de operación
- La fuente de alimentación para la estación automática se realiza a través de panel solar

V. PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 1. Estacion Pluviométrica automática



Foto 2. Vistas pluviómetro automatico

Apéndice F Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Qda. La Pilca

FICHA 1/2				
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"				
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS				
I. DATOS GENERALES				
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdivia /Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu			
Fecha de evaluación	22/05/2019			
Hora de inicio/fin de evaluación	11:00 am - 11:10 am			
Nombre de la estación	Qda. La Pilca			
Clasificación de estación	Meteorológica			
Subclasificación de estación	Pluviométrica automática			
Entidad responsable	ANA			
Nombre del responsable de operación	No existe actualmente responsable directo de la operación			
Número de contacto del responsable	-			
Periodo de operación	Corroborar-según-data histórica			
Horarios de lecturas	No aplica por ser del tipo automática			
Cuenca hidrográfica	Piura			
Ubicación política	Departamento	Provincia	Distrito	Localidad
	Piura	Morropón	Buenos Aires	Buenos Aires
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
		5°13'3.25"S	79°56'43.54"O	141
	UTM	Norte	Este	Datum
		616871.03 m E	9423188.01 m S	Zona 17S-WGS84
Referencias ubicación	Dentro del colegio del centro poblado La Pilca.			
II.EVALUACIÓN GENERAL				
Condición	Operativo		Inoperativo	
Estado de conservación	Bueno	Regular	Malo	
Período y responsable de mantenimiento y/o calibración	No se encontró responsable directo para brindar información			

III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1. Pluviómetro automático	0	B	A	-	N	
2. Sistema de aterrizaje eléctrico (Pararrayos)	0	B	-	-	N	

IV.OBSERVACIONES

- No se encontró al operador de la estación para brindar información acerca del periodo de operación
- La fuente de alimentación para la estación automática se realiza a través de panel solar

V. PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 1. Estación Pluviométrica automática Qda. La Pilca



Foto 2. Condiciones Pluviómetro automático

Apéndice G Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Qda. La Carrizo

FICHA 1/2				
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"				
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS				
I. DATOS GENERALES				
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdivia /Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu			
Fecha de evaluación	22/05/2019			
Hora de inicio/fin de evaluación	10:40 am - 10:50 am			
Nombre de la estación	Qda. El carrizo			
Clasificación de estación	Meteorológica			
Subclasificación de estación	Pluviométrica automática			
Entidad responsable	ANA			
Nombre del responsable de operación	Raim Alaim Rodríguez Ruiz y Robin Enrique Nima Carnero			
Número de contacto del responsable	989523365			
Periodo de operación	corroborar-según-data historica			
Horarios de lecturas	No aplica por ser del tipo automatica			
Cuenca hidrográfica	Piura			
Ubicación política	Departamento	Provincia	Distrito	Localidad
	Piura	Morropón	Buenos Aires	Buenos Aires
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
		5°14'18.88"S	79°56'19.54"O	140
	UTM	Norte	Este	Datum
		9420864.99 m S	617606.03 m E	Zona 17S-WGS84
Referencias ubicación	Dentro del colegio del centro poblado El Carrizo			
II. EVALUACIÓN GENERAL				
Condición	Operativo		Inoperativo	
Estado de conservación	Bueno	Regular	Malo	
Período y responsable de mantenimiento y/o calibración	No se encontro responsable directo para brindar informacion			

III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1. Pluviómetro automático	0	B	A	-	N	
2. Sistema de aterrizaje eléctrico (Pararrayos)	0	B	-	-	N	

IV. OBSERVACIONES

- No se encontró al operador de la estación para brindar información acerca del periodo de operación
- La fuente de alimentación para la estación automática se realiza a través de panel solar

V. PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 1. Estación Pluviométrica automática Qda. El carrizo



Foto 2. Pluviómetro automático

Apéndice H Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Chulucanas

FICHA 1/4					
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"					
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS					
I. DATOS GENERALES					
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdivia /Ing. Luis Ángel Noblecilla Palomino/Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu/Bach. Álvaro Gabriel Coronado Gómez/Bach. Haaron Mariano Chávez Lupú.				
Fecha de evaluación	31/05/2019				
Hora de inicio/fin de evaluación	12:00 am - 12:10 am				
Nombre de la estación	Chulucanas				
Clasificación de estación	Climatológica				
Subclasificación de estación	Ordinaria				
Entidad responsable	SENAMHI				
Nombre del responsable de operación	Mario Berru				
Número de contacto del responsable	969 332 593				
Periodo de operación	Hace aproximadamente 35 años				
Horarios de lecturas	7 am ; 1:00 pm ; 07:00 pm				
Cuenca hidrográfica	Piura				
Ubicación política		Departamento	Provincia	Distrito	Localidad
		Piura	Morropón	Chulucanas	
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	
		5° 06' 31"S	80° 10' 10.43"O	94	
	UTM	Norte	Este	Datum	
		9435290.23 m E	592045.34 m S	Zona 17S-WGS84	
Referencias ubicación		Interior de la IE Agropecuario Amauta-Distrito de Chulucanas			
II. EVALUACIÓN GENERAL					
Condición	Operativo		Inoperativo		
Estado de conservación	Bueno	Regular	Malo		
Período y responsable de mantenimiento y/o calibración	Mensualmente ; SENAMHI				

III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1.0 Estación Convencional (Instrumentos de medición directa)						
1.1 Pluviómetro convencional	0	B	C	7 am - 7 pm	N	
1.2 Geotermómetro	0	B	A	7am, 1 pm, 7 pm	N	
1.3 Tanque de evaporación	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm	N	
1.4 Anemómetro de empuje (Veleta wild)	0	B	C	7 am - 7 pm	N	
1.5 Heliógrafo	0	B	C	7 am - 7 pm	N	

Ficha 3/4						
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (O), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
2 Caseta meteorológica						
2.1 Termómetro de Máxima y Mínima	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm *	No hubo acceso a caseta*	
2.2 Psicrómetro	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm *	No hubo acceso a caseta*	
3 Sensores de estación automática						
3.1 Sensor de Precipitación 52203 (báscula oscilante)	0	B	A	-	N	
3.2 Sensor de temperatura del aire (TTEP) y humedad relativa (TRH)	0	B	A	-	N	
3.3 Sensor de velocidad y dirección del viento (05103)	0	B	C	-	N	
4 Caja de estación Automática (Caja de Protección QE9K) o llamada caja EMA						
4.1 Plataforma Colectora de Datos (PCD) DA9000	0	B*	A	-	No hubo acceso a caseta*	
4.2 Transmisor GTX-2.0	0	B*	A		No hubo acceso a caseta*	
4.3 Batería BATT65	0	B*	A		No hubo acceso a caseta*	

Ficha 4/4						
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (1)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
5 Otros componentes						
5.1 Antena YAGI MICROCOM	0	B	-	-	Se trata de un elemento transmisor	
5.2 Sistema de Aterrizaje eléctrico (Pararrayos)	0	B	-	-	Se trata de un componente de seguridad	
5.3 Panel solar PANLW	0	B	-	-	Se trata de un componente de alimentación de energía	
5.4 Mástil de 10 metros de altura Y 6 MTS	0	B	-	-	Se trata de un componente de soporte	
IV.OBSERVACIONES						
-El mantenimiento solo se realiza mensualmente por parte de SENAMHI -La fuente de alimentación para la estación automática se realiza a través de panel solar PANLW. -Se trata de una estación convencional y automática						
V. PANEL FOTOGRÁFICO						
						
Foto 1. Estación Climatológica Ordinaria y Estación Meteorológica Automática Chulucanas.			Foto 2. Pluviometro convencional y automatico			

Apéndice I Ficha de evaluación de la estación pluviométrica San Pedro

FICHA 1/3				
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"				
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS				
I. DATOS GENERALES				
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdivia /Ing. Luis Ángel Noblecilla Palomino/Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu/Bach. Álvaro Gabriel Coronado Gómez/Bach. Haaron Mariano Chávez Lupú			
Fecha de evaluación	31/05/2019			
Hora de inicio/fin de evaluación	02:30 am - 02:50 am			
Nombre de la estación	San Pedro			
Clasificación de estación	Meteorológica			
Subclasificación de estación	Convencional y Automática			
Entidad responsable	SENAMHI			
Nombre del responsable de operación	Pedro Isidro Berrú Erazo			
Número de contacto del responsable	968469344			
Periodo de operación	-			
Horarios de lecturas	7 am y 7 pm (pluviómetro convencional)			
Cuenca hidrográfica	Piura			
Ubicación política	Departamento	Provincia	Distrito	Localidad
	Piura	Morropón	Chulucanas	-
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
		5° 04' 45.8"S	80° 0' 58.7"O	242
	UTM	Norte	Este	Datum
		9438477.29 m S	609038.88 m E	Zona 17S-WGS84
Referencias ubicación	CP San Pedro, pueblo santísima cruz de la puerta			
II. EVALUACIÓN GENERAL				
Condición	Operativo		Inoperativo	
Estado de conservación	Bueno	Regular	Malo	
Periodo y responsable de mantenimiento y/o calibración	Mensualmente ; SENAMHI			

III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (1)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1 Instrumentos de medición de estación Convencional						
1.1 Pluviómetro (incluye probeta)	0	B	C	7 am y 7 pm	N	
2 Sensores de estación automática						
1.1 Sensor de Precipitación 52203 (báscula oscilante)	0	B	A	-	N	
2 Caja de estación Automática (Caja de Protección QE9K) o llamada caja EMA						
2.1 Plataforma Colectora de Datos (PCD) DA9000	0	B*	A	-	N	
2.2 Transmisor GTX-2.0	0	B**	A	-	N	
2.3 Batería BATT65	0	B**	A	-	N	
3 Otros componentes						
3.1 Antena YAGI MICROCOM	0	B	-	-	Se trata de un elemento transmisor	
3.2 Sistema de Aterrizaje eléctrico (Pararrayos)	0	B	-	-	Se trata de un componente de seguridad	

Ficha 3/3						
3.2 Panel solar PANLW	0	B	-	-	Se trata de un componente de alimentación de energía	
3.3 Mástil de 10 metros de altura Y 6 MTS	0	B	-	-	Se trata de un componente de soporte	

IV.OBSERVACIONES

- No se presenta con frecuencia el mantenimiento por parte de SENAMHI
- La fuente de alimentación para la estación automática se realiza a través de panel solar PANLW.
- Se firmó el respectivo cuaderno de visitas-La estación sufrió una modificación en cuanto a su ubicación (fue reubicada)

V. PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 1. Estación pluviométrica San Pedro



Foto 2. Condiciones pluviómetro automático



Apéndice J Ficha de evaluación de la estación hidrométrica San Pedro

Ficha 1/3				
PROYECTO: "MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"				
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS				
I. DATOS GENERALES				
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdivia / Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu			
Fecha de evaluación	31/05/2019			
Hora de inicio/fin de evaluación	02:30 pm - 02 :50 pm			
Nombre de la estación	San Pedro			
Tipo de estación	Hidrométrica			
Entidad responsable	SENAMHI			
Nombre del responsable de operación				
Periodo de operación				
Horario de lecturas				
Vertiente hidrográfica	Océano Pacifico			
Río	Piura			
Cuenca del río	Piura			
Referencia de ubicación	Estructura de soporte ubicada al costado de uno de los pilares del Puente Ñacara			
Ubicación política	Departamento	Provincia	Distrito	Localidad
	Piura	Morropón	Chulucanas	
Coordenadas	Geográficas		Altitud (msnm)	
	Latitud	Longitud	242	
	5° 4'46.56"S	80° 0'58.45"O		
	Norte		Este	
UTM		Datum		
9438453.94 m S		609046.54 m E		
		Zona 17S-WGS84		
II. EVALUACIÓN GENERAL				
Condición de la estación	Operativo		Inoperativo	
Estado de conservación de la estación	Bueno	Regular	Malo	
Período y responsable de mantenimiento y/o calibración	SENAMHI			

III. EVALUACIÓN ESPECIFICA

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (O), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1. Mira limnimétricas de fierro fundido graduado en alto relieve	O	B	C	-	La mira limnimétricas se encuentra apoyada sobre una roca en la margen derecha del Río.	
2. Limnigrafos	O	B	C	-	-Es necesario de una supervisión constante para garantizar la correcta medición de los niveles de agua, debido a que la tinta del limnigrafos suele agotarse.	
3. Caseta de registro de datos	O	R	-	-	N	
4. Carro Huaro	O	R	-	-	N	

Ficha 3/3

5. correntómetro	O	B	C	-	N	
------------------	---	---	---	---	---	---

IV.OBSERVACIONES

-La estación hidrométrica se encuentra ubicada en uno de los meandros del río, lo que ocasiona mayores velocidades del flujo de agua en la margen izquierdo y acumulación de sedimentos en la margen derecha del río.
-Se programa una segunda visita con representantes del SENAMHI para realizar el aforo y actualizar la información.

V. PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 1. Cauce del río principal



Foto 2. Ubicación de la estación hidrométrica San Pedro

Apéndice K Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Canchaque

Ficha 1/3						
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"						
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS						
I. DATOS GENERALES						
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdivia / Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu					
Fecha de evaluación	29/05/2019					
Hora de inicio/fin de evaluación	09:30 am - 09:50 am					
Nombre de la estación	Canchaque					
Clasificación de estación	Meteorológica					
Subclasificación de estación	Automática					
Entidad responsable	SENAMHI					
Nombre del responsable de operación	Pablo Flores Huaman					
Número de contacto del responsable	928806916					
Periodo de operación	-					
Horarios de lecturas	No aplica					
Cuenca hidrográfica	Piura					
Ubicación política		Departamento	Provincia	Distrito	Localidad	
		Piura	Huancabamba	San Miguel de El Faique		
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)		
		5°24'1.94"S	79°36'18.67"O	1273		
	UTM	Norte	Este	Datum		
		654538.59 m E	9402883.40 m S	Zona 17S-WGS84		
Referencias ubicación		Detrás de la posta medica del distrito San Miguel El Faique				
II. EVALUACIÓN GENERAL						
Condición	Operativo		Inoperativo			
Estado de conservación	Bueno	Regular	Malo			
Período y responsable de mantenimiento y/o calibración	SENAMHI					

Ficha 2/3						
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1 Sensores de estación automática						
1.1 Sensor de Precipitación 52203 (báscula oscilante)	0	B	A	-	N	
1.2 Sensor de temperatura del aire (TTEP) y humedad relativa (TRH)	0	B	A	-	N	
1.3 Sensor de velocidad y dirección del viento (05103)	0	B	C	-	N	
2 Caja de estación Automática (Caja de Protección QE9K) o llamada caja EMA						
2.1 Plataforma Colectora de Datos (PCD) DA9000	0	B*	A	-	*No hubo acceso a la parte interior de la caja	
2.2 Transmisor GTX-2.0	0	B*	A	-	*No hubo acceso a la parte interior de la caja	
2.3 Batería BATT65	0	B*	A	-	*No hubo acceso a la parte interior de la caja	
3 Otros componentes						
3.1 Antena YAGI MICROCOM	0	B	-	-	Se trata de un elemento transmisor	

Ficha 3/3						
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
3 Otros componentes						
3.1 Antena YAGI MICROCOM	0	B	-	-	Se trata de un elemento transmisor	
3.2 Sistema de Aterrizaje eléctrico (Pararrayos)	0	B	-	-	Se trata de un componente de seguridad	
3.3 Panel solar PANLW	0	B	-	-	Se trata de un componente de alimentación de energía	
3.4 Mástil de 10 metros de altura Y 6 MTS	0	B	-	-	Se trata de un componente de soporte	
IV. OBSERVACIONES						
-No se presenta con frecuencia el mantenimiento por parte de SENAMHI -La fuente de alimentación para la estación automática se realiza a través de panel solar PANLW						
V. PANEL FOTOGRÁFICO						
						
Foto 1. Estación meteorológica automática Canchaque			Foto 2. Condiciones sensor de precipitación			

Apéndice L Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Bigote

FICHA 1/3						
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"						
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS						
I. DATOS GENERALES						
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdivia / Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu					
Hora de inicio/fin de evaluación	29/05/2019					
Hora de inicio/fin de evaluación	11:10 am - 11:30 am					
Nombre de la estación	Bigote					
Clasificación de estación	Meteorológica					
Subclasificación de estación	Convencional y automática					
Entidad responsable	SENAMHI					
Nombre del responsable de operación	Boris Alvarez Olemar					
Número de contacto del responsable	926599103					
Periodo de operación	-					
Horarios de lecturas	7 am y 7 pm (pluviómetro convencional)					
Cuenca hidrográfica	Piura					
Ubicación política		Departamento	Provincia	Distrito	Localidad	
		Piura	Morropón	San Juan de Bigote	-	
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)		
		5°19'15.24"S	79°47'8.52"O	2990		
	UTM	Norte	Este	Datum		
		634552.78 m E	9411731.49 m S	Zona 17S-WGS84		
Referencias ubicación						
II. EVALUACIÓN GENERAL						
Condición	Operativo			Inoperativo		
Estado de conservación	Bueno	Regular	Malo			
Periodo y responsable de mantenimiento y/o calibración	SENAMHI					
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1 Instrumentos de medición de estación Convencional						
1.1 Pluviómetro (incluye probeta)	0	B	C	7 am y 7 pm	N	

III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
2 Sensores de estaciones automáticas						
2.1 Sensor de Precipitación 52203 (báscula oscilante)	0	B	A	-	N	
2.2 Sensor de temperatura del aire (TTEP) y humedad relativa (TRH)	0	B	A	-	N	
2.3 Sensor de velocidad y dirección del viento (05103)	0	B	C	-	N	
3 Caja de estación automática (Caja de Protección QE9K) o llamada caja EMA						
3.1 Plataforma Colectora de Datos (PCD) DA9000	0	B*	A	-	N	
3.2 Transmisor GTX-2.0	0	B**	A		N	
3.3 Batería BATT65	0	B**	A		N	
4 Otros componentes						
4.1 Antena YAGI MICROCOM	0	B	-	-	Se trata de un elemento transmisor	

III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (1)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
4.2 Sistema de Aterrizaje eléctrico (Pararrayos)	0	B	-	-	Se trata de un componente de seguridad	
4.3 Panel solar PANLW	0	B	-	-	Se trata de un componente de alimentación de energía	
4.4 Mástil de 10 metros de altura Y 6 MTS	0	B	-	-	Se trata de un componente de soporte	

IV.OBSERVACIONES
 -No se presenta con frecuencia el mantenimiento por parte de SENAMHI
 -La fuente de alimentación para la estación automática se realiza a través de panel solar PANLW.
 -Se firmó el respectivo cuaderno de visitas y se comentó que la estación sufrió una modificación en cuanto a su ubicación (fue reubicada)

V. PANEL FOTOGRÁFICO

		
<p>Foto 1. Estación pluviométrica convencional y automática Bigote</p>	<p>Foto 2. Condiciones actuales del pluviómetro convencional y automático</p>	

Apéndice M Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Salitral

Ficha 1/3					
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"					
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS					
I. DATOS GENERALES					
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdívía /Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu				
Fecha de evaluación	29/05/2019				
Hora de inicio/fin de evaluación	11:40 am - 11:50 am				
Nombre de la estación	Salitral				
Clasificación de estación	Meteorológica				
Subclasificación de estación	Automática				
Entidad responsable	SENAMHI				
Nombre del responsable de operación	-				
Número de contacto del responsable	-				
Periodo de operación	No hay datos (No se conto con la presencia del Operador)				
Horarios de lecturas	-				
Cuenca hidrográfica	Piura				
Ubicación política		Departamento	Provincia	Distrito	Localidad
		Piura	Morropón	Salitral	-
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	
		5°20'44.85" S	79°50'16.46"O	156	
	UTM	Norte	Este	Datum	
		9408990.54 m E	628762.06 m S	Zona 17S-WGS84	
Referencias ubicación		Margen izquierda del puente Salitral .			
II. EVALUACIÓN GENERAL					
Condición	Operativo		Inoperativo		
Estado de conservación	Bueno	Regular	Malo		
Período y responsable de mantenimiento y/o calibración	SENAMHI				

III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1 Sensores de estación automática						
1.1 Sensor de Precipitación 52203 (báscula oscilante)	0	B	A	-	N	
2 Caja de estación automática (Caja de Protección QE9K)						
2.1 Plataforma Colectora de Datos (PCD) DA9000	0	B*	A	-	*No hubo acceso a la parte interior de la caja	
2.2 Transmisor GTX-2.0	0	B*	A		*No hubo acceso a la parte interior de la caja	
2.3 Batería BATT65	0	B**	A		*No hubo acceso a la parte interior de la caja	
3 Otros componentes						
3.1 Antena YAGI MICROCOM	0	B	-	-	Se trata de un elemento transmisor	
3.2 Sistema de Aterrizaje eléctrico (Pararrayos)	0	B	-	-	Se trata de un componente de seguridad	

Ficha 3/3						
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (1)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
3.3 Panel solar PANLW	0	B	-	-	Se trata de un componente de alimentación de energía	
3.4 Mástil de 10 metros de altura Y 6 MTS	0	B	-	-	Se trata de un componente de soporte	
IV.OBSERVACIONES						
-No se presenta con frecuencia el mantenimiento por parte de SENAMHI -La fuente de alimentación para la estación automática se realiza a través de panel solar PANLW						
V. PANEL FOTOGRÁFICO						
						
Foto 1. Estación pluviométrica automática Salitral-SENAMHI		Foto 2. Condiciones cauce del río, se muestra encauzamiento por la acción humana y Limnómetro en pilar de puente Salitral				

Apéndice N Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Malacasí

Ficha 1/4					
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"					
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS					
I. DATOS GENERALES					
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdívía /Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu				
Fecha de evaluación	29/05/2019				
Hora de inicio/fin de evaluación	12:00 am - 12:10 am				
Nombre de la estación	Malacasí				
Clasificación de estación	Climatológica				
Subclasificación de estación	Ordinaria				
Entidad responsable	SENAMHI				
Nombre del responsable de operación	Nícida				
Número de contacto del responsable	990536613				
Periodo de operación	Corroborar-según-data histórica				
Horarios de lecturas	7 am ; 1:00 pm ; 07:00 pm				
Cuenca hidrográfica	Piura				
Ubicación política		Departamento	Provincia	Distrito	CP
		Piura	Morropón	Saltral	Malacasí
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	
		5°20'23.00"S	79°51'28.00"O	147	
	UTM	Norte	Este	Datum	
		9409665.72 m E	626561.13 m S	Zona 17S-WGS84	
Referencias ubicación		Oeste de la Villa Malacasí			
II. EVALUACIÓN GENERAL					
Condición	Operativo		Inoperativo		
Estado de conservación	Bueno	Regular	Malo		
Periodo y responsable de mantenimiento y/o calibración	Mensualmente ; SENAMHI				

III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (1)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1 Estación Convencional(Instrumentos de medición directa)						
1.1 Pluviómetro convencional	0	B	C	7 am - 7 pm	N	
1.2 Geotermómetro	0	B	A	7am, 1 pm, 7 pm	N	
1.3 Tanque de evaporación	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm	N	
1.4 Anemómetro de empuje(Veleta wild)	0	B	C	7 am - 7 pm	N	
1.5 Heliógrafo	0	B	C	7 am - 7 pm	N	

Ficha 3/4						
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1.6 Caseta meteorológica						
1.6.1 Termómetro de Máxima y Mínima	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm *	N	
1.6.2 Psicrómetro	0	B	C	7am, 1 pm, 7 pm *	N	
2 Sensores de estación automática						
2.1 Sensor de Precipitación 52203 (báscula oscilante)	0	B	A	-	N	
2.2 Sensor de temperatura del aire (TTEP) y humedad relativa (TRH)	0	B	A	-	N	
2.3 Sensor de velocidad y dirección del viento (05103)	0	B	C	-	N	
2.4 Caja de estación Automática(Caja de Protección QE9K) o llamada caja EMA						
2.4.1 Plataforma Colectora de Datos (PCD) DA9000	0	B*	A	-	*No hubo acceso a la parte interior de la caja	
2.4.2 Transmisor GTX-2.0	0	B*	A	-	*No hubo acceso a la parte interior de la caja	
2.4.3Batería BATT65	0	B*	A	-	*No hubo acceso a la parte interior de la caja	

Ficha 4/4						
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (1)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
3 Otros componentes						
3.1 Antena YAGI MICROCOM	0	B	-	-	Se trata de un elemento transmisor	
3.2 Sistema de Aterrizaje eléctrico (Pararrayos)	0	B	-	-	Se trata de un componente de seguridad	
3.2 Panel solar PANLW	0	B	-	-	Se trata de un componente de alimentación de energía	
3.4 Mástil de 10 metros de altura Y 6 MTS	0	B	-	-	Se trata de un componente de soporte	
IV.OBSERVACIONES						
-El mantenimiento solo se realiza mensualmente por parte de SENAMHI -La fuente de alimentación para la estación automática se realiza a través de panel solar PANLW. -Se trata de una estación convencional y automática						
V. PANEL FOTOGRÁFICO						
 <p>Foto 1. Estación climatológica ordinaria y estación meteorológica automática - Malacasi.</p>			 <p>Foto 2. Condiciones actuales del pluviómetro convencional</p>			

Apéndice Ñ Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Virrey

Ficha 1/3						
"MODB5:137ELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"						
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS						
I. DATOS GENERALES						
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdivia /Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu					
Fecha de evaluación	29/05/2019					
Hora de inicio/fin de evaluación	02:00 am - 02:10 am					
Nombre de la estación	El Virrey					
Clasificación de estación	Meteorológica					
Subclasificación de estación	Automática					
Entidad responsable	SENAMHI					
Nombre del responsable de operación	-					
Número de contacto del responsable	-					
Periodo de operación	E.M.A (No se contó con la presencia del operador)					
Horarios de lecturas	No aplica					
Cuenca hidrográfica	Piura					
Ubicación política		Departamento	Provincia	Distrito	Localidad	
		Piura	Morropón	La Matanza	-	
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (ms nm)		
		5°32'9.10"S	79°59'3.00"O	2990		
	UTM	Norte	Este	Datum		
		9388005.70 m E	612518.94 m S	Zona 17S-WGS84		
Referencias ubicación						
II. EVALUACIÓN GENERAL						
Condición	Operativo		Inoperativo			
Estado de conservación	Bueno	Regular	Malo			
Periodo y responsable de mantenimiento y/o calibración	SENAMHI					

Ficha 2/3						
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (1)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1 Sensores de estación automática						
1.1 Sensor de Precipitación 52203 (báscula oscilante)	0	B	A	-	N	
1.2 Sensor de temperatura del aire (TTEP) y humedad relativa (TRH)	0	B	A	-	N	
1.3 Sensor de velocidad y dirección del viento (05103)	0	B	C	-	N	
2.0 Caja de estación automática (Caja de protección QE9K) o llamada caja EMA						
2.1 Plataforma Colectora de Datos (PCD) DA9000	0	B*	A	-	*No hubo acceso a la parte interior de la caja	
2.2 Transmisor GTX-2.0	0	B*	A	-	*No hubo acceso a la parte interior de la caja	
2.3 Batería BATT65	0	B*	A	-	*No hubo acceso a la parte interior de la caja	
3 Otros componentes						
3.1 Antena YAGI MICROCOM	0	B	-	-	Se trata de un elemento transmisor	

Ficha 3/3						
III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (1)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
3.2 Sistema de Aterrizaje eléctrico (Pararrayos)	0	B	-	-	Se trata de un componente de seguridad	
3.3 Panel solar PANLW	0	B	-	-	Se trata de un componente de alimentación de energía	
3.4 Mástil de 10 metros de altura Y 6 MTS	0	B	-	-	Se trata de un componente de soporte	
IV. OBSERVACIONES						
-La fuente de alimentación para la estación automática se realiza a través de panel solar PANLW						
V. PANEL FOTOGRÁFICO						
						
Foto 1. Estación meteorológica automática El Virrey			Foto 2. Condiciones actuales del sensor de precipitación			

Apéndice O Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Miraflores

Ficha 1/3						
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"						
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS						
I.DATOS GENERALES						
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdivia /Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lahupu					
Fecha de evaluación	11/10/2019					
Hora de inicio/fin de evaluación	10:52 am - 11:12 am					
Nombre de la estación	Miraflores					
Clasificación de estación	Agrometeorológica					
Subclasificación de estación	Agrícola Principal					
Entidad responsable	SENAMHI					
Nombre del responsable de operación	Felix Farfan					
Número de contacto del responsable	-					
Período de operación	1971 hasta actualidad (No opero en el periodo de 1992 a 1994)					
Horarios de lecturas	07: 00 am ; 1:00 pm ; 07:00 pm					
Cuenca hidrográfica	Piura					
Ubicación política	Departamento	Provincia	Distrito	CP		
	Piura	Piura	Castilla	-		
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)		
		5°10'30.9" S	80°36'59.5"O	30		
	UTM	Norte	Este	Datum		
		9427950.95	542498.38	Zona 17S-WGS84		
Referencias ubicación	Interior de campus de la Universidad Nacional de Piura					
II.EVALUACIÓN GENERAL						
Condición	Operativo			Inoperativo		
Estado de conservación	Bueno	Regular	Malo			
Período y responsable de mantenimiento y/o calibración	SENAMHI					
III.EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (O), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
I Estación Convencional (Instrumentos de medición directa)						
1.1 Pluviómetro convencional	O	R	C	07:00 am - 07:00 pm	N	

Ficha 2/3

III.EVALUACIÓN ESPECÍFICA

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1.2 Pluviógrafo	I	M	C	-	Estado actual de relojería : Deteriorado	
1.3 Geotermómetro	0	R	C	07:00am, 01 :00pm y 07:00 pm	Profundidades de Medición : -Suelo desnudo (2-5 cm) -Suelo cubierto (20-30 cm) -Suelo con Hojarasca (50-100 cm)	
1.4 Tanque de evaporación	0	M	C	07:00am, 01 :00pm y 07:00 pm	Anemómetro de hélice ubicada cercana a Tanque que permite corregir el valor del parámetro (Evapotranspiración) en medición.	
1.5 Anemómetro de empuje(Veleta wild)	0	B	C	7 am - 7 pm	N	
1.6 Heliógrafo	0	B	C	7 am - 7 pm	N	

Ficha 3/3						
III.EVALUACIÓN ESPECÍFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (1)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1.7 Evapotranspirómetro	I	M	C	-	-	
1.8. Caseta meteorológica						
1.8.1 Termómetro de Máxima y Mínima	0	B	C	07:00am, 01 :00pm y 07:00 pm	N	
1.8.2 Hidrógrafo	0	B	C	-	N	
1.8.3 Psicrómetro	0	B	C	07:00am, 01 :00pm y 07:00 pm	N	
1.9 Sensores de estación automática						
1.9.1 Sensor de Precipitación (Pluviómetro automático)	I	R	A	-	Se cuenta con un registro de 5 años de mediciones pasadas (Instrumento es parte de un proyecto externo)	
1.9.2 Sensor de velocidad y dirección del viento	I	R	A	-	N	
IV.OBSERVACIONES						
-Estación es operada por SENAMHI -Se trata de una estación meteorológica agrícola principal que posee instrumentos convencionales en su mayoría, además de un instrumento automático que se implementó debido a un proyecto externo y del cual se tiene un registro de mediciones pasadas)						
V. PANEL FOTOGRÁFICO						
						
Foto 1. Estación meteorológica agrícola principal Miraflores		Foto 2. Estado actual de instrumentos de medición de la precipitación : Pluviógrafo (Inoperativo); Pluviómetro(Operativo); Pluviómetro automático (Inoperativo).				

Apéndice P Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Puente Ñacara

Ficha 1/2				
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"				
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS				
I. DATOS GENERALES				
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdivia /Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu			
Fecha de evaluación	05/06/2019			
Hora de inicio/fin de evaluación	09:00 am - 09:20 am			
Nombre de la estación	Puente Ñacara			
Clasificación de estación	Pluviométrica			
Subclasificación de estación	Automática			
Entidad responsable	SENAMHI			
Nombre del responsable de operación	-			
Número de contacto del responsable	-			
Periodo de operación	-			
Horarios de lecturas	-			
Cuenca hidrográfica	Piura			
Ubicación política	Departamento	Provincia	Distrito	
	Piura	Morropón	Chulucanas	
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
		5° 6'46.48"S	80° 10'22.52"O	87
	UTM	Norte	Este	Datum
		9434795.69 m S	591672.44 m E	Zona 17S-WGS84
Referencias ubicación				
II. EVALUACIÓN GENERAL				
Condición	Operativo		Inoperativo	
Estado de conservación	Bueno	Regular	Malo	
Período y responsable de mantenimiento y/o calibración	SENAMHI			

Ficha 2/2

III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (0), Inoperativa (1)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1 Sensor de Precipitación 52203 (báscula oscilante)	0	B	A	-	N	
2 Antena YAGI MICROCOM	0	B	-	-	Se trata de un elemento transmisor	

IV.OBSERVACIONES

- Se ha observado la falta de mantenimiento de la estación por parte del SENAMHI
- La fuente de alimentación para la estación automática se realiza a través de la red eléctrica de la ciudad.
- Las coordenadas geográficas que figuran en el cartel de identificación no corresponden a la ubicación actual.
- No se ha podido verificar si la estación actualmente se encuentra funcionando debido a que el personal encargado no se encontraba a la espera del grupo de trabajo a pesar que se coordinó previamente.

V. PANEL FOTOGRÁFICO



Apéndice Q Ficha de evaluación de la estación hidrométrica Puente Ñacara

Ficha 1/5						
PROYECTO: "MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"						
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS						
I. DATOS GENERALES						
Nombre del evaluador	Jorge Alonso Peña Valdivia /Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu					
Fecha de evaluación	05/06/2019					
Hora de inicio/fin de evaluación	09:00am - 11:00am					
Nombre de la estación	Puente Ñacara					
Tipo de estación	Hidrométrica					
Entidad responsable	PECHP					
Nombre del responsable de operación	-					
Periodo de operación	-					
Horario de lecturas	-					
Vertiente hidrográfica	Oceano Pacifico					
Río	Piura					
Cuenca del río	Piura					
Referencia de ubicación	Estructura de soporte ubicada al costado de uno de los pilares del Puente Ñacara					
Ubicación política	Departamento	Provincia			Distrito	
	Piura	Morropon			Chulucanas	
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud		Altitud (msnm)	
		5° 6'46.31"S	80°10'22.40"O		88.43	
	UTM	Norte	Este		Datum	
		9434801.00 m S	591676.00 m E		Zona 17S-WGS84	
II. EVALUACIÓN GENERAL						
Condición de la estación	Operativo			Inoperativo		
Estado de conservación de la estación	Bueno	Regular	Malo			
Período y responsable de mantenimiento y/o calibración	PECHP					
III. EVALUACIÓN ESPECIFICA						
INSTRUMENTOS	Condición Operativa (O), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1. Mira limnimétrica de fierro fundido graduado en alto relieve	O	B	C	-	La mira limnimétrica se encuentra apoyada sobre una estructura que soporta la caseta de registro de datos.	

III. EVALUACIÓN ESPECIFICA

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (O), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
2. Limnigrafo	O	B	C	-	Es necesario de una supervisión constante para garantizar la correcta medición de los niveles de agua, debido a que la tinta del limnigrafo suele agotarse.	
3. Caseta de registro de datos	O	R	-	-	N	

IV. OBSERVACIONES

- La estación hidrométrica se encuentra ubicada aproximadamente a 300 m de la confluencia de la quebrada Chulucanas y el río Piura, así como, en uno de los meandros del río, lo que ocasiona mayores velocidades del flujo de agua en la margen derecha y acumulación de sedimentos en la margen izquierda del río.
- Se ha notado la presencia de palizada en dos de los pilares del Puente Nácara antiguo.
- El puente Nácara antiguo presenta excesivas deflexiones a lo largo del tablero, lo que podría ocasionar errores en el aforo por suspensión.

V. PANEL FOTOGRÁFICO



PROYECTO: "MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"

FICHA PARA LA MEDICIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL EN RÍOS

I. DATOS GENERALES

Nombre de la estación	Puente Ñacara	Hora de inicio/fin de sondeo	09:00am - 11:00am
Río/Cuenca del río	Piura - Piura	Fecha	05/06/2019
Vertiente hidrográfica	Océano pacifico	Entidad responsable	PECHP
Departamento	Piura	Responsable de operación	-
Provincia	Morropón	Modelo de ecosonda	No se uso
Distrito	Chulucanas	peso de lastre	35kg
Referencia de ubicación	Estructura de soporte ubicada al costado de uno de los pilares del puente Ñacara	Responsable del sondeo	PECHP - UDEP
Coordenadas UTM/geográficas	UTM WGS84 Zona 17S 591676.00 m E - 9434801.00 m S		

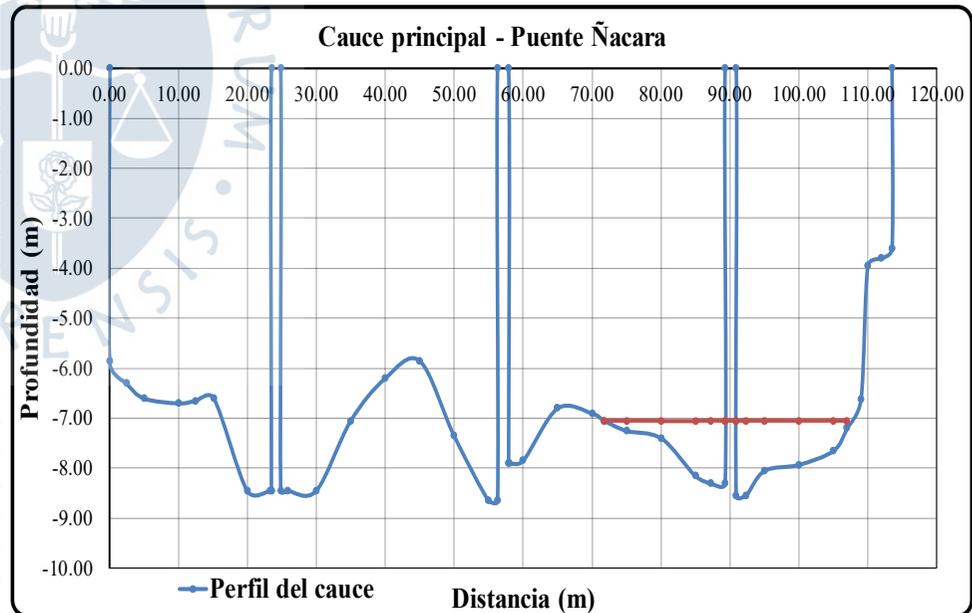
II. DATOS ESPECÍFICOS DE MEDICIÓN

Método de medición		Dirección de medición *1	Margen izquierda a derecha	
Referencia de medición	Baranda del Puente Ñacara antiguo hasta el pelo de agua	Altura desde baranda a pelo de agua (m)	9.4	Altura desde base del tablero del puente a baranda (m) 2.35

III. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Espejo de agua (m)	33.6	Área total de la sección (m2)	789.05
--------------------	------	-------------------------------	--------

Trabajo de campo				Trabajo en gabinete	
Sondeo				Sección transversal	
Puntos	Distancia (m) *2	altura de medición (m) *3	fondo de cauce (m) *4	pelo de agua (m) *5	Área (m2)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.00	-1.20	-5.85	0.00	0.00
2	2.50	-0.75	-6.30	0.00	15.19
3	5.00	-0.45	-6.60	0.00	16.13
4	10.00	-0.35	-6.70	0.00	33.25
5	12.50	-0.40	-6.65	0.00	16.69
6	15.15	-0.45	-6.60	0.00	17.56
7	20.00	1.40	-8.45	0.00	36.50
8	23.25	1.40	-8.45	0.00	27.46
9	23.50	1.40	-8.45	0.00	2.11
10	23.50	0.00	0.00	0.00	0.00
11	24.85	0.00	0.00	0.00	0.00
12	24.85	1.40	-8.45	0.00	0.00
13	25.90	1.40	-8.45	0.00	8.87
14	30.00	1.40	-8.45	0.00	34.65
15	35.00	0.00	-7.05	0.00	38.75
16	40.00	-0.85	-6.20	0.00	33.13
17	45.00	-1.20	-5.85	0.00	30.13



Trabajo de campo				Trabajo en gabinete	
Sondeo				Sección transversal	
Puntos	Distancia (m) *2	altura de medición (m) *3	fondo de cauce (m) *4	pelo de agua (m) *5	Area (m2)
18	50.00	0.30	-7.35	0.00	33.00
19	55.00	1.60	-8.65	0.00	40.00
20	56.30	1.60	-8.65	0.00	11.25
21	56.30	0.00	0.00	0.00	0.00
22	57.90	0.00	0.00	0.00	0.00
23	57.90	0.85	-7.90	0.00	0.00
24	58.00	0.85	-7.90	0.00	0.79
25	60.00	0.80	-7.85	0.00	15.75
26	65.00	-0.25	-6.80	0.00	36.63
27	70.00	-0.15	-6.90	0.00	34.25
28	71.80	0.00	-7.05	-7.05	12.56
29	75.00	0.20	-7.25	-7.05	22.88
30	80.00	0.35	-7.40	-7.05	36.63
31	85.00	1.10	-8.15	-7.05	38.88
32	87.25	1.25	-8.30	-7.05	18.51
33	89.30	1.25	-8.30	-7.05	17.02
34	89.30	0.00	0.00	-7.05	0.00
35	90.90	0.00	0.00	-7.05	0.00
36	90.90	1.50	-8.55	-7.05	0.00
37	92.30	1.50	-8.55	-7.05	11.97
38	95.00	1.00	-8.05	-7.05	22.41
39	100.00	0.88	-7.93	-7.05	39.95
40	105.00	0.60	-7.65	-7.05	38.95
41	107.00	0.15	-7.20	-7.05	14.85
42	109.00	-0.43	-6.62	0.00	13.82
43	110.00	-3.10	-3.95	0.00	5.29
44	112.00	-3.25	-3.80	0.00	7.75
45	113.50	-3.45	-3.60	0.00	5.55
46	113.50	0.00	0.00	0.00	0.00
				Total	789.05

IV. OBSERVACIONES

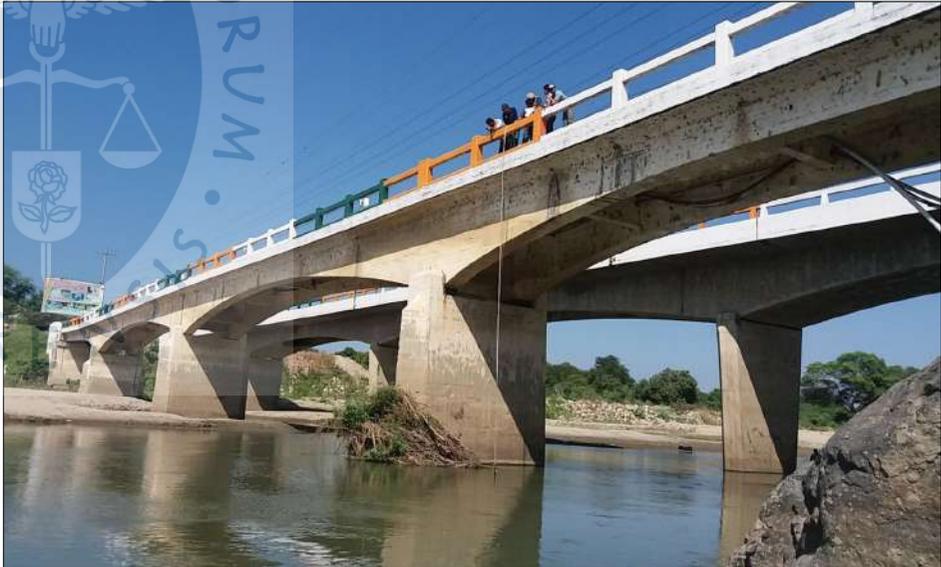
- Las medidas del fondo del cauce se ha realizado con respecto a la baranda del puente Ñacara antiguo, el cual presenta deterioro y deflexiones en el tablero, ocasionando una posible fuente de error en las mediciones.

-No se ha podido realizar la medición exacta de las dimensiones de las zapatas de los pilares del puente, debido a la acumulación de palizada.

-Para el cálculo del área total de la sección se ha considerado que el puente posee una luz libre de forma rectangular, lo cual no sucede en la realidad debido a que tienen forma de arco.

-Para el cálculo del espejo de agua se ha descontado el ancho de uno de los pilares del puente.

V. PANEL FOTOGRÁFICO



(1) Vista aguas abajo (medición de margen izquierda-derecha o viceversa)

(2) Medida relativa al punto inicial de medición

(3) Altura medida con respecto al nivel de referencia del pelo de agua hasta el fondo del cauce

(4) Altura medida desde la base del tablero del puente hasta el fondo del cauce

(5) Altura medida con respecto al nivel de referencia del pelo de agua

PROYECTO: "MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"

FICHA PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES EN RÍOS

I. DATOS GENERALES

Nombre de la estación	Puente Nácara	Hora de inicio/fin de aforo	09:00am - 11:00am
Río/Cuenca del río	Piura - Piura	Fecha	05/06/2019
Vertiente hidrográfica	Océano pacifico	Entidad responsable	PECHP
Departamento	Piura	Responsable de operación	-
Provincia	Morropón	Modelo de Correntómetro/hélice	AO77 - C31 N° 237420 - Hélice N° 1 -309094
Distrito	Chulucanas	Lastre	25kg
Localidad / ref. de ubicación	Estructura de soporte ubicada al costado de uno de los pilares del puente Nácara		50 segundos
Coordenadas UTM/geográficas	UTM WGS84 Zona 17S 591676.00 m E - 9434801.00 m S		PECHP-UDEP

II. DATOS ESPECÍFICOS DE MEDICIÓN

Método de aforo	Media sección	Dirección de medición *1	Margen izquierda a derecha	Ecuación de correntómetro	V=0.2602*N+0.0136
Referencia de medición	Baranda del Puente Nácara antiguo hasta el pelo de agua			Altura (m)	9.4

III. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Área total (m2)	24.40	Velocidad media (m/s)	0.52	Descarga total (m3/s)	12.73
-----------------	-------	-----------------------	------	-----------------------	-------

Sondeo		Trabajo de campo						Trabajo en gabinete						IV. OBSERVACIONES
Puntos	Distancia (m) *2	Tirante de agua (m)	Profundidad de observación		Revoluciones (Rev.)	Tiempo (s) (tpo.)	N = Rev./tpo.	En el punto (m/s)	Velocidad En superficie (m/s) *3	Profundidad media (m) *4	Sección		Caudales parciales (m3/s)	
			Factor	Metros							Ancho (m) *5	Área (m2)		
0	71.800	0.000	0.600	0.000	0.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	- La mira limnimétrica ha marco una altura de 4cm.
1	75.000	0.200	0.600	0.120	85.000	50.000	1.700	0.456	0.456	0.188	5.700	1.069	0.487	
2	80.000	0.350	0.600	0.210	60.000	50.000	1.200	0.326	0.326	0.500	5.000	2.500	0.815	
3	85.000	1.100	0.600	0.660	38.000	50.000	0.760	0.211	0.211	0.950	6.800	6.460	1.365	
4	89.300	1.250	0.600	0.750	0.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
										TOTAL (1)	17.500	10.029	2.667	
5	89.300	0.000												
6	90.900	0.000												
7	90.900	1.500	0.600	0.900	0.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
8	92.300	1.500	0.600	0.900	131.000	50.000	2.620	0.695	0.695	1.375	2.750	3.781	2.629	
9	95.000	1.000	0.600	0.600	131.000	50.000	2.620	0.695	0.695	1.095	3.850	4.216	2.931	
10	100.000	0.880	0.600	0.528	148.000	50.000	2.960	0.784	0.784	0.840	5.000	4.200	3.292	
11	105.000	0.600	0.600	0.360	110.000	50.000	2.200	0.586	0.586	0.558	3.500	1.951	1.144	
12	107.000	0.150	0.600	0.090	53.000	50.000	1.060	0.289	0.289	0.225	1.000	0.225	0.065	
										TOTAL (2)	16.100	14.373	10.061	
										TOTAL	33.6	24.4	12.7	

(1) Vista aguas abajo (medición de margen izquierda-derecha o viceversa).
 (2) Medida relativa al punto inicial de medición.

(3) Velocidad promedio de las diferentes profundidades de medición.
 (4) Promedio ponderado de 3 medidas de profundidades

(5) Distancia promedio de la medición anterior más el promedio de la medición siguiente

Apéndice R Ficha de evaluación de la estación pluviométrica Puente Tambogrande

FICHA 1/2				
"MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"				
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS				
I.DATOS GENERALES				
Nombre del evaluador		Jorge Alonso Peña Valdivia /Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu		
Fecha de evaluación		05/06/2019		
Hora de inicio/fin de evaluación		01:00 pm - 01:20 pm		
Nombre de la estación		Puente Tambogrande		
Clasificación de estación		Pluviometrica		
Subclasificación de estación		Automatica		
Entidad responsable		SENAMHI		
Nombre del responsable de operación		-		
Número de contacto del responsable		P		
Periodo de operación		-		
Horarios de lecturas		-		
Cuenca hidrográfica		Piura		
Ubicación política		Departamento	Provincia	Distrito
		Piura	Piura	Tambogrande
Coordenadas	Geográficas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
		4°56'18.48"S	80°20'49.34"O	60
	UTM	Norte	Este	Datum
		9454102.00 m S	572392.00 m E	Zona 17S-WGS84
Referencias ubicación				
II.EVALUACIÓN GENERAL				
Condición		Operativo		Inoperativo
Estado de conservación		Bueno	Regular	Malo
Período y responsable de mantenimiento y/o calibración		SENAMHI		

III.EVALUACIÓN ESPECÍFICA

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (O), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1 Sensor de Precipitación 52203 (báscula oscilante)	0	B	A	-	N	
2 Antena YAGI MICROCOM y sistema de aterrizaje eléctrico (pararrayos)	0	B	-	-	Se trata de un elemento transmisor y un componente de seguridad	
3. Panel solar PANLW	0	B	-	-	Se trata de un componente de alimentación de energía	

IV.OBSERVACIONES

-La fuente de alimentación para la estación automática se realiza a través de un panel solar.
 -No se ha podido verificar si la estación actualmente se encuentra funcionando debido a que el personal encargado no se encontraba a la espera del grupo de trabajo a pesar que se coordinó previamente.

V. PANEL FOTOGRÁFICO



Apéndice S Ficha de evaluación de la estación hidrométrica Puente Tambogrande

FICHA 1/5			
PROYECTO: "MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"			
FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS			
I. DATOS GENERALES			
Nombre del evaluador		Jorge Alonso Peña Valdivia /Abad Paucar Antony Steevin/Juan Carlos Mendoza Lalupu	
Fecha de evaluación		05/06/2019	
Hora de inicio/fin de evaluación		01:00pm - 02:00pm	
Nombre de la estación		Puente Tambogrande	
Tipo de estación		Hidrométrica	
Entidad responsable		PECHP	
Nombre del responsable de operación		-	
Periodo de operación		-	
Horario de lecturas		-	
Vertiente hidrográfica		Océano Pacífico	
Río		Piura	
Cuenca del río		Piura	
Referencia de ubicación		Ubicada en uno de los pilares del Puente Tambogrande	
Ubicación política		Departamento	Provincia
		Piura	Piura
Coordenadas		Latitud	Longitud
		4°56'11.73"S	80°20'45.54"O
		Norte	Este
		9454309.00 m S	572509.00 m E
		Distrito	Altitud (msnm)
		Tambogrande	57
		Datum	
		Zona 17S-WGS84	
II. EVALUACIÓN GENERAL			
Condición de la estación		Operativo	Inoperativo
Estado de conservación de la estación		Bueno	Regular
Período y responsable de mantenimiento y/o calibración		PECHP	

III. EVALUACIÓN ESPECÍFICA

INSTRUMENTOS	Condición Operativa (O), Inoperativa (I)	Estado de conservación Bueno (B), Regular (R), Malo (M)	Tipo : Convencional (C), Automático(A).	Horarios de lectura	Observaciones : N(ninguna)	Fotografía
1. Mira limnimétrica	O	R	C	-	La mira limnimétrica se encuentra pintada en uno de los pilares del Puente Tambogrande.	

IV. OBSERVACIONES

- La estación hidrométrica se encuentra ubicada aproximadamente a 380 m entre la confluencia de la quebrada Carneros y el río Piura.
- Se ha observado que el flujo de agua se encuentra a la margen derecha del río y acumulación de sedimentos en la margen izquierda.
- Durante la inspección no se encontró a ningún responsable directo de la operación de la estación.
- En las fotografías que se mostraran a continuación se puede observar una vista del puente Tambogrande y el cauce principal del río Piura aguas arriba.

V. PANEL FOTOGRÁFICO



FICHA PARA LA MEDICIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL EN RÍOS

I. DATOS GENERALES

Nombre de la estación	Puente Tambogrande	Hora de inicio/fin de sondeo	01:00pm - 02:00pm
Río/Cuenca del río	Piura - Piura	Fecha	05/06/2019
Vertiente hidrográfica	Oceano pacifico	Entidad responsable	PECHP
Departamento	Piura	Responsable de operación	-
Provincia	Piura	Modelo de ecosonda	No se uso
Distrito	Tambogrande	peso de lastre	35kg
Referencia de ubicación	Ubicada en uno de los pilares del Puente Tambogrande	Responsable del sondeo	PECHP - UDEP
Coordenadas UTM/geográficas	UTM WGS84 Zona 17S 572509.00 m E - 9454309.00 m S		

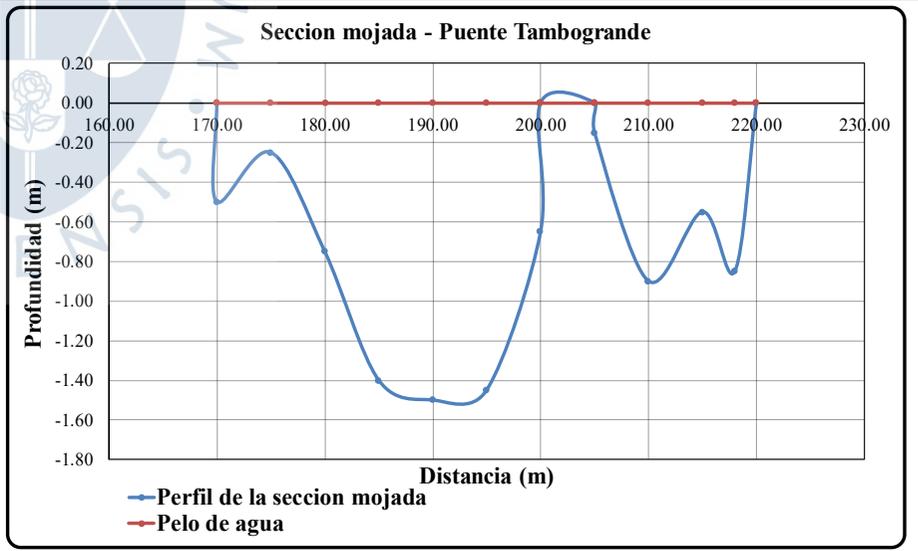
II. DATOS ESPECÍFICOS DE MEDICIÓN

Método de medición		Dirección de medición *1	Margen izquierda a derecha	
Referencia de medición	Baranda del Puente Tambogrande hasta el pelo de agua	Altura desde baranda a pelo de agua (m)	Altura desde base del tablero del puente a baranda (m)	

III. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Espejo de agua (m)	45.00	Área total de la seccion mojada (m2)	38.83
--------------------	-------	--------------------------------------	-------

Trabajo de campo				Trabajo en gabinete	
Sondeo				Sección transversal	
Puntos	Distancia (m) *2	altura de medición (m) *3	fondo de cauce (m) *4	pelo de agua (m) *5	Área mojada (m2)
0	170.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	170.00	0.50	-0.50	0.00	0.00
2	175.00	0.25	-0.25	0.00	1.88
3	180.00	0.75	-0.75	0.00	2.50
4	185.00	1.40	-1.40	0.00	5.38
5	190.00	1.50	-1.50	0.00	7.25
	195.00	1.45	-1.45	0.00	7.38
6	200.00	0.65	-0.65	0.00	5.25
9	200.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	205.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	205.00	0.15	-0.15	0.00	0.00
12	210.00	0.90	-0.90	0.00	2.63
13	215.00	0.55	-0.55	0.00	3.63
14	218.00	0.85	-0.85	0.00	2.10
15	220.00	0.00	0.00	0.00	0.85
16				Total	38.83
17					
18					
21					



Trabajo de campo				Trabajo en gabinete		
Sondeo				Sección transversal		
Puntos	Distancia (m) *2	altura de medición (m) *3	fondo de cauce (m) *4	pelo de agua (m) *5	Área mojada (m2)	IV.OBSERVACIONES
22						- Las medidas del fondo del cauce se ha realizado con respecto a la baranda de Puente Tambogrande. -No se ha realizado la medición completa del perfil del cauce del río. -Para el cálculo del espejo de agua se ha descontado una sección del río donde se ubica uno de los pilares del puente y existía la presencia de sedimentos que formaban un islote de una distancia aproximada de 5m. -En las fotografías que se mostrara a continuación se puede observar la zona cercana al pilote que presenta acumulación de sedimentos y el cauce principal del río Piura aguas abajo.
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						V. PANEL FOTOGRÁFICO
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						

(1) Vista aguas abajo (medición de margen izquierda-derecha o viceversa)
 (2) Medida relativa al punto inicial de medición

(3) Altura medida con respecto al nivel de referencia del pelo de agua hasta el fondo del cauce
 (4) Altura medida desde la base del tablero del puente hasta el fondo del cauce

(5) Altura medida con respecto al nivel de referencia del pelo de agua

PROYECTO: "MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS CHIRA Y PIURA: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción"

FICHA PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES EN RÍOS

I. DATOS GENERALES

Nombre de la estación	Puente Tambogrande	Hora de inicio/fin de aforo	01:00pm - 02:00pm
Río/Cuenca del río	Piura - Piura	Fecha	05/06/2019
Vertiente hidrográfica	Oceano pacifico	Entidad responsable	PECHP
Departamento	Piura	Responsable de operación	-
Provincia	Piura	Modelo de Correntómetro/hélice	AO77 - C31 N° 237420 - Hélice N° 1 -309094
Distrito	Tambogrande	Lastre	25kg
Localidad / ref. de ubicación	Ubicada en uno de los pilares del Puente Tambogrande	Rev.por señal	50 segundos
Coordenadas UTM/geográficas	UTM WGS84 Zona 17S 572509.00 m E - 9454309.00 m S	Aforador	PECHP-UDEP

II. DATOS ESPECÍFICOS DE MEDICIÓN

Método de aforo	Media seccion	Dirección de medición *1	Margen izquierda a derecha	Ecuación de correntómetro	V=0.2602*N+0.0136
Referencia de medición	Baranda del Puente Tambogrande hasta el pelo de agua			Altura (m)	

III. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Área total (m2)	39.66	Velocidad media (m/s)	0.47	Descarga total (m3/s)	18.52
-----------------	-------	-----------------------	------	-----------------------	-------

Sondeo		Trabajo de campo						Trabajo en gabinete						IV. OBSERVACIONES
Puntos	Distancia (m) *2	Tirante de agua (m)	Profundidad de observación		Revoluciones (Rev.)	Tiempo (s) (tpo.)	N = Rev./tpo.	Velocidad		Sección		Descarga		
			Factor	Metros				En el punto (m/s)	En superficie (m/s) *3	Profundidad media (m) *4	Ancho (m) *5		Área (m2)	
1	170.000	0.500	0.600	0.300	0.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
2	175.000	0.250	0.600	0.150	45.000	50.000	0.900	0.248	0.248	0.438	7.500	3.281	0.813	
3	180.000	0.750	0.600	0.450	90.000	50.000	1.800	0.482	0.482	0.788	7.500	5.906	2.847	
4	185.000	1.400	0.600	0.840	126.000	50.000	2.520	0.669	0.669	1.263	7.500	9.469	6.337	
5	190.000	1.500	0.600	0.900	115.000	50.000	2.300	0.612	0.612	1.463	7.500	10.969	6.714	
6	195.000	1.450	0.600	0.870	107.000	50.000	2.140	0.570	0.570	1.263	7.500	9.469	5.401	
7	200.000	0.650	0.600	0.390	55.000	50.000	1.100	0.300	0.300	0.688	2.500	1.719	0.515	
										TOTAL (1)	30.000	29.625	16.711	
8	200.000	0.000												
9	205.000	0.000												
10	205.000	0.150	0.600	0.090	0.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
11	210.000	0.900	0.600	0.540	63.000	50.000	1.260	0.341	0.341	0.625	7.500	4.688	1.601	
12	215.000	0.550	0.600	0.330	5.000	50.000	0.100	0.040	0.040	0.713	7.500	5.344	0.212	
13	218.000	0.850	0.600	0.510	0.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
14	220.000	0.000	0.600	0.000	0.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
										TOTAL (2)	15.000	10.031	1.812	
										TOTAL	45.0	39.7	18.5	

(1) Vista aguas abajo ((medición de margen izquierda-derecha o viceversa).

(2) Medida relativa al punto inicial de medición.

(3) Velocidad promedio de las diferentes profundidades de medición.

(4) Promedio ponderado de 3 medidas de profundidades

(5) Distancia promedio de la medición anterior más el promedio de la medición siguiente