



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE CAUDALES DEL RÍO CHIRA ENTRE LAS PRESAS DE POECHOS Y SULLANA

Fernanda More-Vegas

Piura, enero de 2019

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

More, F. (2019). *Análisis de consistencia de caudales del río Chira entre las presas de Poechos y Sullana* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE CAUDALES DEL RÍO CHIRA ENTRE LAS
PRESAS DE POECHOS Y SULLANA**

**Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil**

Fernanda Marie More Vegas

Asesor: Mgtr. Marina Farías de Reyes

Piura, Enero 2019

A Dios,

Por permitirme llegar a este punto,
brindándome fuerza y perseverancia.

A mis padres, Víctor y Fabiola,

Por darme motivación, confianza y amor
incondicional.

Prólogo

Toda estructura hidráulica, especialmente las situadas en los cauces de los ríos, se enfrentan a diferentes fenómenos hidráulicos, hidrológicos y sedimentológicos durante su vida útil; los cuales pueden afectar el funcionamiento de dichas estructuras; haciéndose necesario evaluar su comportamiento hidráulico e hidrológico a través de los años.

Dentro del Proyecto Especial Chira Piura (PECHP), y específicamente en el cauce del río Chira, se identifican dos estructuras sobresalientes: el reservorio Poechos, estructura principal del sistema, y la presa derivadora de Sullana.

Actualmente, el reservorio Poechos presenta una colmatación acelerada, situación que puede afectar su funcionamiento como fuente reguladora y abastecedora de agua para uso poblacional, agrícola e hidroenergético; y como elemento fundamental para el control de avenidas; convirtiéndose así en una problemática a nivel regional.

Por otro lado, la presa derivadora de Sullana, cumple funciones importantes para el sector del Bajo Chira, como lo es la derivación de agua a través del canal Norte y la generación de energía mediante la Mini central hidroeléctrica de 0.25 MW que posee.

Al ser todo un sistema hídrico integral, el funcionamiento apropiado de la Presa Derivadora de Sullana depende, considerablemente, del suficiente abastecimiento de agua que el reservorio Poechos pueda proporcionarle; y así cumplir con todas las demandas hídricas. Para ello, es necesario considerar las condiciones hidrológicas tales como escorrentía, precipitaciones, afluentes, evaporación, etc.; y además las hidráulicas como el funcionamiento de compuertas, etc., que se presentan a través del tramo de 39 km existente entre el reservorio Poechos y la presa de Sullana; y que afectan directamente los caudales del río Chira en el tramo mencionado. Actualmente, se aprecia inconsistencia entre ambos registros simultáneos, a pesar de que no se registran tomas de aguas oficiales ni considerables a lo largo del tramo de estudio.

La presente tesis tiene como objetivos estudiar el comportamiento hidráulico de las estructuras mencionadas anteriormente y evaluar profundamente los caudales principales en el volumen de control que abarca el tramo de la presa Poechos a la presa de Sullana en el cauce del río Chira, donde existe una aparente inconsistencia entre la entrada al volumen de control, es decir, los caudales de salida de la presa Poechos que retornan al río Chira, y la salida del volumen de control, que serían los caudales de entrada a la presa, Sullana. Esto se realizará mediante la elaboración de una correlación de los caudales medidos por el operador

del sistema, el PECHP, entre los años hidrológicos 2004-2005 y 2016-2017, incluyendo en la evaluación al Niño Costero 2017, al tratarse de un evento significativo. Se considerarán las variables que puedan estar generando dicha inconsistencia, proponiendo una compatibilización de esos registros que permita optimizar la operación del sistema.

Agradezco a mi asesora Mg. Ing. Marina Farías de Reyes ya que sin su orientación, conocimientos y guía no habría sido posible la realización de la presente tesis.

Resumen

La presente tesis tiene como propósito evaluar la consistencia de los caudales principales del río Chira en el tramo del reservorio Poechos y la presa derivadora Sullana; mediante el análisis de la relación de los caudales principales de entrada y de salida al volumen de control del tramo mencionado; así como, los factores adicionales que puedan afectar la variabilidad de dichos caudales al desplazarse del punto inicial hacia el final. La base de datos utilizada para dicho análisis, se ha obtenido a través de la extracción de datos presentes en los partes hidrometeorológicos diarios del PECHP, así como de la información alcanzada por las juntas de usuarios en colaboración con el proyecto.

Para el periodo de septiembre 2004 hasta agosto 2017, se identificaron años normales, húmedos, muy húmedos y extraordinarios, este último debido a la ocurrencia del Niño Costero 2017; los cuales se caracterizaban como tales, principalmente, por las épocas de avenidas donde se identifican los volúmenes y caudales más altos en el transcurso del año, mientras que las épocas de estiaje significaban un complemento.

Las correlaciones más altas se obtuvieron durante las épocas de avenidas donde el comportamiento de los caudales depende principalmente de la alta oferta hídrica del reservorio durante esa temporada. Por el contrario, en épocas de estiaje, se presentaron correlaciones de menor grado y se identificó que los caudales que regresaban al río Chira desde Poechos eran, principalmente, los caudales ecológicos establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y que la variabilidad de dichos caudales de entrada se da por los aportes de los caudales de uso no consuntivo de la empresa acuícola AQUA S.A y los caudales de retorno de la agricultura, los cuales en su totalidad permiten el abastecimiento del bajo Chira a través del canal Norte. Asimismo, las correlaciones, tanto de las épocas de estiaje como de avenidas son mayores a medida que el año hidrológico presentaba una mayor oferta hídrica.

Índice

| | |
|--|----|
| Introducción | 1 |
| Capítulo I: Ámbito de estudio..... | 3 |
| 1.1 Cuenca binacional Catamayo Chira..... | 3 |
| 1.1.1 Ubicación y extensión | 3 |
| 1.1.2 Hidrografía | 10 |
| 1.1.3 Climatología | 10 |
| 1.1.4 Geomorfología de la cuenca..... | 11 |
| 1.2 Proyecto especial Chira-Piura..... | 12 |
| 1.2.1 Origen | 13 |
| 1.2.2 Etapas de ejecución | 13 |
| 1.2.3 Reservorio Poechos | 14 |
| 1.2.4 Presa derivadora de Sullana..... | 17 |
| 1.2.5 Impacto e importancia en la población..... | 18 |
| Capítulo II: Base de datos hidrometeorológica | 21 |
| 2.1 Descripción de la base de datos | 21 |
| 2.1.1 Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas del PECHP..... | 21 |
| 2.1.2 Informe diario del estado hidrometeorológico | 22 |
| 2.2 Clasificación de los años hidrológicos..... | 24 |
| 2.3 El Niño Costero 2017 | 29 |
| 2.4 Variables de estudio..... | 31 |
| 2.4.1 Caudales de salida del reservorio Poechos | 32 |
| 2.4.2 Caudales de entrada a la presa derivadora de Sullana..... | 36 |
| 2.4.3 Precipitaciones..... | 39 |

| | | |
|---|--|-----|
| 2.4.4 | Evaporación..... | 41 |
| 2.4.5 | Afluentes | 41 |
| 2.4.6 | Consumos | 41 |
| 2.4.7 | Aguas residuales o efluentes | 47 |
| Capítulo III: Análisis de consistencia..... | | 51 |
| 3.1 | Caudales del río Chira | 51 |
| 3.1.1 | Tiempo de concentración | 51 |
| 3.1.2 | Comparación de caudales por clasificación anual..... | 58 |
| 3.1.3 | Correlación de caudales..... | 65 |
| 3.2 | Factores adicionales..... | 90 |
| 3.2.1 | Precipitación..... | 90 |
| 3.2.2 | Evaporación..... | 92 |
| 3.2.3 | Consumos | 94 |
| 3.2.4 | Operación de compuertas | 100 |
| 3.3 | Análisis de resultados | 103 |
| Capítulo IV: Propuesta de compatibilización..... | | 105 |
| 4.1 | Calibración..... | 105 |
| 4.1.1 | Años normales..... | 106 |
| 4.1.2 | Años húmedos | 107 |
| 4.1.3 | Años muy húmedos | 110 |
| 4.1.4 | Años extraordinarios | 113 |
| 4.2 | Modelo propuesto | 113 |
| 4.2.1 | Correlaciones..... | 113 |
| 4.2.2 | Regresiones | 115 |
| Conclusiones | | 117 |
| Recomendaciones | | 119 |
| Bibliografía | | 121 |
| Anexos | | 125 |
| Anexos A: Ámbito del proyecto | | 127 |
| Anexo A 1 Ámbito del Proyecto Especial Chira Piura..... | | 127 |
| Anexo A 2 Etapas de construcción del Proyecto Especial Chira Piura..... | | 128 |
| Anexo B: Base de datos hidrometeorológica..... | | 129 |
| Anexo B 1 Estaciones de datos hidrometeorológicos..... | | 129 |

| | |
|--|-----|
| Anexo B 2 Escorrentías anuales y estacionales periodo 1937-2017. | 130 |
| Anexo B 3 Caudales medios mensuales (m ³ /s) del río Chira medidos en el reservorio Poechos. | 132 |
| Anexo B 4 Caudales medios mensuales (m ³ /s) del río Chira medidos en presa de Sullana. | 132 |
| Anexo B 5 Resumen de registros de la Junta de Usuarios del valle del Chira en Campaña Grande..... | 133 |
| Anexo B 6 Mapa hidrográfico de la cuenca del río Chira en el tramo Poechos – Sullana. | 134 |
| Anexos C1: Precipitaciones | 135 |
| Anexo C1 1 Correlación de precipitaciones totales con caudales de salida, I CM. ... | 135 |
| Anexo C1 3 Correlación de precipitaciones totales con caudales de salida, II CM... | 136 |
| Anexo C1 4 Correlación de precipitaciones totales con caudales de salida, II CM... | 136 |
| Anexos C2: Junta de usuarios del valle del Chira..... | 137 |
| Anexo C2 1 Distribución de las comisiones de regantes del valle del Chira y de la intercuenca Poechos-Sullana..... | 137 |
| Anexos C3: Operación de compuertas..... | 138 |
| Anexo C3 1 Niveles de espera durante la temporada de avenidas de años extraordinarios..... | 138 |
| Anexo C3 2 Niveles de espera durante la temporada de avenidas de años muy húmedos. | 139 |
| Anexo C3 3 Niveles de espera durante la temporada de avenidas de años normales húmedos | 140 |
| Anexo C3 4 Niveles de espera durante la temporada de avenidas de años secos..... | 141 |
| Anexo C3 5 Curvas de calibración de una compuerta del aliviadero – pequeñas descargas. | 142 |
| Anexo C3 6 Curvas de calibración de una compuerta de las aliviadero-grandes descargas. | 143 |
| Anexo C3 7 Curvas de calibración de una compuerta de las aliviadero-grandes descargas. | 144 |
| Anexo C3 8 Curvas de calibración de la compuerta de radial en la salida de fondo. | 145 |
| Anexo C3 9 Curvas de calibración de la compuerta de radial en la salida de fondo. | 146 |
| Anexo C3 10 Curvas de gasto de vertedero de la salida de fondo. | 147 |
| Anexo C3 11 Curvas de gasto de una compuerta del aliviadero – presa de Sullana. | 148 |
| Anexo C3 12 Curvas de gasto de dos compuertas del aliviadero – presa de Sullana. | 149 |
| Anexo C3 13 Curvas de gasto de tres compuertas del aliviadero – presa de Sullana. | 150 |

| | |
|--|-----|
| Anexo C3 14 Curvas de gasto de cuatro compuertas del aliviadero – presa de Sullana. | 151 |
| Anexo C3 15 Curvas de gasto de cinco compuertas del aliviadero – presa de Sullana. | 152 |
| Anexo C3 16 Curvas de gasto de seis compuertas del aliviadero – presa de Sullana. | 153 |
| Anexo C3 17 Curva de gasto de siete compuertas del aliviadero – presa de Sullana. | 154 |
| Anexo C3 18 Curvas de gasto de ocho compuertas del aliviadero – presa de Sullana. | 155 |
| Anexo C3 19 Curvas de gasto de las compuertas del canal Norte..... | 156 |
| Anexo C3 20 Curvas de gasto de canal Norte. | 157 |

Introducción

El Proyecto Especial Chira - Piura fue concebido con la finalidad de aprovechar los caudales excedentes que traía el río Chira y que se perdían en el mar; a través de la regulación y derivación de dichos caudales por las estructuras principales como el Reservorio Poechos, las Presas Sullana y Los Ejidos junto con los canales principales y secundarios, y así incrementar la producción agrícola en el valle de Piura, el cual sufría escasez de agua, y en el valle del Chira; además de aumentar el abastecimiento hídrico para consumo poblacional en la región Piura.

Sin embargo, con el transcurso de los años y ante la exposición a fenómenos hidráulicos, hidrológicos y sedimentológicos; el reservorio Poechos viene sufriendo una colmatación acelerada en su embalse; perjudicando su capacidad de almacenamiento, al año 2016 ha perdido más del 50%, y poniendo en riesgo el abastecimiento a las demás estructuras del sistema hídrico como lo es la presa derivadora Sullana. Por otra parte, se ha identificado una posible inconsistencia entre los registros de caudales que se liberan del reservorio Poechos al río Chira y los que llegan a la presa Sullana por el cauce del río mencionado.

Ante este contexto, es necesario un análisis hidrológico del tramo del río Chira comprendido entre el reservorio Poechos y la presa Sullana; con la finalidad de exponer la urgente atención a la problemática del reservorio, y además presentar un modelo de compatibilización entre los registros medidos en los extremos de dicho tramo.

Teniendo en cuenta lo antes planteado, la presente tesis se desarrolla mediante cuatro capítulos. El primero, abarca el ámbito de estudio donde se incluye la ubicación, hidrología y climatología de la cuenca binacional Catamayo Chira. Al mismo tiempo, se considera una descripción del proyecto especial Chira Piura; su origen, etapas de ejecución, y se le presta atención especial a dos de sus estructuras: el reservorio de Poechos y la presa derivadora de Sullana, las cuales están involucradas principalmente en el análisis hidrológico que se planteará posteriormente en esta tesis. El segundo capítulo analiza la base de datos hidrometeorológica, donde se presenta puntos como la descripción de la base de datos, la clasificación de los años hidrológicos y una evaluación de las variables de estudio: caudales aprovechables registrados en las estaciones, precipitaciones y caudales de consumo.

En el tercer capítulo se realiza el análisis de la consistencia entre los registros correspondientes al periodo septiembre 2004 hasta abril 2017, incluyendo en dicho análisis El Niño Costero 2017. Se procede a efectuar una evaluación solo de los registros de caudales del río Chira en el tramo de estudio, y posteriormente, otra evaluación tomando en cuenta los factores adicionales como lo son: las precipitaciones, la evaporación, los consumos

hídricos y operación de compuertas. Para concluir el capítulo, se elabora una comparación entre los resultados obtenidos.

Finalmente, en el cuarto capítulo, correspondiente a la compatibilización de la base de datos mencionada, para lo cual se calibra y se define un modelo de compatibilización con el que se busca brindar una herramienta para optimizar la operación del sistema.

Capítulo I

Ámbito de estudio

En el presente capítulo se procederá a definir y describir el espacio donde se desenvolverá el estudio de la presente tesis, con la finalidad de tener un conocimiento más amplio de las características que representan dicho ámbito de estudio. Los puntos principales a tratar son la cuenta binacional Catamayo Chira y el Proyecto Especial Chira Piura.

1.1 Cuenca binacional Catamayo Chira

Debido al gran potencial hídrico que se ha identificado en la cuenca Catamayo Chira, esta ha adquirido una gran importancia tanto para la jurisdicción ecuatoriana como la peruana. En este apartado se expondrán aspectos como la ubicación y extensión, hidrografía, climatología y geomorfología de la cuenca.

1.1.1 Ubicación y extensión

La cuenca binacional Catamayo Chira, es compartida entre los países de Perú y Ecuador, y se localiza entre las coordenadas 03°30' a 05°08' latitud sur y 79°10' a 81° 11' de longitud oeste. Respecto a su rango longitudinal, este inicia a partir del nivel del mar en la desembocadura del río Chira en el Océano Pacífico y finaliza en la cota 4000 msnm (CONSORCIO ATA-UNP-UNL, 2002). La ubicación geográfica de la cuenca Catamayo Chira se muestra en la Ilustración 1-1.

Sus límites hidrográficos son los siguientes (Ilustración 1-2):

- Norte, delimita con la cuenca del río Puyango – Tumbes (139).
- Sur, delimita con la cuenca del río Piura (1378).
- Este, delimita con las cuencas de Santiago y Chinchipe en Ecuador.
- Oeste, delimita con las cuencas Pariñas y Fernández y con el Océano Pacífico (1392 – 13932).

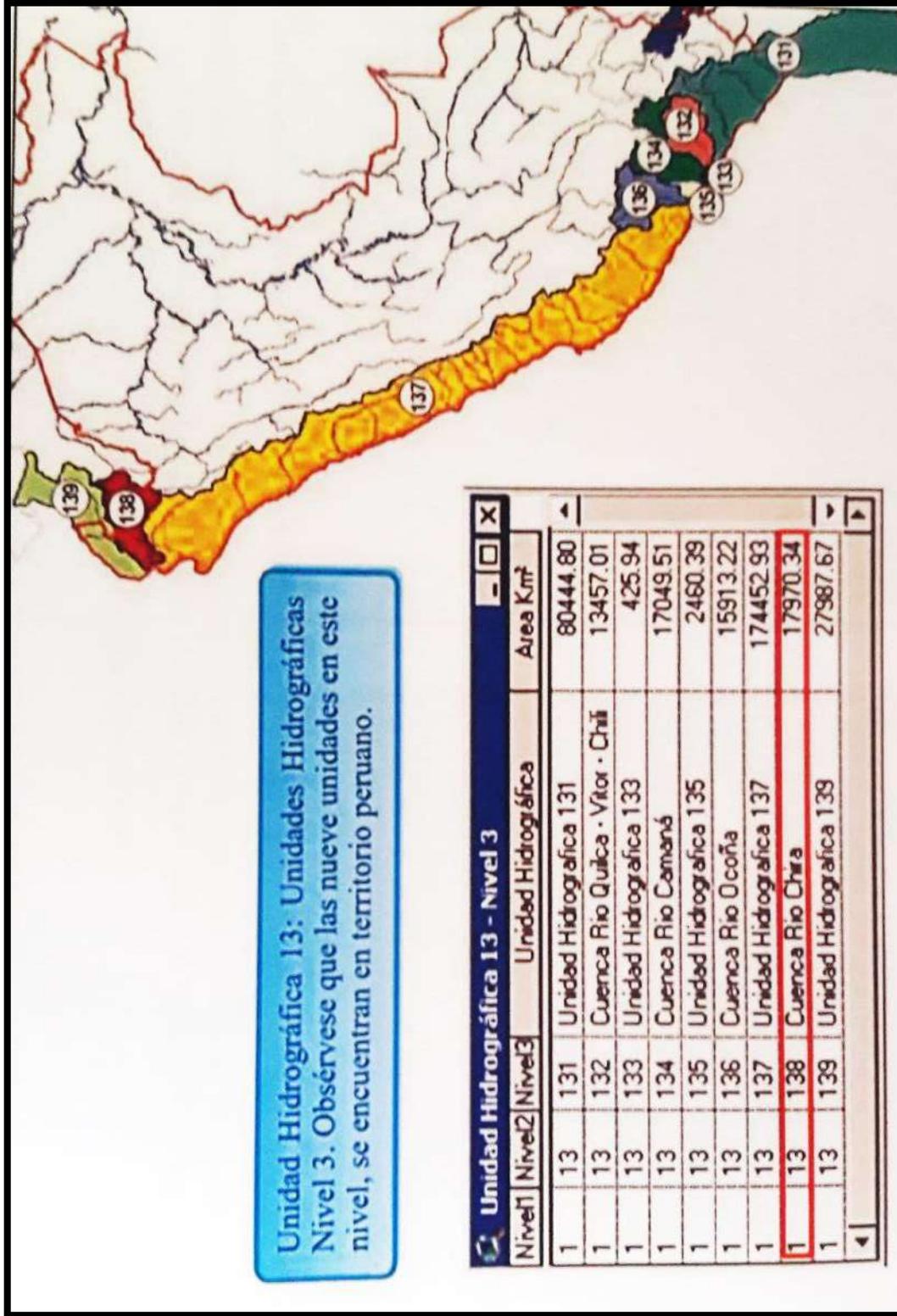


Ilustración 1-1 Ubicación geográfica de la cuenca Catamayo Chira.

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

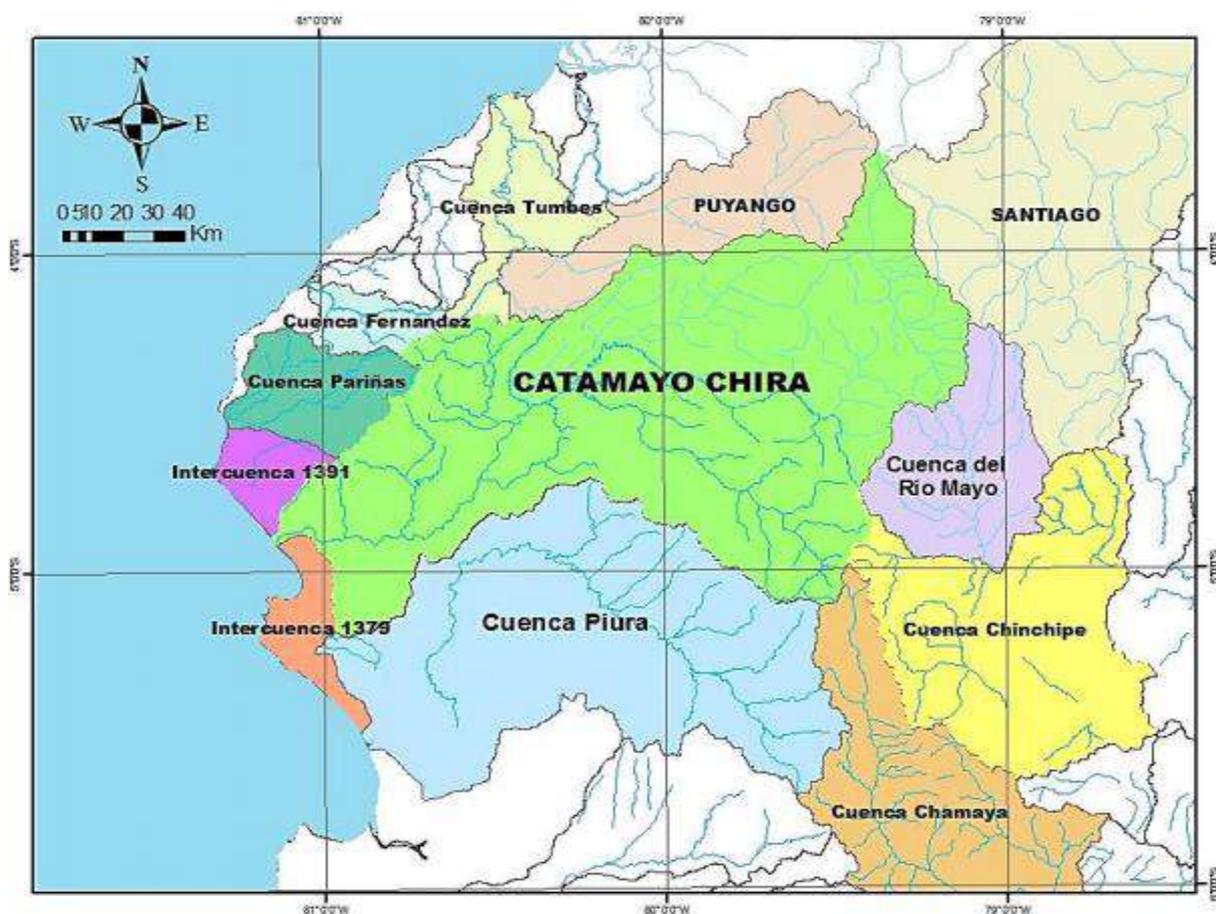


Ilustración 1-2 Límites hidrográficos de la cuenca Catamayo-Chira.

Fuente: (Varona, 2018)

La cuenca abarca una superficie total de 17 199,18 km², donde 7 212,37 km² pertenecen a Ecuador y 9 986,81 km² a Perú. En territorio ecuatoriano recorre los cantones de Céllica, Pindal, Macará, Sozoranga, Calvas, Espíndola, Gonzanamá, Quilanga, y parte de los territorios de los cantones de Loja, Catamayo, Paltas, Olmedo, Puyango y Zapotillo. Mientras que en territorio peruano recorre las provincias Huancabamba, Ayabaca, Paita, Piura, Sullana y Talara en el departamento de Piura. (Plan Binacional Catamayo Chira, 2003). La Ilustración 1-3 muestra el mapa de los cantones y provincias de Ecuador y Perú respectivamente que ocupa la cuenca.

El estudio de Caracterización Hídrica y Adecuación entre la Oferta y Demanda, en el Ámbito de la Cuenca Binacional Catamayo Chira (CONSORCIO ATA-UNP-UNL, 2002) divide la cuenca Catamayo Chira en seis subcuencas (Tabla 1-1 e Ilustración 1-4).

Tabla 1-1 Subcuencas de la cuenca binacional Catamayo Chira.

| Subcuencas | Área (km ²) | % de área | Ubicación |
|-----------------------|-------------------------|------------|---------------------|
| Sistema Chira | 4712 | 27.4 | Ecuador-Perú |
| Chipillico | 1171 | 6.8 | Perú |
| Quiroz | 3109 | 18.1 | Perú |
| Alamor | 1190 | 6.9 | Ecuador-Perú |
| Macará | 2833 | 16.5 | Ecuador-Perú |
| Catamayo | 4184 | 24.3 | Ecuador |
| Catamayo-Chira | 17 199 | 100 | Ecuador-Perú |

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

Según el ANA, considera a la cuenca dividida en nueve unidades hidrográficas, según la nomenclatura internacional (Tabla 1-2 e Ilustración 1-5).

Tabla 1-2 Unidades hidrográficas de la cuenca binacional Catamayo Chira.

| Nivel 4 | Unidad Hidrográfica | Área (km ²) |
|---------|---------------------------------|-------------------------|
| 1381 | Unidad Hidrográfica 1381 | 4601 |
| 1382 | Cuenca de la Quebrada La Solana | 1199 |
| 1383 | Unidad Hidrográfica 1383 | 71 |
| 1384 | Cuenca del río Alamor | 1232 |
| 1385 | Unidad Hidrográfica 1385 | 271 |
| 1386 | Cuenca del río Quiroz | 3102 |
| 1387 | Unidad Hidrográfica 1387 | 374 |
| 1388 | Cuenca del río Macará | 2898 |

Fuente: (ANA, 2007) .

CUENCA HIDROGRÁFICA BINACIONAL CATAMAYO - CHIRA

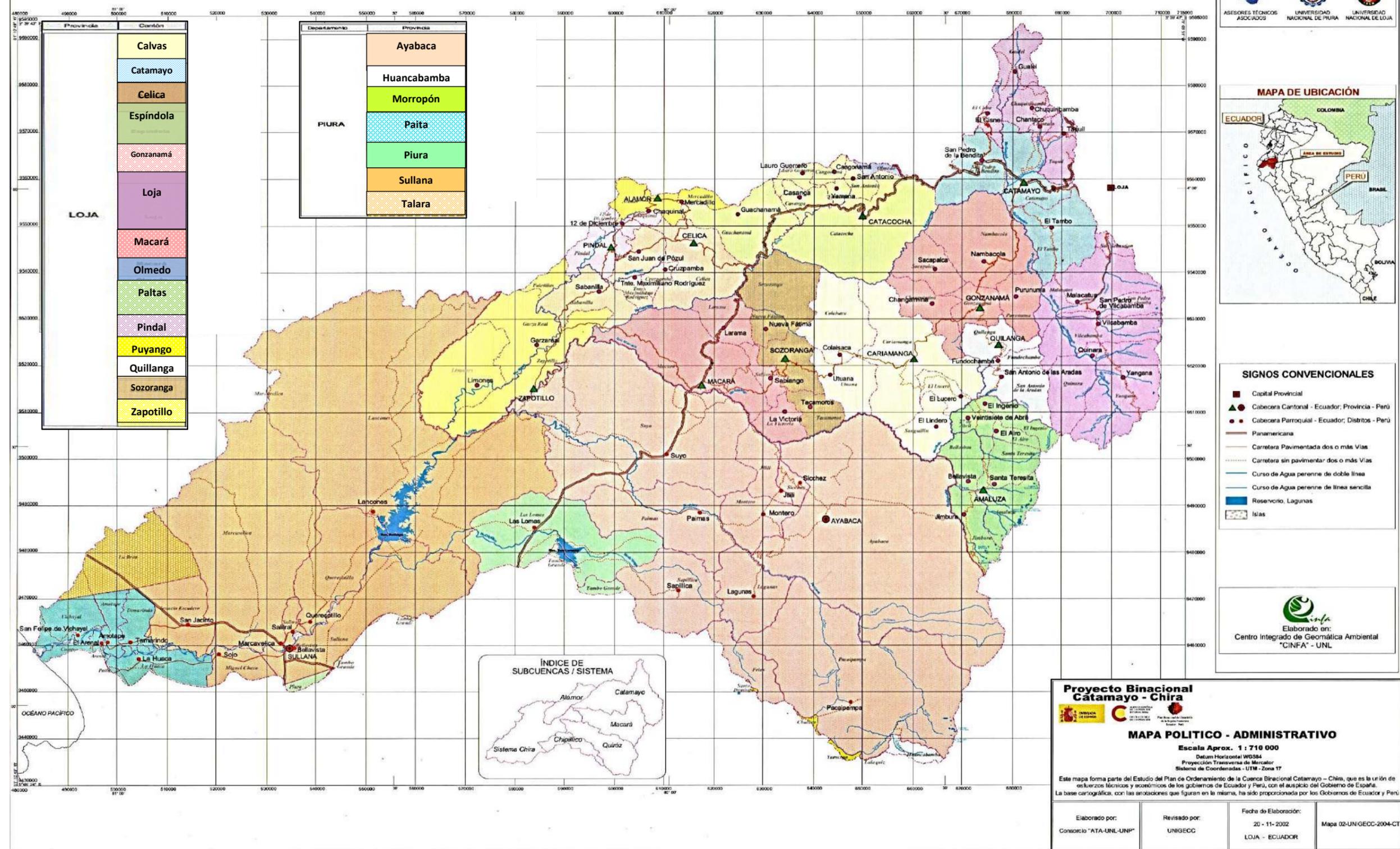


Ilustración 1-3 Mapa Político Administrativo de la cuenca binacional Catamayo Chira.
 Fuente: (CONSORCIO ATA-UNP-UNL, 2002).



Ilustración 1-4 Mapa de Subcuencas de la Cuenca binacional Catamayo Chira.

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

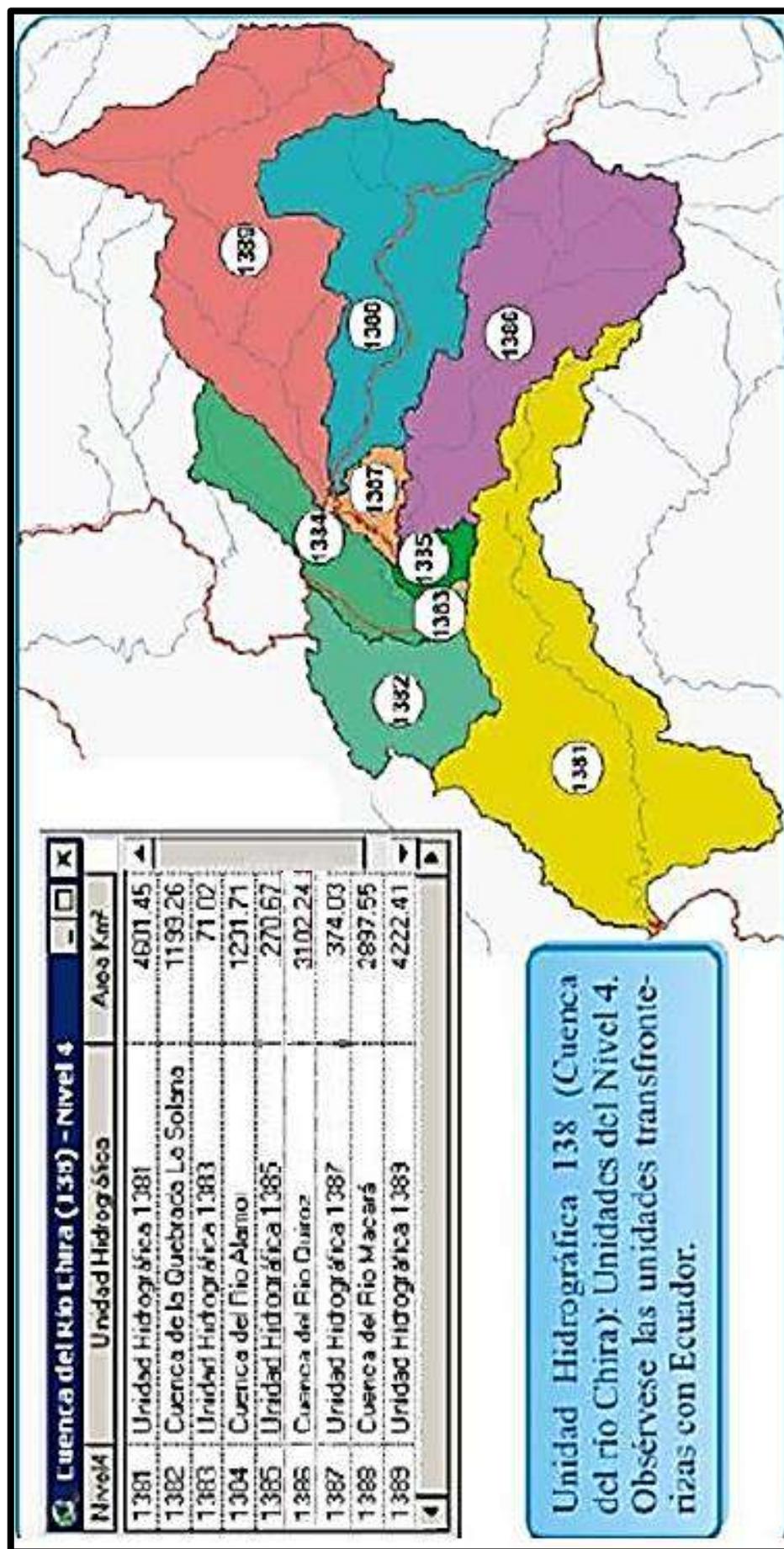


Ilustración 1-5 Mapa de las unidades hidrográficas de la Cuenca binacional Catamayo Chira.

Fuente: (ANA, 2007).

1.1.2 Hidrografía

El río Catamayo-Chira pertenece al sistema hidrográfico del Pacífico, el cual tienen su origen en la Cordillera Occidental de los Andes a 4,000 m bajo el nombre de río Catamayo en territorio ecuatoriano. El río Catamayo es producto de la unión de dos ríos: el río El Arenal que fluye de sureste a noroeste y que a lo largo de su cauce toma denominaciones de río Palmira, Piscobamba, Solanda y Chinguilamaca; y el río Guayabal que fluye de norte a sur, recorriendo 45 km hasta unirse con El Arenal (Calle, 2016).

Así constituido, el río Catamayo recorre 150 km aguas abajo hasta su encuentro con el río Macará denominado aguas arriba río Calvas, a su vez originado por la unión de los ríos Chiriyacu, que recorre de noreste a suroeste y Espíndola, que recorre en dirección de sur hacia norte. Desde la unión de los ríos Catamayo y Macará, el curso principal del río toma la denominación de Chira, y recorre 50 km, en el límite entre Perú y Ecuador. Aguas abajo, tomando una dirección suroeste en territorio peruano, recibe las contribuciones de los ríos Quiroz, Alamor y Chipillico; hasta llegar a la ciudad de Sullana, para luego tomar una dirección este-oeste, y finalmente desembocar en el Océano Pacífico.

Es así que la longitud total de la cuenca desde sus nacientes, en la cordillera occidental de los Andes, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico es de 315 km, donde 196 km pertenecen a territorio ecuatoriano y 119 km a territorio peruano (Ministerio de Ambiente, 2010).

El río Chira por tener gran parte de su cuenca superior en la zona lluviosa ecuatoriana, posee un caudal que lo ubica tercero entre los ríos de la zona árida peruana, después del Santa y del Tumbes (Reparaz, 2013).

Dentro de los principales afluentes se tiene al río Alamor por la margen izquierda y Tangula por la margen derecha en territorio ecuatoriano, mientras que en el río Chira se tiene por su margen derecha, las quebradas Honda, Peroles, Samán, La Tina, Poechos y Cóndor, y por su margen izquierda, los ríos Quiroz, Chipillico y Macará. Durante las épocas de lluvia, ambos márgenes hasta su desembocadura en el mar reciben aportes de otras quebradas.

El río Chira tiene una gran importancia para la región Piura dado que alimenta de agua a la represa Poechos, estructura hidráulica más importante del Perú, que abastece de agua a los valles del Chira y Piura donde se desarrolla la agricultura como principal actividad económica.

1.1.3 Climatología

La cuenca binacional Catamayo-Chira presenta una gran variabilidad en cuanto a su clima, siendo árido y semiárido en su parte baja; y sub húmedo y muy húmedo en la parte alta. En la Tabla 1-3 se muestra la variación del tipo de clima en la cuenca, así como el área y porcentaje que abarca (Plan Binacional Catamayo Chira, 2003).

La temperatura promedio en la cuenca media es del orden 24°C; sin embargo, alcanza valores máximos de hasta 28°C y 35°C y mínimos de hasta 13°C y 20°C, en épocas de invierno y de verano, respectivamente (Calle, 2016).

Tabla 1-3 Tipos de clima de la cuenca binacional Catamayo Chira.

| Tipo de Clima | Área (ha) | % |
|---------------|---------------|------------|
| Árido | 3582 | 21 |
| Semiárido | 4653 | 27 |
| Subhúmedo | 5361 | 31 |
| Húmedo | 3465 | 20 |
| Muy Húmedo | 138 | 1 |
| Total | 17 199 | 100 |

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

Existe una gran variabilidad entre las precipitaciones según el espacio y tiempo, lo cual se muestra en la Tabla 1-4.

Tabla 1-4 Tipos de clima de la cuenca binacional Catamayo Chira.

| Cuenca | Periodo | Descripción |
|--------|------------------|---|
| Baja | Enero a Abril | Cortos y escasos. A Excepción de la épocas del FEN. |
| Media | Diciembre a Mayo | |
| Alta | Octubre a Mayo | Excepción: Cantones de Quilanga, Gonzamá y Catamayo donde llueve todo el año de manera distribuida. |

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

Por otro lado, la evaporación presenta una variación baja a través del tiempo y, por el contrario, alta en cuanto a su variación espacial, fluctuando entre 6.00 mm/día en la cuenca baja hasta 3.0 mm/día en la cuenca alta (CONSORCIO ATA-UNP-UNL, 2002).

1.1.4 Geomorfología de la cuenca

A continuación, se presenta las principales características geomorfológicas de la cuenca. El cauce de mayor pendiente es el río Alamor, mientras que la cuenca de mayor pendiente es la del río Quiroz (CONSORCIO ATA-UNP-UNL, 2002).

Tabla 1-5 Pendiente media de cauces.

| Cuenca | Cauce principal % |
|--------------------|-------------------|
| Río Catamayo Chira | 1.13 |
| Río Alamor | 2.25 |
| Río Catamayo | 1.5 |
| Río Macará | 1.36 |
| Río Quiroz | 1.75 |
| Río Chipillico | 2.04 |

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

Tabla 1-6 Pendientes media de cuencas.

| Cuenca | Pendiente media % |
|--------------------|-------------------|
| Río Catamayo Chira | 16.7 |
| Río Alamor | 56.52 |
| Río Catamayo | 91.95 |
| Río Macará | 85.68 |
| Río Quiroz | 94.05 |
| Río Chipillico | 52.78 |

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

Tabla 1-7 Condiciones de drenaje de las cuencas.

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

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

1.2 Proyecto especial Chira-Piura

El Proyecto Especial Chira Piura (PECHP), es un sistema de riego integrado mediante la unión hidráulica de las cuencas de los ríos Chira y Piura. Representa la inversión más importante del Perú a nivel de sistemas de irrigación, cuya tarea específica es abastecer de agua a los valles Chira y Piura con el fin de aumentar su productividad, así como protegerlos contra inundaciones (Proyecto Especial Chira Piura, 2016).

1.2.1 Origen

Inicialmente, la agricultura tanto del valle del Chira como del Piura, se desarrollaba por descargas naturales de ambos ríos. Sin embargo, el valle del río Piura sufría debido al torrente irregular y a los largos periodos de sequía que presentaba dicho río. Por otro lado, se identificó que el río Chira contaba con un gran potencial hídrico el cual no era aprovechado en su totalidad.

De esta manera, nace el PECHP, a través del cual los caudales excedentes del río Chira, luego de almacenarse en el embalse de Poechos, serían derivados al río Piura mediante un canal de derivación.

El 01 de Setiembre de 1970, a través del decreto de ley 18381, se creó la Dirección Ejecutiva del Proyecto Chira Piura en el más alto nivel del sector público, para llevar adelante su ejecución (Proyecto Especial Chira Piura, 2016).

1.2.2 Etapas de ejecución

La ejecución de las obras se planificó en 3 etapas (Proyecto Especial Chira Piura, 2016):

1.2.2.1 Primera etapa

La finalidad de esta primera etapa era mantener el abastecimiento de agua de riego regulada en los valles del medio y bajo Piura; asimismo realizar obras de drenaje para rehabilitar las tierras de cultivo. Los trabajos se dieron en el periodo de 1972 a 1979, los cuales consistían en trasvasar el agua del río Chira al río Piura mediante el canal de derivación Daniel Escobar.

Obras ejecutadas

- Reservorio de Poechos de capacidad de 885 MMC.
- Canal de Derivación “Daniel Escobar”, que deriva el agua del río Chira al río Piura.
- Canal Parales, de 8 km de longitud y 4.8 m³/s de capacidad para irrigar 5 514 ha.
- Canal Paralelo Cieneguillo de 7.8 km de longitud y 6.2 m³/s de capacidad para irrigar 5 422 ha.
- Construcción de 452 km de drenes troncales en el Bajo Piura.
- Ampliación en 5422 ha de frontera agrícola, Asentamiento Agrícola de Cieneguillo.

1.2.2.2 Segunda etapa

La finalidad de esta segunda etapa consistía en incrementar la producción y productividad de 30 000 ha agrícolas del valle del Bajo Piura e incorporar 5 615 ha bajo riego.

Las obras se ejecutaron en el periodo de 1980 a 1989, donde en este último año se realizaron los trabajos de reconstrucción de las obras dañadas por el Fenómeno El Niño 1983 (Proyecto Especial Chira Piura, 2016).

Obras ejecutadas

- Presa Derivadora Los Ejidos, de 4.8 Hm³ de capacidad.

- Diques de defensa y encauzamiento del río Piura en el Bajo Piura, desde el puente Bolognesi en la ciudad de Piura hasta la Laguna Ramón en una longitud total de 63km de los cuales, 38 km corresponden al dique derecho y 25 km al dique izquierdo.
- Rehabilitación de 7 980 ha de tierras afectadas con problemas de salinidad y drenaje.
- Obras de riego y drenaje a nivel parcelario.
- Construcción de 86 km de canales secundarios y terciarios revestidos de concreto.
- Obras de reconstrucción Fenómeno El Niño 1983: canal de derivación Chira Piura, canal principal del Bajo Piura, drenaje troncal del Bajo Piura, diques de encauzamiento del río Piura.
- Servicios de extensión agrícola y riego tecnificado.
- Estudios definitivos de remodelación del Valle del Chira y Estudio de Factibilidad del Alto Piura.

1.2.2.3 Tercera etapa

La finalidad de esta tercera etapa era irrigar por gravedad 37 278 ha e incorporar a la agricultura 4908 ha en el Valle del Chira; reemplazando así el viejo y costoso sistema de riego por bombeo. El canal Miguel Checa fue la primera estructura construida de esta etapa el 19 de Agosto de 1988 (Proyecto Especial Chira Piura, 2016).

Obras ejecutadas

- Canal Miguel Checa, que permite el desarrollo de aproximadamente 14 481 ha.
- Presa Derivadora Sullana, de 6 MMC de capacidad.
- Sistema de canales Norte y Sur; el canal Norte con una longitud de 39.20 km y capacidad variable de 25.5 m³/s a 3.8 m³/s; el canal Sur con una longitud de 25.75 km y capacidad variable de 7.00 m³/s a 0.55 m³/s, la toma se ubica en el km 16+156 del canal Norte.
- Sistema de Drenaje, con una longitud de 52.69 km.
- Sistema de Defensa contra inundaciones, con una longitud de 57.03 km.

1.2.3 Reservorio Poechos

Poechos representa la obra principal del Sistema de Riego Chira Piura y una de las más importantes de las primeras tres etapas. Está ubicada sobre el cauce del río Chira, al noreste del Perú, en una zona costera y desértica, a unos 60 km al norte de la Ciudad de Piura y 1000 km de Lima. A continuación se describe los componentes del Reservorio Poechos (Calle, 2016):

1.2.3.1 Descripción del embalse

Para la construcción del embalse, entre el periodo de 1972 y 1976, se requirió 18 MMC de relleno de 14 distintos tipos de materiales, además, se excavó 9 MMC de tierra. Finalmente, para las obras de concreto armado, se utilizaron 401 000 m³ de hormigón.

La presa es del tipo terraplenado con núcleo de arcilla y tiene 48 m como altura máxima, 11 km como longitud y 108 msnm como cota de corona. Está estructurada por un dique principal el cual cierra el cauce del río Chira y por unos diques laterales del lado derecho e izquierdo, formándose así un embalse con 1000 MMC de capacidad. El nivel normal de operación es la cota 103 msnm, con el cual se almacenan 885 MMC.

El embalse fue puesto en operación el día 04 de junio de 1976, permitiendo irrigar los valles Chira y Piura y generar 42 MW de energía (entre las centrales hidroeléctricas de Curumuy, Poechos I y Poechos II), asimismo abastece de agua para uso poblacional a las ciudades de Piura, Sullana, Paita y Talara (Proyecto Especial Chira Piura, 2016).

1.2.3.2 Estructuras de protección y seguridad

a. Aliviadero de compuertas

El aliviadero está estructurado por 03 compuertas radiales con dimensiones de 10m de ancho, 12 de altura y un peso de 210 cada una. La función principal del aliviadero es controlar los caudales excedentes y descargarlos hacia el río Chira en épocas de avenidas, teniendo una capacidad máxima de descarga de 5400 m³/s (Proyecto Especial Chira Piura, 2016).

La operación de compuertas se realiza en base a la cota de funcionamiento del embalse, 103 msnm, y del caudal que se desea liberar distribuido entre las 03 compuertas, siendo el máximo caudal de 1800 m³/s por compuerta con una abertura máxima de 12.33 m.

Cada compuerta cuenta con un tablero de control que utiliza presiones entre 160 psi y 50 psi para poder subir y bajar, respectivamente. En un tiempo de 12 a 14 min aproximadamente, las compuertas evacúan un caudal de 50 m³/s cada una.

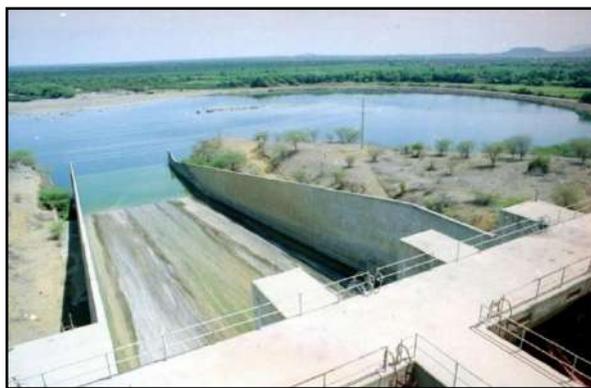


Ilustración 1-6 Aliviadero de compuertas.

Fuente: (Universidad de Piura, 2016).

b. Aliviadero de emergencia o dique fusible

Se ubica en el dique izquierdo de la presa y está provisto a ser erosionado cuando las aguas excedan el nivel máximo de seguridad de la presa de 105 msnm. Tiene una capacidad máxima de descarga es de 10 000 m³/s. Esta estructura se encuentra inactiva desde su puesta en operación en 1976, dado que así lo ha buscado el PECHP para evitar las inundaciones que su funcionamiento generaría aguas abajo.



Ilustración 1-7 Aliviadero de emergencia.

Fuente: (Proyecto Especial Chira Piura, 2016).

c. Salida de fondo

Es una estructura de concreto armado con blindaje, cuenta con una capacidad de 300 m³/s de capacidad y 415 m de longitud. Para el control de entrada, presenta compuertas de ruda de 4.5 m de diámetro, una válvula de mariposa y compuerta radial. Asimismo, sus salidas están constituidas hacia los canales laterales Miguel Checa y Huapirá, que irrigan el valle del Chira.



Ilustración 1-8 Salida de fondo.

Fuente: (Universidad de Piura, 2015).

d. Salida al canal de derivación Daniel Escobar

Se ubica en el dique de la presa, iniciando con dos conductos de 2.4 m de diámetro que terminan en compuertas radiales. Actualmente el agua es redirigida a la central hidroeléctrica Poechos II a través de su propia compuerta y así aprovechar la fuerza del recurso hídrico, donde posteriormente continuará con el canal propiamente dicho.



Ilustración 1-9 Vista de una compuerta del canal de derivación Daniel Escobar.

Fuente: (Universidad de Piura, 2016).

1.2.4 Presa derivadora de Sullana

Fue inaugurada el 10 de julio de 1997 y permite represar 250 MMC de agua que se perdían anualmente en el mar. Se encuentra ubicada a 0.5 km aguas debajo de la ciudad de Sullana en el cauce del río Chira. Su estructura consiste enteramente de concreto armado, con una longitud de coronamiento de 362 m. Además, cuenta con una Mini central Hidroeléctrica, así como con dos bocatomas hacia el canal Jíbito y al canal Norte. El nivel normal de operación de la presa es a 36.5 msnm, con un volumen de 6 MMC.

Estructuras

a. Aliviadero libre

Tiene una capacidad máxima de descarga de 7000 m³/s, y cuenta con una longitud de 287 m.

b. Aliviadero de compuertas

Consta de 08 compuertas radiales, con una longitud total de 76 m y un caudal de descarga de 3830 m³/s (Proyecto Especial Chira Piura, 2001).



Ilustración 1-10 Aliviadero de compuertas de presa derivadora Sullana.

Fuente: [https:// www.pinterest.com/pechpoficial/pins/](https://www.pinterest.com/pechpoficial/pins/)

c. Salida al canal Norte

El canal Norte es un canal revestido de concreto el cual tienen una sección trapezoidal, con una capacidad inicial de $25.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y una longitud de 39 km hasta la altura de la ciudad de Amotape. Durante su recorrido de la margen derecha, cruza a la margen izquierda a través del Sifón Chira de 687 metros de longitud, el cual trasvasa $6.9 \text{ m}^3/\text{s}$ para dotar de agua a 4550 ha en la zona “El Arenal”. Lleva las aguas reguladas del río Chira en la presa de Sullana hacia la parte baja del valle (Proyecto Especial Chira Piura, 2016).

La toma del canal norte está compuesta por tres compuertas planas con una capacidad máxima de $8.5 \text{ m}^3/\text{s}$ por compuerta.



Ilustración 1-11 Rejilla de Bocatoma del Canal Norte.

Fuente: [https:// www.pinterest.com/pechpoficial/pins/](https://www.pinterest.com/pechpoficial/pins/)

1.2.5 Impacto e importancia en la población

El gran reto que enfrenta la región Piura y el Perú entero, en general, es reducir la pobreza y mejorar las condiciones de vida buscando el progreso económico de la población. Es decir, en general, busca el desarrollo económico y social del país.

Con la ejecución de la primera etapa del PECHP, dónde se constituyó el reservorio Poechos como obra principal del proyecto; se logró abastecer a 44800 ha de los valles del medio y bajo Piura, los cuales no podían explotar su potencial debido a que sufrían por falta del recurso hídrico.

Además, se supo aprovechar la diferencia de altura entre el nivel superior del agua en el Reservorio de Poechos y el río Chira, utilizando todas las aguas de riego que se destinan hacia el Valle de Chira, para la generación de energía eléctrica a través de las CH Poechos I y Poechos II, así como el desnivel de 40 metros de terreno para instalar la CH Curumuy en el curso el canal de derivación, la cual produce 12.5 MW y beneficia lo que equivale a la demanda de energía eléctrica de media ciudad de Sullana. Dichas centrales hidroeléctricas son un ejemplo de desarrollo sostenible con visión social, que resuelve las necesidades básicas de la ciudad de Piura, aprovechando sus recursos naturales y conectándolos con la visión de sus empresarios y la voluntad de sus habitantes (Proyecto Especial Chira Piura, 2016).

Posteriormente, con la segunda etapa se logró promover la producción y productividad de 30 000 ha agrícolas del valle del Bajo Piura e incorporar 5 615 ha bajo riego; así como ejecutar trabajos de reparación de las estructuras dañadas por el fenómeno El Niño 1983.

Finalmente, la tercera etapa, tiene como finalidad impulsar el riego por gravedad 37 277 ha e incorporar a la agricultura 4908 ha en el valle del Chira. En dicha etapa se tiene como estructura resaltante a la presa derivadora de Sullana. Asimismo, se logró suministrar agua para uso poblacional al sector de Paita – Talara (Proyecto Especial Chira Piura, 2016).

Actualmente, el reservorio de Poechos abastece a una demanda de agua extensa y diversa, incluye el uso poblacional, uso piscícola, uso industrial, uso energético y el uso agrícola. En la Tabla 1-8 se muestra los volúmenes de agua entregados por el PECHP por tipos de usos, así como el porcentaje que constituye cada uno de ellos para el año 2014. El porcentaje de uso poblacional del total de volúmenes solo representa el 1%; mientras que el uso agrícola y energético, 41% y 53% respectivamente.

El PECHP cubre las demandas de riego de 35 000 hectáreas de cultivos en el valle del Chira y 45 000 en el valle del Piura; cifras significativas que demuestran lo vital que se ha convertido, principalmente, el reservorio de Poechos, por lo que es necesario y primordial disminuir su colmatación y así recuperar su capacidad de almacenamiento. Las curvas del volumen del Embalse Poechos, del año 1976, o inicial, y del año 2013, y de la pérdida del volumen de almacenamiento se presentan en la Ilustración 1-12.

Tabla 1-8 Volúmenes de agua entregados por el PECHP en el año 2014.

| Tipo de usos | Volumen (MMC) | Porcentaje (%) |
|-----------------|---------------|----------------|
| Uso agrícola | 1,753 | 41 |
| Uso poblacional | 52 | 1 |
| Uso piscícola | 212 | 5 |
| Uso industrial | 1 | 0 |
| Uso energético | 2,307 | 53 |
| Total | 4,324 | 100 |

Fuente: (Calle, 2016).

Una investigación realizada en la UDEP el 2006, por Reyes y Quintana, muestra gráficamente la enorme importancia de la reforestación de la cuenca. Su estudio prueba que existe una relación directa entre la cantidad de agua y la de sólidos que llegan a la presa de Poechos (Universidad de Piura, 2016).

Por su lado, el Proyecto Especial Chira Piura, el Gobierno Regional, Ministerio de Agricultura y Municipalidad de Lancones se proponen reforestar 2 000 ha de bosque seco deforestado en la cuenca derecha de la Presa Poechos en el Distrito de Lancones, para lo cual se instalará un vivero forestal, donde se producirán 960 mil plantones de especies como algarrobo, faique entre otros (Proyecto Especial Chira Piura, 2016).

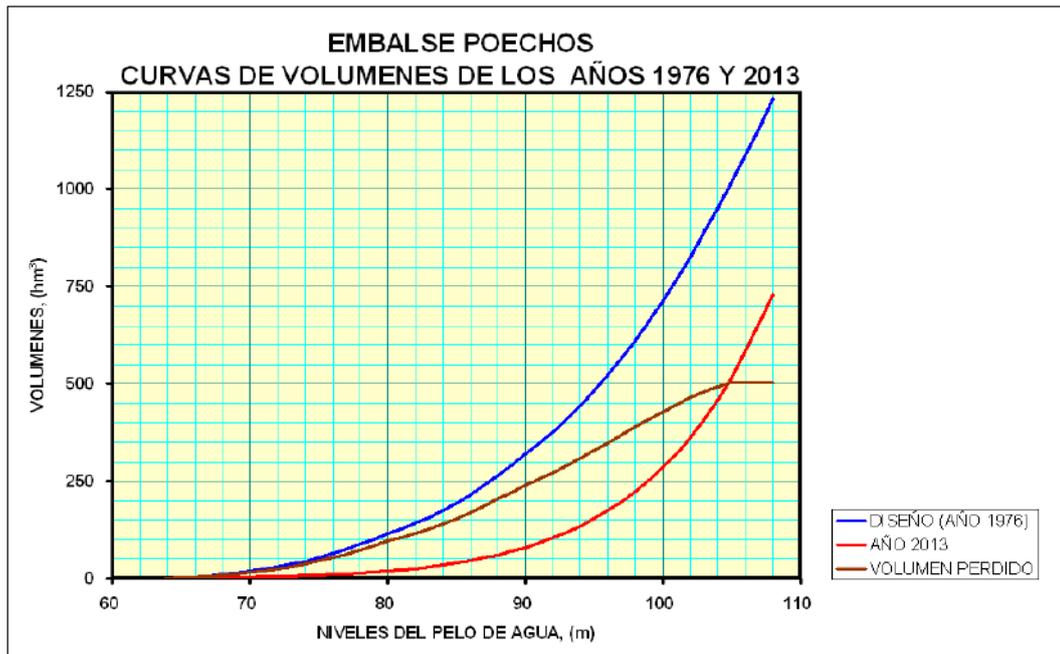


Ilustración 1-12 Volumen de reservorio del año 1976 vs año 2013.

Fuente: (Miloradovic, 2015).

Capítulo II

Base de datos hidrometeorológica

En este capítulo se realizará una descripción de la base de datos que se utilizará en la presente tesis, la clasificación de los años hidrológicos, una descripción de la ocurrencia del Niño Costero 2017 y finalmente, el análisis de las variables de estudio de manera individual. La evaluación de todos los apartados mencionados es importante debido a que son una muestra directa del comportamiento hídrico observado.

2.1 Descripción de la base de datos

La base de datos que se elaborará es producto de la compilación ordenada de datos hidrometeorológicos entre los años hidrológicos 2004-2005 al 2016-2017, específicamente en el periodo de septiembre 2004 hasta agosto 2017, como lo son los registros de caudales, precipitaciones, evaporación, volúmenes, cotas de embalse, etc.; tomados de los Informes diarios del estado hidrometeorológico proporcionados por el PECHP.

La importancia de una base de datos hidrometeorológica no sólo está en facilitar el registro de gran cantidad de datos sino también el acceso a los mismos, con lo cual se podrá lograr la ejecución de un estudio hidrológico más exhaustivo y preciso, y al mismo tiempo, proporcionará las herramientas para mejorar la operación del sistema del PECHP tanto en la actualidad como en años posteriores.

2.1.1 Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas del PECHP

El PECHP cuenta con diferentes estaciones y estructuras hidráulicas a lo largo de todo su sistema entre los valles del Chira y Piura, donde se ejecutan las mediciones de caudales, precipitaciones, niveles de agua, volúmenes, incremento de volúmenes y evaporación dependiendo de la estructura hidráulica o cuenca donde se esté realizando el control. En la Ilustración 2-1 se muestra los mapas con la ubicación geográfica de todas las estaciones donde se ejecuta las mediciones respectivas a lo largo del sistema del PECHP.

Se extrajeron de la base de datos del PECHP los registros provenientes de las estaciones de medición dentro del tramo de estudio. En la Tabla 2-1 se muestra la ubicación de las estaciones a considerar donde se realiza la medición hidrométrica y además, se cuenta con pluviómetros para el registro de precipitaciones.

Tabla 2-1 Ubicación de estaciones hidrométricas de estudio.

| Estructura | Estación | Corriente | Localización UTM | | Periodo de Registro |
|--------------------------|-----------------------|-----------|------------------|----------|---------------------|
| | | | Latitud | Longitud | |
| Reservorio Poechos | R. Chira - Aliviadero | Chira | 9482321.4 | 552924.1 | 2004 - 2017 |
| | R. Chira - Túnel | Chira | 9482213.0 | 552633.0 | 2004 - 2017 |
| Presa Derivadora Sullana | R. Chira - Aliviadero | Chira | 9458686.0 | 532782.0 | 2004 - 2017 |
| | Canal Norte | Chira | 9459057.0 | 532773.0 | 2004 - 2017 |

Fuente: (Google Earth, 2016).

Como se mencionó líneas arriba, en cuanto a los caudales de salida del reservorio de Poechos hacia el río Chira, se toman los datos correspondientes a dos estaciones del PECHP: el aliviadero de compuertas y la salida de fondo, o también llamada túnel de fondo. La primera, nos muestra los caudales de salida por el aliviadero de compuertas que regula las aguas excedentes en épocas de avenidas; y la segunda, los caudales de salida del túnel que regresan al río Chira como caudal ecológico. La suma de los datos de ambas estaciones nos proporciona el total de caudal de salida que regresaría al cauce del río Chira.

Por otro lado, los caudales de entrada a la presa derivadora de Sullana se definirán tomando en cuenta los datos correspondientes a dos estaciones del PECHP: el aliviadero de compuertas y el canal Norte. La primera nos muestra los caudales de salida por el aliviadero de ocho compuertas que regula las aguas del río Chira; y la segunda, los caudales de salida hacia el canal Norte. La suma de los datos de ambas estaciones nos da el total de caudal de salidas de la presa derivadora de Sullana, el cual sería igual al caudal que llega a la presa derivadora de Sullana a través del río Chira debido a que no existe un embalse significativo.

2.1.2 Informe diario del estado hidrometeorológico

El Informe diario del estado hidrometeorológico, o también llamado parte diario, es un resumen de los registros diarios tomados de las estaciones instaladas en diferentes puntos estratégicos del PECHP. Principalmente, contiene los valores diarios de las entradas y salidas de caudales en las diferentes estructuras hidráulicas que el PECHP posee; así como las lecturas de las precipitaciones diarias que se presentan y registran en las estaciones del proyecto.

Dichos partes diarios son elaborados por el área de Dirección de Operación y Mantenimiento; específicamente por el sub área de División de Hidrometeorología perteneciente al PECHP. En la Ilustración 2-2, se presentará un ejemplo del informe diario del estado hidrometeorológico correspondiente al día 30 de abril del 2015; donde se apreciará la organización de los datos.

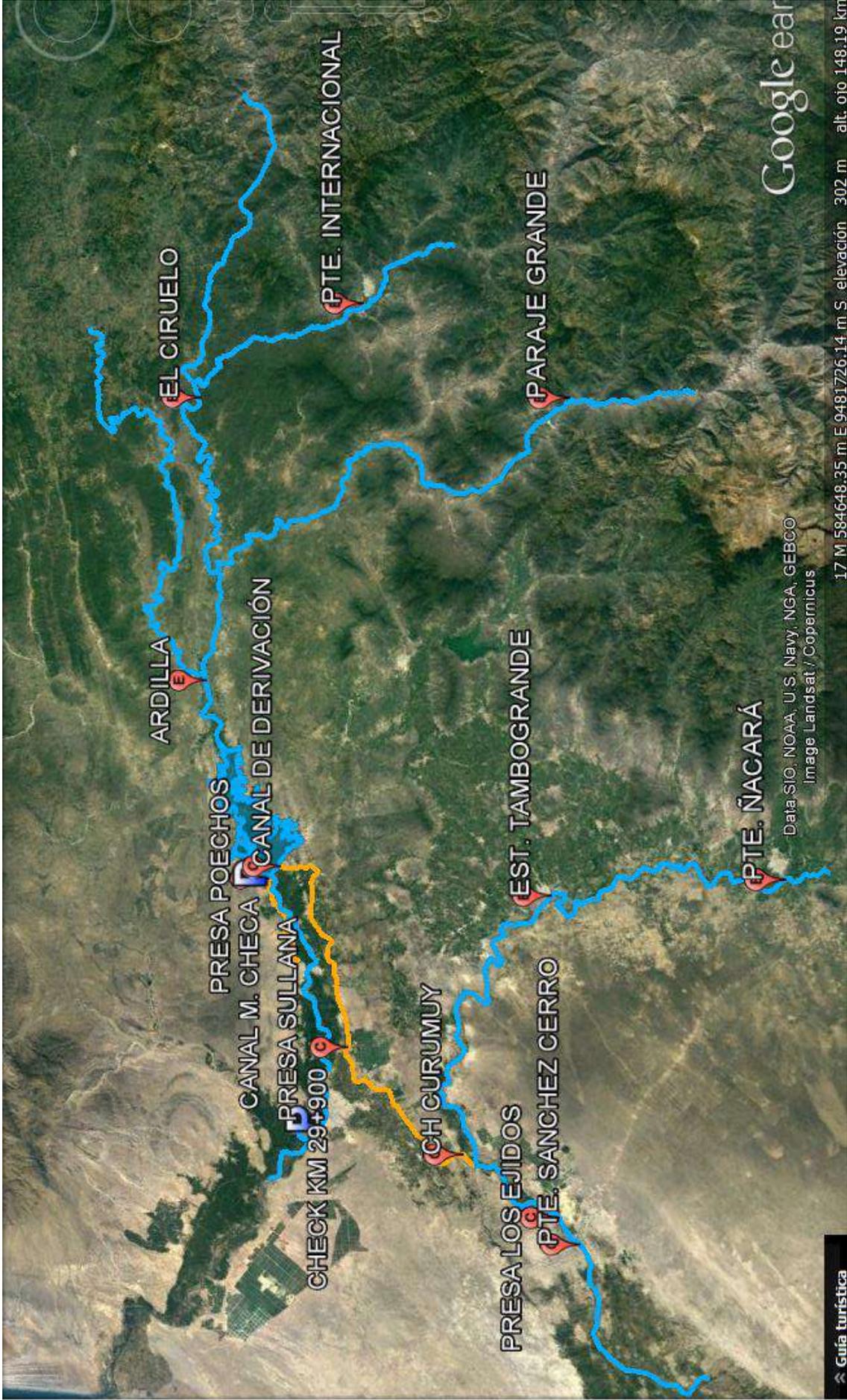


Ilustración 2-1 Ubicación geográfica de estaciones del PECHP – Río Chira y Piura.

Fuente: (Google Earth, 2016).

El parte diario cuenta con 06 columnas en las que se especifica de izquierda a derecha:

- La cuenca o estructura hidráulica donde se está registrando los datos.
- La estación de la cual se toman los datos diarios.
- Los datos que se registran a las 07:00 hrs del día.
- El caudal promedio en las 24 hrs previas. Dicho promedio se hace entre las 7 am del día anterior hasta las 7 am del mismo día. Por ejemplo, en el caso del día 30 abril del 2015, el promedio se hará entre los caudales registrados cada hora entre las 7 am del día 29/04/2015 hasta las 7 am del día 30/04/2015.
- Los datos máximos que se registraron durante las 24 hrs previas. El máximo durante las 24 hrs se medirá en el mismo rango que se hace el promedio en las 24 hrs.
- La lectura de precipitación en las 24 hrs del día. La medición de las precipitaciones se realizará también en el mismo rango que se hace el promedio en las 24 hrs.

Por otro lado, en las filas se menciona el nombre de las diferentes cuencas y estaciones con las que cuenta el PECH; y dependiendo de las características de cada estación, se registrarán diferentes parámetros: en el caso de los ríos, se registra las lecturas de caudales y precipitaciones; en el caso del reservorio Poechos, los caudales de entrada y salida, las cotas de embalse, los volúmenes, incrementos de volúmenes y precipitaciones; y finalmente, en el caso de las estructuras hidráulicas restantes, los caudales de salida y precipitaciones.

2.2 Clasificación de los años hidrológicos

En la clasificación de los años hidrológicos estudiados, periodo de septiembre 2004 – agosto 2017, se ha tomado como criterio las escorrentías anuales en el río Chira en la entrada al reservorio Poechos, contando con un registro histórico desde el año 1937 hasta la actualidad. Las escorrentías anuales mencionadas se muestran en el Anexo B 4 de la presente tesis.

Cabe mencionar que, en dicho registro histórico, se presentan eventos extraordinarios como son los Fenómenos El Niño extraordinarios de los años 1983 y 1998 los cuales ejercen una gran influencia en la clasificación.

Los volúmenes anuales de los 80 años registrados permitirán establecer los rangos de clasificación para el caso del río Chira. Durante el año hidrológico, los volúmenes en época de avenidas son los que principalmente definirán la clasificación del año en estudio, debido a que en esa época se presentan los meses más lluviosos, enero-abril, y por lo tanto, con mayor volumen hídrico. Mientras, que los volúmenes que se presentan en épocas de estiaje, setiembre-diciembre y mayo-agosto, no son tan significativos para la clasificación, sin embargo, representan un aporte y es necesario incluirlos en el volumen total anual.

En la Tabla 2-2 se muestra los rangos de clasificación de los años hidrológicos, teniendo como criterio el volumen anual que ingresa a Poechos. Dichos rangos se establecieron como años muy secos, secos, normales, húmedos, muy húmedos y extraordinarios.

| PROYECTO ESPECIAL CHIRA PIURA DIRECCION DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DIVISION DE HIDROMETEOROLOGIA INFORME DIARIO DEL ESTADO HIDROMETEOROLOGICO | | | | | |
|---|--|--------------|--------------------|------------------|-----------------------|
| FECHA: 30-Abr-15 | | | HORA: 7:00 | | |
| CUENCA | ESTACION | 07:00Hrs | Promedio 24 Hrs | Máxima 24 Hrs | Precip (mm) 24 Hrs |
| RIO MACARA | PUENTE INTERNACIONAL(m ³ /s) | 44.0 | 48.83 | 57.0 | 0.0 |
| RIO CHIRA | EL CIRUELO (m ³ /s) | 148.0 | 164.42 | 176.0 | 0.0 |
| | ARDILLA (m ³ /s) | | 277.01 | | 0.0 |
| RIO QUIROZ | PARAJE GRANDE (m ³ /s) | 87.0 | 89.66 | 96.0 | 0.0 |
| RESERVORIO POECHOS | ENTRADA (m³/s) | | 277.01 | | |
| | COTA REPRESA (msnm) | 103.00 | | 103.00 | |
| | VOLUMEN: MMC. (NOTA) | 405.6 | | 405.6 | |
| | INCREMENTO VOL.: MMC. | 0.0 | 0.5 | 0.5 | |
| SALIDA DE | Río Chira - Aliviadero (1) | 100.00 | 152.08 | 250.00 | 0.0 |
| | Río Chira - Túnel (2) | 27.50 | 27.50 | 27.50 | |
| | TOTAL RIO CHIRA (1+2) (m³/s) | 127.5 | 179.6 | 277.5 | |
| | C. MIGUEL CHECA (m ³ /s) | 17.50 | 17.50 | 17.50 | |
| | C. DERIVACION (m ³ /s) | 70.0 | 70.00 | 70.0 | |
| | C. HUAYPIRA (m ³ /s) | 0.56 | 0.56 | 0.56 | |
| RESERVORIO | EVAPORACION (m ³ /s) | | 3.63 | | |
| | TOTAL DE SALIDA (m³/s) | | 271.27 | | |
| PUNTOS DE CTROL CD | CHECK (KM 29+900) (m ³ /s) | 46.30 | 46.30 | 46.30 | 0.0 |
| | CURUMUY (m ³ /s) | | | | |
| PRESA SULLANA | COTA EMBALSE (msnm) | 36.978 | | 36.999 | 0.0 |
| | RIO CHIRA (Sullana) (m ³ /s) | 150.0 | 249.38 | 400.0 | |
| | CANAL NORTE (m ³ /s) | 22.2 | 22.20 | | |
| RIO PIURA | PTE. ÑACARA (m ³ /s) | 36.0 | 37.92 | 40.0 | 0.0 |
| | TAMBOGRANDE (m ³ /s) | 42.7 | 46.31 | 49.0 | 0.0 |
| | "EL PAPAYO" (m ³ /s) | | | | |
| PRESA EJIDOS | COTA EMBALSE (msnm) | 30.60 | | 30.64 | 0.0 |
| | PTE. SANCHEZ CERRO (m ³ /s) | 27.0 | 35.16 | 42.0 | Cpto= 0.0 |
| | CANAL PRINCIPAL (m ³ /s) | 40.0 | 40.00 | | |

Ilustración 2-2 Parte diario 30 de abril del 2015.

Fuente: (PECHP, 2017).

Tabla 2-2 Rangos de clasificación de años hidrológicos.

| MMC anuales | Tipo |
|--------------|----------------|
| M<1200 | Muy seco |
| 1200<M<1800 | Seco |
| 1800<M<3000 | Normal |
| 3000<M<6000 | Húmedo |
| 6000<M<10000 | Muy húmedo |
| M>10000 | Extraordinario |

Fuente: (Universidad de Piura, 2015).

Los años hidrológicos en el periodo de estudio, 2004-2017, se clasificaron de la siguiente manera:

- 06 años se definieron como normales y corresponden a los años 2004-05, 2006-07, 2009-10, 2010-11, 2012-13 y 2013-14.
- 03 años se definieron como húmedos y corresponden a los años 2005-06, 2014-15 y 2015-16.
- 03 años se definieron como muy húmedos y corresponden a los años 2007-08, 2008-09, 2011-12 y 2016-2017.
- 01 año se definió como extraordinario debido a la ocurrencia el Niño Costero 2017 y corresponde al año 2016-2017.

En la Tabla 2-3 se observa la clasificación de los años hidrológicos estudiados y los volúmenes hídricos anuales los cuales se han tomado como criterio para definir la caracterización de cada año.

En cuanto a los años hidrológicos normales, el volumen anual oscila entre 2065 MMC y 2854 MMC; los húmedos, entre 3699 MMC y 4334 MMC; los años muy húmedos, entre 7042 MMC y 8759 MMC; y finalmente, el año extraordinario en 11 326 MMC.

La finalidad de clasificar los años hidrológicos es conocer tanto el comportamiento hidrológico, así como, la disponibilidad de masa hídrica con la que se contó durante el periodo en estudio. Asimismo, relacionar dicho comportamiento con los caudales de salida y entrada disponibles en el río Chira tanto en el reservorio Poechos como en la presa de Sullana respectivamente.

Tabla 2-3 Volúmenes anuales de años hidrológicos periodo 2004-2017.

| AÑO | TOTAL ANUAL (MMC) | TIPO |
|------------|--------------------------|----------------|
| 2004/05 | 2390 | Normal |
| 2005/06 | 4334 | Húmedo |
| 2006/07 | 2065 | Normal |
| 2007/08 | 8759 | Muy húmedo |
| 2008/09 | 7042 | Muy húmedo |
| 2009/10 | 2854 | Normal |
| 2010/11 | 2459 | Normal |
| 2011/12 | 8693 | Muy húmedo |
| 2012/13 | 2114 | Normal |
| 2013/14 | 2065 | Normal |
| 2014/15 | 4256 | Húmedo |
| 2015/16 | 3699 | Húmedo |
| 2016/17 | 11 326 | Extraordinario |

Fuente: (Universidad de Piura, 2015). *Elaboración:* Elaboración propia.

En el año 2016-2017 se presenta un volumen de 11 326 MMC, lo que refleja la ocurrencia de El Niño Costero 2017 donde se alcanzó caudales muy altos durante la época de avenidas, colocándose en la categoría de años extraordinarios.

Cada año hidrológico está conformado por 12 meses, empezando en el mes de setiembre y finalizando en el mes de agosto del año siguiente. Asimismo, el año hidrológico puede subdividirse en 3 cuatrimestres: el primero, en épocas de estiaje, entre los meses de setiembre hasta diciembre; el segundo, en épocas de avenidas, entre los meses de enero hasta abril; y finalmente, nuevamente en época de estiaje, corresponde al mes de mayo hasta agosto.

Al igual que los años hidrológicos, los cuatrimestres se han clasificado en muy secos, secos, normales, húmedos y muy húmedos. En la Tabla 2-4 se muestra los rangos que se han establecido para la clasificación de los cuatrimestres en el caso de río Chira; debido a que, dependiendo de las condiciones y características de cada cuenca, los rangos pueden variar.

Tabla 2-4 Rangos de clasificación de los tres cuatrimestres de los años hidrológicos del periodo 2004-2017.

| Tipo | I CM | II CM | III CM |
|----------------|-------------|----------------|---------------|
| Muy seco | M<200 | M<900 | M<400 |
| Seco | 200 <M< 250 | 900 <M< 1200 | 400 <M< 500 |
| Normal | 250 <M< 300 | 1200 <M< 2000 | 500 <M< 700 |
| Húmedo | 300 <M< 400 | 2000 <M< 4000 | 700 <M< 1000 |
| Muy húmedo | 400 <M< 700 | 4000 <M< 10000 | 1000 <M< 2000 |
| Extraordinario | M>700 | M>10000 | M> 2000 |

Fuente: (Universidad de Piura, 2015).

En la Tabla 2-5 se muestra los volúmenes por cuatrimestre correspondientes a los diferentes años en evaluación.

Tabla 2-5 Volúmenes por cuatrimestre de los años hidrológicos periodo 2004-2017.

| Años | I CM | II CM | III CM | Total |
|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Set - Dic | Ene - Abr | May - Ago | Masa (MMC) |
| 2004 -2005 | 309 | 1619 | 461 | 2390 |
| 2005 -2006 | 221 | 3533 | 581 | 4334 |
| 2006 -2007 | 308 | 1135 | 622 | 2065 |
| 2007 - 2008 | 369 | 6830 | 1561 | 8759 |
| 2008 - 2009 | 477 | 5204 | 1361 | 7042 |
| 2009 - 2010 | 418 | 1711 | 726 | 2854 |
| 2010 - 2011 | 221 | 1484 | 754 | 2459 |
| 2011 - 2012 | 470 | 7055 | 1169 | 8693 |
| 2012 - 2013 | 475 | 1069 | 569 | 2114 |
| 2013 - 2014 | 256 | 940 | 869 | 2065 |
| 2014 - 2015 | 328 | 2860 | 1068 | 4256 |
| 2015 - 2016 | 372 | 2512 | 815 | 3699 |
| 2016-2017 | 205 | 9074 | 2047 | 11 326 |

Fuente: (Universidad de Piura, 2015). *Elaboración propia.*

Por lo que se refiere a los años normales, se observa que los volúmenes presentados entre los meses de septiembre y diciembre han variado entre 221 MMC y 475 MMC, entre los meses de enero y abril han estado entre 940 MMC y 1720 MMC, y finalmente, entre los meses mayo y agosto 460 MMC y 870 MMC.

Existen años como 2006-2007, 2012-2013 y 2013-2014 que presentan segundos cuatrimestres secos (Tabla 2-5) pero que se complementaron con los otros dos cuatrimestres, clasificados como normales, húmedos, muy húmedos y permitieron que el año hidrológico total llegara a ser definido como normal (Tabla 2-3).

En cuanto a los años húmedos, se observa que los volúmenes que se presentan entre los meses de septiembre y diciembre varían entre 221 MMC y 372 MMC, entre los meses de enero y abril varían entre 2512 MMC y 3533 MMC, y finalmente, entre los meses mayo y agosto 581 MMC y 1068 MMC. El año 2005-2006 empieza con un volumen clasificado como seco y muy parecido a los que se presentan en un año normal; sin embargo, en el segundo cuatrimestre se presenta el mayor volumen entre los tres años húmedos identificados; y junto al tercer cuatrimestre se complementan hasta llegar a un volumen total mayor a 3000 MMC característico de un año húmedo.

En lo que se refiere al año 2016-17, año extraordinario, se presentó una época de sequía entre los meses de setiembre y diciembre con un volumen acumulado de 205 MMC, comportamiento poco característico de un año muy húmedo y que sólo se había presentado en el año 1940-1941, según registro histórico. Posteriormente, se dio un cambio significativo con la ocurrencia del Niño Costero 2017 entre los meses de enero y abril, al presentarse escorrentías muy altas, por lo que se llegó a un volumen cuatrimestral de 9074 MMC, el cual puede ser calificado como muy húmedo, así como, entre los meses de mayo a agosto donde se llegó a un volumen cuatrimestral de 2047 MMC, clasificado como extraordinario, al igual que el año completo.

2.3 El Niño Costero 2017

En primer lugar, es importante aclarar que existe diferencia entre el Niño Costero y el Fenómeno El Niño global, a pesar de que su manifestación a nivel local es similar. Si bien ambos se producen por el calentamiento anómalo del mar, el Niño Costero no es producido por las ondas Kelvin, u ondas calientes, de las costas del Pacífico oeste y que tienen un alcance hasta el Pacífico central como ocurre con el Fenómeno El Niño; sino por un evento meteorológico estrictamente local, frente a las costas de Perú y Ecuador (Tarabochia, 2017). En la Ilustración 2-3 se muestra la diferencia del calentamiento del mar entre la ocurrencia del Fenómeno el Niño y el Niño Costero durante los meses de febrero y abril.

A diferencia del Fenómeno El Niño global, no existe hasta la fecha un estudio exhaustivo de la ocurrencia del Niño Costero puesto que hasta la fecha sólo se ha presentado un evento el año 1925 con varias similitudes con El Niño Costero 2017, asimismo, su predicción no puede ser tan anticipada como se da en el caso del Fenómeno El Niño, por ser un evento local (Takahashi, 2017).

El Niño Costero 2017 trajo consigo lluvias atípicas producto del repentino calentamiento del mar frente a las costas de Perú, Chile y Ecuador durante el mes de enero 2017, causando desbordes, inundaciones y aluviones que afectan a varias localidades. Enfocándonos en la región Piura, este calentamiento hizo que se pasara de una severa sequía entre noviembre y enero, a un periodo de lluvias intensas. En las primeras semanas de marzo 2017, las anomalías de la temperatura superficial del mar (ASTM) aumentaron hasta 6 °C, con temperatura del mar frente a Paita, entre los 28 y 29 grados (Rodríguez, 2017).

El calentamiento del mar se mantuvo hasta la última semana de marzo 2017. A partir del mes de abril las anomalías descendieron a 0.5 y 1 °C y se han mantenido presentando valores en el rango neutro. Conjuntamente, la intensidad y ocurrencia de precipitaciones en la costa de Piura fueron reduciéndose durante el mes de abril, de acuerdo a la estacionalidad de la temporada de lluvias (Rodríguez, 2017).

En la Ilustración 2-4 se muestra un contraste de las ASTM que se presentaron en la última semana de marzo y las primeras semanas de abril 2017 donde se refleja la disminución de temperatura que se ha venido experimentando desde fines del mes de marzo.

Además, se puede afirmar que la magnitud del presente Niño Costero es menor a la de un Fenómeno El Niño al realizar un comparativo de las lluvias acumuladas respectivamente. Debido a las intensas pero cortas precipitaciones que se han presentado en este Niño costero 2017, se afectan en mayor grado a las cuencas pequeñas, entre ellas tenemos las cuencas urbanas y las cuencas rurales de quebradas y ríos menores a 3500 km², desde Tumbes hasta Lima, y por ello, ciudades y pueblos se han inundado (Farías, 2017).

En cuanto al impacto del Niño Costero en la región, se apreció que las intensas lluvias afectaron a la población y las ciudades que no cuentan con un correcto sistema de drenaje; por lo que las áreas pequeñas se vieron afectadas como si ocurriera el Fenómeno El Niño.

La presencia del FEN se hizo más notoria durante el mes de marzo cuando se experimentó el desborde del río Piura, debido por un lado a que las lluvias incrementaron su frecuencia, y especialmente el evento del 26 de marzo en que llovió inusualmente en una vasta área de la cuenca de manera simultánea y a que cambios antropogénicos en el cauce del río Piura limitaron severamente su capacidad de conducción y su salida.

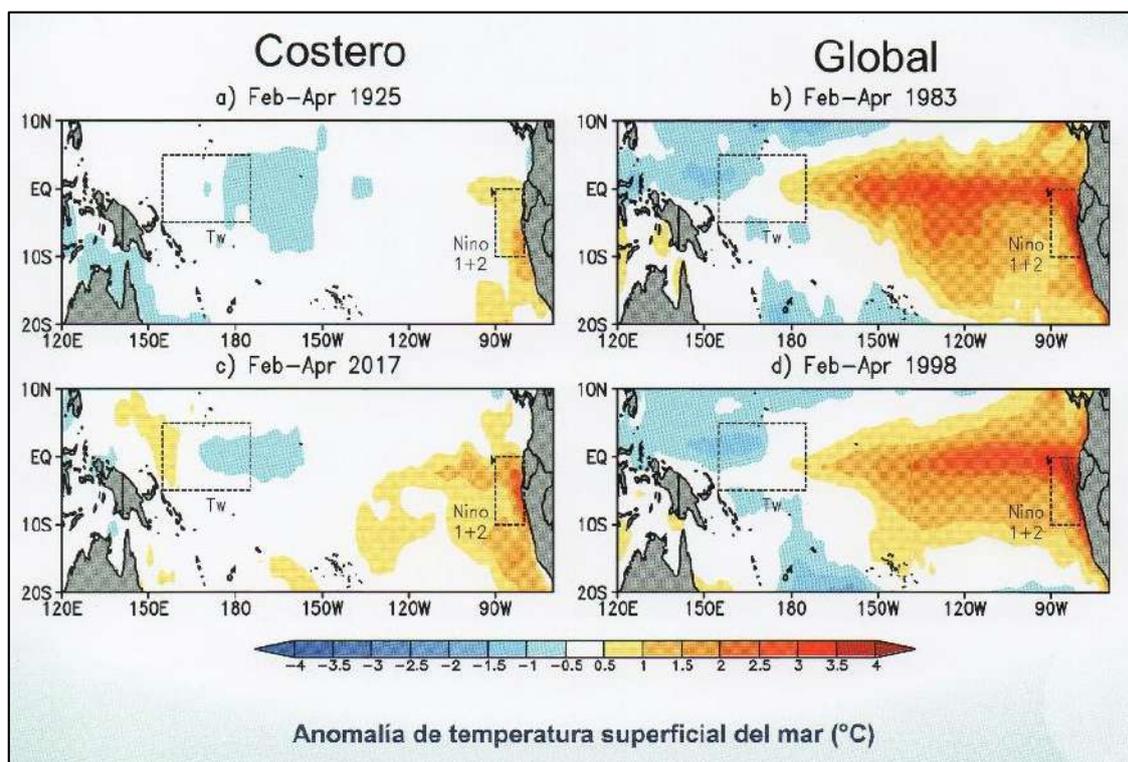


Ilustración 2-3 Anomalías de la TSM del Niño Costero vs Fenómeno El Niño, Febrero – Abril 2017.

Fuente: (Takahashi, 2017).

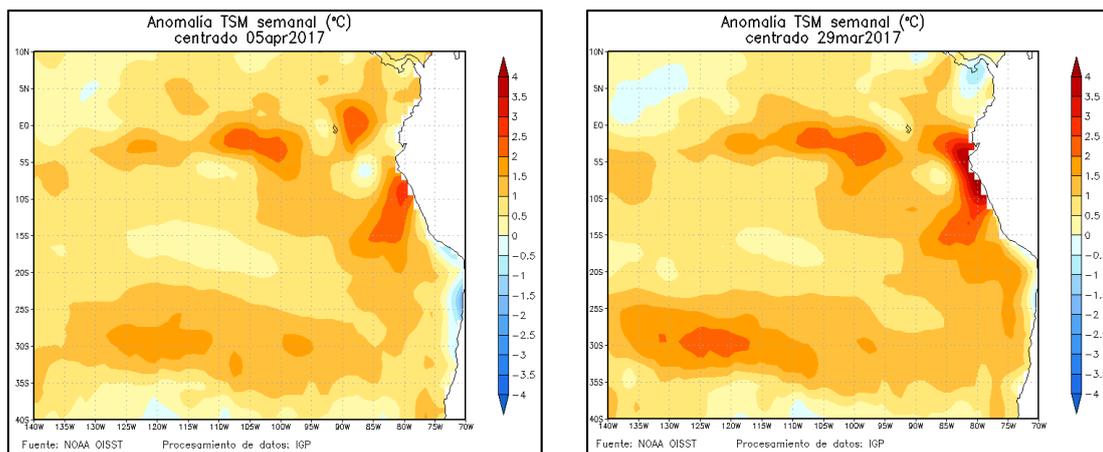


Ilustración 2-4 Anomalías de la TSM en la última semana de marzo y primera semana de abril 2017.

Fuente: <http://www.met.igp.gob.pe>

2.4 Variables de estudio

Con la finalidad de lograr un correcto análisis de consistencia de los caudales del río Chira que se presentan en el tramo estudiado, es importante conocer todas las variables que influyen en el comportamiento hídrico de la intercuenca asociada durante el periodo de evaluación (2004 al 2017). Para tal fin se ha establecido un volumen de control que abarca el tramo del río Chira desde la presa Poechos a la presa Sullana, en donde la entrada al volumen de control es el caudal que sale desde la presa Poechos y la salida del volumen de control, los caudales de entrada a la presa Sullana (Ilustración 2-5).

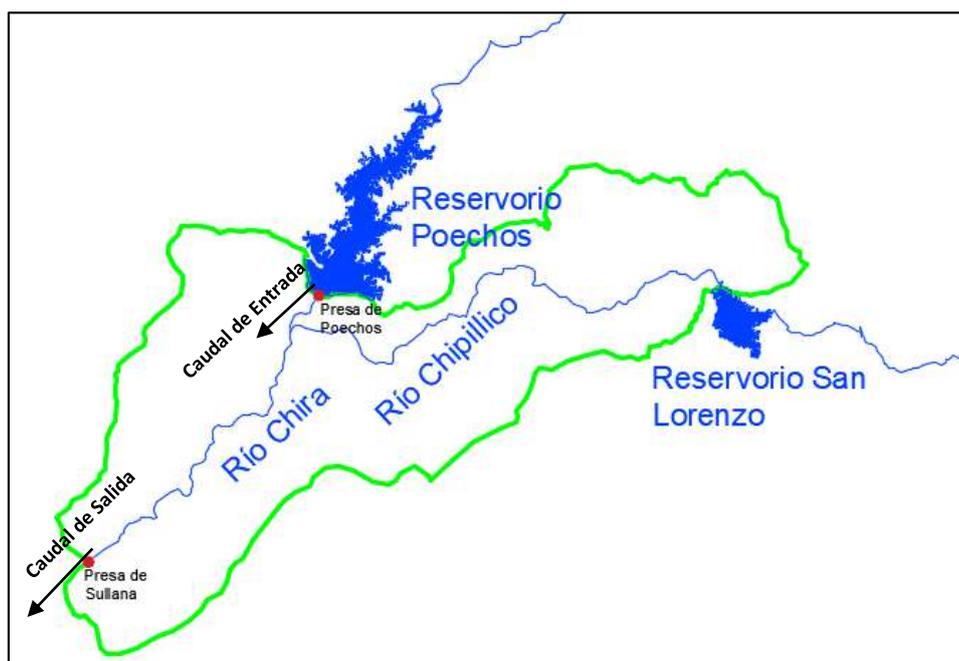


Ilustración 2-5 Esquema hídrico de la entrada y salida del volumen de control.

Fuente: Elaboración propia.

Se han identificado diferentes factores que pueden afectar la variación de los caudales de entrada hasta su salida; como son la evaporación, la infiltración, los consumos, las aguas de retorno de la agricultura, los afluentes, las precipitaciones, la captación para la planta de tratamiento de agua potable, la descarga de aguas de aguas residuales, etc.

Sin embargo, algunos de los factores mencionados tienen menor influencia que otros, llegando a ser no considerables. Por ejemplo, la infiltración no ejerce una gran influencia en los caudales del río Chira, puesto que ésta es de régimen perenne, y la variación en la infiltración que existe en las diferentes épocas del año tampoco es significativa.

Planteado lo anterior, se definieron siete variables que podrían ejercer una influencia significativa: los caudales de entrada desde la presa Poechos, los caudales de salida en la presa derivadora Sullana, la precipitación promedio, los consumos hídricos, la evaporación, los afluentes y las aguas residuales presentes en el tramo de estudio.

Se realizó una evaluación preliminar e individual de los caudales del río Chira en ambos extremos del tramo, y para ello, se contó con los registros de los caudales promedios diarios medidos tanto en la presa Poechos como en la presa Sullana durante el periodo de 2004 a 2017. En dicha evaluación se incluyó El Niño Costero 2017 como evento extraordinario.

Cabe resaltar que existen años hidrológicos donde no se cuenta con todos los datos disponibles. En el caso del año hidrológico 2012-2013, no se cuenta con los partes diarios de enero a abril.

2.4.1 Caudales de salida del reservorio Poechos

La presa Poechos suelta agua al cauce del río Chira a través de dos elementos: el aliviadero de compuertas y el túnel de salida de fondo.

Por lo tanto, los caudales de salida desde el reservorio Poechos al río Chira del tramo estudiado, resultan de la suma de los datos correspondientes a dos conceptos presentes en los partes diarios del PECHP: río Chira–Aliviadero y río Chira–Túnel (Ilustración 2-4). Dichos caudales representan los caudales principales de entrada al volumen de control, los cuales sufrirán variaciones en el tramo estudiado, y dependen directamente de la operación de Poechos, que considera factores como los caudales de entrada al reservorio, el volumen hídrico almacenado en el reservorio, la demanda de agua para los diferentes usos existentes, si es época de avenida o estiaje, etc. Es decir, al regularse el agua en Poechos y dependiendo de los factores mencionados se determinará la magnitud de los caudales que deberían retornar al río Chira a través del aliviadero de compuertas y la salida de fondo.

Cabe mencionar que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) es la entidad encargada de determinar el caudal ecológico que debe retornar al río Chira, aprobado a través de una resolución directoral, el cual actualmente es de 5 m³/s. Sin embargo, esto depende de los caudales de ingreso al reservorio; pues si se presenta un déficit en estos últimos, el ANA, como entidad a cargo, puede determinar que la magnitud de los caudales ecológicos sea menor o nula, si es necesario.

A continuación, en la Tabla 2-6 se muestra el resumen de los caudales soltados máximos, medios, mínimos, así como la desviación estándar de los caudales promedios diarios durante el periodo 2004-2017.

Tabla 2-6 Resumen de las características de los caudales de entrada desde Poechos (2004-2017).

| Caudales de Poechos | Diario (m ³ /s) | Semanal (m ³ /s) | Mensual (m ³ /s) | Anual (m ³ /s) |
|---------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Máximo | 2536.1 | 2008.4 | 1674.3 | 305.2 |
| Medio | 96.0 | 96.3 | 96.9 | 93.9 |
| Mínimo | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 12.7 |
| Desv. estándar | 287.8 | 266.0 | 232.1 | 97.1 |

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

Se aprecia que, a medida que la cantidad de datos analizados se van reduciendo y estos son promedios de los anteriores, desde caudales diarios a caudales anuales, la desviación estándar es menor; es decir, que la lejanía de los datos con respecto al valor medio o promedio disminuye también.

De la Ilustración 2-6 a la Ilustración 2-9 se muestra la variabilidad de los caudales soltados de Poechos al cauce durante el periodo de estudio, que también han sido dispuestos de manera semanal, mensual y anual.

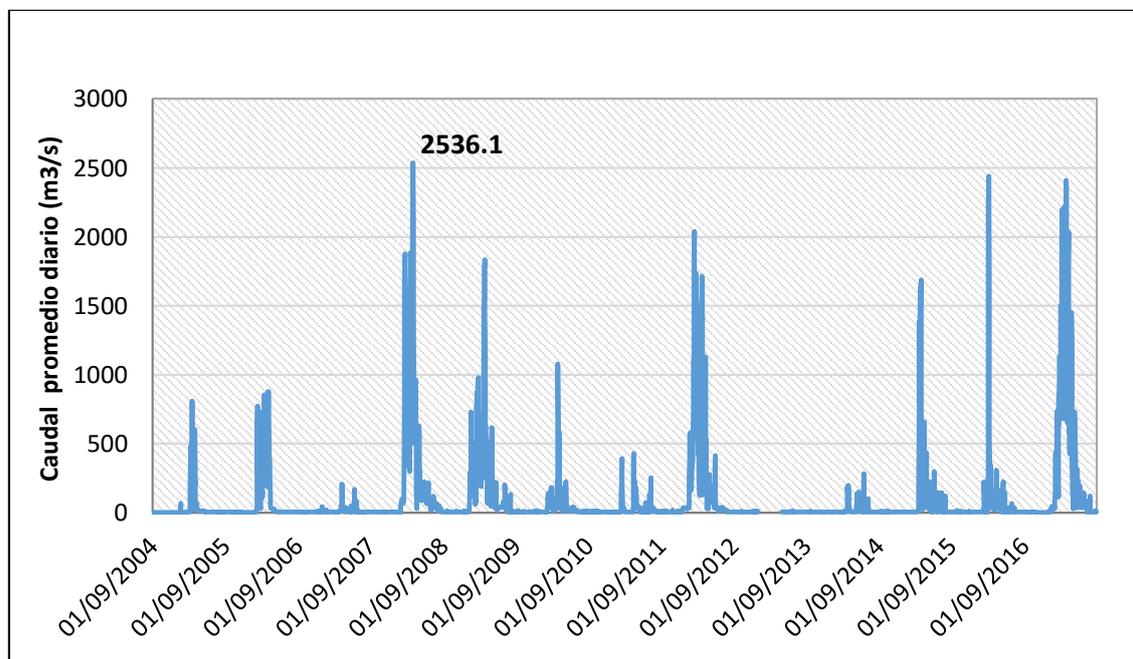


Ilustración 2-6 Caudales promedio diarios de entrada desde la presa Poechos.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración: Elaboración propia.

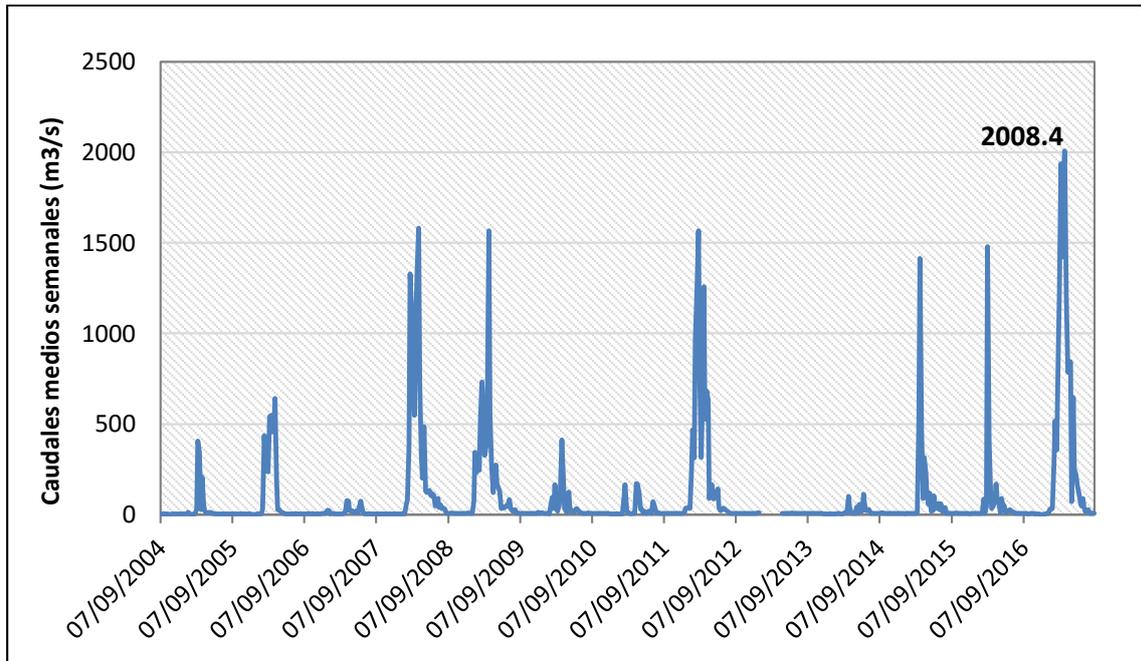


Ilustración 2-7 Caudales promedio semanales de entrada desde la presa Pochos.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración: Elaboración propia.

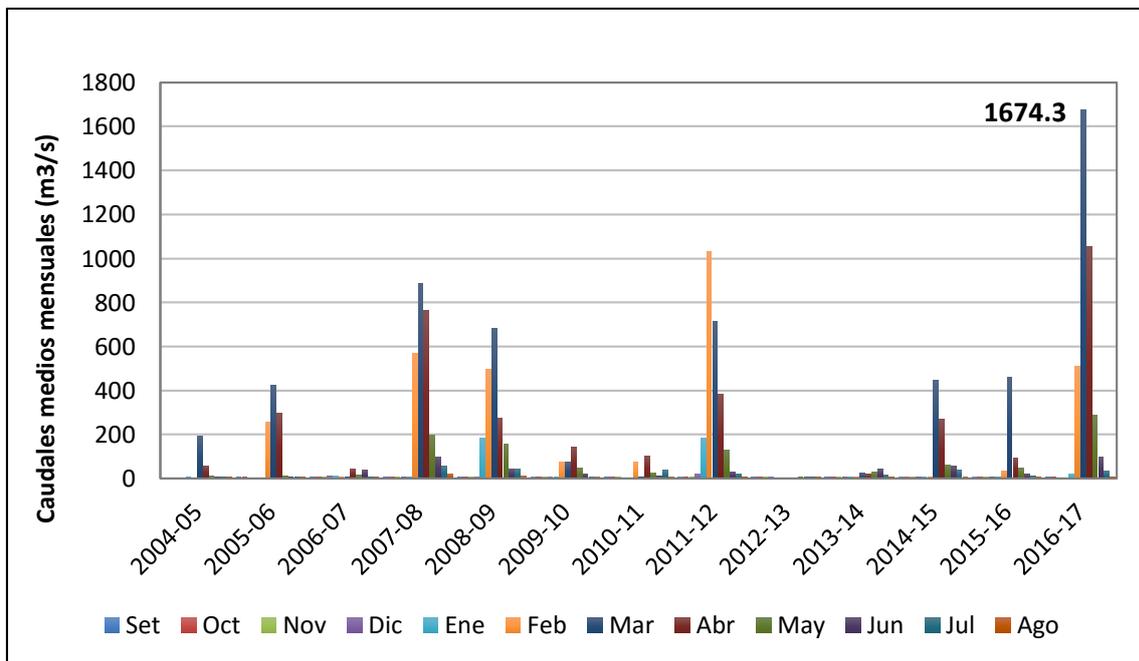


Ilustración 2-8 Caudales promedio mensuales de entrada desde la presa Pochos.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración: Elaboración propia.

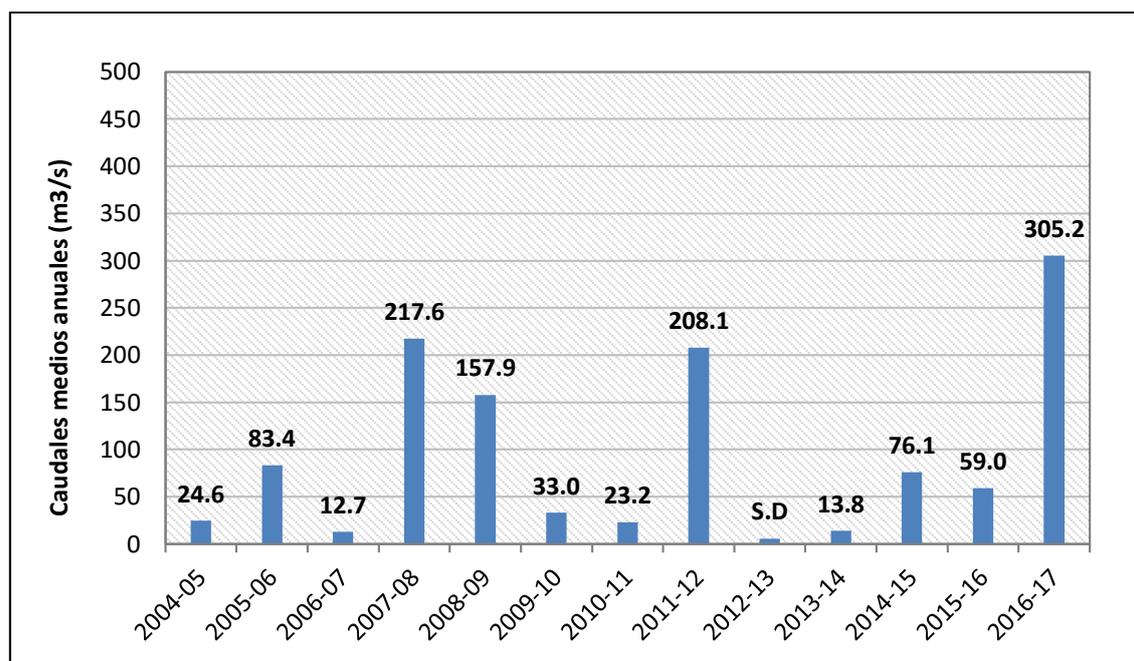


Ilustración 2-9 Caudales promedio anuales de entrada desde la presa Poechos.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración: Elaboración propia.

Según los registros graficados, se puede observar los siguientes resultados:

- El mayor caudal medio diario registrado fue de 2536.1 m³/s, registrado consecutivamente los días 02, 03 y 04 de abril de 2008, año muy húmedo, cuando se tuvo que evacuar 2500 m³/s por el aliviadero de compuertas y la diferencia por la salida de fondo. Por su parte, el caudal mínimo, fue de 0.0 m³/s; registrado durante 02 días de noviembre del 2005, 04 días entre setiembre y octubre del 2006 y finalmente en 21 días entre setiembre, noviembre y diciembre del 2016, donde se tuvo la peor sequía en los últimos años.
- El mayor caudal medio semanal registrado fue de 2008.4 m³/s, en el mes de marzo del 2017, año extraordinario. Por otro lado, el menor caudal registrado fue de 0.0 m³/s, registrado en los meses de noviembre y diciembre del 2016, donde se reitera se experimentó épocas de sequía en el reservorio Poechos.
- El mayor caudal medio mensual registrado fue de 1674.3 m³/s, registrado en el mes de marzo del 2017. En cuanto al caudal mínimo registrado fue de 1.7 m³/s, registrado el mes de diciembre del 2005, así como en diciembre del 2016.
- El mayor caudal medio anual registrado fue de 305.2 m³/s, registrado en el año 2016-2017. Mientras que el caudal mínimo registrado fue de 12.7 m³/s, registrado en el año hidrológico 2006-2007; dado que el año 2012-2013 no cuenta con la data de los meses enero hasta abril no puede ser considerado como valor mínimo.

En conclusión, el pico más alto de los caudales diarios desde la presa Poechos se presentó en el año hidrológico 2007-2008, clasificado como año muy húmedo, mientras que los picos más altos semanal, mensual y anual de los caudales de entrada se presentaron en el año muy húmedo 2016-2017, todos los casos se dieron durante épocas de avenidas. Esto

último se debe a que, durante los meses de avenidas de febrero, marzo y abril del año 2017, se presentaron caudales altos y constantes, lo que generó que los promedios semanales, mensuales y anuales sean más altos durante el año 2017, en comparación con el año 2008, que presentó caudales altos, pero menos constantes durante la época mencionada.

Por otro lado, los picos más bajos se presentaron en años normales, húmedos y muy húmedos, sin embargo, todos en épocas de estiaje entre setiembre y diciembre. Además, se observa que la gran cantidad de caudales nulos del año 2016 reflejan la sequía que se experimentó principalmente en el mes de diciembre. Debido a los bajos caudales de entrada al reservorio, desde la estación Ardilla, y a la ausencia de caudales excedentes en el mismo, es que los caudales que se envían de regreso al río Chira llegan a ser nulos o por debajo del caudal ecológico de 5 m³/s en promedio. El mes de Noviembre de 2016 fue el mes más seco junto con Noviembre 1996 de los últimos 73 años.

2.4.2 Caudales de entrada a la presa derivadora de Sullana

Los caudales provenientes de la presa Poechos llegan a través del cauce del río Chira a la presa derivadora Sullana y al canal Norte, después de haber sufrido variabilidad en el transcurso del tramo de estudio. Por ello, los caudales de entrada a la presa derivadora de Sullana se definirán como la suma de los datos correspondientes a dos conceptos presentes en los partes diarios del PECHP: río Chira (Sullana) y Canal Norte. Dichos caudales representarán los caudales de salida del volumen de control del tramo estudiado (Ilustración 2-4).

Los caudales que entran al tramo de estudio desde la presa Poechos hacia el río Chira, antes de llegar a la presa Sullana sufren variaciones que se deben a factores como precipitaciones, tomas de agua artesanales directamente del río Chira, afluentes como quebradas y ríos menores, aguas de retorno de uso piscícola y uso agrícola, evaporación, etc.

A continuación, en la Tabla 2-7 se muestra el resumen de los caudales máximos, medios, mínimos, así como la desviación estándar de los caudales promedios diarios que llegaron a la presa Sullana durante el periodo 2004-2017.

Tabla 2-7 Resumen de las características de los caudales de salida en Sullana.

| Caudales de Sullana | Diario (m ³ /s) | Semanal (m ³ /s) | Mensual (m ³ /s) | Anual (m ³ /s) |
|---------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Máximo | 2977.4 | 2298.2 | 1865.3 | 344.1 |
| Medio | 115.9 | 115.9 | 116.2 | 113.3 |
| Mínimo | 0.0 | 5.2 | 7.0 | 23.7 |
| Desv. estándar | 300.7 | 277.7 | 244.0 | 102.9 |

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

A medida que la cantidad de datos analizados se van reduciendo y son promediados, desde caudales diarios a caudales anuales, la desviación estándar es menor; es decir, que la lejanía de los datos con respecto al valor medio o promedio disminuye también.

De la Ilustración 2-10 a la Ilustración 2-13 se muestra se muestra la variabilidad de los caudales que llegan a la presa Sullana durante el periodo de estudio, que también han sido dispuestos de manera semanal, mensual y anual.

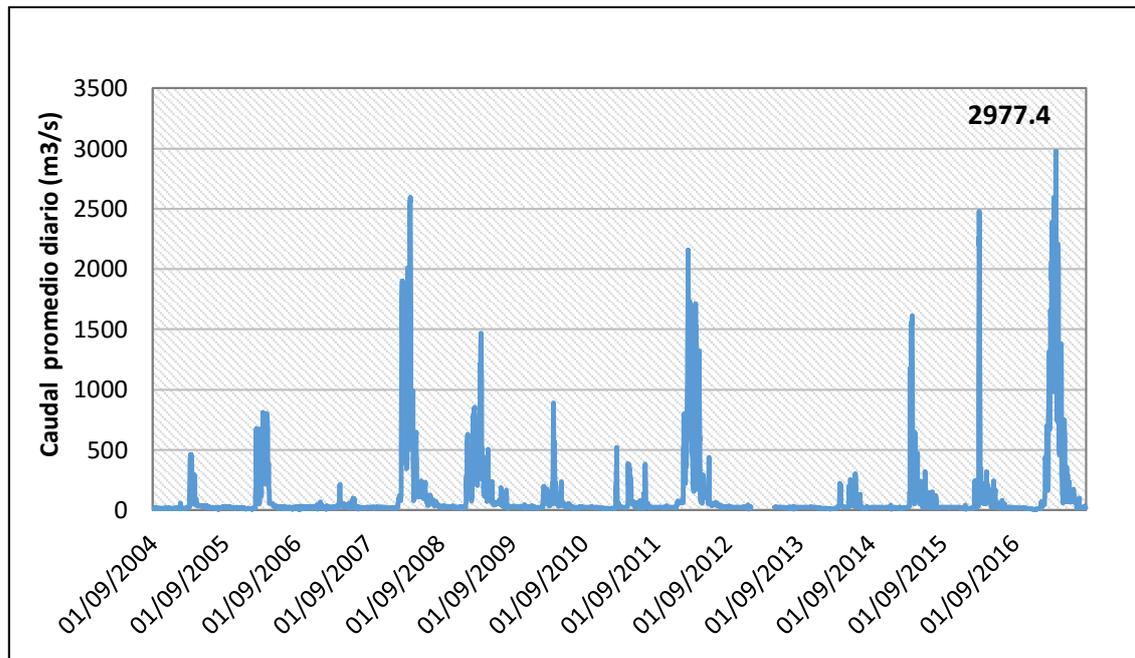


Ilustración 2-10 Caudales promedio diarios de salida desde la presa de Sullana.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración: Elaboración propia.

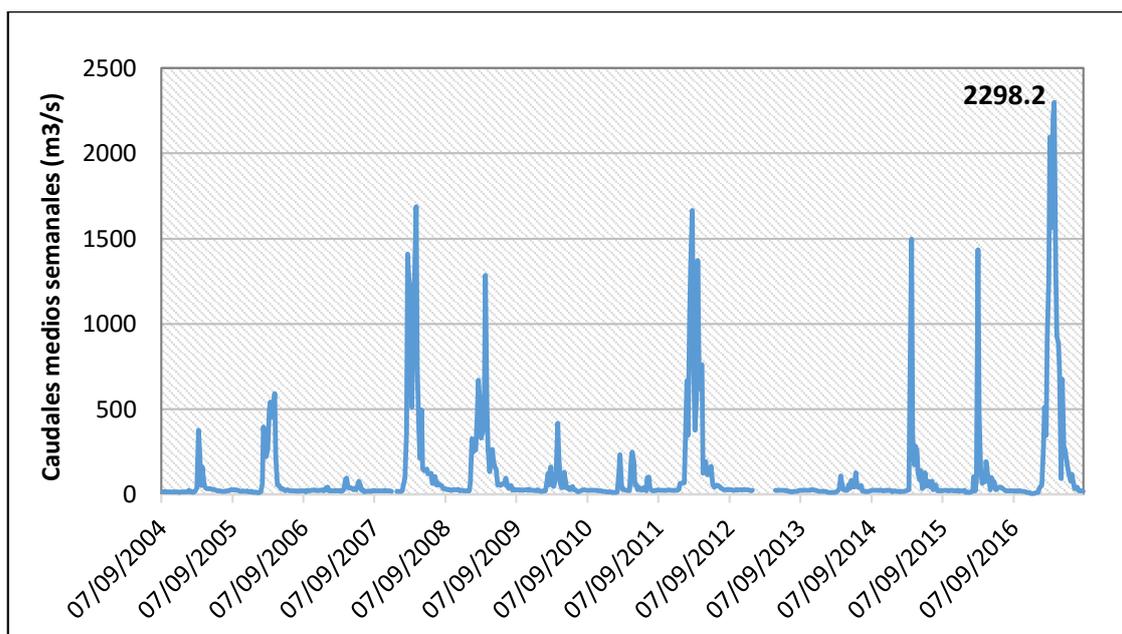


Ilustración 2-11 Caudales promedio semanales de salida desde la presa de Sullana.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración: Elaboración propia.

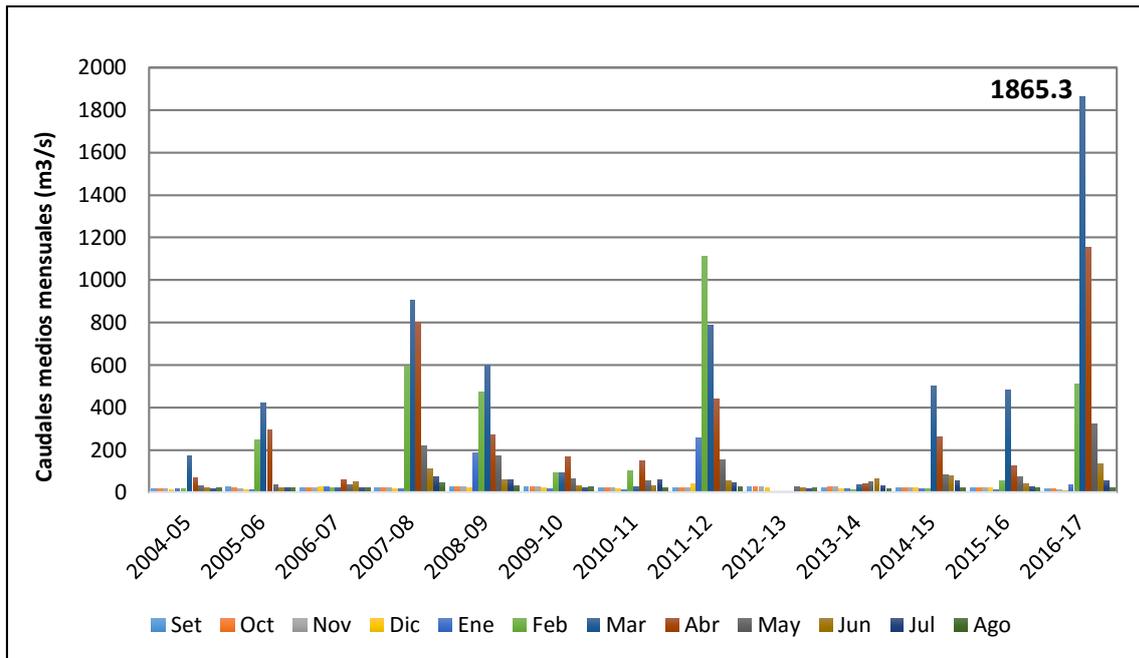


Ilustración 2-12 Caudales promedio mensuales de salida desde la presa de Sullana.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración: Elaboración propia.

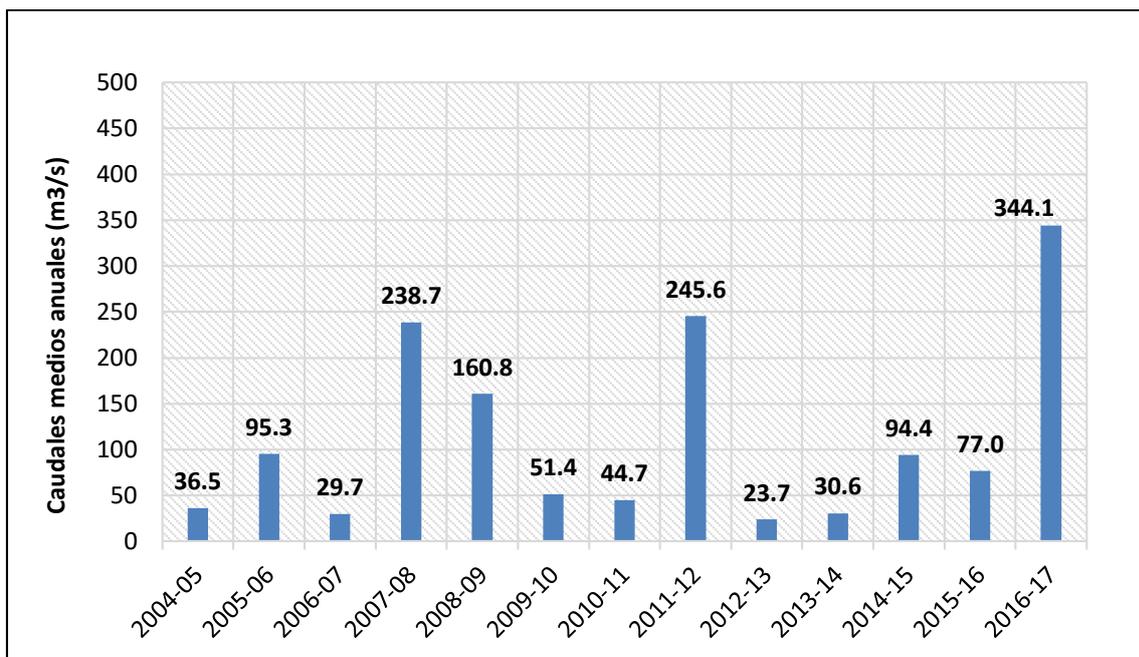


Ilustración 2-13 Caudales promedio anuales de salida desde la presa de Sullana.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración: Elaboración propia.

Según los registros graficados, se puede observar los siguientes resultados:

- El mayor caudal medio diario registrado fue de 2977.4 m³/s, registrado el día 31 de marzo del 2017. Mientras que el caudal mínimo, fue de 0.0 m³/s; registrado los días 18 de setiembre del 2006 y 14 de diciembre del 2016. Son dos casos puntuales, sin embargo, existen días con caudales muy bajos durante el mes de diciembre del 2016. Es así que al caudal diario máximo soltado en Poechos fue de 2400 m³/s, sin embargo, en Sullana se recibió un caudal de 2977.4 m³/s, esto debido a los aportes de quebradas, lluvias durante el Niño Costero 2017.
- El mayor caudal medio semanal registrado fue de 2298.2 m³/s, registrado en el mes de marzo del 2017. Por otro lado, el menor caudal registrado fue de 5.2 m³/s, registrado el mes de diciembre del 2016.
- El mayor caudal medio mensual registrado fue de 1865.3 m³/s, registrado en el mes de marzo del 2017. En cuanto al caudal mínimo registrado fue de 7.0 m³/s, registrado el mes de diciembre del 2017.
- El mayor caudal medio anual registrado fue de 344.1 m³/s, registrado en el año hidrológico 2016-2017. Mientras que el caudal mínimo registrado fue de 23.7 m³/s, registrado en el año hidrológico 2006-2007; dado que el año 2012-2013 no cuenta con la data de los meses enero hasta abril no puede ser considerado como valor mínimo.

En conclusión, los picos más altos diario, semanal, mensual y anual de los caudales de salida de la presa de Sullana se presentaron en el año 2016-2017, único año extraordinario del periodo de estudio, durante épocas de avenidas en el mes de marzo y donde además, se ha suscitado el Niño Costero 2017; mientras que los picos más bajos se presentaron en años tanto normales, 2006-2007, como muy húmedos, 2016-2017, donde estos últimos dependen de los aportes de factores adicionales a lo largo del tramo.

2.4.3 Precipitaciones

Se le llama precipitación al agua proveniente de la humedad atmosférica que cae a la superficie terrestre, principalmente en estado líquido como lluvia, o sólidos como nieve o granizo. (Marroquin, 2016).

El estudio de las precipitaciones es esencial dentro de cualquier estudio hidrológico para cuantificar los recursos hídricos, puesto que constituyen la principal entrada de agua a una cuenca. Además, es importante tener en cuenta que la lluvia es un fenómeno natural que es parte del ciclo del agua y que por lo tanto es vital su presencia para la vida de cualquier tipo.

A lo largo del sistema del PECHP se cuenta con 11 estaciones pluviométricas ubicadas en diferentes estructuras hidráulicas y estaciones de aforo. En la Tabla 2-8 se muestra un resumen de las estaciones pluviométricas con las que se cuenta según los partes diarios alcanzados por el PECHP.

Para la presente tesis se utilizan los registros pluviométricos de las estaciones del PECHP ubicadas en el reservorio Poechos, en la presa de Sullana, en la compuerta Check km 29+900 y en Paraje Grande. Asimismo, se considerará las estaciones de Mallares,

Lancones y Sausal de Culucán pertenecientes a SENAMHI cuyas características se pueden observar en la Tabla 2-9.

Tabla 2-8 Estaciones pluviométricas en el sistema hidráulico del PECHP.

| Estación | Cuenca | Coordenadas UTM | |
|--------------------|---------------------|-----------------|----------|
| | | Latitud | Longitud |
| Pte. Internacional | Río Macará | 9514960 | 615179 |
| El Ciruelo | Río Chira | 9524444 | 593952 |
| Ardilla | Río Chira | 9503620 | 567856 |
| Paraje Grande | Río Quiroz | 9488081 | 620533 |
| Reservorio Poechos | Río Chira | 9482370 | 552948 |
| Check km 29+900 | Canal de derivación | 9461897 | 542155 |
| CH Curumuy | Canal de derivación | 9443259 | 540796 |
| Presa de Sullana | Río Chira | 9458738 | 532774 |
| Pte. Ñacara | Río Piura | 9436222 | 592367 |
| Pte. Tambogrande | Río Piura | 9452823 | 575757 |
| Pte. Sánchez Cerro | Río Piura | 9426901 | 538551 |

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración: Elaboración propia.

Las seis estaciones seleccionadas permiten el análisis de la precipitación promedio en la intercuenca entre Poechos y Sullana, y así evaluar su influencia en los caudales pertenecientes al volumen de control en el tramo de estudio. Debido a que en la zona existe un clima templado, sólo se han presentado precipitaciones con gotas de agua líquida clasificadas como llovizna y lluvias. Cabe resaltar la importancia de implementar pluviógrafos, como sistema de medición, en las estructuras hidráulicas principales del sistema PECHP; esto con el fin de obtener registros más detallados de las precipitaciones y consecuentemente, una evaluación de las mismas más minuciosa y consistente.

Tabla 2-9 Características de las estaciones pluviométricas de SENAMHI.

| Estación | Tipo | Latitud (m) | Longitud (m) | Distrito | Provincia |
|-------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-----------|
| Mallares | Convencional | 9463879.91 | 529577.12 | Marcavelica | Sullana |
| Lancones | Convencional | 9495184.15 | 557280.70 | Lancones | Sullana |
| Sausal de Culucán | Convencional | 9474584.89 | 637751.49 | Lagunas | Ayabaca |

Fuente: (SENAMHI, 2017). Elaboración propia.

2.4.4 Evaporación

La evaporación es el proceso mediante el cual una cierta cantidad de agua cambia de estado líquido a vapor. Para el cálculo del balance hídrico superficial, se considera la evaporación la que se produce desde una superficie libre de agua como lagos, embalses y pantanos (Marroquin, 2016).

En la base de datos se cuenta con los registros de medición de la evaporación promedio diaria producida en el reservorio Poechos y que es publicada en los partes diarios alcanzados por el PECHP. Dicha evaporación se encuentra estrechamente relacionada con la cota promedio diaria en el reservorio Poechos, pues conociendo esta última se determina el término de evaporación.

El PECHP cuenta con unas tablas ya establecidas para cada mes, en las que se ingresa con la cota promedio diaria y se determina directamente el valor promedio diario de la evaporación. Dichas tablas han sido elaboradas con los promedios mensuales de evaporación que fueron calculados durante un periodo de tiempo de 23 años en la estación Chilaco, la cual estaba ubicada en el dique izquierdo de la presa Poechos con coordenadas latitud: 4°42'0.00"S y longitud: 80°30'0.00"O, y que actualmente se encuentra deshabilitada (Calle, 2016).

Conocidos los promedios mensuales para el tanque de evaporación de área conocida en la estación, y conocidas las áreas de los espejos de agua para las diferentes cotas en el reservorio, se hace una proporción y se calculan los volúmenes de evaporación, que después son transformados en caudales (Zapata, 2015).

En el análisis de consistencia de la presente tesis, la evaporación promedio diaria producida en el reservorio será considerada para estimar la del tramo de estudio, usando el área aproximada del espejo de agua del volumen de control extraída de Google Earth. Sin embargo, se espera que no sea un parámetro muy influyente en la inconsistencia a lo largo del año ya que no fluctúa ampliamente.

2.4.5 Afluentes

Se han identificado quebradas grandes que sólo se activan en épocas de avenidas como las quebradas Margarita, Chocán, San Francisco, Jahuay de Poechos y Santa Victoria, por la margen derecha; y la quebrada del Létera, por la margen izquierda; además, un río tributario menor que es el Chipillico, que aporta los excedentes del reservorio San Lorenzo al volumen de control a lo largo de tramo de estudio. Sin embargo, no se cuenta con registros de caudales de dichos afluentes, por lo que se resalta la importancia de registrar los caudales mencionados debido a su importancia de aporte hídrico.

2.4.6 Consumos

Según manifiesta el PECHP, no cuenta con compuertas de tomas de riego en el tramo de estudio. Todas las demandas de agua de uso poblacional, uso industrial, uso piscícola, uso energético y uso agrícola que se presentan a lo largo de dicho tramo y en sus sectores laterales, son distribuidas por los canales Daniel Escobar y Miguel Checa que parten del reservorio Poechos y el canal Norte que parte de la presa derivadora Sullana.

No se cuenta con un registro de caudales diarios que puedan estar siendo captados en el tramo de estudio de manera artesanal por los pobladores de la zona. Justamente la existencia de consumos clandestinos sería una de las causas que podría explicar la inconsistencia en estudio.

Los principales consumos identificados en el tramo de estudio y que debido a su magnitud, sus caudales excedentes o de retorno al río Chira podrían ejercer una mayor influencia en los caudales presentes en el mismo río son: el consumo registrado por la Junta de usuarios del valle del Chira, que desembocaría en el mismo río Chira, y la de San Lorenzo, que desembocaría en el río Chipillico; la captación de la planta de agua potable de Sullana y el consumo de la empresa AQUA S.A para uso piscícola.

Sin embargo, no se cuenta con los registros de la Junta de usuarios de San Lorenzo, por lo dicho consumo no será considerado en la presente tesis.

2.4.6.1 Junta de usuarios del valle del Chira

En el ámbito de estudio, las autoridades encargadas de la gestión del recurso hídrico, se distribuyen de la siguiente manera (Calle, 2016):

- Autoridad Nacional del Agua
 - Autoridad Administrativa del Agua Jequetepeque Zarumilla
 - ❖ Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca de Chira Piura
 - ✓ Administración Local de Agua Chira Piura
 - Junta de Usuarios del Sector Hidráulico Chira

La Junta de Usuarios del Sector Hidráulico Chira, así como el resto de juntas de usuarios existentes, tiene asignada las siguientes funciones:

- Operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica.
- Distribución del agua.
- Cobro y administración de las tarifas de agua.
- Servicios a prestar de suministro, monitoreo y gestión.

Actualmente, la Junta de Usuarios del Chira, está conformada por siete Comisiones de Regantes, de las cuales cuatro conforman el sector Alto Chira: Canal Miguel Checa, Poechos Pelados, Cieneguillo y Canal Daniel Escobar; y tres, el sector Bajo Chira: Margen Derecha – Río Chira, Margen Izquierda – Río Chira y El Arenal; con un total de 43 935 ha bajo riego como se muestra en la Tabla 2-10.

En la Ilustración 2-14 se muestra la ubicación geográfica de la Junta del Sector Hidráulico Chira, con sus respectivas comisiones, ubicadas en el valle del Chira.

En cuanto a los registros de la Junta de usuarios del valle del Chira, sólo se tomará en cuenta para el estudio respectivo, aquellos correspondientes a cuatro comisiones pertenecientes al Alto Chira: Canal Miguel Checa, Poechos Pelados, Cieneguillo y Daniel Escobar; debido a que abarcan los sectores aledaños al río Chira en el tramo de estudio y que por pendiente el agua de retorno desembocaría en el cauce del río Chira.

Se cuenta con los registros de las comisiones de regantes donde se detalla el volumen mensual de consumo programado, solicitado y distribuido; de acuerdo a cada comisión de regantes en el periodo 2006-2015. Es importante resaltar que dichos registros se dividen, además, según la campaña agrícola en el valle del Chira en lo que se conoce como “Campaña Grande”, que tiene una duración de 06 meses (enero-junio), y “Campaña Chica”, que tiene una duración de 06 meses (julio-diciembre).

Tabla 2-10 Características de las estaciones pluviométricas de SENAMHI.

| Campaña | Tipo de Cultivos |
|----------------|---|
| Grande | Transitorios: algodón y arroz. Permanentes: Frutales Semipermanentes |
| Chica | Vegetativos cortos: maíz choclo, maíz amarillo, menestras, sorgo, marigold, camote, entre otros |

Fuente: (Rodas, 2001).

Para la presente tesis, se utilizará en el análisis los datos correspondientes a los volúmenes distribuidos, con lo que obtendremos un comportamiento proporcional a los caudales de retorno que suponen un incremento en los caudales del volumen de control en el tramo de presa Poechos hasta presa Sullana.

Tabla 2-11 Extensión agrícola de la Comisión de Regantes Valle del Chira

| Comisiones de Regantes | Área bajo riego (ha) | Área total (ha) |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Margen Derecha – Río Chira | 10 829 | 328 005 |
| Margen Izquierda – Río Chira | 4164 | 101 031 |
| Canal Miguel Checa | 10 120 | 300 787 |
| Poechos Pelados | 4412 | 46 972 |
| Cieneguillo | 6649 | 13 679 |
| El Arenal | 3782 | 11 429 |
| Canal Daniel Escobar | 3979 | 3 979 |
| Total | 43 935 | 805 882 |

Fuente: (Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Chira-Piura, 2014-2015).

2.4.6.2 Captación de planta de tratamiento de agua potable en Sullana

En el tramo de Poechos a Sullana se identifican dos plantas de tratamiento de agua potable (PTAP): una en Sullana-Bellavista y otra en Querecotillo, las cuales atienden a la población de los distritos aledaños al tramo mencionado.

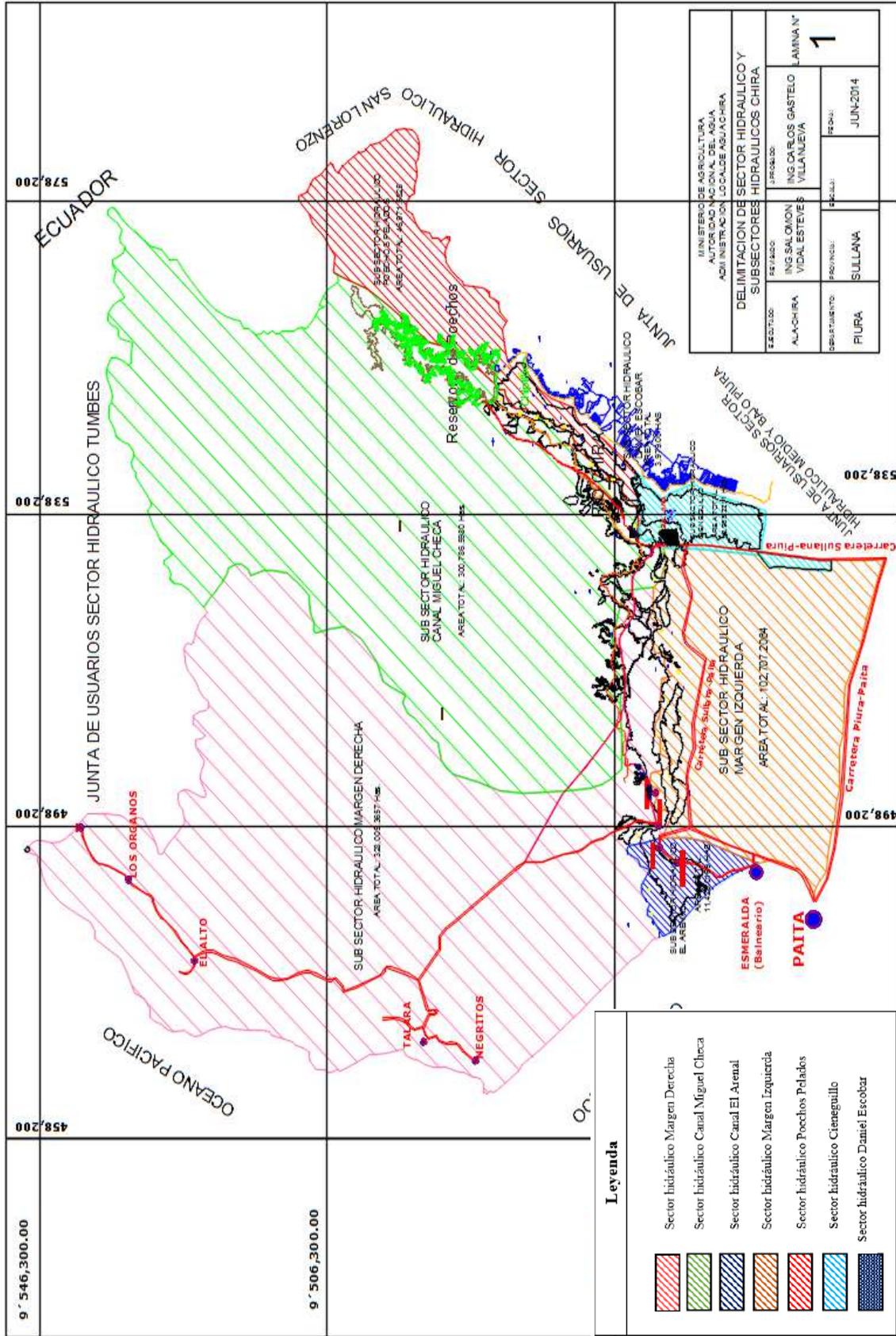


Ilustración 2-14 Mapa del alcance del Sector Hidráulico Chira.

Fuente: (Junta de Usuarios Sector Hidráulico Chira, 2015).

a. PTAP de Sullana

La PTAP de Sullana tiene más de 50 años funcionando en dicha ciudad, abasteciendo a los habitantes de los distritos de Sullana, Bellavista, Marcavelica, Querecotillo y Salitral con agua de alta calidad.

Actualmente, la empresa prestadora de servicios encargada del control y funcionamiento de la planta de tratamiento es la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Grau Sociedad Anónima (EPS Grau S.A). Ésta fue reconocida como entidad prestadora en 1996 a través de la Resolución de Superintendencia N° 026 – 96 – PRES/VMI/SUNASS, año donde se cambió de razón social de SEDAPIURA a EPS Grau S.A oficialmente (EPS Grau, 2016).

El abastecimiento de agua potable se realiza mediante la captación de agua cruda por gravedad desde el canal de derivación Daniel Escobar a través de 02 líneas de conducción de 600 mm de diámetro nominal cada una, que llegan hasta la planta de tratamiento existente. Por otro lado, existe una captación de emergencia cuando el canal de derivación Daniel Escobar entra en mantenimiento, que se realiza directamente del río Chira mediante una estación de captación con 4 motobombas y que se transporta a través de 02 líneas de conducción de 40 y 600 mm de diámetro nominal y con 400 m de longitud, siendo el agua de río impulsada por las motobombas hasta la planta de tratamiento (SUNASS, 2011).

La planta de potabilización en Bellavista, consta de 3 módulos construidos en diferentes etapas desde los años '50 hasta el '80. Estos han sido designados como módulos I, II y III, con capacidades de 180, 140 y 180 l/s respectivamente, la oferta de agua de la planta de tratamiento de agua cruda es de 500 l/s o 0.5 m³/s (SUNASS, 2011).

Si tomamos en cuenta la capacidad máxima de 0.5 m³/s de la PTAP de Sullana, la captación por día será siempre constante y debido a su pequeña magnitud, no significará un factor de mayor influencia en la variabilidad del comportamiento de los caudales principales de entrada y salida al volumen de control.

Por otro lado, se conoce que el volumen de consumo de agua potable está entre 200 a 220 litros/habitante/día en el departamento de Piura. Es así que, para conocer el consumo diario de Sullana, es necesario contar con el número de habitantes de dicha ciudad, para lo cual se recurrirá a los datos registrados en el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

Hasta el año 2015, según el INEI, la población de los distritos de Sullana, Bellavista, Marcavelica, Querecotillo y Salitral arrojan un total de 275 704 habitantes como se puede observar en la Tabla 2-12.

Tomando un consumo promedio de 210 l/hab/día y considerando que sólo un día por año se ha ejecutado captaciones directas del río Chira, obtenemos que el caudal captado por la PTAP es de 0.67 m³/s en un día por año y siempre será constante. En la Tabla 2-13 se muestra los caudales diarios según cada distrito a los que abastece la PTAP de Sullana.

Es así que se confirma que la implicancia sobre la variación en los caudales presentes en el volumen de control del tramo estudiado no es considerable, al obtener un caudal reducido de captación y que dicha actividad sólo se realiza una vez al año directamente del río Chira.

Tabla 2-12 Habitantes de los distritos de Sullana al año 2015

| Distrito | Población |
|--------------|----------------|
| Sullana | 176 804 |
| Bellavista | 38 071 |
| Marcavelica | 28 876 |
| Querecotillo | 25 290 |
| Salitral | 6 663 |
| Total | 275 704 |

Fuente: (INEI, 2017). Elaboración propia

Tabla 2-13 Consumos promedios diarios (m³/s) de captación de PTAP de Sullana directo del río Chira.

| Distrito | Población | Consumo prom. diario (m ³ /s) |
|--------------|----------------|--|
| Sullana | 176,804 | 0.430 |
| Bellavista | 38,071 | 0.093 |
| Marcavelica | 28,876 | 0.070 |
| Querecotillo | 25,290 | 0.061 |
| Salitral | 6,663 | 0.016 |
| Total | 275,704 | 0.670 |

Fuente: (INEI, 2017).Elaboración propia.

b. PTAP de Querecotillo

El sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Querecotillo, tiene como centro de producción principal la planta de tratamiento de agua de Sullana, desde la cual se bombea el líquido hacia los reservorios de Sullana y, mediante una derivación, hacia Marcavelica, Salitral y Querecotillo. Específicamente a Querecotillo el agua de la planta de Sullana llega a un reservorio apoyado de 1,000 m³ ubicado al norte de la ciudad (SUNASS, 2011).

Complementariamente existe un pequeño sistema propio (algunos metros más abajo del reservorio) que capta 12 l/s de un ramal antiguo del canal Miguel Checa, dicho sistema se refiere a la PTAP de Querecotillo la cual tiene una capacidad de diseño de 15 l/s, y que cuyo tratamiento no garantiza que el agua que se produce en dicha planta cumpla con los estándares mínimos de calidad del agua para consumo humano, por ello es urgente su rehabilitación (SUNASS, 2011).

Con lo mencionado anteriormente, se puede afirmar que la captación de agua de la PTAP de Querecotillo no genera ninguna influencia en la variación de los caudales

principales del río Chira en el tramo de estudio dado que dicha captación se produce desde un ramal del canal Miguel Checa.

2.4.6.3 Consumo piscícola de la empresa AQUA S.A.

AQUA S.A es una empresa dedicada a la crianza de tilapia de granja durante todas las épocas del año.

El agua entregada para su operación es captada del canal de derivación Daniel Escobar, con un caudal de $6,035 \text{ m}^3/\text{s}$, magnitud definida por la Administración Técnica Distrito de Riego Chira de la Dirección Regional Agraria Piura, que a su vez es dependencia del Ministerio de Agricultura del Perú, de los cuales $6 \text{ m}^3/\text{s}$ son de uso no consuntivo, es decir regresan al río Chira después de ser usados en la piscigranja, y los otros $0.035 \text{ m}^3/\text{s}$ de uso consuntivo no agrícola se consumirán dentro de las instalaciones principalmente por efectos de la evaporación. (Corporación Interamericana de Inversiones, 2017).

Debido a que la desembocadura del retorno de dichos caudales se realiza a través del dren que desemboca en el río Chipillico y este a su vez, en el tramo de estudio del río Chira, es necesario resaltar la importancia de considerar su influencia en la variabilidad de los caudales ya presentes en el volumen de control.

En la Ilustración 2-15 se muestra la ubicación de AQUA S.A y la desembocadura de los retornos de sus caudales hacia el río Chipillico.



Ilustración 2-15 Ubicación de AQUA S.A.

Fuente: (Google Earth, 2016). Elaboración propia.

2.4.7 Aguas residuales o efluentes

Existen dos formas mediante las cuales las aguas residuales regresan al río Chira: los vertimientos domésticos y las plantas de tratamiento de aguas residuales, siendo el primero más contaminante que el segundo. No todos los centros poblados aledaños descargan el 100% de sus aguas residuales en el río Chira, pues algunos cuentan con lagunas de oxidación y descargan el agua tratada en los centros de cultivos cercanos.

El vertimiento de aguas residuales no autorizado en el río Chira significa un problema latente de contaminación al río y más grave aún si éste se realiza sin control. En el tramo de estudio, la mayoría de centros urbanos no efectúan un tratamiento a las aguas servidas, las cuales son descargadas directamente en el río, puesto que, si bien existen plantas de tratamiento de efluentes en la zona, algunas no cuentan con la capacidad necesaria o son muy lejanas.

En la cuenca del Chira, específicamente en el tramo estudiado se tienen ubicados un total de 04 puntos de descarga de aguas residuales libres principalmente de uso doméstico, generalmente cerca de los principales núcleos urbanos como se muestra en la Tabla 2-14 y en la Ilustración 2-16.

El punto de vertimiento de aguas residuales de la EPS Grau se hace directamente al río Chira. Cuando las conexiones sanitarias de esta entidad colapsan, las aguas residuales domésticas se vierten en el canal vía de Sullana, el cual llega en paralelo a las conexiones sanitarias de la EPS Grau y antes del punto de vertimiento de la misma en el río Chira (ANA, 2011).

Tabla 2-14 Puntos de vertimiento de efluentes al río Chira.

| Código | Locación | Vertimiento de aguas residuales domésticas | Coordenadas UTM | |
|--------|--------------|--|-----------------|---------|
| | | | Este | Norte |
| V-1 | Querecotillo | Vertimiento de aguas residuales domésticas | 539418 | 9464288 |
| V-2 | Querecotillo | Vertimiento de aguas residuales del camal municipal | 539447 | 9464243 |
| V-3 | Sullana | Vertimiento de aguas residuales de la EPS Grau | 535464 | 9460052 |
| V-4 | Sullana | Vertimiento de aguas residuales domésticas de las casas al canal vía | 535478 | 9459977 |

Fuente: (ANA, 2011). Elaboración: Elaboración propia.

A lo largo del tramo estudiado, se encuentran sistemas de tratamiento de aguas residuales los cuales se muestran en la Ilustración 2-17.

Se puede observar que algunas plantas de tratamiento de afluentes de los sectores aledaños al tramo de estudio están a cargo unos de la EPS Grau y otras, de los municipios respectivos. La planta de tratamiento de Sullana-Bellavista, cuenta con dos lagunas de estabilización primarias ubicadas en El Cucho, donde el agua mejorada es utilizada para riego de sembríos, sin embargo, debido a su poca capacidad y funcionamiento irregular, gran parte de los afluentes de Sullana-Bellavista no tienen tratamiento y son descargados directamente a quebradas y al río Chira o empleados en riego agrícola atentando así contra el bienestar ambiental.

De la misma manera ocurre en los demás distritos de Sullana que poseen plantas de tratamiento con lagunas de oxidación deficientes. Las aguas tratadas pueden ser utilizadas para riego de sembríos o, en menor porcentaje, retornar al río Chira. En caso contrario, las aguas no tratadas retornan al río Chira.

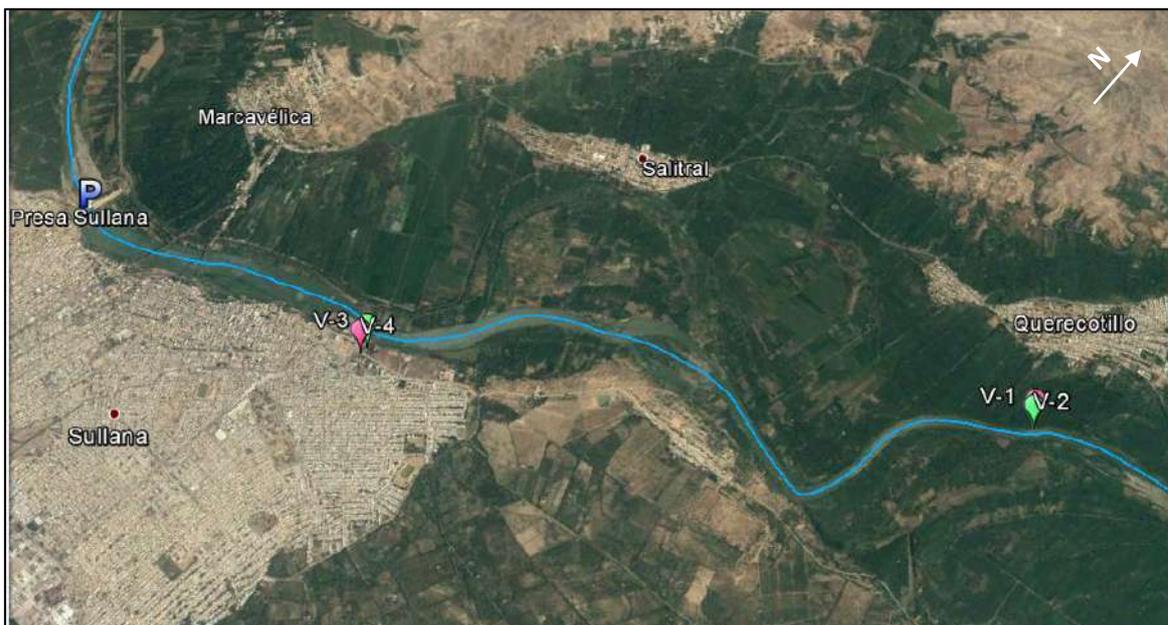


Ilustración 2-16 Ubicación de vertientes de agua residuales domésticas entre Poechos y Sullana.

Fuente: (Google Earth, 2016). Elaboración propia.



Ilustración 2-17 Sistema de alcantarillado de los distritos de Sullana aledaños al tramo Poechos-Sullana.

Fuente: (EPS Grau, 2016).

Cabe resaltar que las aguas residuales por habitante por día se estiman en 40% del consumo de agua potable, lo que resultaría 84 l/hab/día de efluentes. Los resultados de los efluentes promedios diarios de acuerdo a cada distrito aledaño al tramo de estudio se muestran en la Tabla 2-15. Se observa que la magnitud de los efluentes es muy pequeña,

constante y, además, tomando en cuenta que no todos los efluentes retornan al río Chira se puede afirmar que la influencia sobre los caudales principales no será significativa, más aún en épocas de avenidas, dado que se presentan caudales principales con grandes magnitudes, que en épocas de estiaje dónde las magnitudes de los caudales principales son menores.

Tabla 2-15 Aguas residuales promedio diarias.

| Distrito | Población | Agua residual (m³/s) |
|-----------------|------------------|--|
| Sullana | 176,804 | 0.172 |
| Bellavista | 38,071 | 0.037 |
| Marcavelica | 28,876 | 0.028 |
| Querecotillo | 25,290 | 0.025 |
| Salitral | 6,663 | 0.006 |
| Total | 275,704 | 0.268 |

Fuente: (INEI, 2017). Elaboración propia.

Capítulo III

Análisis de consistencia

En este capítulo se analiza la consistencia de los caudales principales de entrada, desde Poechos, y los de salida, desde Sullana, del volumen de control correspondiente al tramo estudiado, mediante una comparación entre ambos por cada año hidrológico y una correlación por cada cuatrimestre.

Por otro lado, se evalúan los factores adicionales, también importantes, que puedan estar generando la presunta inconsistencia entre los caudales principales. Se evaluará la relación individual de cada factor con los caudales principales y así establecer su influencia sobre los mismos.

3.1 Caudales del río Chira

Durante el análisis de los caudales del río Chira en el tramo de estudio, en primer lugar, se evaluó el tiempo de viaje que le tomaba al agua desplazarse desde el reservorio Poechos hasta la presa derivadora Sullana; posteriormente, se realizó un comparativo entre los caudales de entrada y salida al volumen de control de acuerdo a dicho tiempo de concentración, con la finalidad de realizar las correlaciones respectivas entre los caudales de ambos extremos.

Finalmente, se incluyeron los factores adicionales como precipitación, evaporación, consumos y operación de compuertas; que pueden afectar la variación de los caudales mencionados durante su recorrido de inicio a fin.

3.1.1 Tiempo de concentración

Se conoce como tiempo de concentración (T_c) al tiempo requerido por una gota de agua para fluir desde el punto más remoto en la cuenca hasta el punto de interés (Ven Te Chow, 1995). El tiempo de concentración puede obtenerse mediante observaciones experimentales o puede estimarse utilizando ecuaciones como las que se han aplicado en el presente apartado.

Para determinar el perfil longitudinal del río Chira, se extrajeron las longitudes y cotas disponibles en Google Earth, donde se mostraba una longitud total de 39 km y una cota mínima y máxima de 33 msnm y 77 msnm respectivamente.

El cauce natural de un río presenta un perfil longitudinal conformado por una serie ilimitada de tramos, los cuales dependen de las formaciones geológicas y sus relieves, siendo

estos muy variados. Por ello, la definición de la pendiente promedio de un cauce es muy difícil.

Sin embargo, se estimaron tres pendientes diferentes en el perfil longitudinal utilizando líneas de tendencia para los tramos del perfil que presentaban pendientes similares y así obtener un comportamiento más uniforme (Ilustración 3-1):

- Pendiente S1: 0.0007831 m/m
- Pendiente S2: 0.0006796 m/m
- Pendiente S3: 0.001130 m/m

Teniendo disponible el perfil longitudinal con tres tramos de pendientes definidas, se logró aplicar cuatro métodos teóricos para determinar el tiempo de concentración en el tramo estudiado de la cuenca. Los datos obtenidos fueron analizados y comparados estadísticamente.

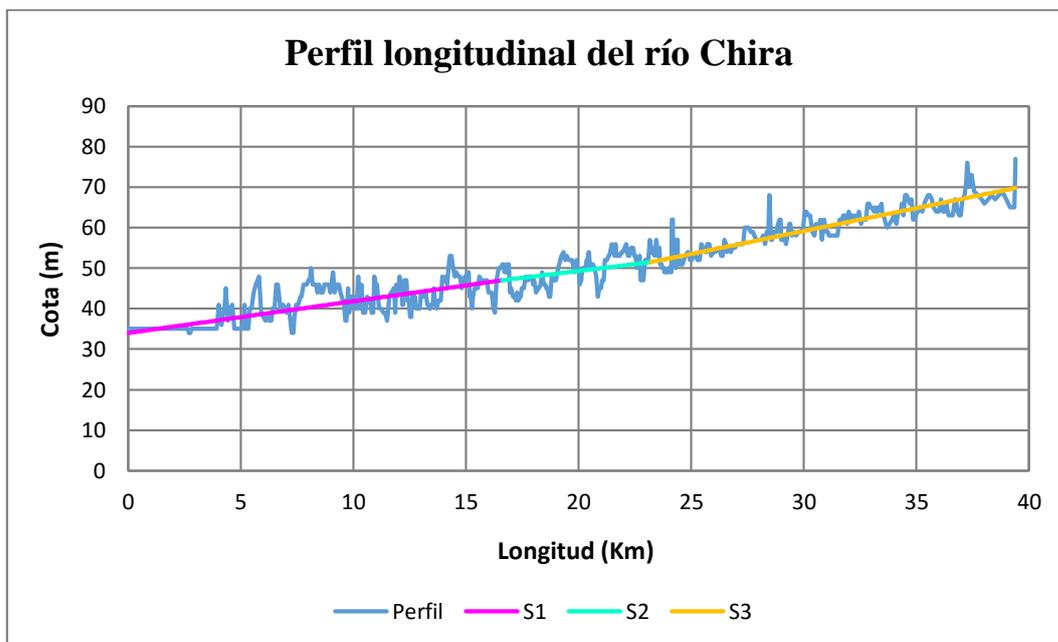


Ilustración 3-1 Cauce del río Chira entre Presas Poechos y Sullana.

Fuente: (Google Earth, 2016). *Elaboración propia.*

Por otro lado, se aplicó un método matemático mediante la elaboración de un correlograma. A través de dicho correlograma, se correlacionaron los caudales promedios horarios de las estaciones de reservorio Poechos y presa Sullana con la finalidad de encontrar con cuánto desfase horario se obtiene el mejor coeficiente de determinación (R^2), el cual es el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson; representando el grado de relación de ambas variables.

3.1.1.1 Tiempo de concentración con métodos teóricos

A continuación, se presentan los cuatro métodos para estimar el tiempo de concentración en el tramo de estudio.

a. Método de Kirpich (1940)

Desarrollado a partir de información del SCS (Soil Conservation Service) en siete cuencas rurales de Tennessee, con canales bien definidos, para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar T_c por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar T_c por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas (Ven Te Chow, 1995).

$$T_c = 0.0195 * (L^{0.77} * S^{-0.385}) / 60$$

- T_c Tiempo de concentración, hrs.
 L Longitud del cauce, m.
 S Pendiente media de la cuenca, m/m.

En la Tabla 3-1 se muestra los cálculos realizados para encontrar el tiempo de concentración de los caudales del río Chira en el tramo de estudio, aplicando en método de Kirpich, catalogado como el más confiable y conservador.

Tabla 3-1 Tiempo de concentración aplicando método Kirpich – cuencas Tennessee.

| Item | Inicio (km) | Fin (km) | L(m) | Inicio (m) | Fin (m) | H (m) | S (m/m) | Tc (días) |
|---------------------|-------------|----------|-----------|------------|---------|-------|---------|-------------|
| 1 | 0 | 16.59 | 16,589.40 | 34.01 | 47.00 | 12.99 | 0.00078 | 0.38 |
| 2 | 16.59 | 23.2 | 6,611.80 | 47.00 | 51.49 | 4.49 | 0.00068 | 0.20 |
| 3 | 23.2 | 39.4 | 16,200.71 | 51.49 | 69.82 | 18.32 | 0.00113 | 0.32 |
| Total (días) | | | | | | | | 0.90 |

Fuente: (Google Earth, 2016). Elaboración propia.

b. Método de California Culverts Practice (1942)

Esencialmente, es la ecuación de Kirpich, desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California (Ven Te Chow, 1995).

$$T_c = 0.0195 * \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} / 60$$

- T_c Tiempo de concentración, hrs.
 L Longitud del curso de agua más largo, m.
 H Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, m.

La Tabla 3-3 muestra los cálculos realizados para encontrar el tiempo de concentración de los caudales del río Chira en el tramo de estudio, aplicando en método de California Culverts Practice.

Tabla 3-3 Tiempo de concentración aplicando método California Culverts Practice.

| Item | Inicio (km) | Fin (km) | L (Km) | Inicio (m) | Fin (m) | H (m) | Tc (hrs) | Tc (días) |
|---------------------|-------------|----------|--------|------------|---------|-------|----------|-------------|
| 1 | 0 | 16.59 | 16.59 | 34.01 | 47.00 | 12.99 | 9.05 | 0.38 |
| 2 | 16.59 | 23.20 | 6.61 | 47.00 | 51.49 | 4.49 | 4.71 | 0.20 |
| 3 | 23.20 | 39.40 | 16.20 | 51.49 | 69.82 | 18.32 | 7.72 | 0.32 |
| Total (días) | | | | | | | | 0.90 |

Fuente: (Google Earth, 2016). Elaboración propia.

c. Método de Federal Aviation Administration (1970)

Este método se utiliza en problemas de drenaje en aeropuertos, sin embargo también ha sido aplicado en cuencas urbanas en base a la información sobre el drenaje de aeropuertos por el Corps of Engineers (Ven Te Chow, 1995).

$$T_c = (0.7035 * (1.1 - C) * L^{0.5} / S^{0.33}) / 60$$

- T_c Tiempo de concentración, hrs
 L Longitud del curso de agua más largo, m
 S Pendiente del cauce en m/m
 C Coeficiente de Escorrentía para uso de método racional

Para la aplicación de la fórmula del método de Federal Aviation Administration es necesario seleccionar un coeficiente de escorrentía que depende de dos condiciones como los son las características de la superficie y el periodo de retorno. En la Ilustración 3-2 se muestra todos los coeficientes de escorrentía para los diferentes periodos de retorno, así como para las distintas características que pueden definir la cuenca en evaluación.

Según las características que presenta el tramo de estudio, cumple con la descripción de áreas no desarrolladas planas con pendientes de 0 a 2%. Así mismo, se evaluó el tiempo de concentración tomando en cuenta los coeficientes de escorrentía para dos periodos de retorno de 10 y 25 años, basados en los años de ocurrencia de los fenómenos El Niño de 1983 y 1998. En la Tabla 3-4 se muestra el cálculo del tiempo de concentración aplicando el método de Federal Aviation Administration donde se obtuvo como resultado, para los periodos de retorno de 10 y 25 años; 1.25 y 1.8 días respectivamente.

Tabla 3-4 Tiempo de concentración aplicando método Federal Aviation Administration.

| Item | Inicio (km) | Fin (km) | L (Km) | Inicio (m) | Fin (m) | H (m) | S (m/m) | Tc 10 años (días) | Tc 25 años (días) |
|---------------------|-------------|----------|--------|------------|---------|-------|---------|-------------------|-------------------|
| 1 | 0 | 16.59 | 16.59 | 34.01 | 47.00 | 12.99 | 0.00078 | 0.49 | 0.47 |
| 2 | 16.59 | 23.20 | 6.61 | 47.00 | 51.49 | 4.49 | 0.00068 | 0.33 | 0.31 |
| 3 | 23.20 | 39.40 | 16.20 | 51.49 | 69.82 | 18.32 | 0.00113 | 0.43 | 0.41 |
| Total (días) | | | | | | | | 1.25 | 1.18 |

Fuente: (Google Earth, 2016). Elaboración propia.

Ilustración 3-2 Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional.

| Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional | | | | | | | |
|--|---------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Característica de la superficie | Periodo de retorno (años) | | | | | | |
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 500 |
| Áreas desarrolladas | | | | | | | |
| Asfáltico | 0.73 | 0.77 | 0.81 | 0.86 | 0.90 | 0.95 | 1.00 |
| Concreto/techo | 0.75 | 0.80 | 0.83 | 0.88 | 0.92 | 0.97 | 1.00 |
| <i>Zonas verdes (jardines, parques, etc.)</i> | | | | | | | |
| <i>Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)</i> | | | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0.32 | 0.34 | 0.37 | 0.40 | 0.44 | 0.47 | 0.58 |
| Promedio, 2-7% | 0.37 | 0.40 | 0.43 | 0.46 | 0.49 | 0.53 | 0.61 |
| Pendiente, superior a 7% | 0.40 | 0.43 | 0.45 | 0.49 | 0.52 | 0.55 | 0.62 |
| <i>Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)</i> | | | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0.25 | 0.28 | 0.30 | 0.34 | 0.37 | 0.41 | 0.53 |
| Promedio, 2-7% | 0.33 | 0.36 | 0.38 | 0.42 | 0.45 | 0.49 | 0.58 |
| Pendiente, superior a 7% | 0.37 | 0.40 | 0.42 | 0.46 | 0.49 | 0.53 | 0.60 |
| <i>Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)</i> | | | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0.21 | 0.23 | 0.25 | 0.29 | 0.32 | 0.36 | 0.49 |
| Promedio, 2-7% | 0.29 | 0.32 | 0.35 | 0.39 | 0.42 | 0.46 | 0.56 |
| Pendiente, superior a 7% | 0.34 | 0.37 | 0.40 | 0.44 | 0.47 | 0.51 | 0.58 |
| Áreas no desarrolladas | | | | | | | |
| <i>Área de cultivos</i> | | | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0.31 | 0.34 | 0.36 | 0.40 | 0.43 | 0.47 | 0.57 |
| Promedio, 2-7% | 0.35 | 0.38 | 0.41 | 0.44 | 0.48 | 0.51 | 0.60 |
| Pendiente, superior a 7% | 0.39 | 0.42 | 0.44 | 0.48 | 0.51 | 0.54 | 0.61 |
| <i>Pastizales</i> | | | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0.25 | 0.28 | 0.30 | 0.34 | 0.37 | 0.41 | 0.53 |
| Promedio, 2-7% | 0.33 | 0.36 | 0.38 | 0.42 | 0.45 | 0.49 | 0.58 |
| Pendiente, superior a 7% | 0.37 | 0.40 | 0.42 | 0.46 | 0.49 | 0.53 | 0.60 |
| <i>Bosques</i> | | | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0.22 | 0.25 | 0.28 | 0.31 | 0.35 | 0.39 | 0.48 |
| Promedio, 2-7% | 0.31 | 0.34 | 0.36 | 0.40 | 0.43 | 0.47 | 0.56 |
| Pendiente, superior a 7% | 0.35 | 0.39 | 0.41 | 0.45 | 0.48 | 0.52 | 0.58 |

Nota: Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con autorización.

Fuente: (Ven Te Chow, 1995).

d. Método de Témez modificado

El profesor J.R. Témez, elabora para la Dirección General de Carreteras - España, una modificación del Método Racional, tras experimentar en numerosas y variadas cuencas aforadas (Universidad de Cádiz, 2016).

Los límites para la aplicación de este método están establecidos por dos condiciones que son el tiempo de concentración (T_c) y la superficie de la cuenca en estudio (A).

$$0.25 < T_c < 24 \text{ horas}; 1 \leq A < 3000 \text{ Km}^2$$

La fórmula de Témez modificado es la siguiente (Mata-Lima, 2007):

$$T_c = 0.3 * \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

| | |
|-------|--|
| T_c | Tiempo de concentración, hrs |
| L | Longitud del curso de agua más largo, Km |
| S | Pendiente del cauce en m/m |

La Tabla 3-5 muestra los cálculos realizados para encontrar el tiempo de concentración de los caudales del río Chira en el tramo de estudio, aplicando en método Témez. El resultado obtenido es de 0.9 días que será redondeado al entero más próximo, lo que quedaría como 1 día.

Tabla 3-5 Tiempo de concentración aplicando método de Témez Modificado

| Item | Inicio (km) | Fin (km) | L (Km) | Inicio (m) | Fin (m) | H (m) | S (m/m) | Tc (hrs) | Tc (días) |
|---------------------|-------------|----------|--------|------------|---------|-------|---------|----------|-------------|
| 1 | 0.00 | 16.59 | 16.59 | 34.01 | 47.00 | 12.99 | 0.00 | 9.87 | 0.41 |
| 2 | 16.59 | 23.20 | 6.61 | 47.00 | 51.49 | 4.49 | 0.00 | 5.04 | 0.21 |
| 3 | 23.20 | 39.40 | 16.20 | 51.49 | 69.82 | 18.32 | 0.00 | 9.04 | 0.38 |
| Total (días) | | | | | | | | | 1.00 |

Fuente: (Google Earth, 2016). Elaboración: Elaboración propia.

e. Resultados de tiempos de concentración teóricos

Para realizar la comparación de los tiempos de concentración se cuenta con los 05 resultados obtenidos de la aplicación de los 04 métodos anteriormente señalados. En la Tabla 3-6 se muestra el resumen de los resultados y, además, el promedio de los mismos, así como su desviación estándar.

Tabla 3-6 Resumen de resultados de tiempo de concentración

| Método | Kirpich - Tennessee | Kirpich - Pennsylvania | California Culverts Practice | Federal Aviation Administration (Tr = 10 años) | Federal Aviation Administration (Tr = 25 años) | Promedio | Desv. Estándar |
|------------------|---------------------|------------------------|------------------------------|--|--|------------|----------------|
| Tc (días) | 0.9 | 0.34 | 0.9 | 1.3 | 1.2 | 0.9 | 0.34 |

Fuente: Elaboración propia.

Como promedio se obtuvo como resultado 0.9 días y en cuanto a la desviación estándar, se obtuvo 0.34, la cual señala gran lejanía entre los diferentes resultados obtenidos como tiempo de concentración. Esto se debe a las diferentes características y propiedades de las cuencas sobre las cuales se han generado las fórmulas utilizadas en este apartado.

Según los resultados arrojados, se expresa que los caudales promedios salientes del reservorio Poechos demoran un día en llegar a la presa derivadora Sullana a través del cauce del río Chira. Es decir que, según lo obtenido, se deberá comparar los caudales promedios registrados en ambas estaciones con un desfase de un día. Por ejemplo, que el caudal registrado el día 01/01/2005 en Poechos será comparado con el registrado el siguiente día 02/01/2005 en la presa Sullana.

3.1.1.2 Tiempo de concentración con método matemático

En el presente apartado, se elaborará los correlogramas de los años 2012, 2016 y 2017, a través de la correlación de los caudales de las estaciones del reservorio Poechos y de la presa Sullana, desfasando de manera horaria dichos caudales; es decir, por ejemplo, el caudal que sale del reservorio Poechos hacia el río Chira a las 03:00 horas se comparará con el que llegue a las 04:00 horas a la presa Sullana del mismo día. Eso sería para el caso de 1 hora de desfase, y se continuará realizando las siguientes correlaciones con mayores desfases; así sucesivamente hasta completar las 24 horas.

La finalidad de los correlogramas es encontrar en que tiempo de desfase se logra obtener el mayor coeficiente R^2 o coeficiente de determinación, el cual refleja el grado de relación que existe entre dos variables. Una vez que se defina el mayor coeficiente R^2 , se determinará el tiempo de desfase correspondiente como tiempo de concentración. Asimismo, con este método se busca comprobar los resultados obtenidos en el acápite 3.1.1.1.

Desde la Ilustración 3-3 hasta la Ilustración 3-5 se muestra los correlogramas de los años 2012, 2016 y 2017. En el año 2012 se obtuvo la mayor correlación de 0.993 a las 6 horas de desfase; el año 2016, 0.989 a las 5 y 6 horas de desfase; y finalmente, el año 2017, 0.979 a las 4 horas de desfase. En promedio se obtiene 5.25 horas de desfase, equivalente a 0.22 días; lo que se definiría como tiempo de concentración.

Con ello, comprobamos que el tiempo de concentración obtenido a través de fórmulas dista del resultado obtenido con datos reales. Esto se debe a las diferentes condiciones y características en las que fueron establecidas dichas fórmulas; además, otro factor puede ser la topografía aproximada que se ha utilizado, la cual ha sido obtenida de Google Earth.

Debido a que se cuenta con una base de datos diaria del periodo 2004-2017, el tiempo de concentración de 0.22 días se pierde, por ello, se considerará la correlación de los caudales promedios diarios sin ningún desfase. Cabe mencionar, que durante las primeras 24 horas del día se presentan coeficientes de determinación altos, muy cercanos a 1; por lo cual, las correlaciones diarias también presentarán coeficientes parecidos.

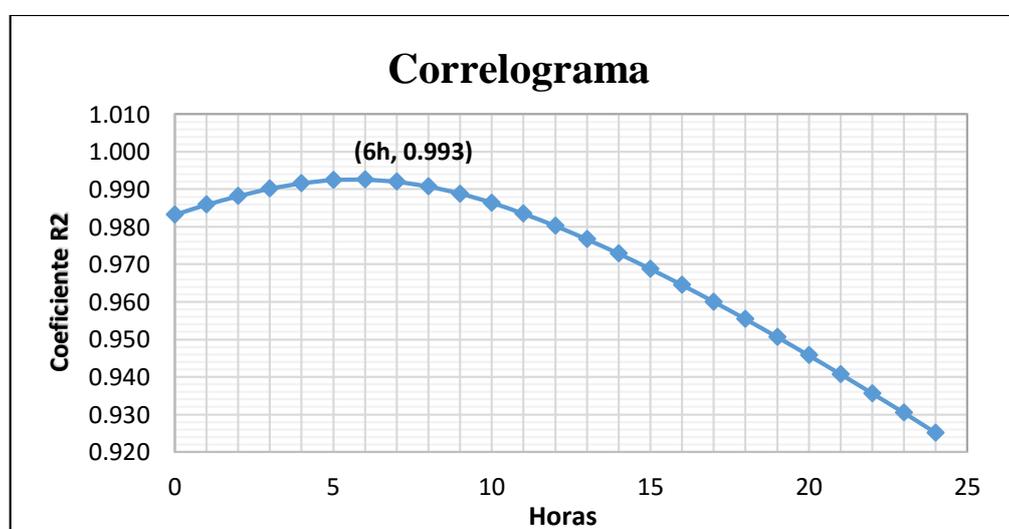


Ilustración 3-3 Correlograma horario de los caudales del reservorio Poechos y presa Sullana en el río Chira del año 2012.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

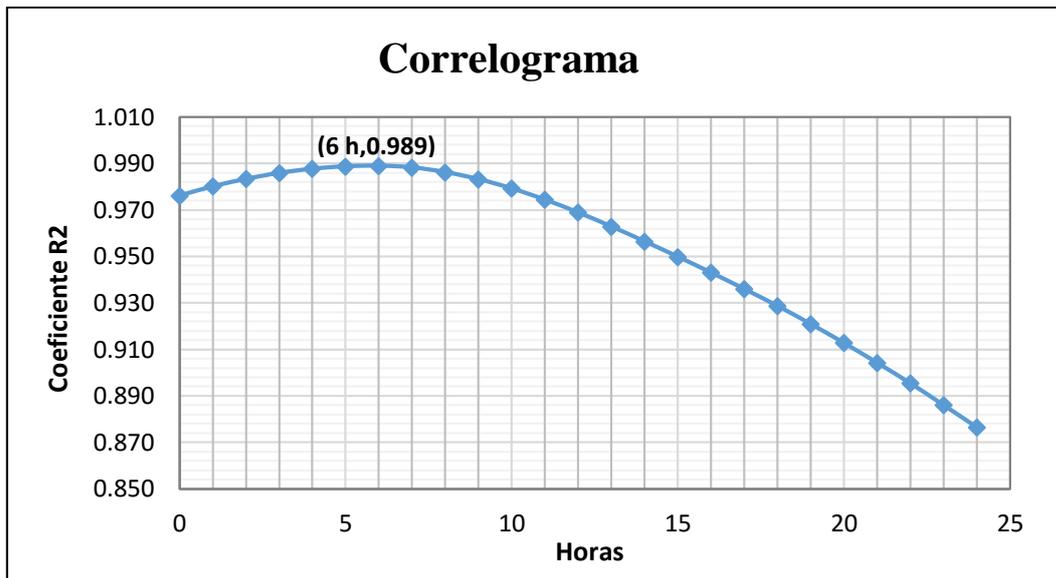


Ilustración 3-4 Correlograma horario de los caudales del reservorio Poechos y presa Sullana en el río Chira del año 2016.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

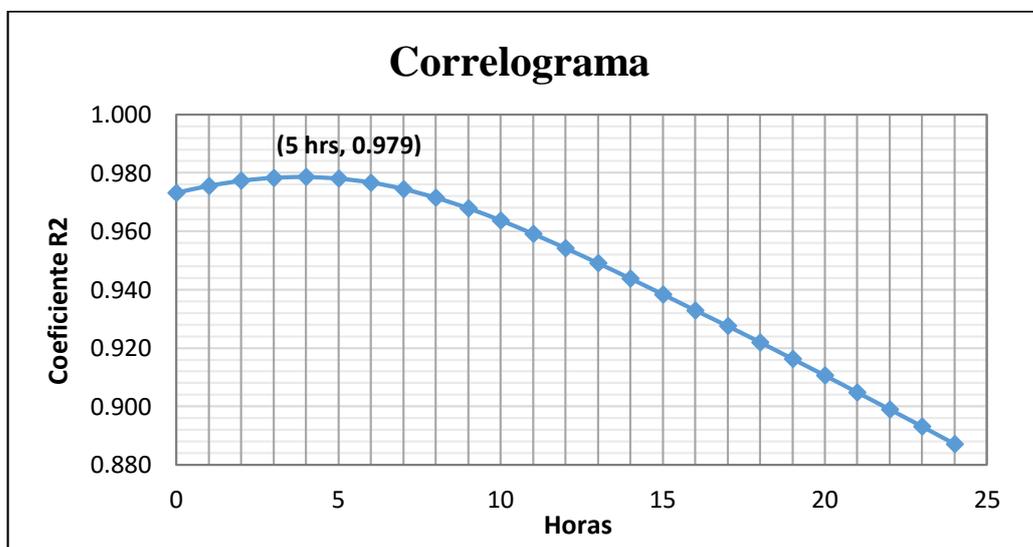


Ilustración 3-5 Correlograma horario de los caudales del reservorio Poechos y presa Sullana en el río Chira del año 2017.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

3.1.2 Comparación de caudales por clasificación anual

Los hidrogramas correspondientes a los caudales de las dos estaciones en estudio: reservorio Poechos y presa derivadora Sullana se comparan para el periodo 2004-2017, dispuestos por año hidrológico y clasificados en años normales, húmedos y muy húmedos. Los caudales en ambas estaciones serán comparados según los valores del mismo día.

3.1.2.1 Años normales

En la Ilustración 3-6 se muestra un comparativo del comportamiento hidrológico de los caudales principales de entrada y salida al volumen de control del tramo en estudio. Todas las gráficas han sido elaboradas en escala logarítmica con la finalidad de mostrar de manera más clara la distribución de los datos. Por último, la gráfica correspondiente al año hidrológico 2012-2013 no se presenta en este apartado dado que no se cuenta con la data de los meses de enero hasta abril.

En cuanto a las gráficas presentadas de los años hidrológicos normales, se observa un patrón de comportamiento donde, en general, los caudales del río Chira que llegan a la presa Sullana son mayores a los que salen del reservorio Poechos. Sin embargo, existen días durante los meses de enero-abril en los cuales los caudales que llegan a la presa de Sullana son menores a los que salen del reservorio Poechos. Es así, que los años hidrológicos 2004-2005, 2006-2007, 2009-2010, 2010-2011 y 2013-2014 presentan en promedio sólo siete días, con dichas características, de los 120 días que integran el segundo cuatrimestre.

En general, se observa que en el primer cuatrimestre, de setiembre a diciembre, los caudales mantienen un comportamiento constante que se atribuye a la época de estiaje; posteriormente, en el segundo cuatrimestre, de enero a abril, se empieza a mostrar un incremento en los caudales de ambas estaciones, presentándose los picos altos entre los meses de febrero y abril sin superar los 1000 m³/s, a excepción del año 2009-2010 que presenta un caudal en Poechos de 1078 m³/s; los caudales de Poechos y Sullana se vuelven más próximos entre sí, es decir, adquieren un comportamiento más homogéneo lo que conllevaría a que el grado de relación entre los caudales de ambas estaciones sea mayor. Este comportamiento es más notorio en los años 2004-2005 y 2009-2010.

En el tercer cuatrimestre, mayo-agosto, se puede observar que se vuelve a presentar algunos incrementos o picos en los caudales de ambas estaciones entre los meses de mayo hasta julio que son muy variantes y van decreciendo hasta que se vuelven constantes durante el mes de agosto como se observa en los años 2006-2007, 2010-2011 y 2013-2014, a excepción del año 2004-2005 y 2009-2010 que presentan un comportamiento constante durante todo el tercer cuatrimestre. Además, el año 2013-2014 presenta su pico máximo durante el mes de junio esto se debería a que este cuatrimestre está caracterizado como húmedo y presentó una oferta hídrica muy cercana a la del segundo cuatrimestre caracterizado como seco.

3.1.2.2 Años húmedos

Los años hidrológicos clasificados como húmedos en el periodo de estudio son 2005-2006, 2014-2015 y 2015-2016. En la Ilustración 3-7 se muestra un comparativo del comportamiento hidrológico de los caudales de salida en el reservorio de Poechos así como de los caudales de entrada en la presa Sullana. Todas las gráficas han sido elaboradas en escala logarítmica con la finalidad de mostrar de manera más clara la distribución de los datos.

Según las gráficas de los años hidrológicos húmedos, se identifica un patrón de comportamiento donde, en su mayoría, los caudales del río Chira que llegan a la presa Sullana son mayores a los que salen del reservorio Poechos. No obstante, existen días donde ocurre lo contrario; durante la época de enero-abril para los años 2005-2006, 2014-2015 y 2015-2016 se presentó el 22%, 13% y 8% de los 120 días de un cuatrimestre respectivamente. A medida que el reservorio presenta una mayor oferta hídrica durante este segundo cuatrimestre, dichos porcentajes también aumentan.

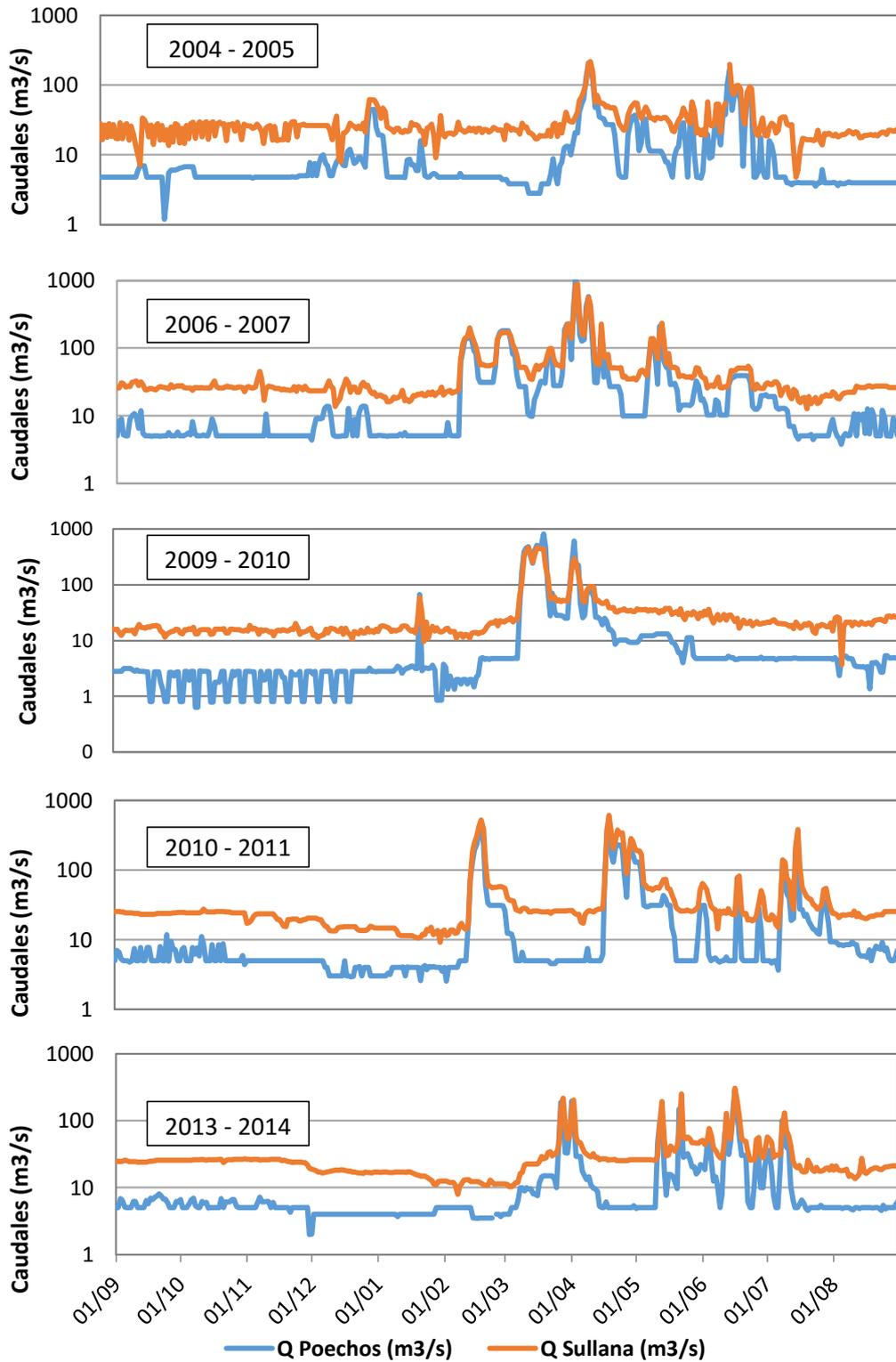


Ilustración 3-6 Comparativo de caudales de salida en reservorio Poechos y de entrada en presa Sullana, años hidrológicos normales.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

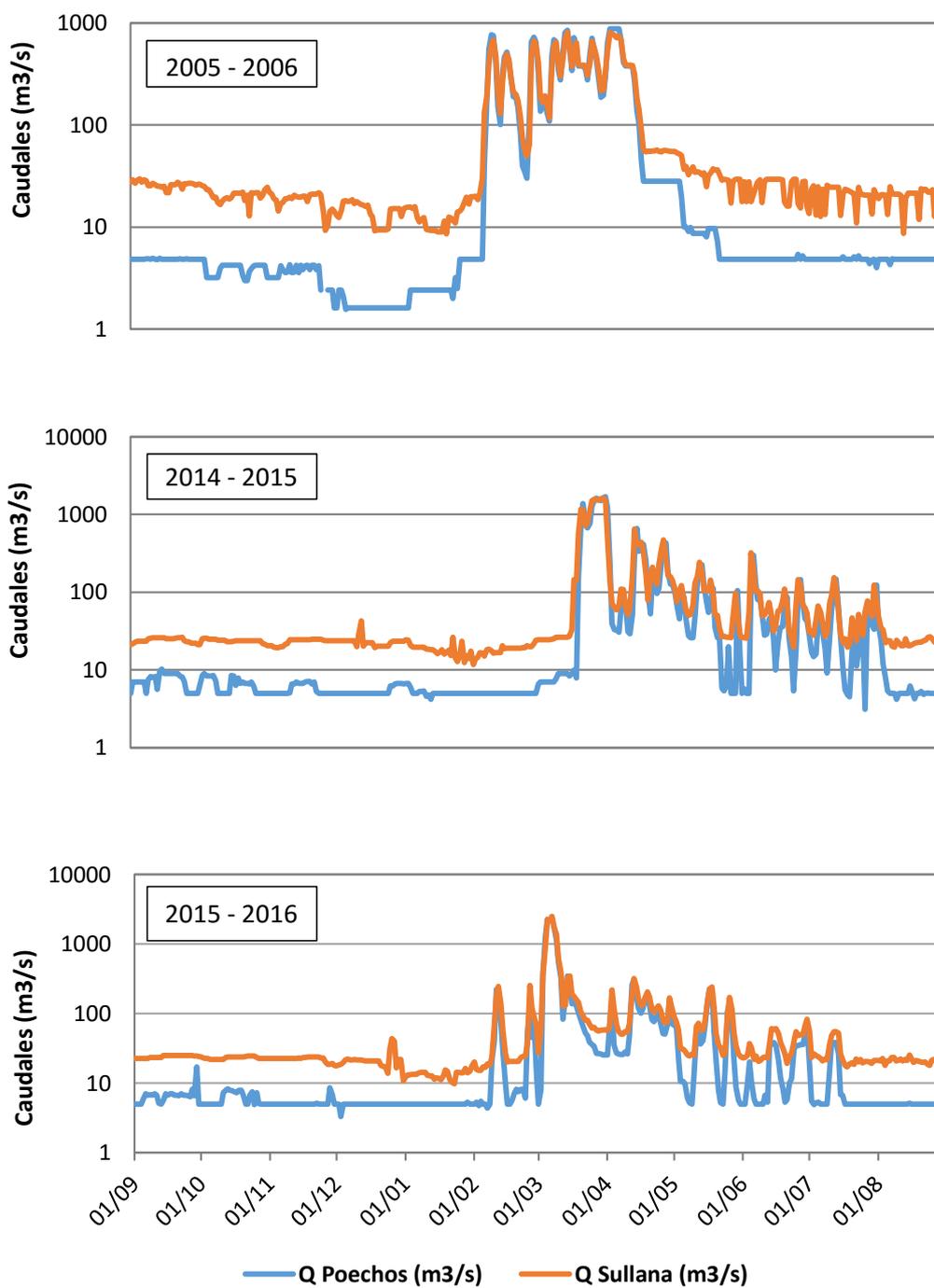


Ilustración 3-7 Comparativo de caudales de salida en reservorio Poechos y de entrada en presa Sullana, años hidrológicos húmedos.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

Entre los meses de setiembre a diciembre, los caudales mantienen un comportamiento constante. Los caudales mayores o picos se presentan durante los meses de febrero a abril superando los 1000 m³/s, a excepción del año 2005-2006.

Los caudales de ambas estaciones se han aproximado más y es notorio que aún pasada la temporada de avenidas, en los meses entre mayo hasta junio aún se presentan picos altos y variantes que no superan los presentes en los meses de avenidas pero que son mayores a los caudales presentes entre los meses de setiembre a diciembre. Esto último se aplica para los años hidrológicos 2014-2015 y 2015-2016 cuyos terceros cuatrimestres están caracterizados como húmedos y muy húmedos, por el contrario, el año hidrológico 2005-2006 a pesar de presentar un acercamiento entre los caudales de ambas estaciones, no presenta picos en dicho periodo el cual está caracterizado como normal.

3.1.2.3 Años muy húmedos

Los años hidrológicos clasificados como muy húmedos en el periodo de estudio son 2007-2008, 2008-2009 y 2011-2012. La Ilustración 3-8 se muestra un comparativo del comportamiento hidrológico de los caudales de salida en el reservorio Poechos así como de los caudales de entrada en la presa Sullana. Todas las gráficas han sido elaboradas en escala logarítmica con la finalidad de mostrar de manera más clara la distribución de los datos.

En el caso de los años hidrológicos muy húmedos, por lo general, los caudales que llegan a la presa de Sullana son mayores a los caudales que salen del reservorio Poechos a través del río Chira. No obstante, se presentan días donde los caudales que llegan a la presa Sullana son menores que los caudales que salen de Poechos hacia el río Chira, especialmente, en el periodo de enero-abril. Dicho lo anterior, se identificó que para los años 2007-2008, 2008-2009 y 2011-2012 se encontró el 17%, 44% y 8% de los 120 días de un cuatrimestre respectivamente. A medida que el reservorio presenta una mayor oferta hídrica durante este segundo cuatrimestre, dichos porcentajes también disminuyen.

Además, se aprecia que los caudales en ambas estaciones se muestran constantes entre los meses de setiembre a diciembre, luego, se presenta un crecimiento a partir del mes de enero y al mismo tiempo, dichos caudales se vuelven cercanos entre sí hasta el mes de junio. Los picos más altos se muestran durante la época de avenidas, y son más constantes en cuanto a su magnitud, varios superando los 1000 m³/s, posteriormente, dichos picos decrecen conjuntamente hasta llegar al mes de agosto.

Concisamente, podemos afirmar según las gráficas que la relación y proximidad entre los caudales de ambas estaciones es mayor en años muy húmedos y disminuye en años húmedos hasta llegar finalmente a los años normales.

3.1.2.4 Años extraordinarios

El año hidrológico 2016-2017 fue caracterizado como extraordinario, y muestra de ello, fue la ocurrencia de El Niño Costero 2017. En la Ilustración 3-9 se muestra un comparativo del comportamiento hidrológico de los caudales de salida en el reservorio Poechos así como de los caudales de entrada en la presa Sullana.

Se observa que, en el primer cuatrimestre, se mantienen los caudales constantes con valores promedios de 5 m³/s en Poechos, caudal ecológico, y de 20 m³/s en Sullana, durante los primeros meses, posteriormente se observa una disminución en los caudales llegando a valores nulos o muy cercanos a cero a finales de noviembre y quincena de diciembre.

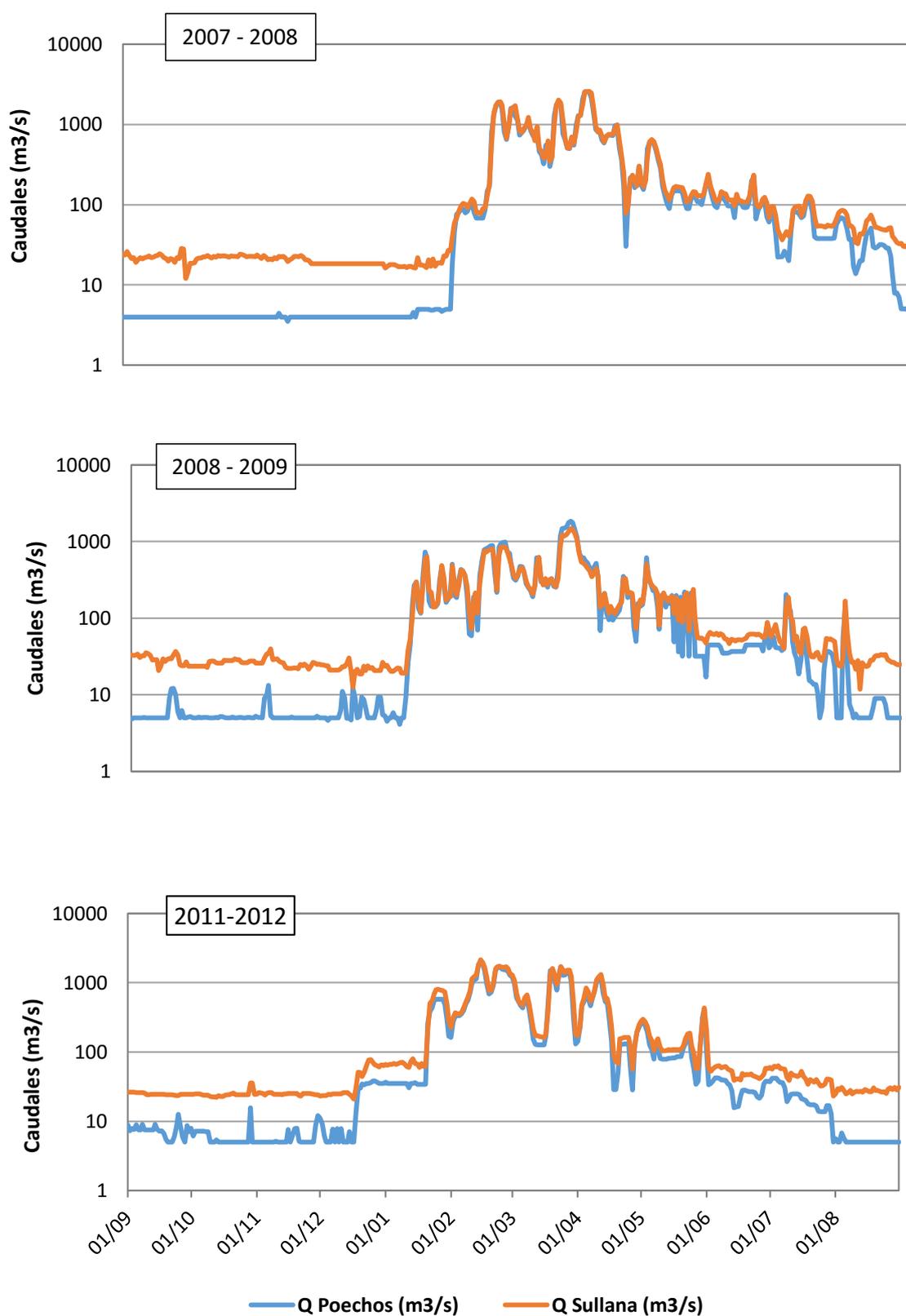


Ilustración 3-8 Comparativo de caudales de salida en reservorio Poechos y de entrada en presa Sullana, años hidrológicos muy húmedos.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

En el segundo cuatrimestre, a partir de enero se inicia el incremento de los caudales y la proximidad entre los valores de ambas estaciones, se presentan picos superiores a los 1000 m³/s entre febrero y abril, y mayores a los que se dieron en otros años del periodo 2004-2017. Durante este periodo se presenta un 18% de días donde los caudales que llegan a la presa de Sullana son menores que los caudales que salen de Poechos hacia el río Chira.

Finalmente, en el tercer cuatrimestre, los caudales empiezan a disminuir, superan aún los 100 m³/s hasta el mes de mayo manteniendo su proximidad, sin embargo, a partir de junio se muestra una disminución en dicha proximidad.

3.1.2.5 Caudales promedios con volumen de entrada al reservorio Poechos

La Ilustración 3-10 muestra los caudales promedios de las estaciones principales, el reservorio Poechos y la presa Sullana, como los caudales de entrada y salida al volumen de control respectivamente; así como los volúmenes de entrada al reservorio Poechos según cada cuatrimestre; diferenciando así las épocas de avenidas de las de estiaje.

Se observa que en el primer cuatrimestre existe una variabilidad entre los caudales de entrada y salida con respecto a los volúmenes de entrada al reservorio que son los que permiten la caracterización de cada año hidrológico y cuatrimestre. Los caudales del primer cuatrimestre son muy cercanos entre sí, refiriéndose a los caudales de cada estación; además, en general, son directamente proporcionales al volumen de entrada al reservorio y la clasificación establecida. Sin embargo, ocurre lo contrario con los caudales de los años 2004-2005, 2007-2008, 2008-2009, 2011-2012 y 2014-2015 que muestran un caudal menor para el volumen que entró al reservorio, clasificados como cuatrimestres normal, húmedo, muy húmedo, muy húmedo y húmedo.

En el segundo cuatrimestre, los caudales de ambas estaciones se aproximan bastante entre sí, y se aprecia que su comportamiento es directamente proporcional al del volumen de entrada al reservorio, en todos los años hidrológicos evaluados e independientemente de la caracterización de los años mencionados.

Por último, en el tercer cuatrimestre, los caudales de ambas estaciones vuelven a distanciarse ente entre sí; aunque este distanciamiento es menor al observado en el primer cuatrimestre.

Asimismo, mantienen un comportamiento directamente proporcional al del volumen de entrada al reservorio en todos los años hidrológicos evaluados.

La variabilidad de los caudales en ambas estaciones en los primeros meses del año hidrológico se debe a que se trata de una época de estiaje y la disponibilidad del recurso hídrico es menor; a diferencia de la época de avenidas en la mitad del año, donde la oferta hídrica es mayor; y en los últimos meses del año los caudales de ambas estaciones reflejan la transición y el retorno a una época de estiaje por lo que se nota que aún conservan su comportamiento proporcional a los volúmenes de entrada al reservorio y poca variabilidad entre sí mismos.

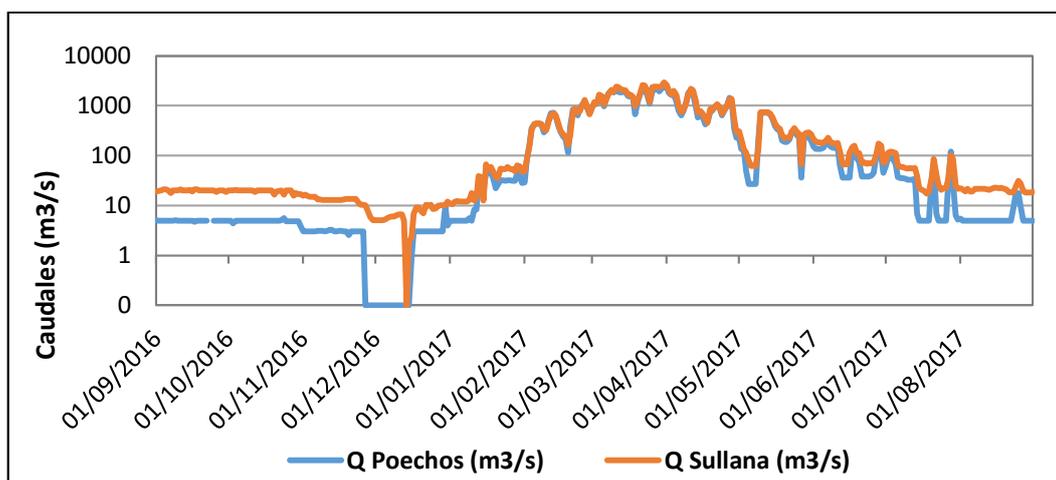


Ilustración 3-9 Comparativo de caudales de salida en reservorio Poechos y de entrada en presa Sullana, año hidrológico 2016-2017.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración: Elaboración propia.

3.1.3 Correlación de caudales

A través de la correlación de los caudales principales de entrada y salida del volumen de control, se busca entender e interpretar la relación que existe entre dichas variables y además, por medio de los coeficientes de correlación (R^2), se expondrá el grado de asociación entre dichas variables.

En el presente apartado, se ha dividido el análisis por cuatrimestre y de acuerdo a la caracterización de cada año hidrológico con la finalidad de evaluar el comportamiento según épocas de estiaje y de avenidas de cada año individualmente. Esto se debe a que los caudales presentan un comportamiento distinto en cada época y se busca evitar que los coeficientes de correlación varíen al verse influenciados por otro grupo de datos.

Así mismo, en algunos años hidrológicos se ha procedido a eliminar aquellos datos atípicos que se alejan demasiado de la línea de tendencia, o también llamados outliers; los cuales producían que los coeficientes de correlación disminuyan. Cabe indicar, que la cantidad de datos eliminados en cada cuatrimestre y por cada estación depende de la cantidad de outliers que se puedan presentar; sin embargo, no superan la cantidad de 4 días, puesto que por cada cuatrimestre se tiene en promedio 120 días; por lo tanto, los días eliminados no tienen gran implicancia en el total del cuatrimestre.

Finalmente, la línea de tendencia expresa el comportamiento de los caudales aproximándolos a la forma de una ecuación lineal $y=mx+b$, donde el término m refleja la relación de los caudales que salen de la presa Poechos al llegar a la de Sullana, o también la pendiente de la ecuación la cual se espera sea 1 o muy aproximada; mientras que la constante b reflejaría los caudales de retorno total tanto de la agricultura, de las granjas de peces (AQUA S.A), los afluentes del río Chira, entre otros.

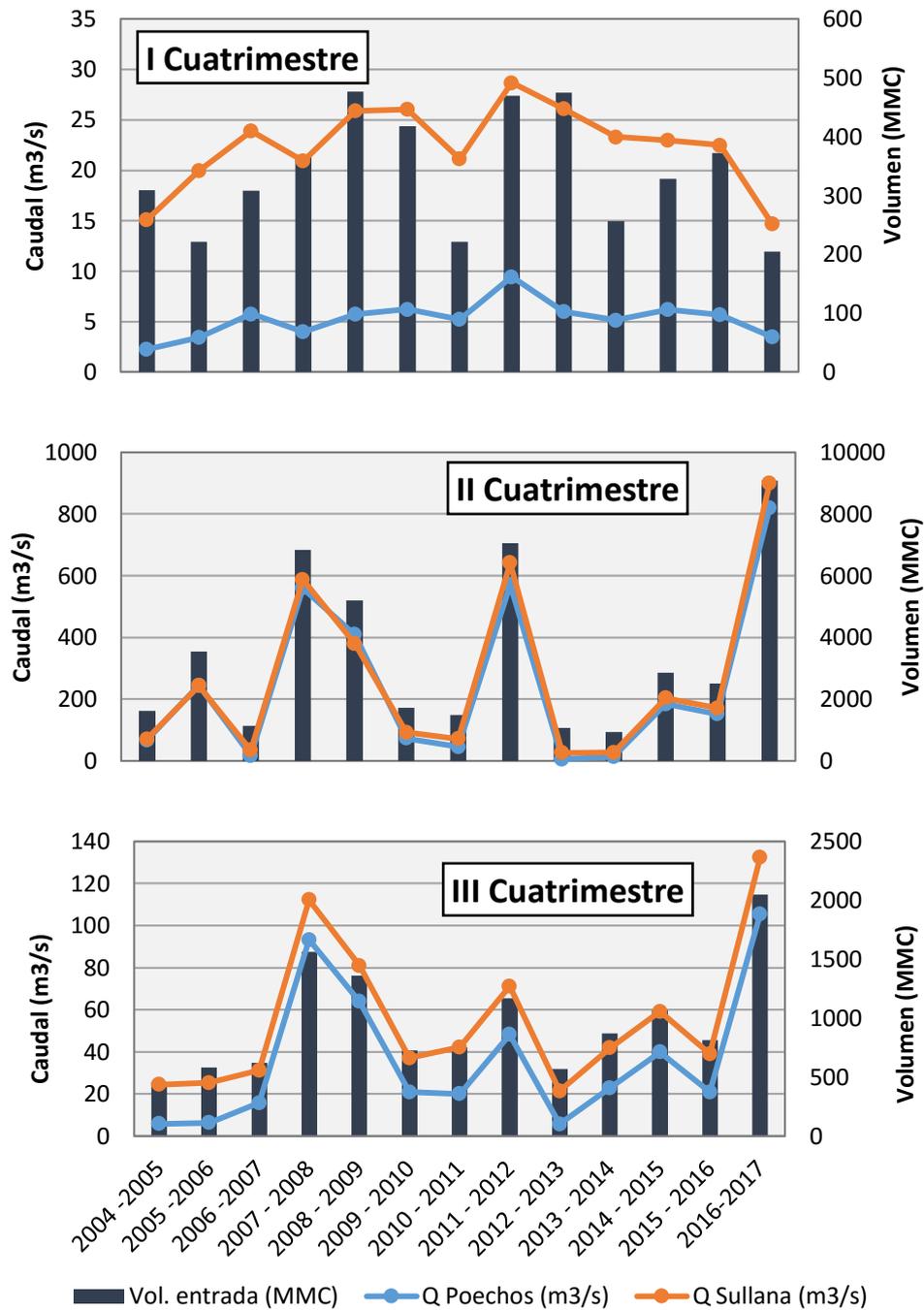


Ilustración 3-10 Caudales promedio principales con volumen de entrada al reservorio Poechos, III Cuatrimestre.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

3.1.3.1 Años normales

A continuación, se presentan las correlaciones ejecutadas para los años normales según cada cuatrimestre.

a. Primer cuatrimestre

De la Ilustración 3-11 e Ilustración 3-12 se muestra las correlaciones elaboradas entre los meses de setiembre a diciembre de los años normales.

Se puede observar que los caudales de entrada al volumen de control son principalmente caudales ecológicos que van desde valores de 0.0 m³/s hasta 13.89 m³/s; y en cuanto a los caudales de salida, desde valores de 7.21 m³/s hasta 35.88 m³/s para un cuatrimestre muy húmedo en ambos casos.

Por otra parte, se obtuvo coeficientes R² muy bajos y menores a 0.5 debido a que las nubes de datos presentes son muy dispersas y anchas, por lo tanto, resulta una baja relación entre los caudales de ambas estaciones. Esto se debe a que para un mismo valor de caudales de entrada le corresponden distintos valores de caudales de salida.

La constante b, la cual representa los caudales de retorno, aumenta a medida que el cuatrimestre es caracterizado por tener una mayor oferta hídrica. Los valores de dicha constante fluctúan entre 10.94 m³/s y 27.03 m³/s.

b. Segundo cuatrimestre

En la Ilustración 3-13 e Ilustración 3-14 se muestra las correlaciones elaboradas entre los meses de enero a abril para los años normales. No se ha incluido la gráfica del año 2013 debido a que no se cuenta con los datos de este periodo.

Durante esta época de avenidas, los caudales de entrada al volumen de control superan los caudales ecológicos, es decir, se presentan mayores caudales excedentes; donde los valores varían entre 0.0 m³/s y 1078 m³/s; y en cuanto a los caudales de salida varían entre 0.0 m³/s y 1014.4 m³/s. Además, en general, los caudales que salen de Poechos son menores a los que llegan a Sullana, a excepción de los años 2005 y 2010 donde la tendencia es contraria al resto de años.

La correlación de los caudales principales presenta coeficientes de R² altos, muy cercanos a 1, y aumentan a medida que un cuatrimestre es caracterizado por tener mayor oferta hídrica en el reservorio. Es decir que, en épocas de avenidas, los caudales aumentan su grado de asociación entre estaciones.

Finalmente, las constantes b también aumenta a medida que un cuatrimestre es caracterizado por tener una mayor oferta hídrica; a excepción del cuatrimestre del año 2011, caracterizado como normal, que presenta un caudal de retorno menor al de un cuatrimestre seco. Los valores de estas constantes fluctúan entre 9.86 m³/s y 24.15 m³/s.

También se puede percibir que los caudales tienen una relación directamente proporcional entre ambas estaciones y que al promediar las pendientes obtenidas resulta 1.1 como valor promedio, debido a que dichas pendientes son cercanas a 1.

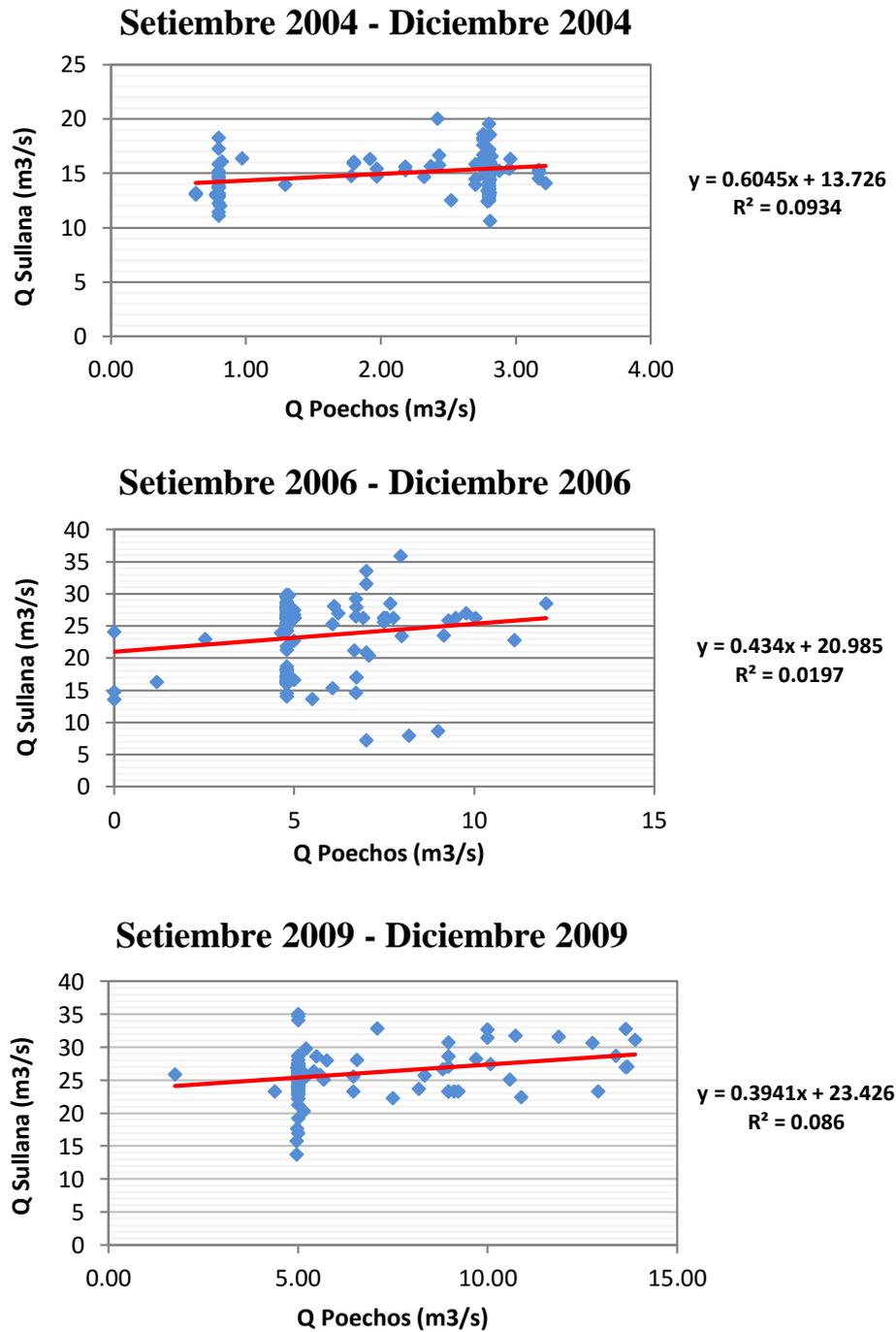


Ilustración 3-11 Correlación de caudales diarios del I CM, años normales 2004, 2006 y 2009.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

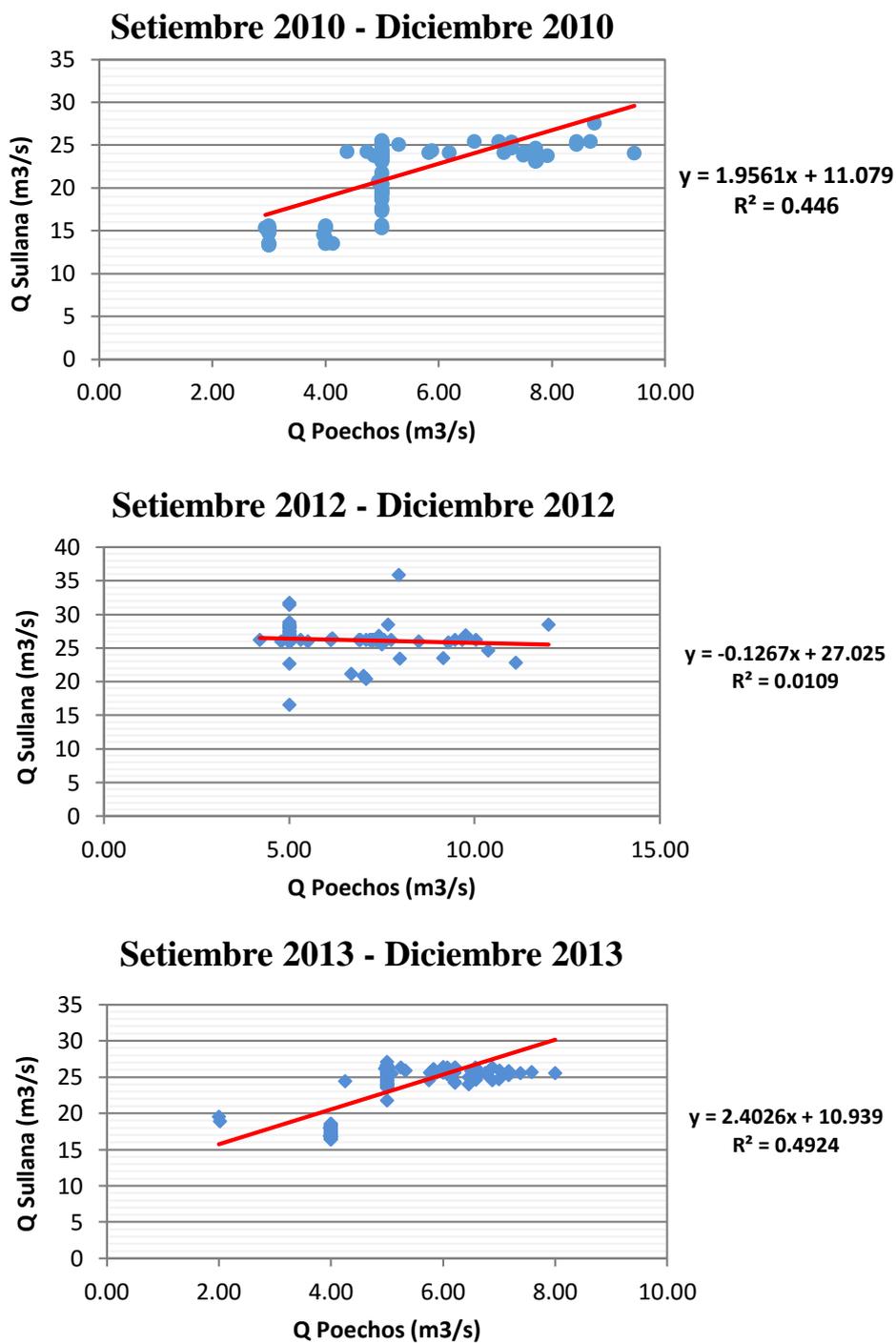


Ilustración 3-12 Correlación de caudales diarios del I CM, años normales 2010, 2012 y 2013.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

c. Tercer cuatrimestre

En la Ilustración 3-15 e Ilustración 3-16 se muestra las correlaciones elaboradas entre los meses de mayo a agosto para los años correspondientes.

En esta época la mayoría de los caudales que ingresan al volumen de control se vuelven a aproximar al caudal ecológico de 5 m³/s; sin embargo, aún existe presencia de picos, variando así entre 1.35 y 284.25 m³/s; y en cuanto a los caudales que llegan a la presa Sullana se ha llegado a 380.63 m³/s para un cuatrimestre húmedo en ambos casos.

Asimismo, se obtuvieron coeficientes de R² mayores a 0.9 pero menores a los obtenidos en el segundo cuatrimestre; a excepción de los cuatrimestres de los años 2005 y 2013 caracterizados como seco y normal respectivamente. En estos últimos años mencionados, la nube de datos es más dispersa y ancha, por lo tanto, expresa un menor grado de asociación entre los caudales de ambas estaciones. Dichos coeficientes tienden a aumentar a medida que un cuatrimestre es caracterizado por tener mayor oferta hídrica en el reservorio.

Los caudales mantienen una relación directamente proporcional. Las pendientes obtenidas al ser promediadas arrojaron 1.05 como resultado. No obstante, el cuatrimestre del año 2013 es una excepción puesto que es la que más se aleja con un valor de 0.46.

Por último, las constantes b no muestran marcada diferencia entre los valores obtenidos en los diferentes cuatrimestres evaluados, independientemente de su caracterización, es decir, sus valores son muy aproximados entre sí. Estos valores fluctúan entre 15.61 m³/s y 18.76 m³/s.

d. Resumen de correlaciones

En la Tabla 3-7 se presenta el resumen de los coeficientes R² de acuerdo a cada cuatrimestre.

Tabla 3-7 Resumen de resultados de tiempo de concentración.

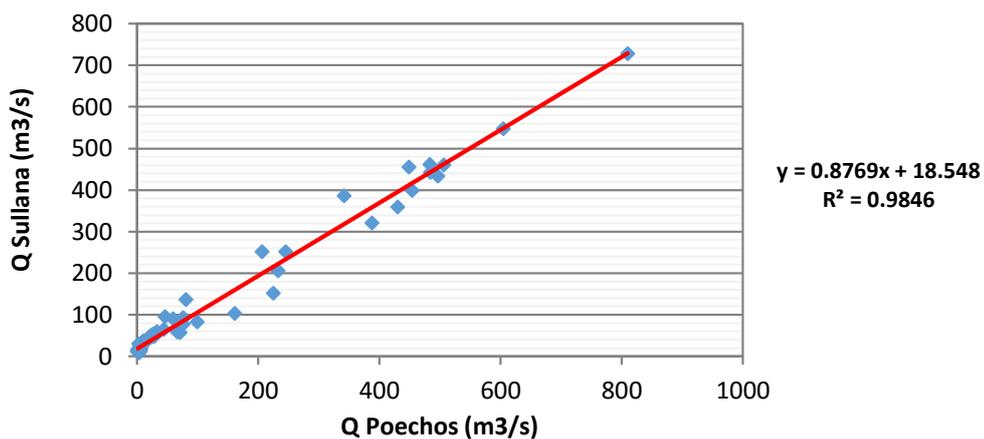
| Año Hidrológico | CM I | CM II | CM III |
|------------------------|-------------|--------------|---------------|
| 2004 - 2005 | 0.0934 | 0.9846 | 0.5178 |
| 2006 - 2007 | 0.0197 | 0.9553 | 0.9105 |
| 2009 - 2010 | 0.0860 | 0.9727 | 0.9554 |
| 2010 - 2011 | 0.4408 | 0.9775 | 0.9269 |
| 2012 - 2013 | 0.0190 | SD | 0.0204 |
| 2013 - 2014 | 0.4924 | 0.9647 | 0.9155 |

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

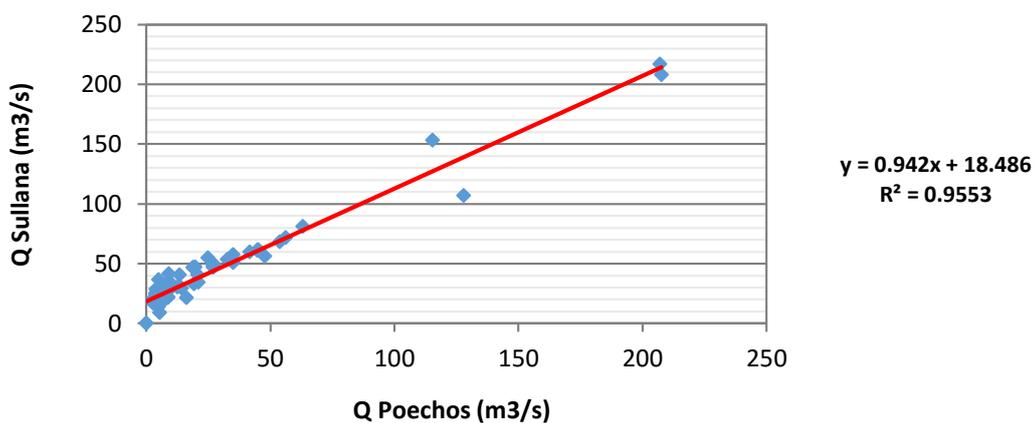
Se puede observar que los coeficientes R² incrementan su valor durante las épocas de avenidas y disminuyen durante las épocas de estiaje.

Esto indica que los caudales principales de entrada, Poechos, y salida, Sullana, en el tramo de estudio presentan un mayor grado de relación durante épocas de avenidas.

Enero 2005 - Abril 2005



Enero 2007 - Abril 2007



Enero 2010 - Abril 2010

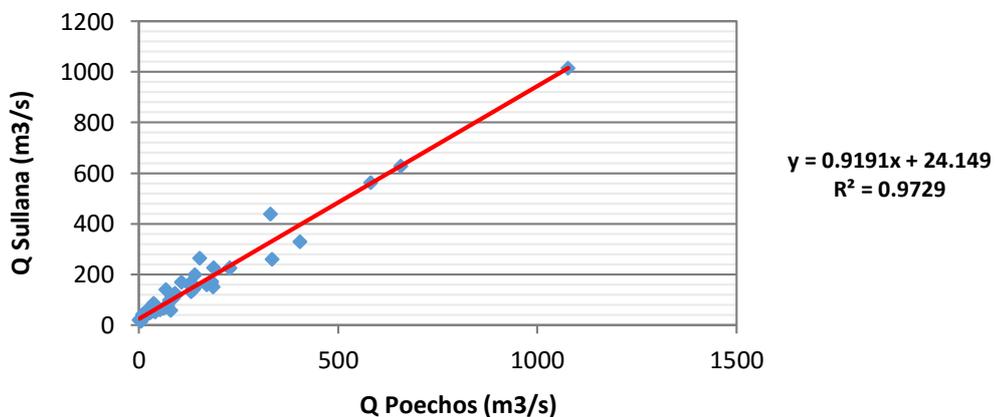
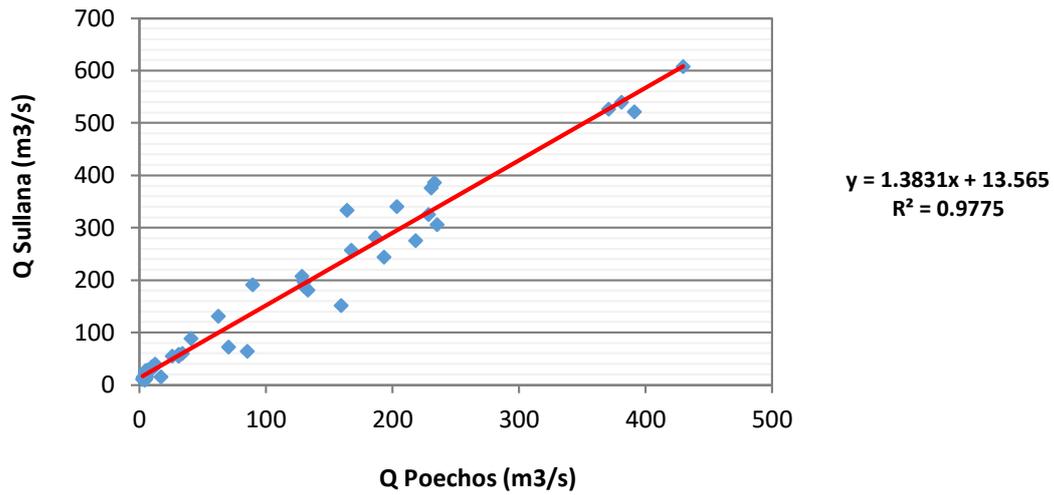


Ilustración 3-13 Correlación de caudales diarios del II CM, años normales 2005, 2007 y 2010.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

Enero 2011 - Abril 2011



Enero 2014 - Abril 2014

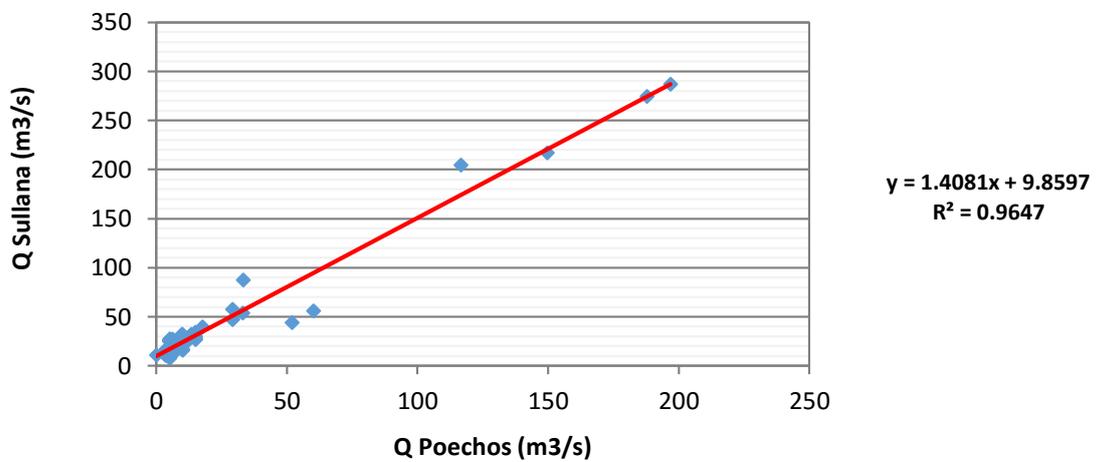
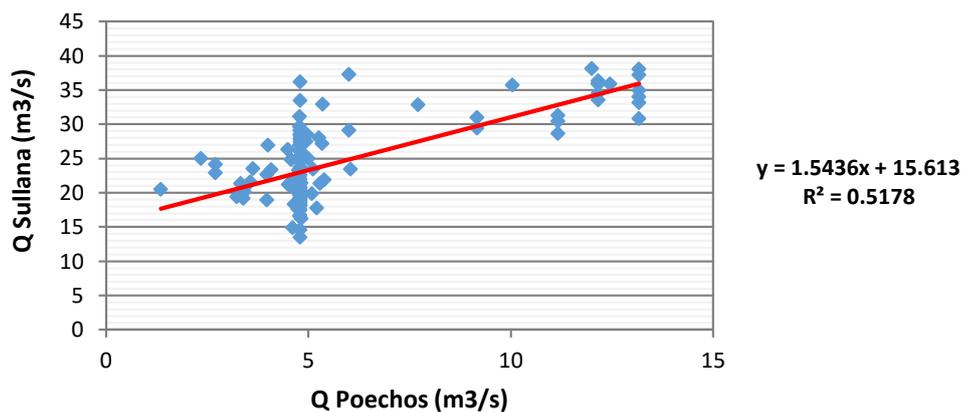


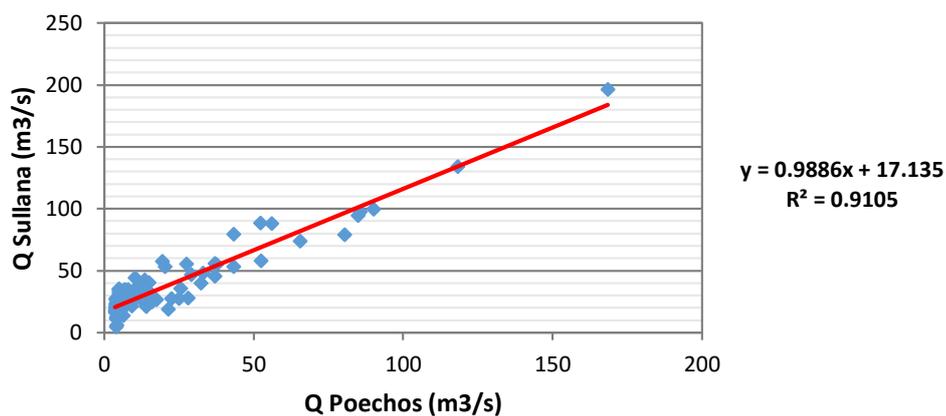
Ilustración 3-14 Correlación de caudales diarios del II CM, años normales 2011 y 2014.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

Mayo 2005 - Agosto 2005



Mayo 2007 - Agosto 2007



Mayo 2010 - Agosto 2010

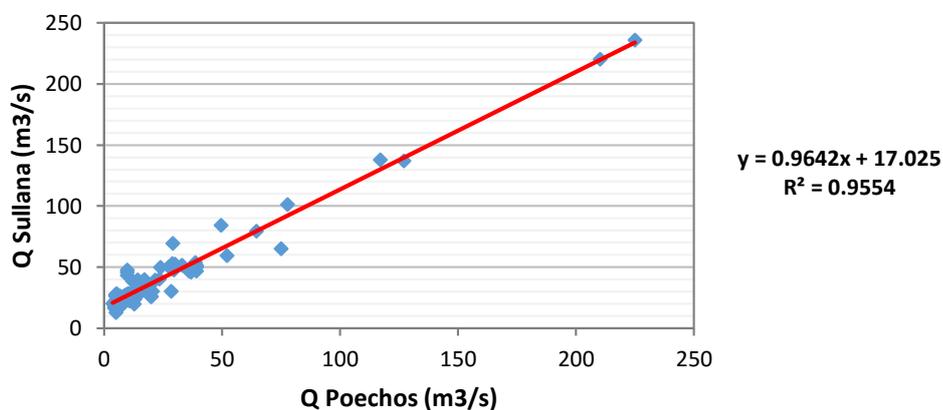


Ilustración 3-15 Correlación de caudales diarios del III CM, años normales 2005, 2007 y 2010.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

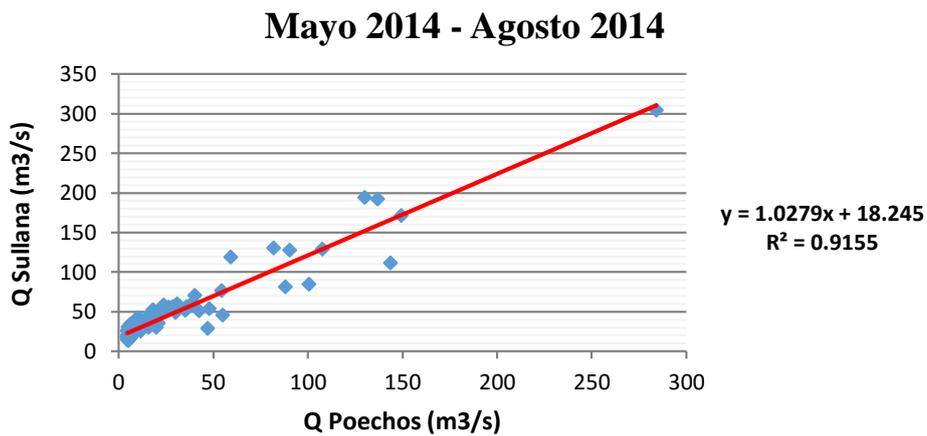
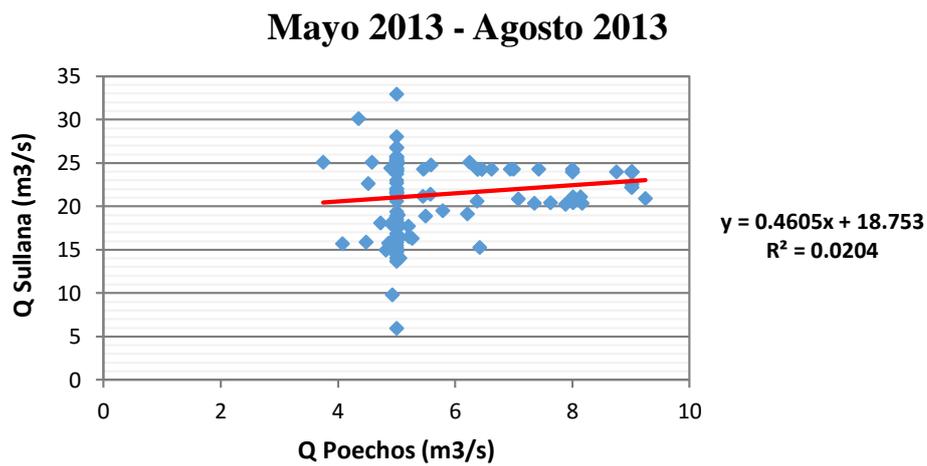
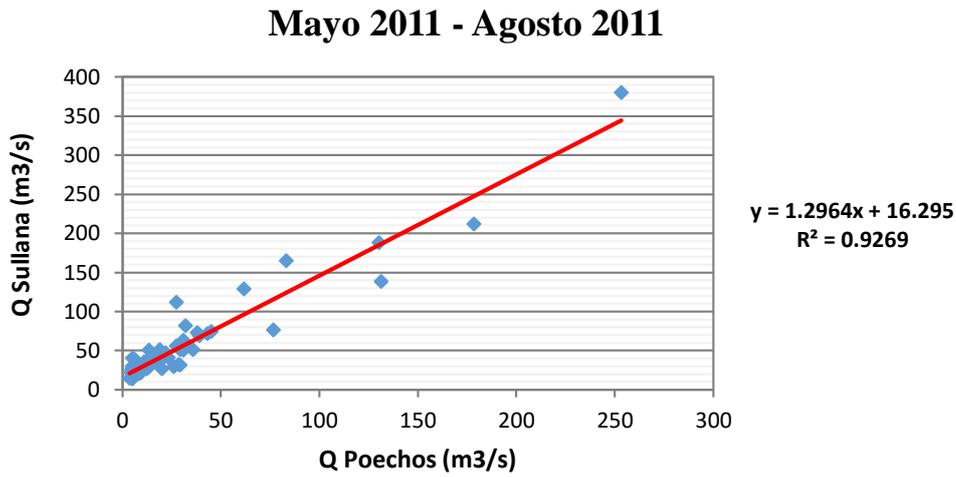


Ilustración 3-16 Correlación de caudales diarios del III CM, años normales 2011, 2013 y 2014.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia. Años húmedos

3.1.3.2 Años húmedos

A continuación, se presentan las correlaciones ejecutadas para los años húmedos según cada cuatrimestre.

a. Primer cuatrimestre

En Ilustración 3-17 se muestra las correlaciones elaboradas entre los meses de setiembre a diciembre para los años caracterizados como húmedos. Los caudales principales de ingreso al volumen de control en el tramo de estudio son primordialmente caudales ecológicos de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ o muy cercanos; a pesar de haber llegado a valores de $10.28 \text{ m}^3/\text{s}$ para un cuatrimestre húmedo; y en cuanto a los caudales de salida, estos varían entre $5 \text{ m}^3/\text{s}$ y $43.94 \text{ m}^3/\text{s}$ para un cuatrimestre muy húmedo.

Por otra parte, la correlación de los caudales principales tiene coeficientes de R^2 bajos y menores a 0.7, los que disminuyen a medida que un cuatrimestre es caracterizado por tener mayor oferta hídrica en el reservorio. La nube de datos correspondiente al año 2015 es más dispersa, además se identifica que para un mismo caudal de entrada le corresponde diversos valores de caudales de salida, lo cual se refleja en un bajo grado de asociación entre los caudales de ambas estaciones o coeficientes R^2 .

Las pendientes tienen valores cercanos a 1, a excepción del cuatrimestre del año 2005 que presenta un valor de 3.3, caracterizado seco. También cabe mencionar que las pendientes tienden a disminuir a medida que se caracteriza un cuatrimestre con mayor oferta hídrica.

Por lo contrario, la constante b tiene una relación directa con la caracterización de los cuatrimestres según la oferta hídrica que presenten. Los valores de dicha constante fluctúan entre $8.62 \text{ m}^3/\text{s}$ y $19.07 \text{ m}^3/\text{s}$.

b. Segundo cuatrimestre

En la Ilustración 3-18 se muestra las correlaciones elaboradas entre los meses de enero hasta abril para los años caracterizados como húmedos.

Se puede observar que, durante esta época de avenida, la mayoría de los caudales de entrada al volumen de control incrementan en demasía, llegando a valores de $2438.75 \text{ m}^3/\text{s}$; y en cuanto a los caudales de salida se ha alcanzado valores de $2481.09 \text{ m}^3/\text{s}$. Todos los cuatrimestres evaluados en este apartado han sido clasificados como húmedos.

Asimismo, la correlación de los caudales principales presenta coeficientes de R^2 altos, es decir, muy cercanos a 1. Por lo tanto, en épocas de avenidas, los caudales entre estaciones aumentan su grado de asociación.

Los caudales de ambas estaciones tienen una relación directamente proporcional; a medida que un valor es mayor en Poechos le corresponde un valor mayor en Sullana. Los caudales que salen de Poechos son menores a los que llegan a Sullana, a excepción del año hidrológico 2005-2006.

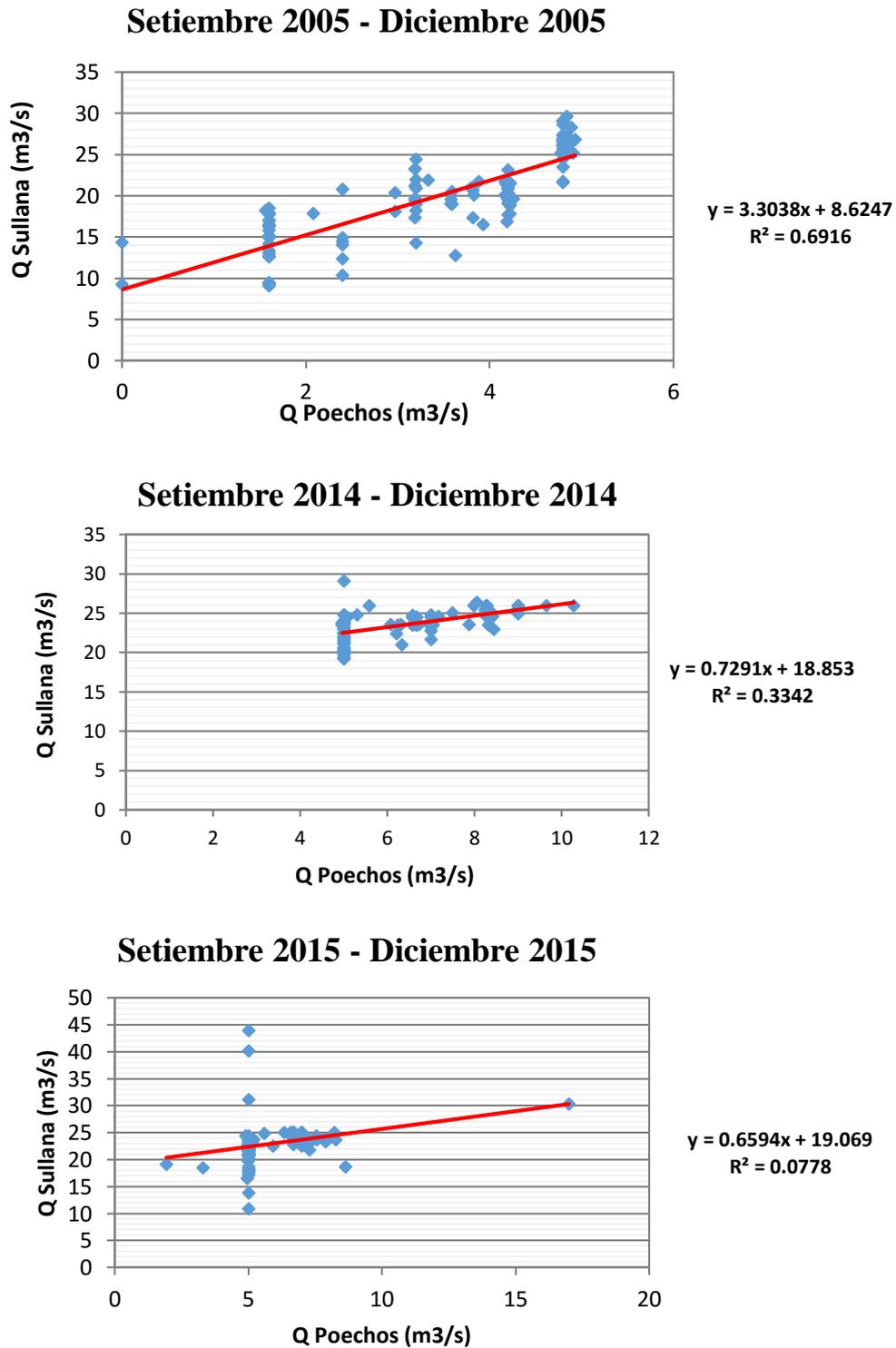


Ilustración 3-17 Correlación de caudales diarios del I CM, años húmedos 2005, 2014 y 2015.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

En cuanto a las pendientes de las líneas de tendencia se obtiene como resultado 0.95. Además, cabe mencionar que dichas pendientes disminuyen a medida que un cuatrimestre es caracterizado por tener mayor oferta hídrica.

Por otro lado, las constantes b también aumenta a medida que un cuatrimestre es caracterizado por tener una mayor oferta hídrica en el reservorio. Los valores de estas constantes fluctúan entre $21.47 \text{ m}^3/\text{s}$ y $30.72 \text{ m}^3/\text{s}$.

c. Tercer cuatrimestre

De la Ilustración 3-44 hasta la Ilustración 3-46 se muestra las correlaciones elaboradas entre los meses de mayo hasta agosto para los años caracterizados como húmedos.

Se puede observar que, durante esta época, los caudales de ambas estaciones empiezan a disminuir, sin embargo, aún hay presencia de picos; en el caso de los caudales que entran al volumen de control se alcanzó valores de $299.16 \text{ m}^3/\text{s}$; y en cuanto a los caudales de salida, valores de $243.08 \text{ m}^3/\text{s}$ para un cuatrimestre muy húmedo y húmedo respectivamente.

Asimismo, se obtuvieron coeficientes de R^2 relativamente altos pero menores a 0.95. El cuatrimestre del año 2006 presenta el coeficiente R^2 más bajo de 0.60, puesto que su nube de datos es más dispersa. Dichos coeficientes tienden a aumentar a medida que un cuatrimestre es caracterizado por tener mayor oferta hídrica en el reservorio.

Cabe resaltar que los caudales de ambas estaciones tienen una relación directamente proporcional muy cercana a 1; por ello al promediar las pendientes se obtiene como resultado 1.09.

La constante b fluctúan entre $15.78 \text{ m}^3/\text{s}$ y $26.98 \text{ m}^3/\text{s}$. Su tendencia es que aumentan a medida que un cuatrimestre es caracterizado por tener una mayor oferta hídrica.

d. Resumen de correlaciones

En la Tabla 3-8 se presenta el resumen de los coeficientes R^2 de acuerdo a cada cuatrimestre.

Tabla 3-8 Resumen de resultados de tiempo de concentración.

| Cuatrimestre | CM I | CM II | CM III |
|--------------|--------|--------|--------|
| 2005 - 2006 | 0.6916 | 0.9727 | 0.6083 |
| 2014 - 2015 | 0.3342 | 0.951 | 0.7363 |
| 2015 - 2016 | 0.0778 | 0.9874 | 0.9474 |

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

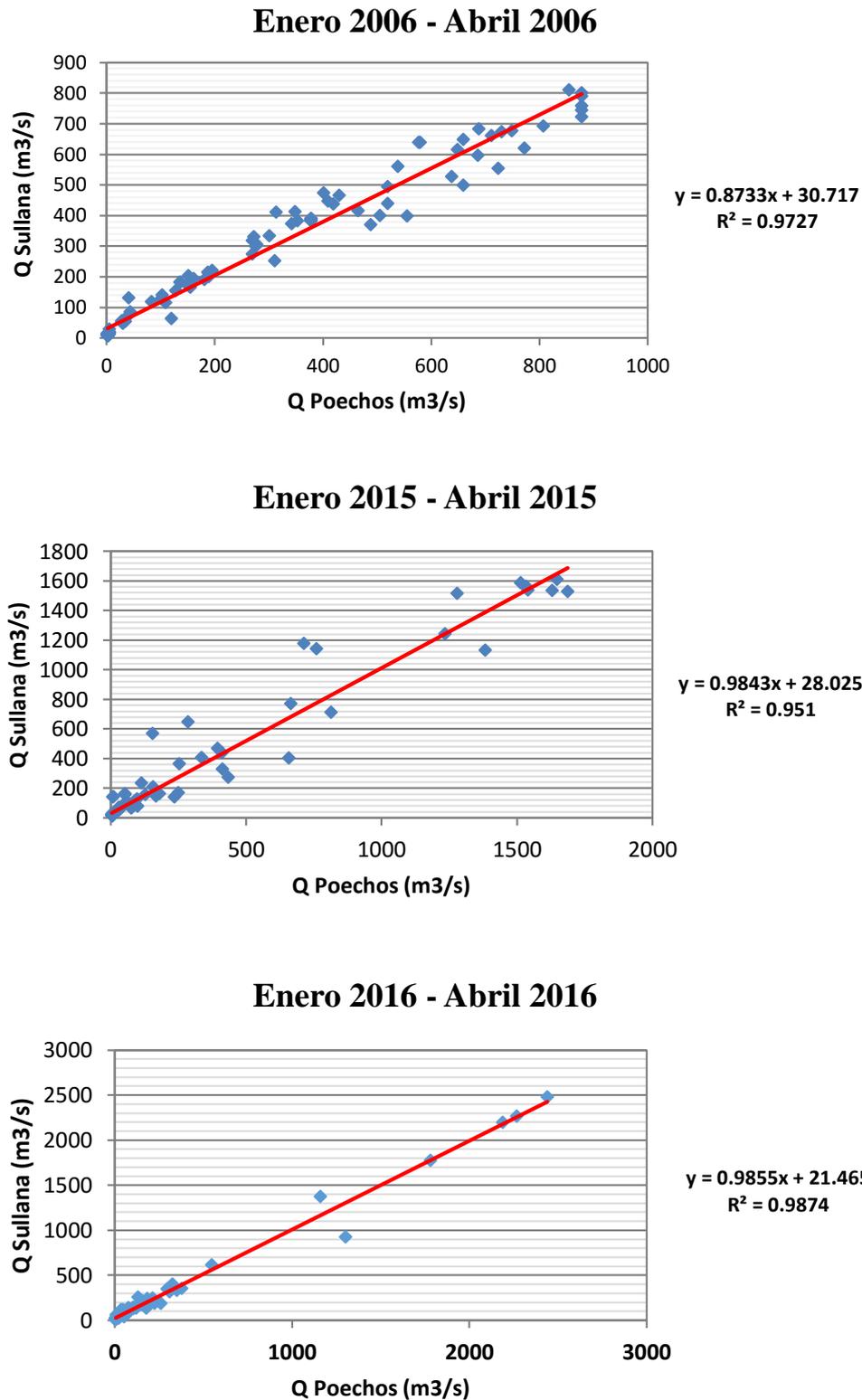


Ilustración 3-18 Correlación de caudales diarios del II CM, años húmedos 2006, 2015 y 2016.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

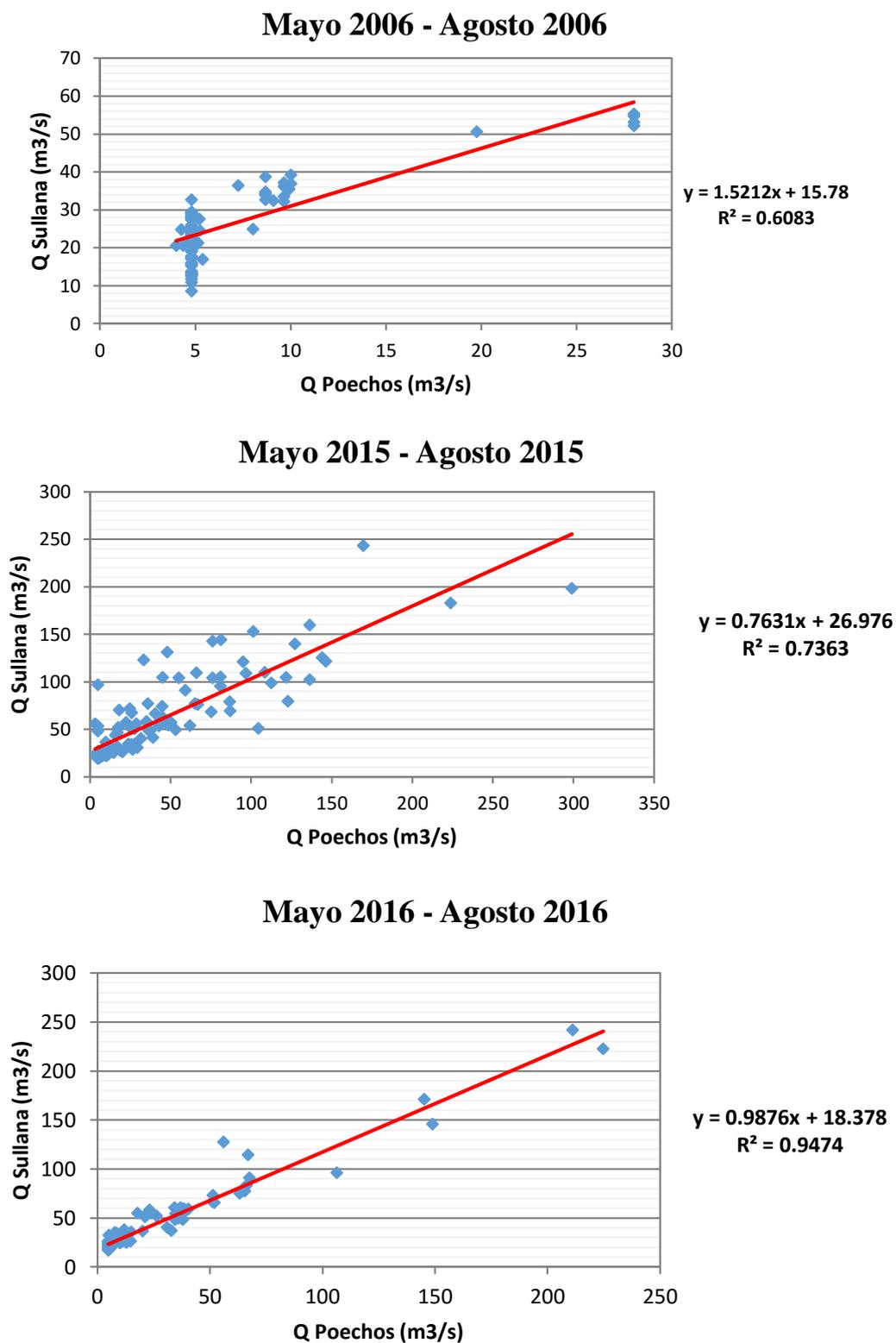


Ilustración 3-19 Correlación de caudales diarios del III CM, años húmedos 2006, 2015 y 2016.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

Se puede observar que los coeficientes R^2 disminuyen empezando por el segundo cuatrimestre, luego el tercer cuatrimestre y finalmente, el primer cuatrimestre, es decir, incrementan su valor durante las épocas de avenidas y disminuyen durante las épocas de estiaje.

Esto indica que los caudales principales de entrada, Poechos, y salida, Sullana, en el tramo de estudio presentan un mayor grado de relación durante épocas de avenidas.

3.1.3.3 Años muy húmedos

A continuación, se presentan las correlaciones ejecutadas para los años muy húmedos según cada cuatrimestre.

a. Primer cuatrimestre

En la Ilustración 3-20 se muestra las correlaciones elaboradas entre los meses de setiembre a diciembre para los años caracterizados como muy húmedos.

Tal y como se muestra, la mayoría de los caudales que ingresan al volumen de control son caudales ecológicos los cuales tienen valores de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ o cercanos a éste, a excepción del cuatrimestre del año 2011 que presenta caudales de hasta $38.5 \text{ m}^3/\text{s}$; así mismo, los caudales de salida se presentan valores de hasta $77.84 \text{ m}^3/\text{s}$. Los coeficientes de correlación R^2 que se obtuvieron son muy alejados de 1, debido a que para un mismo valor de caudales de entrada le corresponden distintos valores de caudales de salida, haciendo que el grado de asociación entre los caudales de ambas estaciones sea mínimo; a excepción del cuatrimestre del año 2011 que muestra una relación directamente proporcional más notoria, por lo que su coeficiente R^2 es de 0.91 y está clasificado como cuatrimestre muy húmedo.

Finalmente, las constantes b tienden a aumentar a medida que un cuatrimestre es caracterizado por tener una mayor oferta hídrica. Estos valores fluctúan entre $7.28 \text{ m}^3/\text{s}$ y $25.47 \text{ m}^3/\text{s}$.

b. Segundo cuatrimestre

En la Ilustración 3-21 se muestra las correlaciones elaboradas entre los meses de enero hasta abril para los años caracterizados como muy húmedos.

Se observa que los caudales de entrada al volumen de control varían entre $4 \text{ m}^3/\text{s}$ y $2536.11 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que los caudales de salida varían entre $17.12 \text{ m}^3/\text{s}$ y $2594.03 \text{ m}^3/\text{s}$. Todos los cuatrimestres han sido clasificados como muy húmedo.

En todos los casos, los coeficientes R^2 son altos y muy cercanos a 1, esto se debe a que las nubes de datos son estrechas y concentradas. De la misma manera, se percibe que las pendientes tienen un valor promedio de 0.95; mientras que los caudales de ambas estaciones presentan una relación directamente proporcional, donde los caudales que llegan a Sullana son mayores que los que salen desde Poechos, a excepción del año 2009.

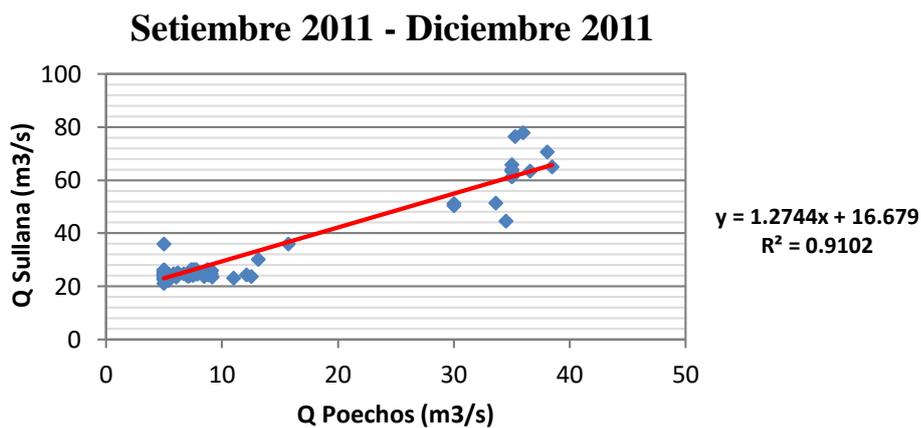
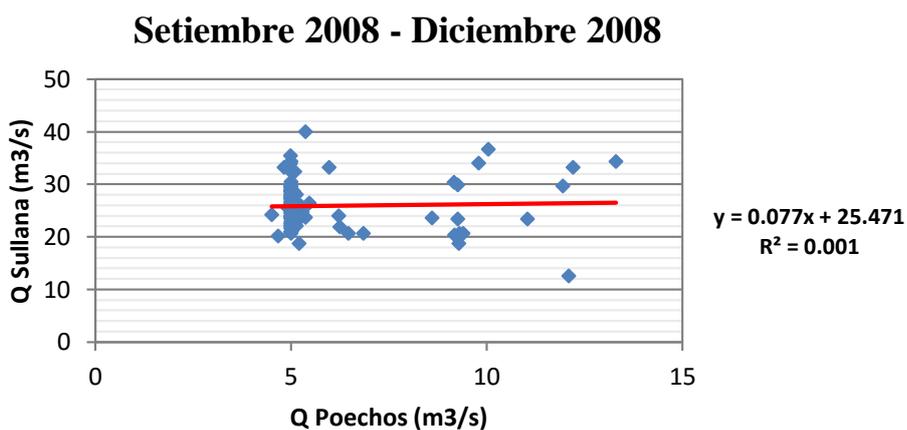
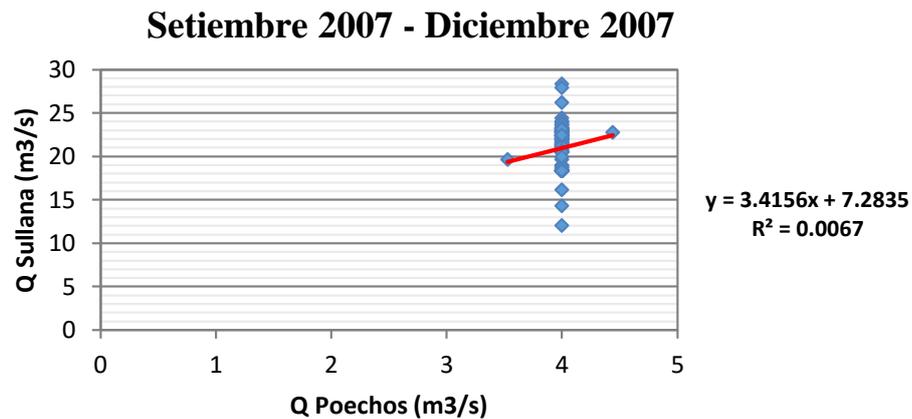
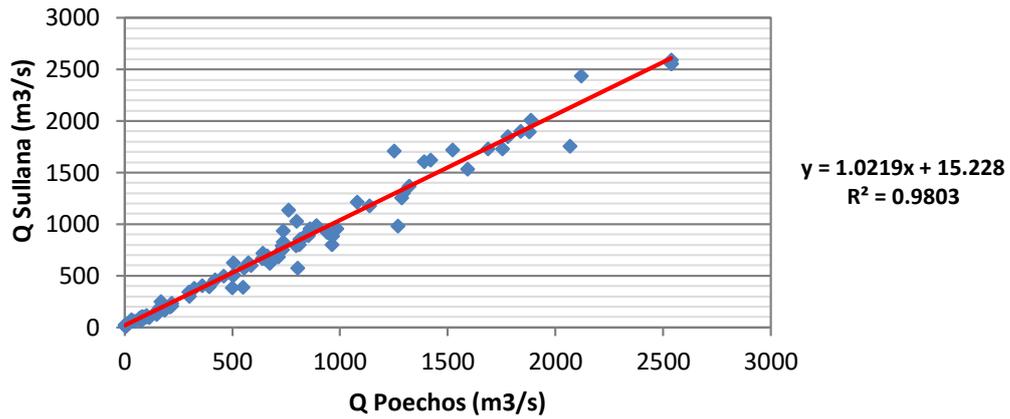


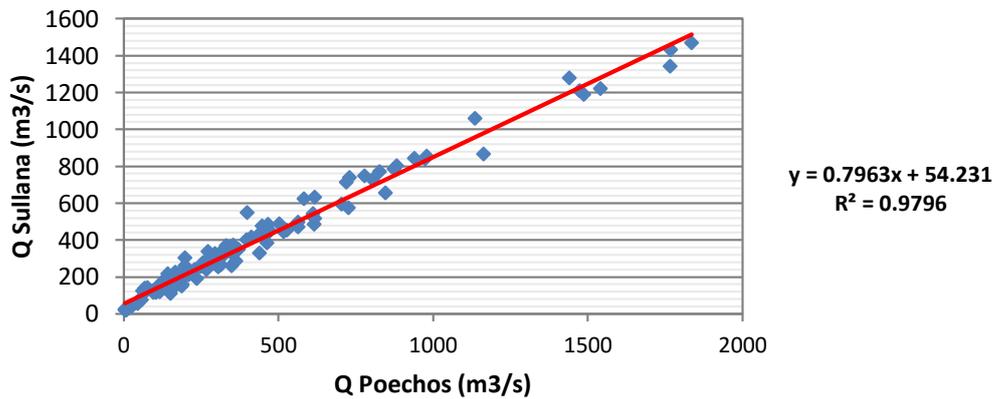
Ilustración 3-20 Correlación de caudales diarios del I CM, años muy húmedos 2007, 2008 y 2011.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

Enero 2008 - Abril 2008



Enero 2009 - Abril 2009



Enero 2012 - Abril 2012

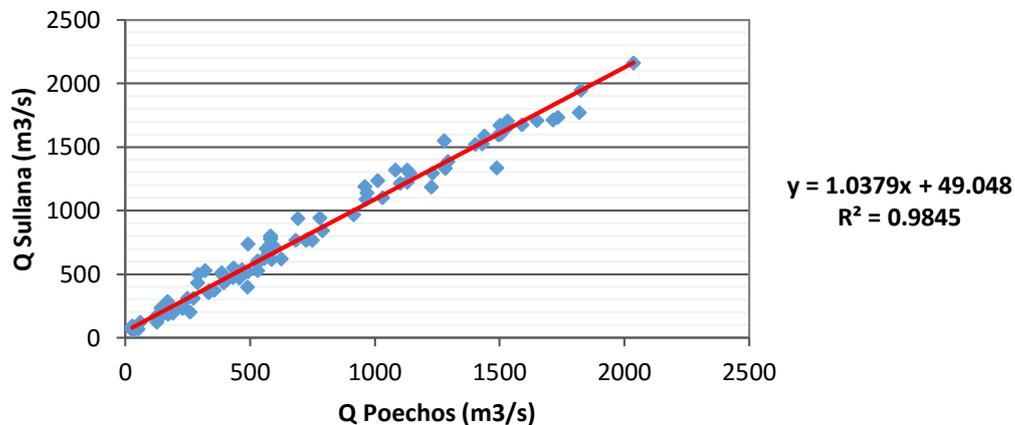


Ilustración 3-21 Correlación de caudales diarios del II CM, años muy húmedos.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

Los caudales de retorno tienen valores que fluctúan entre $15.23 \text{ m}^3/\text{s}$ y $54.23 \text{ m}^3/\text{s}$; sin embargo, el caudal de retorno obtenido en el cuatrimestre del año 2008 es menor al promedio esperado para un cuatrimestre muy húmedo. Además, la tendencia de los caudales de retorno es disminuir a medida que un cuatrimestre presenta mayor oferta hídrica.

c. Tercer cuatrimestre

En la Ilustración 3-22 se muestra las correlaciones elaboradas entre los meses de mayo hasta agosto para los años caracterizados como muy húmedos.

Tal como se observa, los caudales de entrada al volumen de control varían entre $5 \text{ m}^3/\text{s}$ y $628.96 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que los caudales de salida varían entre $11.83 \text{ m}^3/\text{s}$ y $647.59 \text{ m}^3/\text{s}$. Todos los cuatrimestres han sido clasificados como muy húmedos.

En general, los coeficientes de R^2 obtenidos son altos y muy cercanos a 1, puesto que las nubes de datos presentes son estrechas y concentradas. Dichos coeficientes tienden a aumentar a medida que un cuatrimestre es caracterizado por tener mayor oferta hídrica en el reservorio.

Cabe resaltar que los caudales de ambas estaciones tienen una relación directamente proporcional, y al promediar las pendientes se obtiene como resultado 0.95.

La constante b fluctúa entre $18.38 \text{ m}^3/\text{s}$ y $26.02 \text{ m}^3/\text{s}$. Su tendencia es que aumentan a medida que un cuatrimestre es caracterizado por tener una mayor oferta hídrica.

d. Resumen de correlaciones

En la Tabla 3-9 se presenta el resumen de los coeficientes R^2 de acuerdo a cada cuatrimestre.

Tabla 3-9 Resumen de resultados de tiempo de concentración.

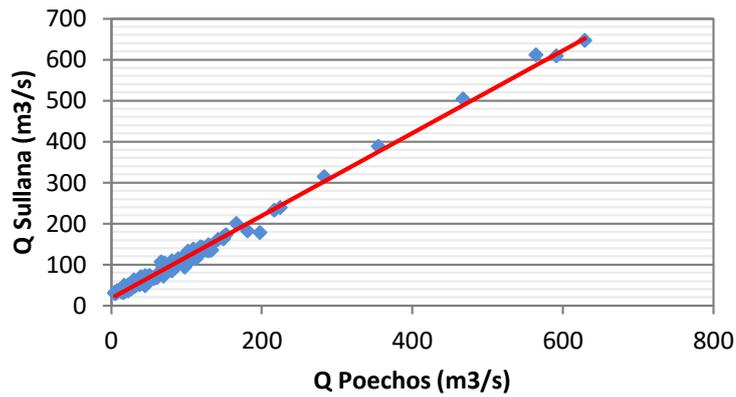
| Cuatrimestre | CM I | CM II | CM III |
|--------------------|--------|--------|--------|
| 2007 - 2008 | 0.0067 | 0.9803 | 0.9926 |
| 2008 - 2009 | 0.001 | 0.9796 | 0.9416 |
| 2011 - 2012 | 0.9102 | 0.9845 | 0.9736 |

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

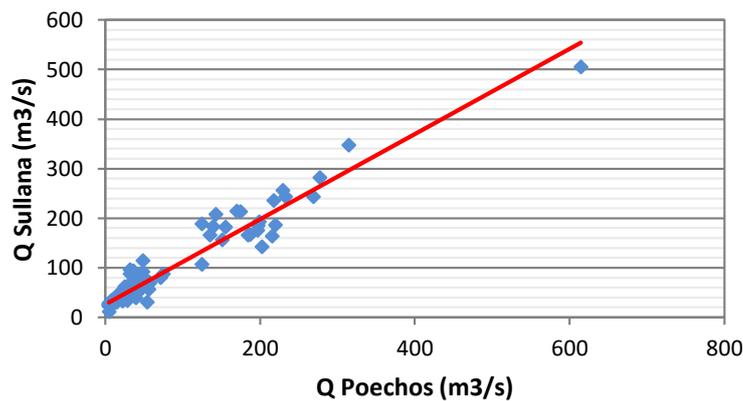
Se puede observar que los coeficientes R^2 presentan valores elevados y cercanos a 1 durante el segundo y tercer cuatrimestre y disminuyen empezando en el primer cuatrimestre, es decir, durante las épocas de estiaje.

Esto indica que los caudales principales de entrada, Poechos, y salida, Sullana, en el tramo de estudio presentan un mayor grado de relación durante épocas de avenidas.

Mayo 2008 - Agosto 2008



Mayo 2009 - Agosto 2009



Mayo 2012 - Agosto 2012

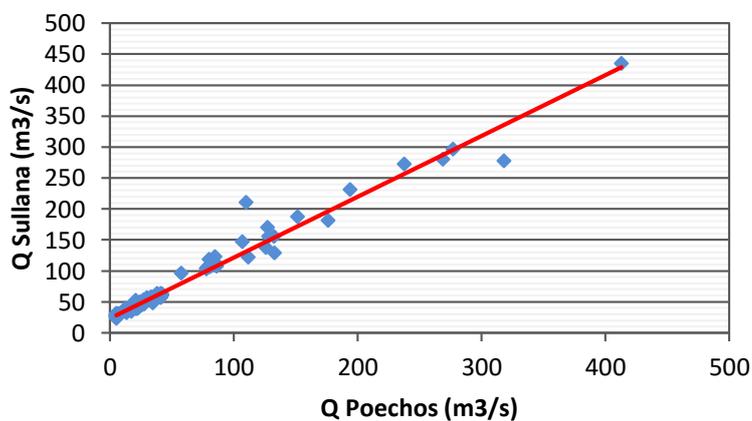


Ilustración 3-22 Correlación de caudales diarios del III CM, años muy húmedos.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

3.1.3.4 Años extraordinarios

En la Ilustración 3-23 se presenta las correlaciones ejecutadas para el año hidrológico 2016-2017 caracterizado como extraordinario según cada cuatrimestre.

En el periodo de setiembre a diciembre, los caudales de entrada al volumen de control varían entre $0 \text{ m}^3/\text{s}$ y $5.58 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que los caudales de salida varían entre $0 \text{ m}^3/\text{s}$ y $21.33 \text{ m}^3/\text{s}$. Durante este periodo se presenta un coeficiente R^2 que refleja un grado de asociación moderado entre los caudales de ambas estaciones. Además, se observa que se ha obtenido un caudal de retorno de $4.25 \text{ m}^3/\text{s}$ en un cuatrimestre clasificado como seco.

Por otro lado, en el periodo de enero hasta abril, los caudales de entrada al volumen de control varían entre $5 \text{ m}^3/\text{s}$ y $2407.5 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que los caudales de salida varían entre $10.87 \text{ m}^3/\text{s}$ y $2977.41 \text{ m}^3/\text{s}$. En cuanto al coeficiente R^2 se obtuvo 0.98 como resultado, siendo un coeficiente alto.

Finalmente, en el periodo de mayo hasta agosto, los caudales de entrada al volumen de control varían entre $4.97 \text{ m}^3/\text{s}$ y $730.0 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que los caudales de salida varían entre $17.51 \text{ m}^3/\text{s}$ y $748.51 \text{ m}^3/\text{s}$. El coeficiente de R^2 obtenido es alto y muy cercano a 1, puesto que las nubes de datos presentes son estrechas y concentradas; asimismo, los caudales de ambas estaciones tienen una relación directamente proporcional muy cercana a 1. La constante b es positiva y con valor de $25.22 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.1.3.5 Resumen de resultados de las correlaciones

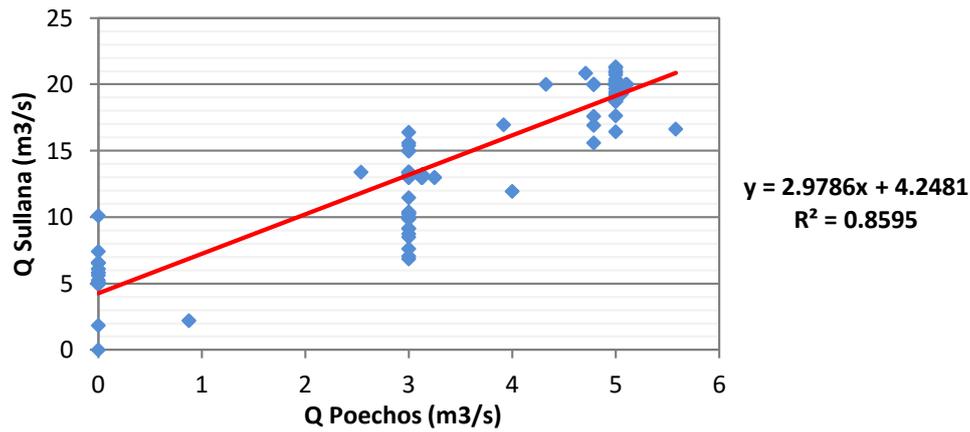
En la Ilustración 3-24 se muestra la evolución de los caudales de retorno y los coeficientes de correlación R^2 correspondientes a los tres cuatrimestres del periodo 2004-2017. Los datos han sido dispuestos a medida que los caudales promedio que salen de Poechos por cuatrimestre, aumentan; es decir, los años hidrológicos han sido ordenados de manera ascendente respecto a los caudales de Poechos en el cuatrimestre respectivo.

Para entender mejor la tendencia tanto de los caudales de retorno, así como de los coeficientes R^2 , en la Ilustración 3-25 se presenta la correlación de los caudales de retorno junto con los caudales que salen de Poechos, para corregir y ajustar la relación entre ambos.

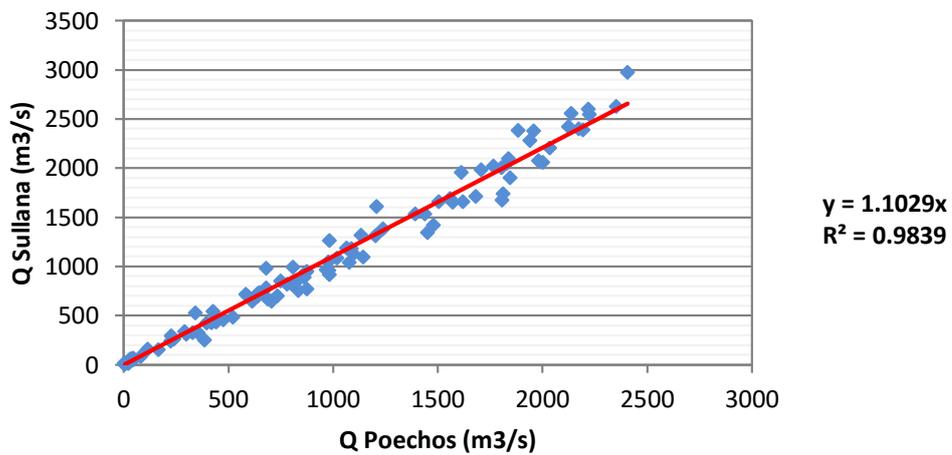
Es así que en la Ilustración 3-26 se muestra los resultados ajustados de la relación entre los caudales de retorno (m^3/s) y los coeficientes R^2 donde se observa lo siguiente:

- En el primer cuatrimestre tanto los coeficientes R^2 como los caudales de retorno (m^3/s) presentan una relación inversamente proporcional entre sí. Por consiguiente, a medida que aumentan los caudales promedio de salida en Poechos, los valores de los caudales de retorno también aumentan; mientras que los valores del coeficiente R^2 disminuyen.
- En el segundo cuatrimestre, tanto los caudales de retorno, así como los coeficientes R^2 tienen una relación directamente proporcional con los caudales de salida en Poechos (m^3/s).
- Finalmente, en el tercer cuatrimestre tanto el coeficiente R^2 como los caudales de retorno (m^3/s) mantienen su relación directamente proporcional con los caudales de salida en Poechos (m^3/s) como se manifestó en el segundo cuatrimestre.

Setiembre 2017 - Diciembre 2017



Enero 2017 - Abril 2017



Mayo 2017 - Agosto 2017

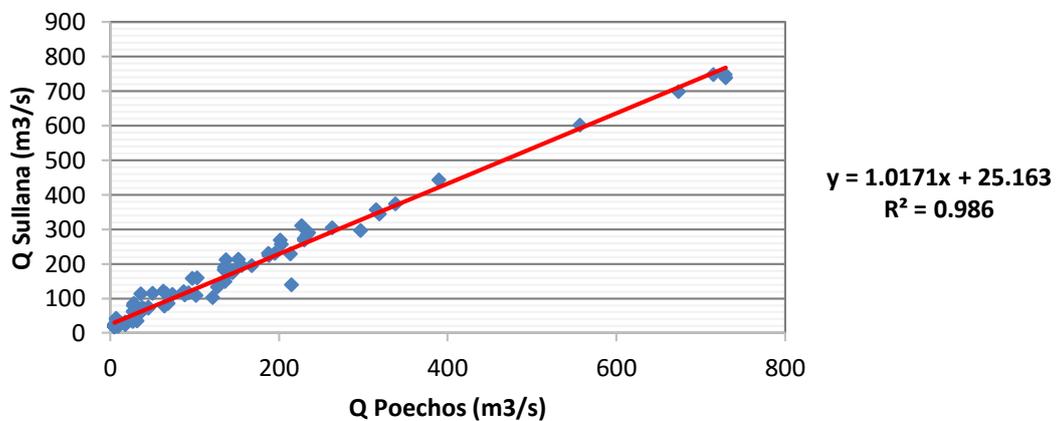


Ilustración 3-23 Correlación de caudales diarios del año extraordinario.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

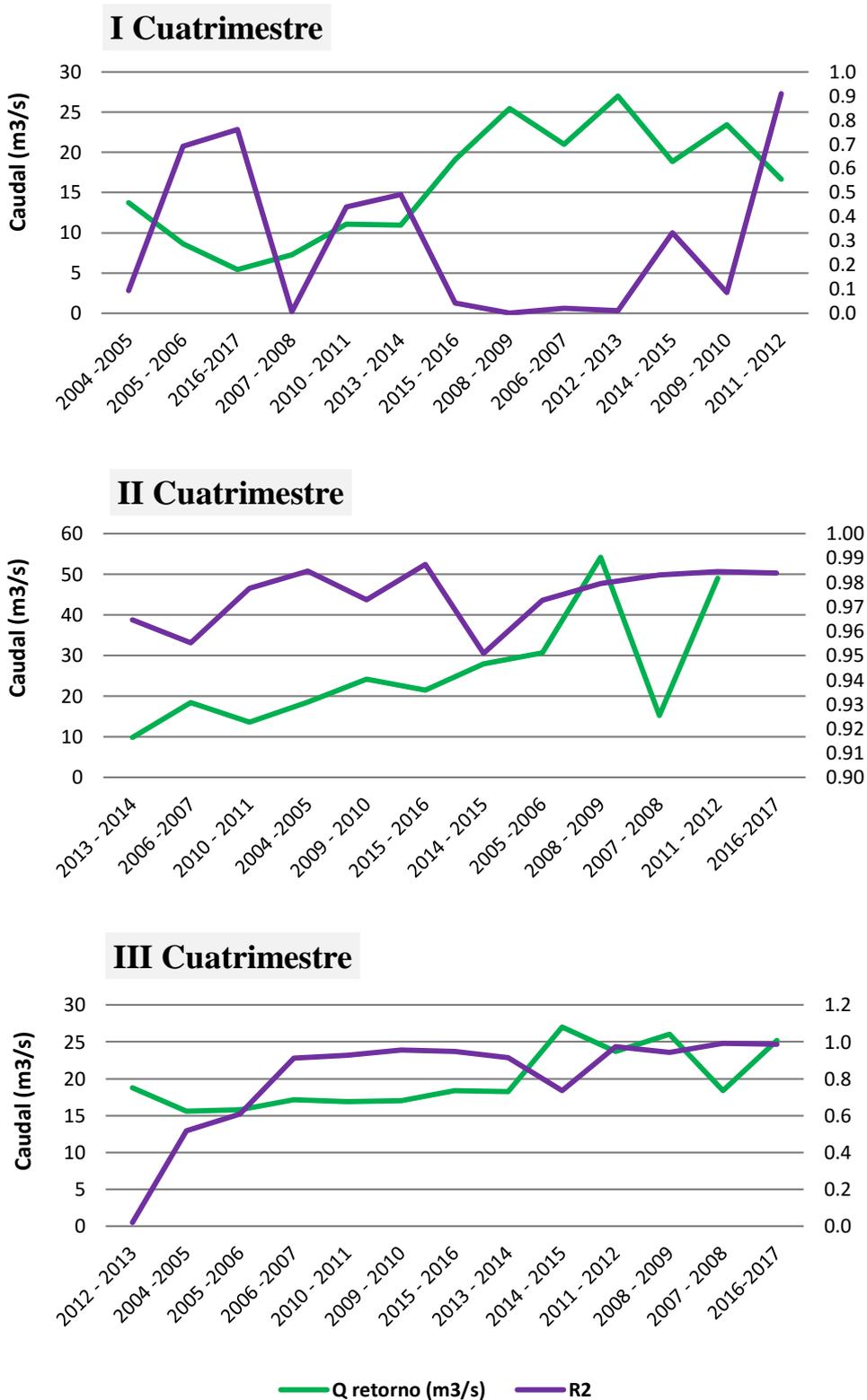


Ilustración 3-24 Resultados de correlaciones entre los años del periodo 2005 – 2017.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

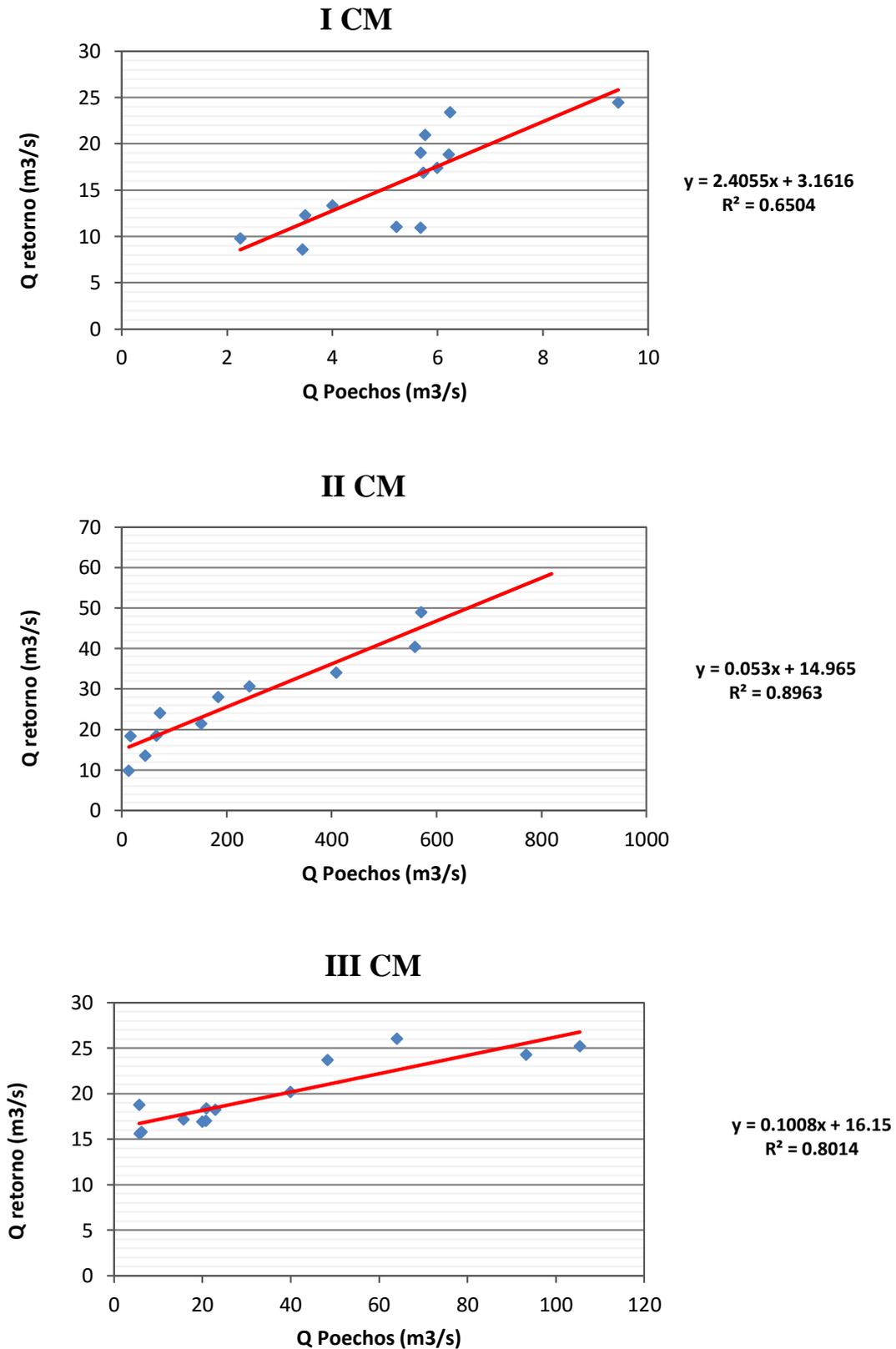


Ilustración 3-25 Correlaciones de caudales promedios entre los años 2005 – 2017.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

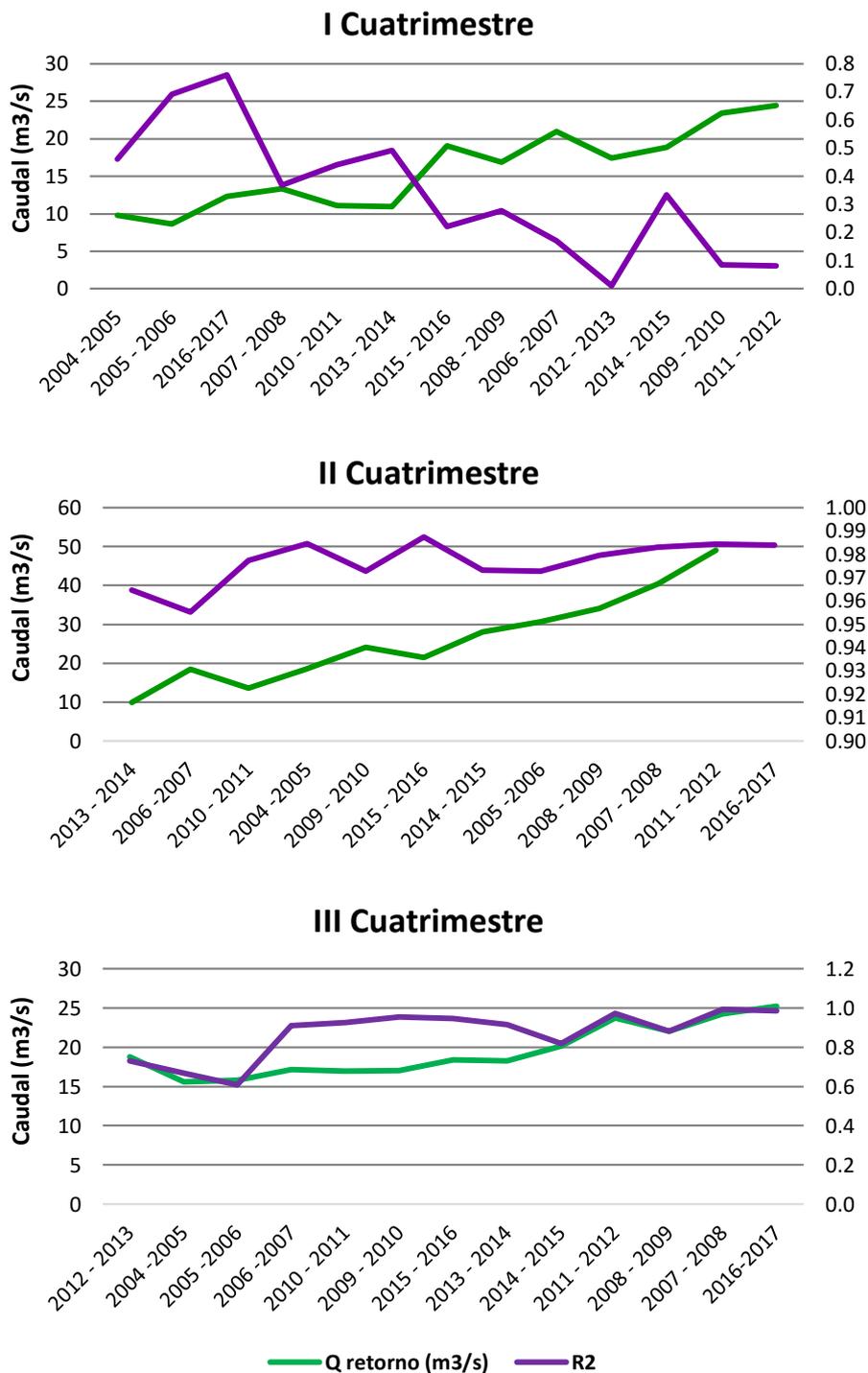


Ilustración 3-26 Correlaciones de caudales promedio entre los años 2005 – 2017.

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

3.2 Factores adicionales

En este apartado se evalúan los factores adicionales a los caudales de entrada y salida del volumen de control que se consideran los más influyentes de todos los identificados en el acápite 2.4, con la finalidad de encontrar su influencia en el comportamiento de los caudales mencionados, además, de determinar si son responsables de la posible inconsistencia entre los mismos.

3.2.1 Precipitación

Para la obtención y el análisis de la precipitación diaria promedio de la intercuenca se cuenta con los registros pluviométricos diarios medidos en las 06 estaciones mencionadas en el acápite 2.4.3 durante el periodo 2004-2017. Debido a que la base de datos de dichos registros se encontraba incompleta, se procedió a rellenar los datos faltantes mediante correlaciones lineales.

Las correlaciones lineales se realizaron entre las estaciones Lancones y la estación de reservorio Poechos (C1); entre la estación Mallares y la estación presa de Sullana (C2); entre la estación Check Km 29+900 y la estación Mallares (C3); y finalmente entre la estación Paraje Grande y la estación Sausal de Culucán (C4) debido a su cercanía. En la Ilustración 3-27 se muestra la ubicación de las estaciones de SENAMHI, así como, de las estaciones del PECHP con las cuales se realizarán las correlaciones respectivas.

Posteriormente, se delimitó la intercuenca entre el reservorio de Poechos y la presa de Sullana como área de influencia. Contando con ello, se aplicó el método de los polígonos de Thiessen para definir los porcentajes de área de la intercuenca correspondiente a cada estación. En la Ilustración 3-28 se muestra la distribución de dichas áreas y su porcentaje respectivo.

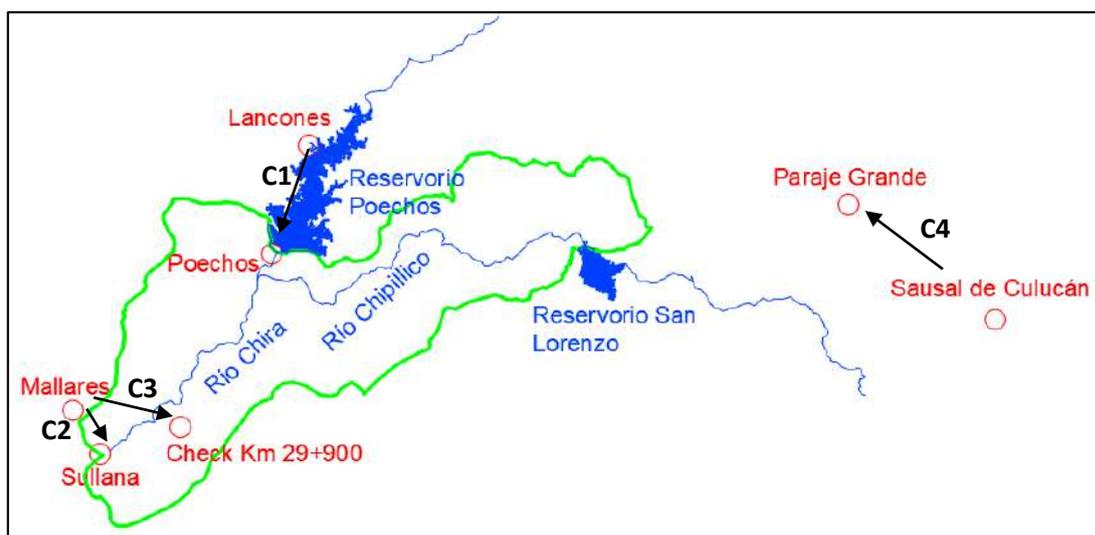


Ilustración 3-27 Representación de las correlaciones entre estaciones de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

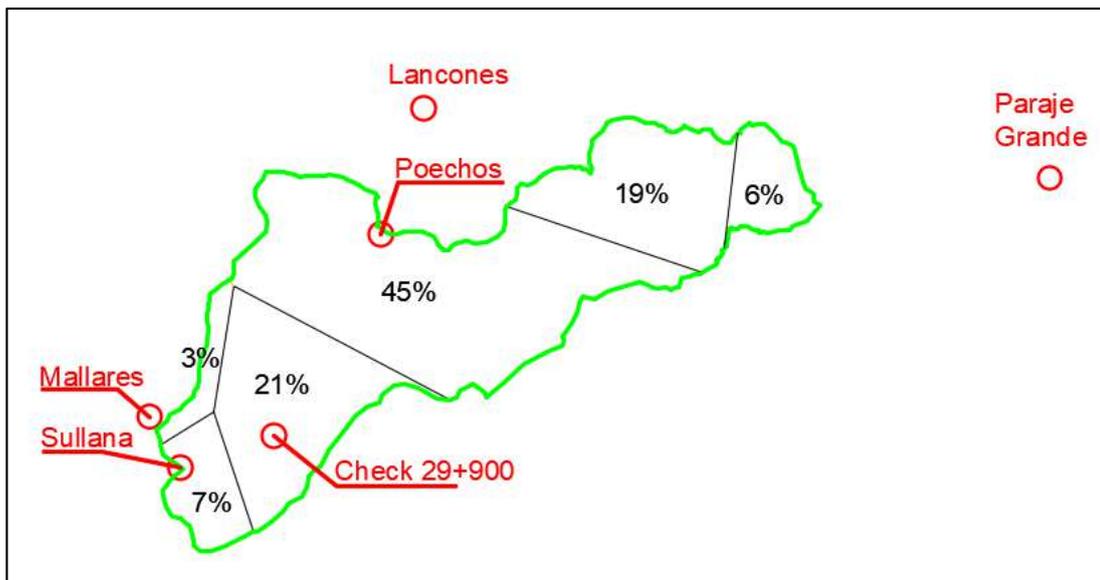


Ilustración 3-28 Porcentajes de área correspondiente a cada estación.

Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 3-29 se muestra las precipitaciones promedio diarias de la intercuenca Poechos-Sullana durante el periodo 2004-2017. Se observa que las precipitaciones inician débilmente en el mes de enero, para luego presentar incrementos seguidos hasta alcanzar los picos más altos en los meses de marzo y abril, llegando a una precipitación máxima de 112.8 mm el 21 de marzo del 2017; posteriormente vuelven a disminuir en magnitud y constancia a fines del mes de abril hasta llegar a precipitaciones nulas a partir del mes de mayo. Sin embargo, se presentan casos de lluvias débiles y esporádicas durante los largos periodos con ausencia de precipitaciones entre los meses de setiembre a diciembre y mayo a agosto.

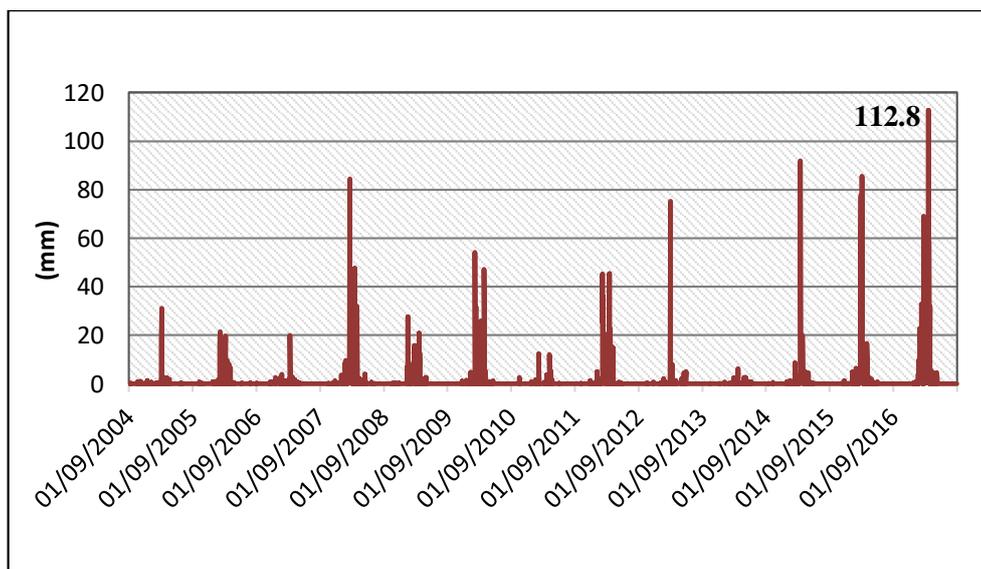


Ilustración 3-29 Precipitación promedio diaria de la intercuenca Poechos-Sullana durante el periodo 2004-2017.

Fuente: (PECHP, 2017), (SENAMHI, 2017). Elaboración propia.

En la Ilustración 3-30 se muestra la correlación que se ha realizado entre las precipitaciones cuatrimestrales con la diferencia promedio de caudales principales de Poechos y Sullana, a fin de identificar la influencia de dicho factor en los caudales del volumen de control durante el periodo de estudio 2004-2017.

Se puede observar que en el primer cuatrimestre (I CM) a medida que incrementan las precipitaciones totales les corresponden diferencia de caudales promedio con valores poco variables. Esto se refleja en que el coeficiente R^2 presenta un valor pequeño y alejado de 1, por lo tanto, expresa un grado de relación pobre entre los parámetros. Asimismo, se demuestra que, durante esta época, el incremento de la magnitud de los caudales principales que ingresan desde Poechos y luego llegan a Sullana a través del cauce de río, no depende principalmente de las precipitaciones que se producen en la intercuenca, con poca magnitud y frecuencia, sino también de otros factores que aporten de manera más significativa a este aumento.

Por otro lado, en el segundo cuatrimestre (II CM) el coeficiente R^2 presenta un valor muy cercano a 1; expresando un grado de relación entre las variables alto. Ambos parámetros tienen un comportamiento directamente proporcional y su relación es más notoria. Con lo expuesto, se puede afirmar que el aporte de las precipitaciones es significativo durante esta época y que genera una mayor variación en los caudales principales de entrada desde Poechos hasta concluir su recorrido en Sullana.

En cuanto al tercer cuatrimestre (III CM) se muestra un valor de coeficiente R^2 muy bajo, lo que refleja un grado de relación entre las variables muy pobre. Debido a que aún se mantiene una relación notable entre las variables, se puede ultimar que las precipitaciones aún generan una influencia considerable en los caudales principales, no obstante, durante esta época se va perdiendo.

3.2.2 Evaporación

Para el cálculo de la evaporación en el volumen de control del tramo estudiado, en primer lugar, es necesario definir el área de espejo de agua de dicho volumen de control, con la finalidad de convertir la evaporación producida en el reservorio Poechos y adaptarla al tramo estudiado. De este modo, se extrajo desde Google Earth el área superficial aproximada del reservorio Poechos y del volumen de control entre Poechos y Sullana, con lo que se obtuvo como resultado 70.05 km^2 y 6.70 km^2 respectivamente (Free Maps Tools, s.f.). Posteriormente, se calculó la evaporación en el tramo estudiado y los resultados se muestran en la Ilustración 3-31 donde refleja el comportamiento de la misma en el periodo 2004 hasta 2017.

En la Ilustración 3-32 se muestra la correlación de la evaporación promedio (m^3/s) con la diferencia de caudales promedio (m^3/s), ambas variables agrupadas por cuatrimestre, del periodo 2004-2017. Se observa que no sólo la evaporación en los 03 cuatrimestres presenta un comportamiento similar sino también que sus magnitudes son pequeñas.

En el primer y segundo cuatrimestre, en general, la evaporación tiene una relación directamente proporcional con los caudales, por lo tanto, su efecto no es tan influyente debido a que la diferencia de caudales aumenta a pesar que la evaporación de salida aumenta al mismo tiempo.

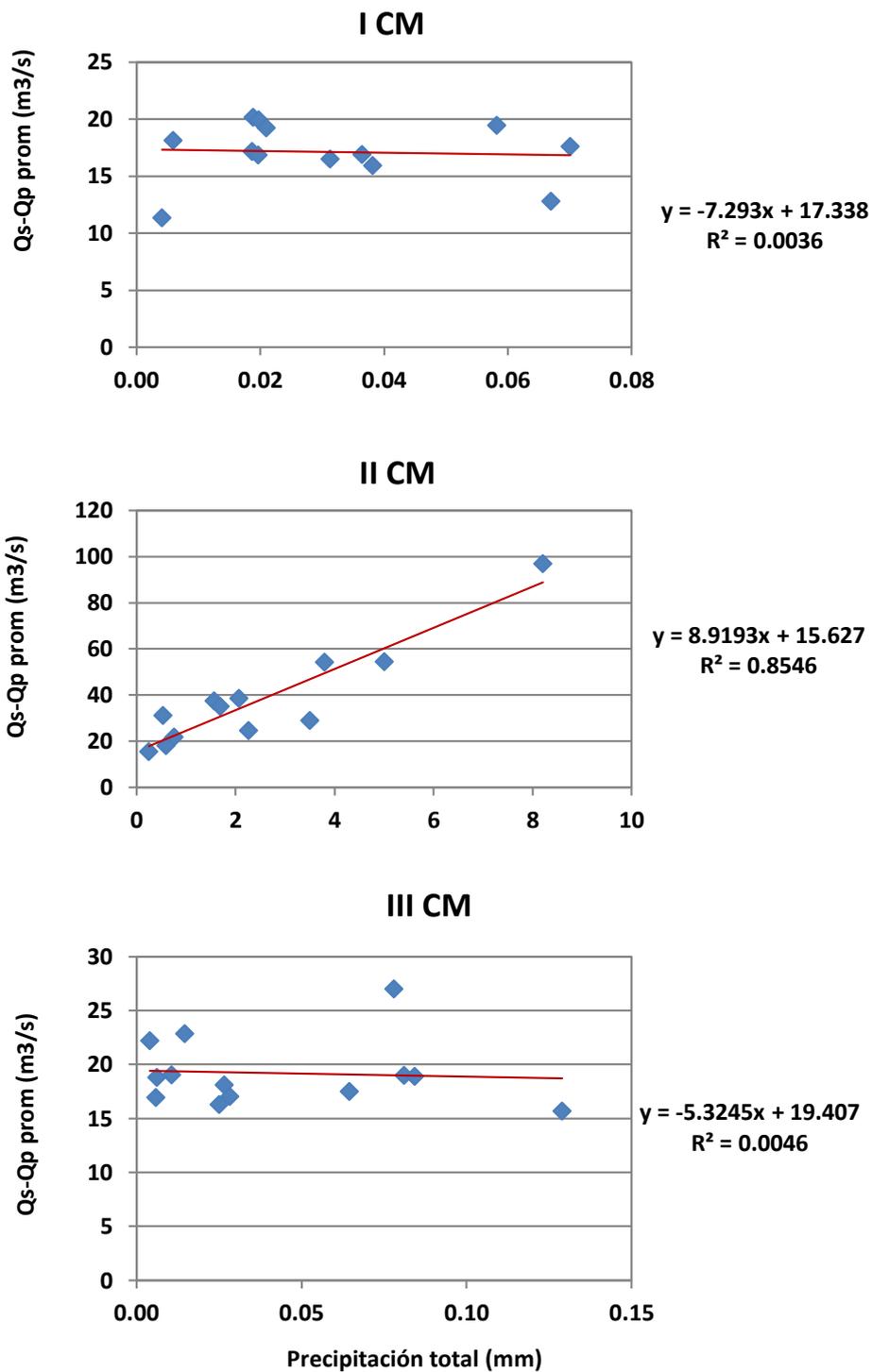


Ilustración 3-30 Precipitaciones cuatrimestrales con diferencia promedio de caudales principales durante el periodo 2004-2017.

Fuente: (PECHP, 2017), (SENAMHI, 2017). *Elaboración propia.*

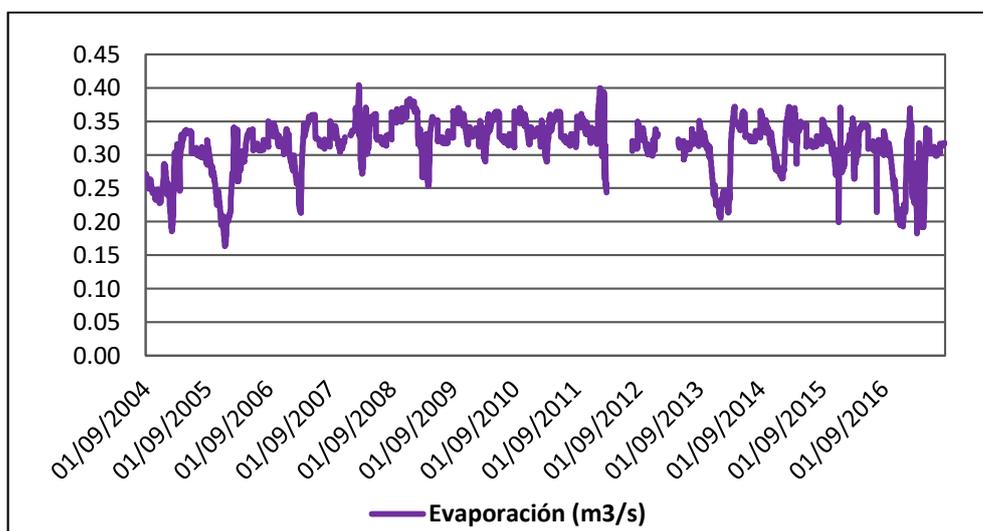


Ilustración 3-31 Evaporación del tramo presa Poechos y presa Sullana entre los años 2004-2017.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

Finalmente, el tercer cuatrimestre presenta una relación indirectamente proporcional entre las variables. Es así que, a pesar que se muestra una disminución de caudales a medida que aumenta el valor de la evaporación, se puede concluir que la influencia de esta última en los caudales tampoco es significativa dado que el coeficiente de correlación R^2 tiene un valor muy pequeño, expresando un bajo grado de relación entre las variables mencionadas.

3.2.3 Consumos

Los mayores caudales de retorno que significan un aporte importante a lo largo del tramo de estudio son los caudales excedentes de la agricultura, así como los caudales ecológicos de la granja de peces que maneja la empresa AQUA S.A. El fin de este apartado es evaluar el comportamiento y la influencia de dichos caudales de retorno en los caudales principales de entrada y salida al volumen de control; puesto que se han presentado casos en donde en un día los caudales de entrada al volumen de control son nulos, sin embargo, ese mismo día presenta caudal de salida en Sullana; lo que se explicaría con la adición de los caudales de retorno a lo largo del tramo de estudio, ya que no existiría aporte de afluentes por ser época de estiaje.

3.2.3.1 Consumos según Junta de Usuarios del Chira con caudales principales

Para dicha evaluación se cuenta con las áreas de extensión totales y las áreas bajo riego, las cuales se mostraron en la Tabla 2-8; y también con los volúmenes distribuidos correspondientes a cada junta de usuarios del valle del Chira.

En el anexo C2 1 se muestra la distribución de las áreas totales de extensión correspondientes a cada comisión de regantes Canal Miguel Checa, Poechos Pelados, Cieneguillo y Daniel Escobar dentro y fuera de la demarcación de la intercuenca Poechos-Sullana.

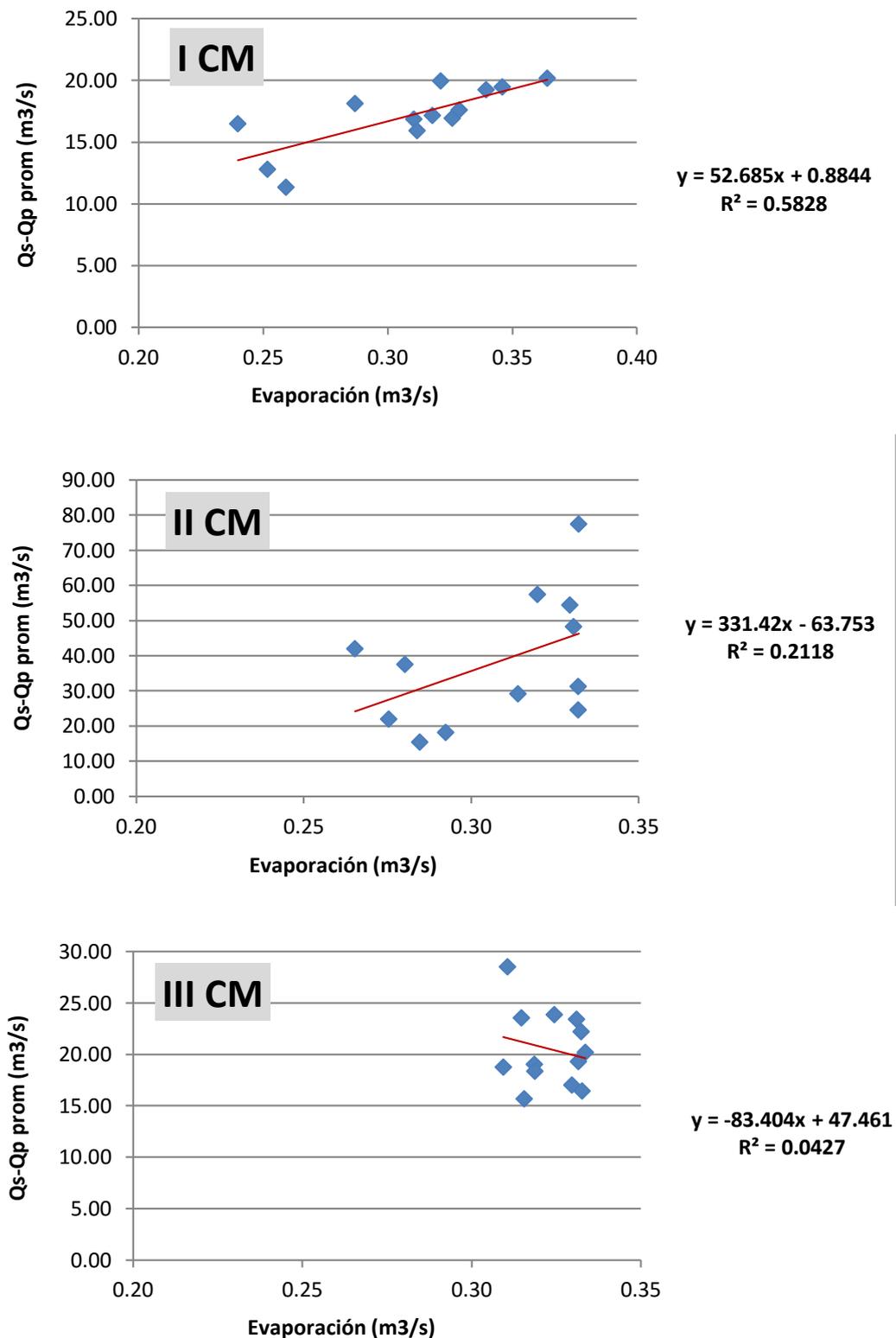


Ilustración 3-32 Evaporación vs diferencia de caudales principales, periodo 2005-2017.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

Cabe mencionar que no se cuenta con los volúmenes distribuidos de los años 2004, 2005, 2016 y 2017. La variación de los volúmenes distribuidos depende de las áreas irrigadas y de la cédula de cultivos correspondiente a cada comisión de usuarios del valle del Chira.

En la Ilustración 3-34 se presenta la correlación entre los resultados de los volúmenes proporcionales bajo riego con la diferencia de caudales promedios por cuatrimestre del volumen de control en el tramo estudiado.

Durante el primer cuatrimestre se observa un registro de volúmenes distribuidos crecientes para el periodo 2005-2015; además, presenta una relación directamente proporcional entre la diferencia promedio de los caudales principales y los volúmenes distribuidos.

En cuanto al segundo cuatrimestre, se observa una relación inversamente proporcional entre las variables mencionadas líneas arriba, pues para valores mayores de volúmenes distribuidos corresponden diferencia de caudales promedio menores; además debido a la gran magnitud de los caudales principales, los volúmenes distribuidos no tienen un grado de influencia mayor sobre la magnitud de los caudales principales del río Chira durante esta época del año.

Por último, en el tercer cuatrimestre, en general, presenta un registro de volúmenes distribuidos bastante cercanos entre sí. La diferencia promedio de los caudales principales y los volúmenes distribuidos retoman una relación directamente proporcional. Esto refleja que, al contar nuevamente con magnitudes menores de caudales principales, su variación de inicio a fin empieza a hacerse ligeramente más notable, por lo que la influencia de los caudales de retorno empezaría a retomar mayor relevancia.

3.2.3.2 Consumos según AQUA S.A.C

El caudal que se le otorga a AQUA S.A según lo establecido por resolución ministerial es de 6 m³/s, sin embargo, este puede variar de acuerdo a la disponibilidad del recurso hídrico. Se cuenta con los registros de caudales desde el año 2007 hasta el 2017 como se muestra en la Ilustración 3-34.

Los caudales destinados para AQUA S.A, así como los caudales ecológicos que retornan al río Chira a través de su dren en el río Chipillico y de la salida de fondo en el reservorio Poechos respectivamente, llegan a la presa Sullana. Es así que, al ser caudales considerables y suficientemente constantes a lo largo del año hidrológico, la sumatoria de ambos debería mostrar una relación directamente proporcional con los caudales principales que llegan a Sullana, al acercarse a los valores de los caudales de salida en Sullana.

En la Ilustración 3-35 hasta la Ilustración 3-37 se muestra la correlación entre la sumatoria de los caudales promedios mensuales de los caudales que salen de Poechos y los caudales promedios mensuales de AQUA S.A, con los caudales promedios mensuales que llegan a la presa Sullana en el periodo 2007-2017 de acuerdo a cada cuatrimestre.

Para el primer cuatrimestre, se observa que el coeficiente R^2 producto de la correlación tienen valores muy cercanos a 1. Por lo tanto, se confirma los caudales que AQUA S.A retornan a río Chira representan un importante aporte, los cuales a su vez son un factor muy influyente en la variabilidad entre los caudales principales que entran desde Poechos y los caudales que salen desde Sullana del río Chira durante el periodo mencionado.

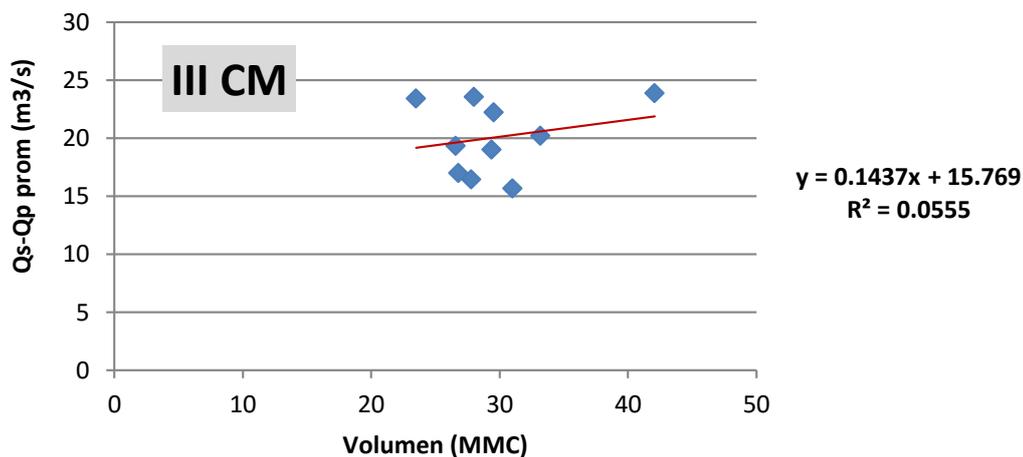
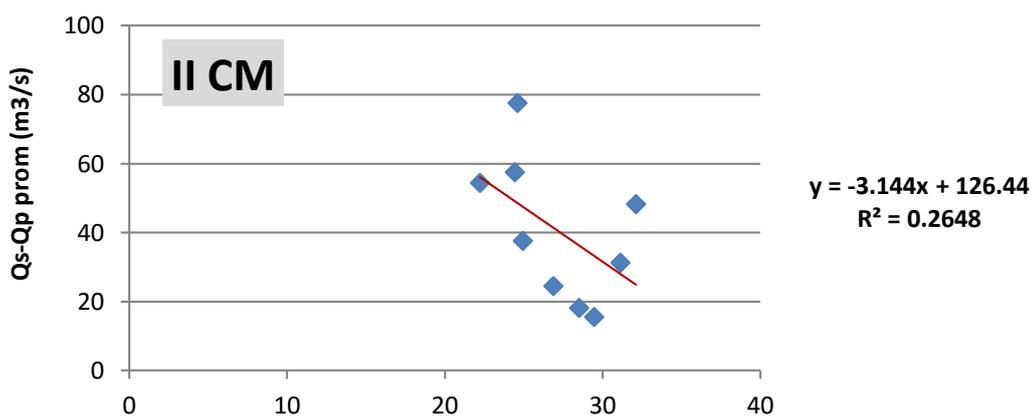
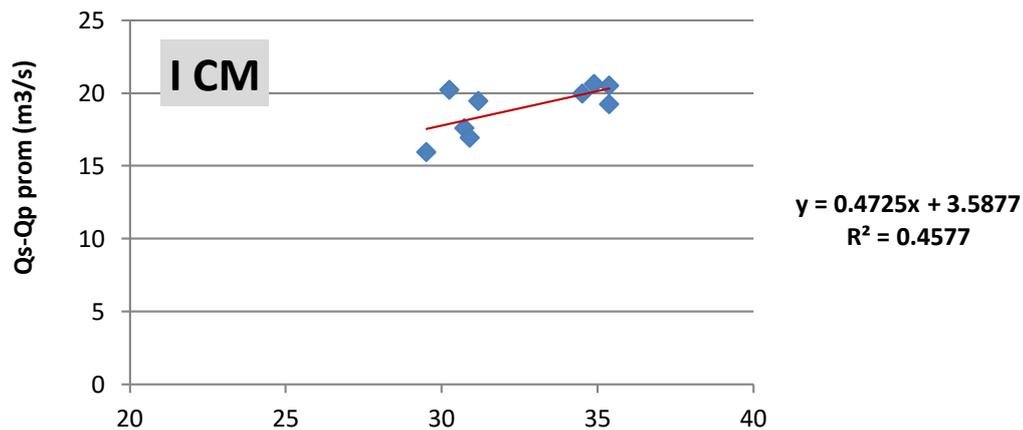


Ilustración 3-33 Volúmenes distribuidos vs Diferencia de caudales principales, periodo 2005-2015.

Fuente: (PECHP, 2017), (Junta de Usuarios Sector Hidráulico Chira, 2015). *Elaboración propia.*

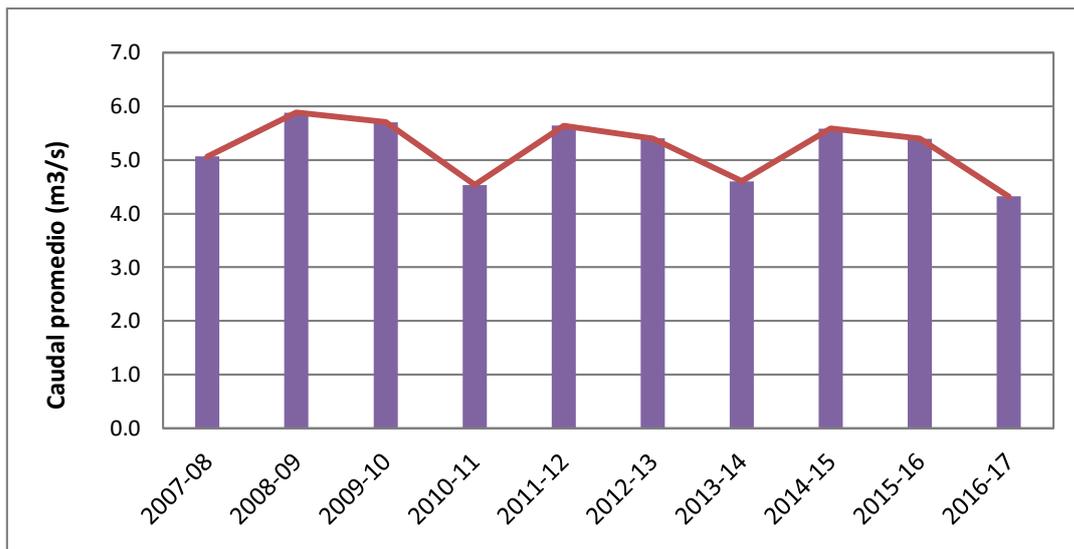


Ilustración 3-34 Caudales promedios anuales de AQUA S.A.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

En cuanto al segundo cuatrimestre y tercer cuatrimestre, también se cuenta con un coeficiente R^2 con valor cercano a 1. Sin embargo, los caudales de AQUA S.A no son relevantes en el rango de caudales que se maneja.

El caudal adicional representado por la constante b , significaría los caudales aportantes que se adicionan al río Chira en el tramo estudiado y que aún no están considerados.

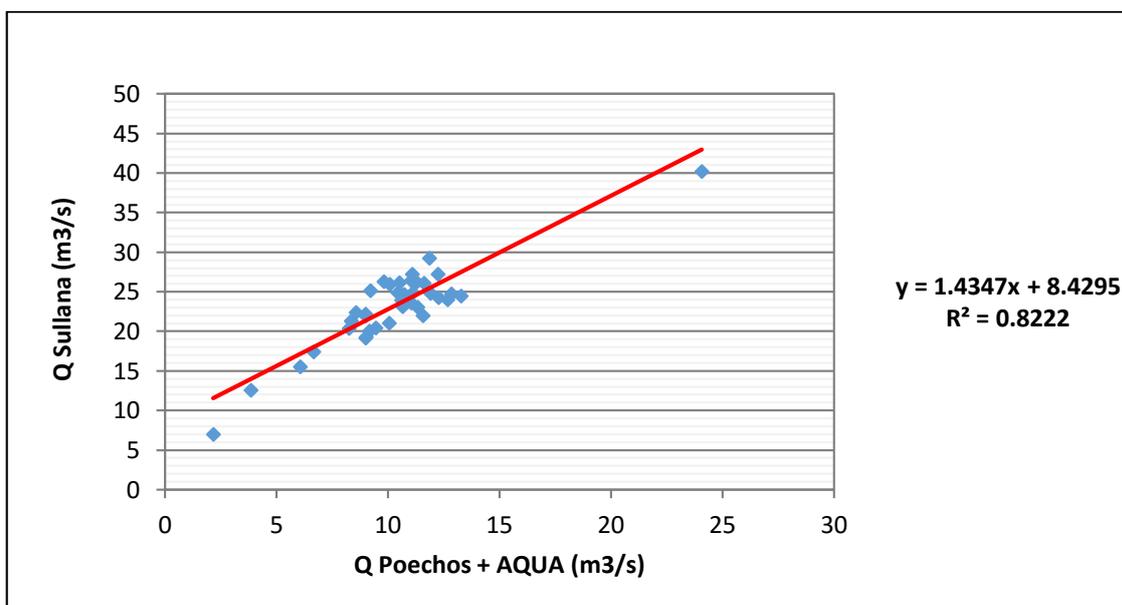


Ilustración 3-35 Correlación de caudales mensuales de AQUA y Poechos con caudales mensuales de salida en Sullana, I CM.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

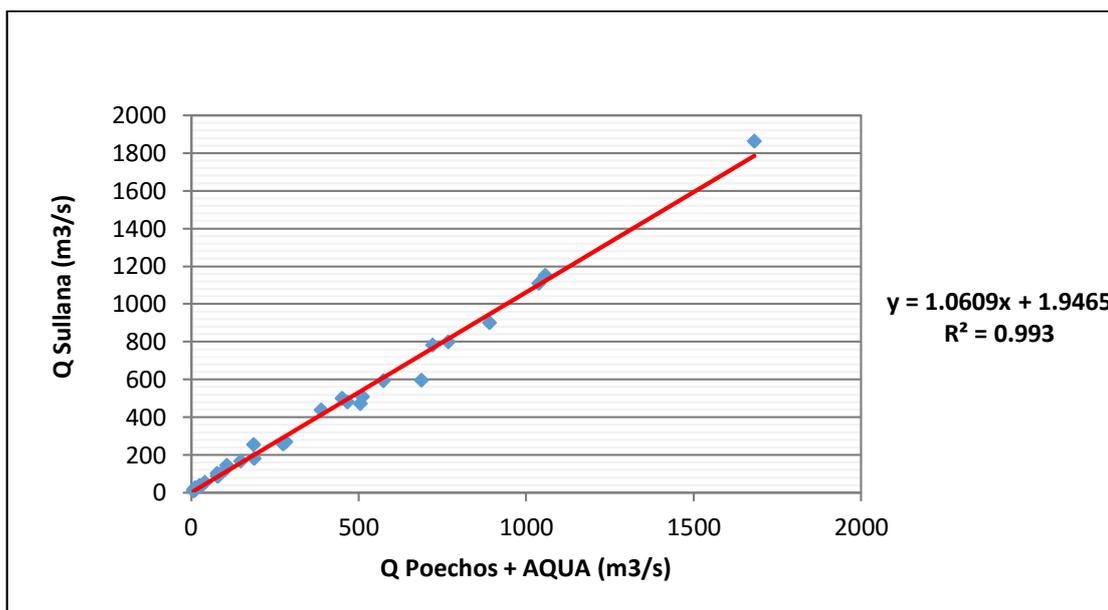


Ilustración 3-36 Correlación de caudales mensuales de AQUA y Poechos con caudales mensuales de salida en Sullana, II CM.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

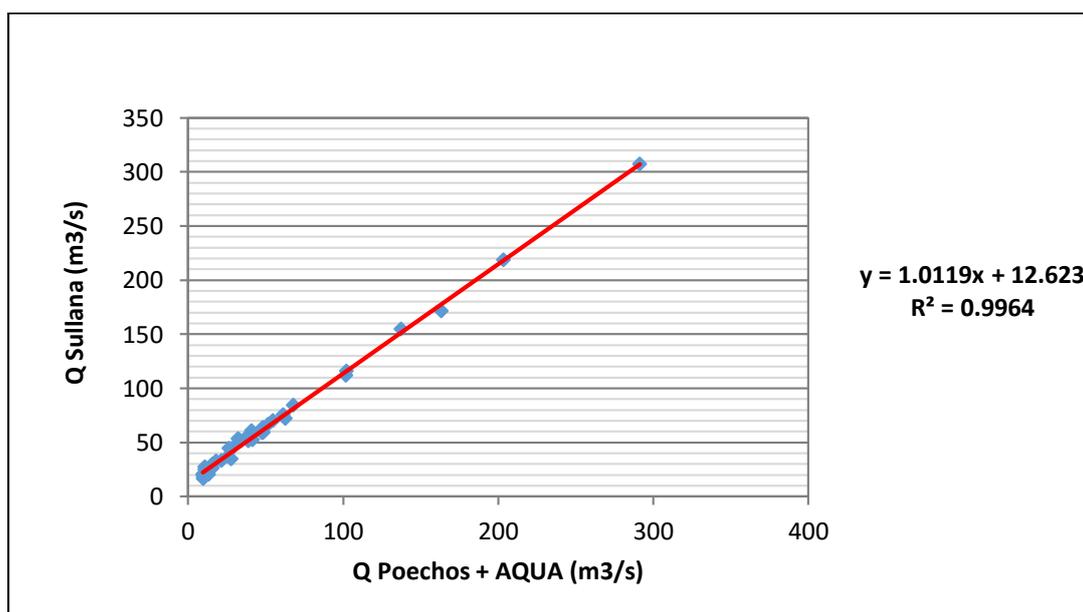


Ilustración 3-37 Correlación de caudales mensuales de AQUA y Poechos con caudales mensuales de salida en Sullana, III CM.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

3.2.4 Operación de compuertas

En la operación de compuertas es importante conocer cómo se ejecuta la operación de compuertas de las estructuras hidráulicas del reservorio Poechos y de la presa derivadora de Sullana, así como los diferentes criterios que se utilizan en las diferentes épocas del año hidrológico.

3.2.4.1 Reservorio Poechos

En el presente acápite se presentan los criterios que se tienen en cuenta en la operación del reservorio Poechos, dado que desde su puesta en marcha se ha regido bajo diferentes reglas de operación durante diferentes épocas de su vida (Miloradovic, 2015). Asimismo, se evaluará principalmente la operación de compuertas de dos estructuras de protección: el aliviadero de compuertas y la salida de fondo.

Se conoce que la operación de ambas estructuras hidráulicas es del tipo mecánica debido a su antigüedad. Asimismo, es importante mencionar que desde su inauguración la calibración de las compuertas de ambas estructuras no se ha modificado, ni se ha visto afectada por factores como la sedimentación del reservorio, el incremento de demanda del recurso hídrico, fenómenos climáticos, etc.; debido al constante mantenimiento que se efectúa en las estructuras en cuestión (Hernández, 2017).

a. Antecedentes de la operación del reservorio

En el año 1976, según el manual “Almacenamiento y Derivación Chira-Piura” elaborado por ENERGOPROJEKT se contemplaba como criterios de operación que durante épocas de avenidas, mayor oferta que demanda hídrica, el reservorio debería atender solamente las demandas de riego requeridas por los usuarios del agua, y el resto de agua se almacenaba para llenar el reservorio hasta la cota 103 msnm, manteniendo el nivel así en lo posible maniobrando las compuertas del aliviadero según la regla de operación adoptada. Mientras que para las épocas de estiaje, mayor demanda que oferta hídrica, el embalse estaría en etapa de vaciado siendo su función principal en este periodo sería el control de las descargas por las diferentes estructuras de salida, de acuerdo al plan de requerimientos presentados por los usuarios del agua (ENERGOPROJEKT, 1976).

Posteriormente, en el año 2001, por el cargo de la Dirección de Operación y Mantenimiento del Proyecto Especial Chira Piura se actualizó el manual “Almacenamiento y Derivación Chira-Piura” con nuevas reglas de operación para la temporada húmeda o de avenidas de años hidrológicos, elaborado por el Ing. Rommel Velásquez Salazar, donde se mantuvo ciertos criterios del primer manual, pero se agregó los llamados “niveles de espera”.

Según la clasificación de años hidrológicos propia del PECHP, se han reglamentado diferentes niveles de espera identificados como cotas. Para los años hidrológicos normales y muy secos se han determinado en base al análisis de las reservas técnicas del embalse para garantizar el suministro oportuno de los requerimientos de agua para el riego y otros usos en el ámbito del PECHP, es decir su llenado oportuno (Miloradovic, 2015).

Por otro lado, en los años hidrológicos húmedos, muy húmedos y extraordinarios se ha considerado como meta mantener los niveles de espera lo más bajos posibles, garantizándose a la vez el llenado del embalse hasta el nivel máximo de su operación normal de 103.00m recién en los meses Mayo y Junio, favoreciendo además la eliminación de la tasa de sedimentación que traen las grandes descargas durante esta época (Miloradovic, 2015).

En el año 2015, se actualizó las reglas de operación del embalse Poechos del año 2002, donde se modificó los niveles de espera y las descargas máximas de excesos hídricos correspondientes. Los criterios de operación para los niveles de espera según la clasificación de cada año hidrológico se pueden observar desde el anexo C2 1 hasta el anexo C2 4.

Finalmente, es importante mencionar que para la operación del reservorio Poechos es necesaria la comunicación horaria, en épocas de estiaje, y cada media hora, en épocas de avenidas, con la estación Ardilla y Ciruelo debido a que los caudales que se registran en dicha estación llegan en 1 y 4 horas aproximadamente al aliviadero en Poechos respectivamente, permitiéndoles estar preparados para una correcta operación del reservorio (Hernández, 2017).

b. Operación del aliviadero de compuertas

Para la operación de las compuertas del aliviadero se utiliza las curvas de calibración determinadas durante la investigación en modelo del aliviadero. Estas curvas abarcan todas las curvas de embalse, los grados de abertura de las compuertas y las diferentes descargas sueltas a través del aliviadero; dichas curvas se muestran en el anexo C2 5 y anexo C2 7 para pequeñas y grandes descargas (ENERGOPROJEKT, 1976).

Cuando es necesario la abertura de una compuerta del aliviadero, se recomienda que sea la compuerta central, y si son necesarias dos compuertas se recomiendan las compuertas laterales.

El aliviadero cuenta con dos sistemas: el eléctrico, 03 tableros eléctricos de control correspondiente a cada compuerta y el tablero principal de control donde se registra el nivel de embalse del reservorio, y el sistema hidráulico.

c. Operación de la salida de fondo

La operación de compuertas de la salida de fondo cuenta con dos curvas de gasto dependiendo si la cota del río aguas abajo es inferior o superior a la cota de 61 msnm.

Se utilizarán las curvas de gasto de la compuerta radial obtenidas en el estudio de modelo, que relacionan la abertura de la compuerta radial y el nivel en el reservorio. Estas curvas se usan para condiciones de flujo sumergido, es decir, cuando el nivel en el río aguas debajo de la estructura, sobrepasa la cota 61 msnm (ENERGOPROJEKT, 1976).

Por el contrario, durante el tiempo que la cota del río sea menor a 61 msnm se utilizará la curva obtenida mediante aforos de la descarga aguas abajo del colchón amortiguador de la salida de fondo, efectuados simultáneamente con la lectura del nivel en el colchón (ENERGOPROJEKT, 1976). Las curvas de gasto o calibración se pueden observar desde el anexo C2 8 hasta C2 10. La salida de fondo también cuenta con los dos sistemas: el eléctrico, que corresponde a los 02 tableros eléctricos de control y 02 sistemas hidráulicos correspondientes a compuerta radial y válvula mariposa.

Mediante la salida de fondo se descarga las demandas del canal Miguel Checa, los caudales ecológicos según la resolución ministerial vigente, así como los caudales excedentes de poca magnitud. Por cuestiones de operación, a pesar que la salida de fondo tiene una capacidad de 300 m³/s, se tiende a descargar como máximo 100 m³/s y para magnitudes mayores se procede a abrir las compuertas del aliviadero (Hernández, 2017).

3.2.4.2 Presa derivadora Sullana

En relación con la presa de Sullana se presentará los criterios principales operación de compuertas de dos estructuras principales: aliviadero de compuertas y el canal norte. Cabe mencionar algunos aspectos generales que se muestran a continuación (Proyecto Especial Chira Piura, 1992):

- El sistema de operación de la presa de Sullana se mantiene siempre en automático, sin embargo, en la toma del canal Norte para un determinado caudal de riego será manual (remoto o local), independientemente que el sistema esté o no en automático.
- La secuencia de mando de compuertas según el sistema es el siguiente: automático; manual remoto; manual local eléctrico; manual local mecánico; y mando de seguridad de las compuertas en caso de superar la cota 37.2 msnm, sin haber abierto completamente las compuertas. Dicha secuencia se sigue en caso un sistema antecesor falle y deba utilizarse el siguiente según el orden de prioridad.
- Para una correcta operación de compuertas es importante la constante comunicación con el reservorio Poechos de manera horaria, en épocas de estiaje, y cada media hora en épocas de avenidas, con la finalidad de conocer el caudal que se suelta al río y que se esperarías en la presa derivadora de Sullana.

a. Operación de compuertas de aliviadero

La operación de compuertas del aliviadero durante el proceso de calibración debe ser manual, partiendo inicialmente de la abertura recomendada en el manual “Diseño definitivo de la Presa Derivadora de Sullana III Etapa del proyecto Chira-Piura. Informe final. Volumen IV: Manual de Operaciones y Mantenimiento” elaborado por Novoa Ingenieros y Corporación de Racionalización y Consultoría S.A.; para un caudal determinado en el río.

Durante la época de estiaje se tienen controlado todo el tiempo el caudal que llega a la presa derivadora de Sullana no siendo necesario prácticamente operar las compuertas del río salvo los microajustes necesarios del nivel de embalse que podría aumentar el nivel de cota de 36.5 a 36.8 msnm para lo cual se medirá el tiempo que demora dicho caudal en subir 0.3m, es así que para diferentes caudales en el río se tendrán diferentes tiempos necesarios para el incremento de 0.3 m.

De igual forma, hay que observar esta situación para la disminución del caudal de avenida por el tiempo que demora el descenso de 36.5 a 36.2 msnm. Durante la época de avenidas en el río puede mantenerse la cota de operación de embalse en 36.5 msnm hasta un caudal en el río de 1200 m³/s abriéndose totalmente todas las compuertas. Con caudales mayores a 1200 m³/s corresponden a mayores niveles de 36.5 msnm, donde una parte se descargará por las compuertas del aliviadero completamente abiertas y la otra por el aliviadero fijo que tiene su cota de coronación en 37 msnm (Proyecto Especial Chira Piura, 1992).

Desde el anexo C2 11 hasta el anexo C2 18 se pueden observar las curvas de calibración de las compuertas para un nivel de embalse de 36.5 msnm.

Sin embargo, para la avenida de diseño de 5000 m³/s, el nivel aguas arriba de la presa llegará a 40.5 msnm. Cuando la cota de embalse supere los 36.5 msnm, la computadora

ubicada en la sala de mandos de compuertas procesa esta información ordenando la abertura de compuertas (Proyecto Especial Chira Piura, 1992).

b. Operación de compuertas del canal Norte

En base a la curva de aforos del canal Norte (caudal vs nivel de agua), para el nivel de embalse en 36.5 msnm se determinará la abertura de las compuertas para un caudal determinado, así sucesivamente con otros niveles de embalse; de este modo se tendrán calibradas las compuertas de la toma (Proyecto Especial Chira Piura, 1992).

En el anexo C2 19 y anexo C2 20 se muestra las curvas de calibración de las compuertas de la toma del canal Norte.

3.3 Análisis de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos de las cinco variables analizadas en los apartados anteriores; podemos observar que durante la época de estiaje los aportes más significativos al río Chira son los caudales de retorno de la agricultura, así como, los caudales de uso no consuntivo de la empresa AQUA S.A.C puesto que ambos factores mantienen una relación directamente proporcional con los caudales principales del río Chira durante dicha época.

Por otro lado, la precipitación en la intercuenca no influye considerablemente en los caudales principales del tramo en estudio, dado que los altos caudales que se presentan en épocas de avenidas dependen, principalmente, de los caudales excedentes que salen del reservorio producto de las precipitaciones en la zona alta de la cuenca.

La pérdida que genera la evaporación, al ser un parámetro poco variable y con poca magnitud, sobre los caudales principales de inicio a fin es mínima durante los tres cuatrimestres del año hidrológico.

La operación de compuertas, en cuanto a calibración de las mismas, no se ha modificado con el paso de los años debido al mantenimiento que se les realiza a las estructuras, y son los criterios de operación del reservorio los que se han adecuados a la nueva realidad de las diferentes temporadas.

Capítulo IV

Propuesta de compatibilización

En el presente capítulo se propone una compatibilización del comportamiento de los caudales principales de entrada y salida al volumen de control de acuerdo a la caracterización de cada año hidrológico en el periodo 2004-2017. Es decir, mediante una calibración general se ajusta los valores de caudales de entrada y salida que refleje el comportamiento de los mismos compensando con dicha correlación la ausencia de los parámetros que influyen en la variación de los caudales principales de entrada en su recorrido hasta llegar su extremo de salida; tomando en cuenta la caracterización del año hidrológico.

4.1 Calibración

Una vez analizada la correlación individual entre los caudales principales en el acápite 3.1.2, se procederá a calibrar los caudales de manera general, es decir, agrupando los datos de acuerdo a cada cuatrimestre y clasificación de año hidrológico. Al contar con aforos por largos periodo de tiempo, la curva de calibración se ajustará mejor al comportamiento del cauce en el tramo en estudio.

De acuerdo a la evaluación individual que se realizó previamente en el apartado 3.1.4, se eliminaron los datos atípicos que se alejaban de la línea de tendencia, lo cual se ha mantenido para la calibración grupal y así evitar una disminución en el coeficiente R^2 .

Además, se ha considerado para la calibración la clasificación de los años hidrológicos más no la de los cuatrimestres, dado que las clasificaciones de los cuatrimestres en épocas de estiaje no permiten predecir la clasificación de una época de avenidas; adicionando que es la época de avenidas la que determina la clasificación del año hidrológico como se mencionó con anterioridad.

Dicha calibración se realizará de 02 maneras, la primera a través de las correlaciones de los caudales principales, caudales de Poechos y caudales de Sullana; y segundo, con regresiones múltiples teniendo como variable dependiente a los caudales de Sullana y variables independientes los caudales de Poechos y los caudales distribuidos por las Juntas de Usuarios del valle del Chira. Esta última variable ha sido comparada con un desfase de un mes respecto de las otras dos variables dado que los caudales distribuidos por las Juntas de Usuarios no regresan inmediatamente al cauce del río Chira, sino que toman un tiempo en su retorno.

4.1.1 Años normales

En el presente apartado se muestra las correlaciones y regresiones entre las variables indicadas líneas arriba correspondientes a los años normales.

4.1.1.1 Correlaciones en años normales

En el presente apartado se ha calibrado los datos correspondientes a los 06 años hidrológicos caracterizados como normales en el periodo 2004-2017 de manera grupal por cada cuatrimestre. En el análisis de cuatrimestres se obtuvo en el primer cuatrimestre 02 secos, 02 normales y 02 húmedos; en el segundo 03 secos y 03 normales; y en el tercero 01 seco, 02 normales y 03 húmedos.

En la Ilustración 4-1 se muestra la calibración de los caudales principales de entrada y salida al volumen de control del tramo en estudio mediante las correlaciones de los mismos.

Se observa que el primer cuatrimestre aún se obtiene un coeficiente R^2 bajo de 0.42, sin embargo es mayor que muchos de los arrojados por año hidrológico individual, esto se debe a la variedad de los cuatrimestres clasificados ahora evaluados en conjunto; el segundo cuatrimestre arrojó un coeficiente R^2 alto y muy cercano a 1, y finalmente el tercer cuatrimestre un coeficiente R^2 también alto y cercano a 1, y a pesar de ser época de estiaje refleja la transición desde época de avenidas por ello muestra valores diversos.

En los tres casos existe la constante b representado a los caudales de retorno o aportantes, los cuales son cercanos entre sí, oscilando entre 14.53 y 18.43 m^3/s .

4.1.1.2 Regresiones múltiples en años normales

En el presente apartado, se realizó las regresiones múltiples de acuerdo a cada cuatrimestre entre los caudales mencionados en el ítem 4, para los años normales. Con ello, se obtuvo tres ecuaciones con sus coeficientes R^2 correspondientes como se muestra en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1 Ecuaciones de regresiones de años normales, periodo 2004-2017.

| Cuatrimestre | Ecuación | R2 |
|--------------|---------------------------|-------|
| I CM | $Q_s = 1.29Q_p + 1.37Q_d$ | 0.980 |
| II CM | $Q_s = 1.03Q_p + 1.62Q_d$ | 0.963 |
| III CM | $Q_s = 1.09Q_p + 1.42Q_d$ | 0.955 |

Fuente: (PECHP, 2017), (Junta de Usuarios Sector Hidráulico Chira, 2015).

Elaboración propia.

Al realizar las regresiones, se obtuvo que en el primer cuatrimestre se mantiene el valor del caudal de Poechos debido a que se ve afectado por un coeficiente de 1.286, el cual incluiría otros aportes de caudal a lo largo del tramo de estudio, mientras que el caudal distribuido se ve incrementado a en un 38%; la cual representaría, además, a todos los demás aportes y tomas de caudales que afectan la variabilidad de los caudales principales.

Por otro lado, en el segundo cuatrimestre el coeficiente R^2 es muy cercano a 1, por lo que expresa un grado de relación alto entre las variables analizadas. Se mantiene el caudal de Poechos dado que está afectado por un coeficiente de 1.029, mientras que los caudales de distribución, por un coeficiente de 1.616 el cual incluiría los demás aportes existentes en el tramo de estudio, aunque no serían significativos dado a su baja magnitud respecto a los caudales principales de salida en Poechos.

Finalmente, en el tercer cuatrimestre aún se cuenta con un coeficiente R^2 con un valor muy cercano a 1. Los caudales distribuidos y los demás aportes representados por la constante mencionada empiezan a retomar una mayor influencia en la variabilidad de los caudales principales.

4.1.2 Años húmedos

En el presente apartado se ha calibrado los datos correspondientes a los 03 años hidrológicos caracterizados como húmedos en el periodo 2004-2017 de manera grupal por cada cuatrimestre. Además, se muestra las correlaciones y regresiones correspondientes a los años húmedos.

4.1.2.1 Correlaciones en años húmedos

En la Ilustración 4-2 se muestra la calibración de los caudales principales de entrada y salida al volumen de control del tramo en estudio mediante las correlaciones de los mismos.

Se observa que el primer cuatrimestre aún se obtiene un coeficiente R^2 bajo de 0.45, siendo mayor a los arrojados por año hidrológico individual, a excepción del año 2005. De igual forma, se presentan varios casos donde para un mismo caudal de entrada le corresponde varios valores de caudales de salida, lo que se da, principalmente, con el caudal ecológico de 5 m³/s.

El segundo cuatrimestre arrojó un coeficiente R^2 alto y muy cercano a 1, donde a partir de 600 m³/s en adelante los caudales de entrada son mayores que los caudales de salida, es decir, se presenta una pérdida creciente a medida que los caudales aumentan después de 600 m³/s.

Finalmente, el tercer cuatrimestre muestra un coeficiente R^2 también alto y cercano a 1, y a pesar de ser época de estiaje refleja la transición desde época de avenidas por ello muestra valores diversos. Además, a partir de 240 m³/s en adelante los caudales de entrada son mayores que los caudales de salida, es decir, se presenta una pérdida de hasta 5 m³/s correspondiente al valor máximo de 300 m³/s como caudal de entrada.

En los tres casos existe la constante b representado a los caudales de retorno o aportantes, los cuales en son cercanos entre sí oscilando entre 14.588 y 22.044 m³/s.

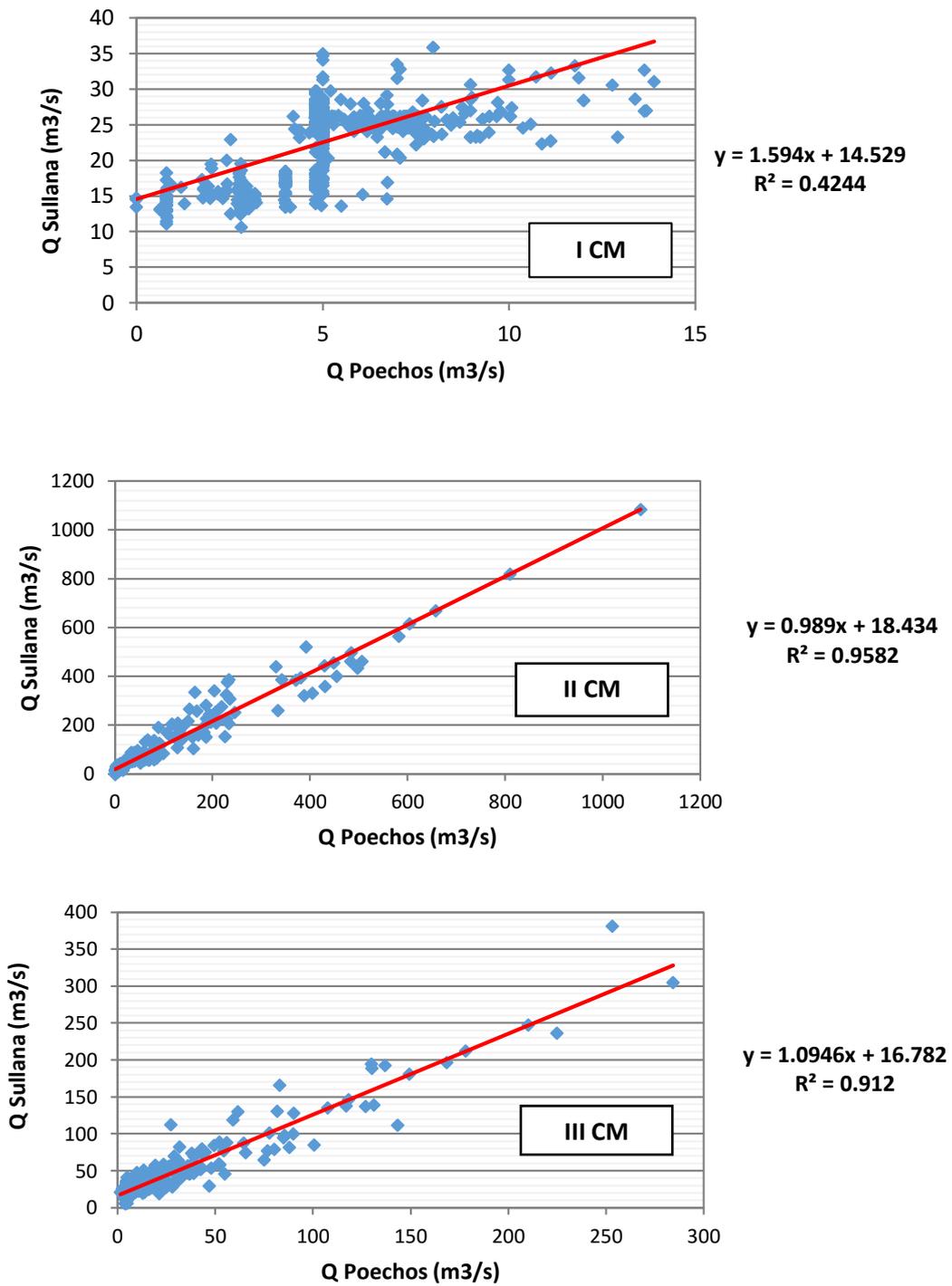


Ilustración 4-1 Calibración de caudales principales de los años hidrológicos normales.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

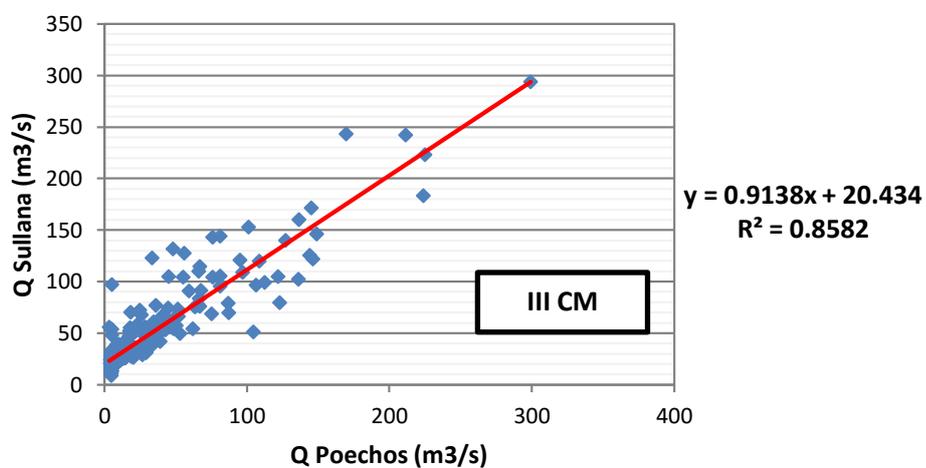
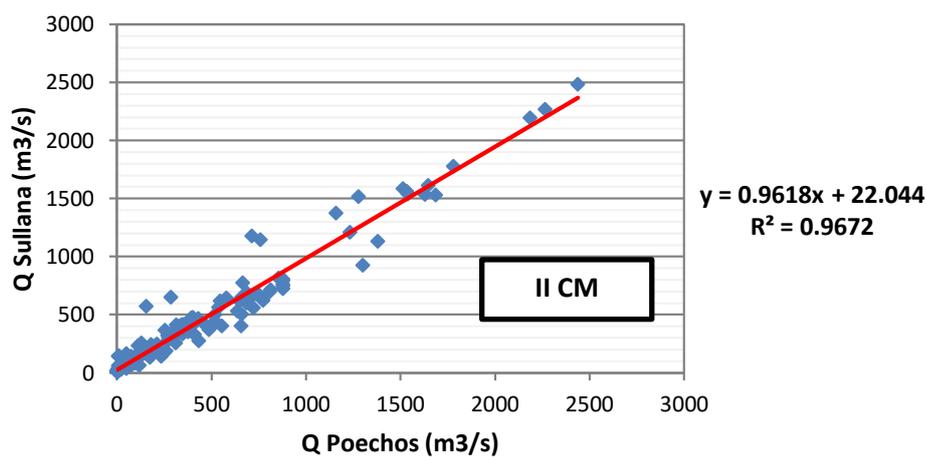
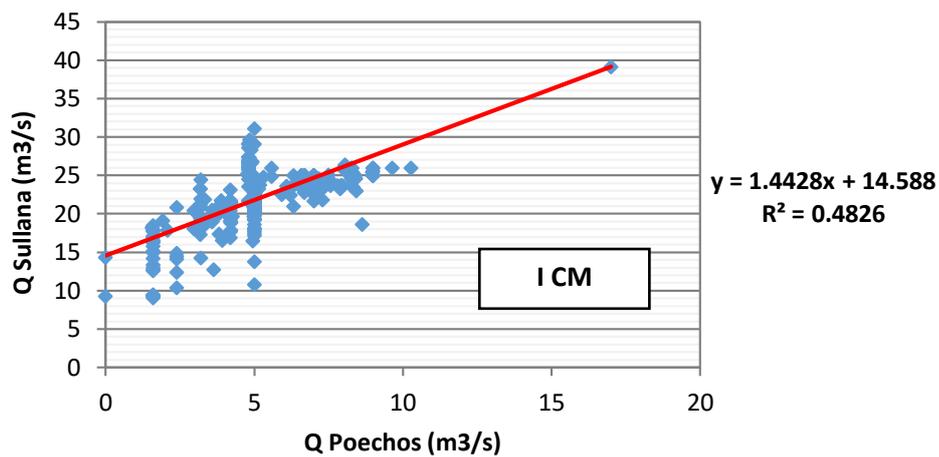


Ilustración 4-2 Calibración de caudales principales de los años hidrológicos húmedos.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración: Elaboración propia.*

4.1.2.2 Regresiones múltiples en años húmedos

En el presente apartado, se realizó las regresiones múltiples de acuerdo a cada cuatrimestre entre los caudales mencionados en el ítem 4, para los húmedos. Con ello, se obtuvo tres ecuaciones con sus coeficientes R2 correspondientes como se muestra en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2 Ecuaciones de regresiones de años húmedos, 2004-2017.

| Cuatrimestre | Ecuación | R2 |
|--------------|-----------------------------|-------|
| I CM | $Q_s = 1.028Q_p + 1.260Q_d$ | 0.986 |
| II CM | $Q_s = 0.938Q_p + 2.359Q_d$ | 0.964 |
| III CM | $Q_s = 0.871Q_p + 1.747Q_d$ | 0.907 |

Fuente: (PECHP, 2017), (Junta de Usuarios Sector Hidráulico Chira, 2015).

Elaboración propia.

Se puede observar que en los caudales que salen de Poechos se mantienen, hasta Sullana, en un 100%, a excepción del tercer cuatrimestre que se pierde un 12% del caudal; además los caudales de distribución superan su 100% al llegar a Sullana, lo que refleja la inclusión de otros aportes al volumen de control.

Cabe resaltar que en el primer cuatrimestre no se cuenta con los caudales distribuidos por las Juntas de usuarios de los años 2005 y 2015, mientras que en el segundo y tercer cuatrimestre no se cuenta con los caudales de distribución del año 2016.

4.1.3 Años muy húmedos

En el presente apartado se ha calibrado los datos correspondientes a los 03 años hidrológicos caracterizados como muy húmedos en el periodo 2004-2017 de manera grupal por cada cuatrimestre. Además, se muestra las correlaciones y regresiones correspondientes a los años húmedos.

4.1.3.1 Correlaciones en años húmedos

En el presente apartado se ha calibrado los datos correspondientes a los 03 años hidrológicos caracterizados como muy húmedos en el periodo 2004-2017 de manera grupal por cada cuatrimestre. La clasificación de los cuatrimestres en estos años hidrológicos es en el primer cuatrimestre, 01 húmedo y 02 muy húmedos; en el segundo, 03 muy húmedos; y en el tercero, 03 muy húmedos.

En la Ilustración 4-3 se muestra la calibración de los caudales principales de entrada y salida al volumen de control del tramo en estudio mediante las correlaciones de los mismos.

Se observa que el primer cuatrimestre aún se obtiene un coeficiente R^2 alto de 0.77 pero aún menor a 1, sin embargo, es mayor que muchos de los arrojados por año hidrológico individual, a excepción del año 2011. Asimismo, se presentan varios casos donde para un

mismo caudal de entrada le corresponde varios valores de caudales de salida de valores similares.

El segundo cuatrimestre arrojó un coeficiente R^2 alto y muy cercano a 1, donde la tendencia es que los caudales de salida sean mayores a los de entrada.

Finalmente, el tercer cuatrimestre muestra un coeficiente R^2 también alto y cercano a 1, y a pesar de ser época de estiaje refleja la transición desde época de avenidas por ello muestra valores diversos. Además, a partir de 240 m³/s en adelante los caudales de entrada son mayores que los caudales de salida, es decir, se presenta una pérdida de hasta 5 m³/s correspondiente al valor máximo de 300 m³/s como caudal de entrada.

En los tres casos existe la constante b representado a los caudales de retorno o aportantes, los cuales en son cercanos entre sí oscilando entre 17.251 y 23.529 m³/s.

4.1.3.2 Regresiones múltiples en años muy húmedos

En el presente apartado, se realizó las regresiones múltiples de acuerdo a cada cuatrimestre entre los caudales mencionados en el ítem 4, para los húmedos. Con ello, se obtuvo tres ecuaciones con sus coeficientes R^2 correspondientes como se muestra en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3 Ecuaciones de regresiones de años muy húmedos, 2004-2017.

| Cuatrimestre | Ecuación | R ² |
|--------------|-----------------------------|----------------|
| I CM | $Q_s = 1.32Q_p + 1.36Q_d$ | 0.972 |
| II CM | $Q_s = 1.00Q_p + 2.06Q_d$ | 0.983 |
| III CM | $Q_s = 0.984Q_p + 2.013Q_d$ | 0.985 |

Fuente: (PECHP, 2017), (Junta de Usuarios Sector Hidráulico Chira, 2015).

Elaboración propia.

Se puede observar que en los caudales que salen de Poechos se mantienen, hasta Sullana, en un 100%, además los caudales de distribución superan su 100% al llegar a Sullana, lo que refleja la inclusión de otros aportes al volumen de control, especialmente encontramos coeficientes con mayor valor en el primer cuatrimestre, lo que refleja la mayor influencia de los caudales de retorno.

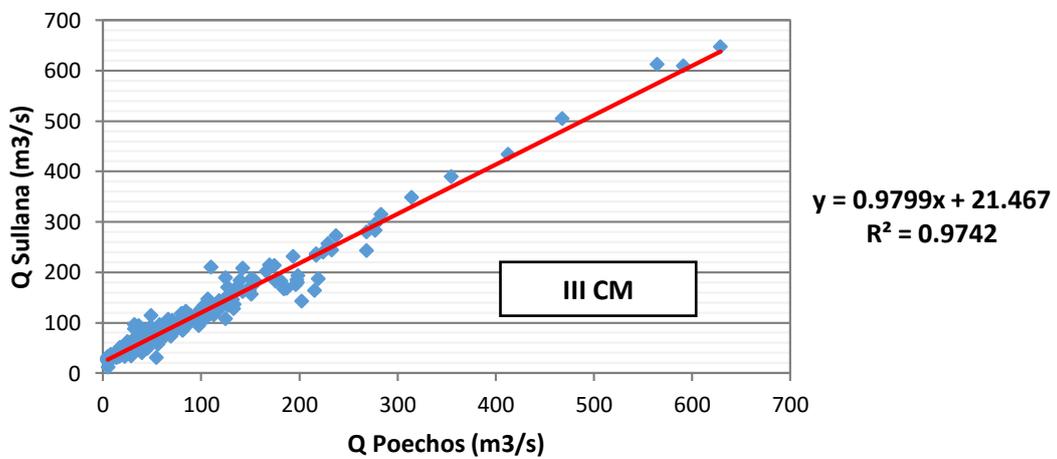
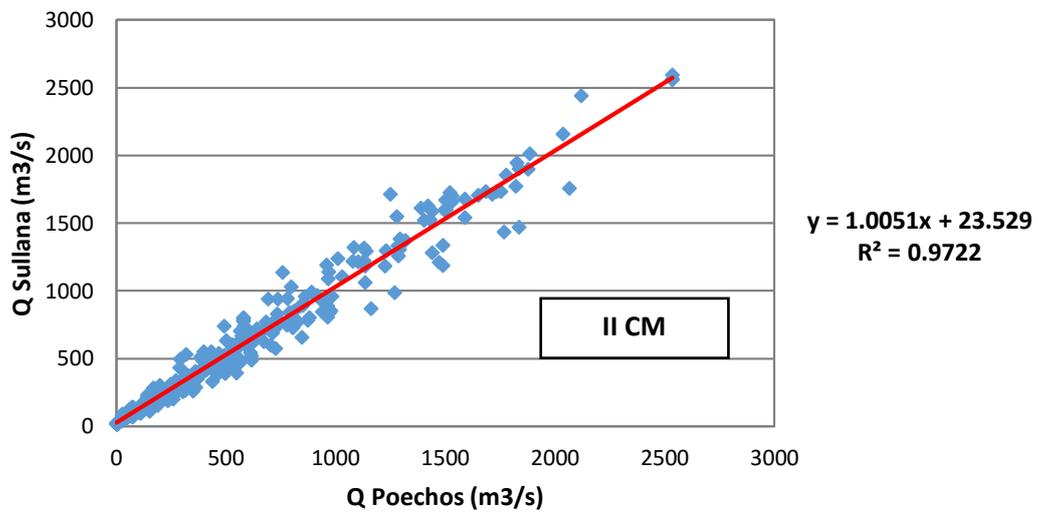
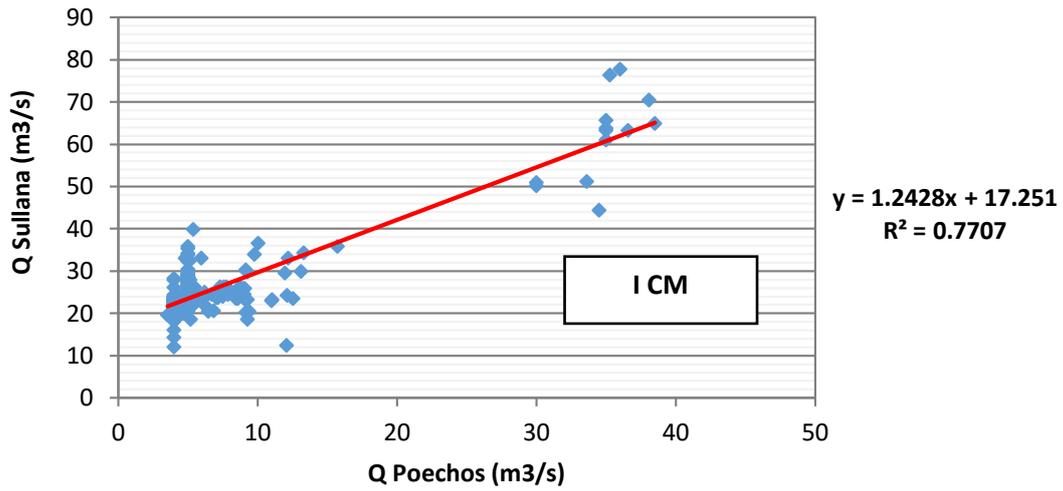


Ilustración 4-3 Calibración de caudales principales de los años hidrológicos muy húmedos.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

4.1.4 Años extraordinarios

En el presente apartado se ha calibrado los datos correspondientes al año hidrológico caracterizado como extraordinario en el periodo 2004-2017 por cada cuatrimestre. La clasificación del primer cuatrimestre es seca; del segundo, muy húmedo, y del tercero, extraordinario.

En la Ilustración 4-4 se muestra la calibración de los caudales principales de entrada y salida al volumen de control del tramo en estudio mediante las correlaciones de los mismos.

Se observa que el primer cuatrimestre aún se obtiene un coeficiente R^2 alto de 0.86 pero aún menor a 1. Asimismo, se presentan varios casos donde para un mismo caudal de entrada le corresponde varios valores de caudales de salida de valores similares.

El segundo cuatrimestre arrojó un coeficiente R^2 alto y muy cercano a 1, donde la tendencia es que los caudales de salida sean mayores a los de entrada.

Finalmente, el tercer cuatrimestre muestra un coeficiente R^2 también alto y cercano a 1, y a pesar de ser época de estiaje refleja la transición desde época de avenidas por ello muestra valores diversos.

Reflejo de un año extraordinario, tenemos que la constante b , representado a los caudales de retorno o aportantes, no se mantiene en los rangos que se han presentado en años normales, húmedos y muy húmedos, desde 14.52 hasta 22.044, donde tienen valores muy cercanos entre sí. En caso de este año extraordinario tenemos que dichos caudales son 4.25 y 25.218 para el primer y tercer cuatrimestre respectivamente.

4.2 Modelo propuesto

De acuerdo a los datos calibrados según la clasificación de los años hidrológicos, se identificó un patrón de comportamiento de los caudales, el cual fue más notorio al evaluar los años hidrológicos en conjunto. A continuación, se muestra los cuadros resúmenes de los modelos obtenidos según cada cuatrimestre, y el cálculo de formulaciones generales que describan el comportamiento de los caudales principales del río Chira sólo teniendo en cuenta la división por cuatrimestre.

4.2.1 Correlaciones

Después de aplicar las correlaciones entre los caudales principales de entrada, Poechos, y salida, Sullana, como se muestra en apartados anteriores, se calcularon una ecuación general que refleje el comportamiento de los caudales dentro del cauce del río Chira. Las formulaciones se pueden observar en la Tabla 4.4 a continuación:

Tabla 4-4 Ecuaciones de regresiones de años muy húmedos, 2004-2017.

| | Normales | Húmedos | Muy Húmedos | Ecuación General |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| I CM | $1.59 Q_p + 14.53$ | $1.42 Q_p + 14.59$ | $1.24 Q_p + 17.25$ | $1.35 Q_p + 15.79$ |
| II CM | $0.99 Q_p + 18.43$ | $0.96 Q_p + 22.04$ | $1.05 Q_p + 23.53$ | $1.00 Q_p + 19.85$ |
| III CM | $1.09 Q_p + 16.78$ | $0.91 Q_p + 20.43$ | $0.98 Q_p + 21.47$ | $1.00 Q_p + 18.82$ |

Fuente: (PECHP, 2017). Elaboración propia.

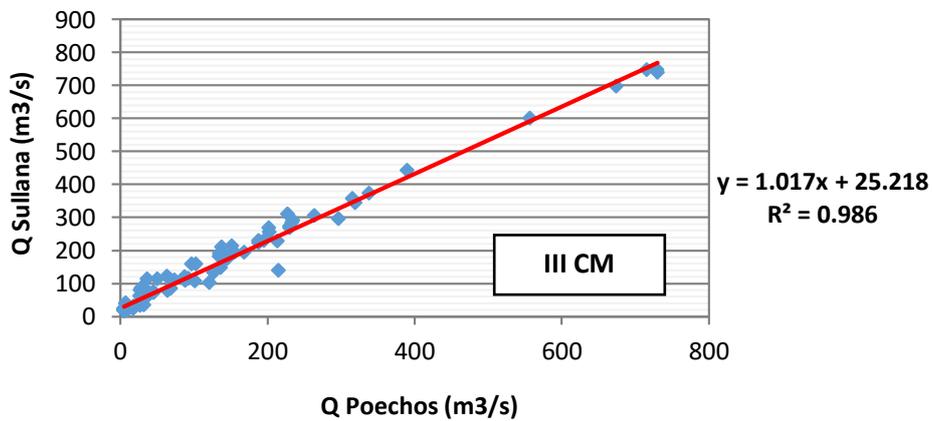
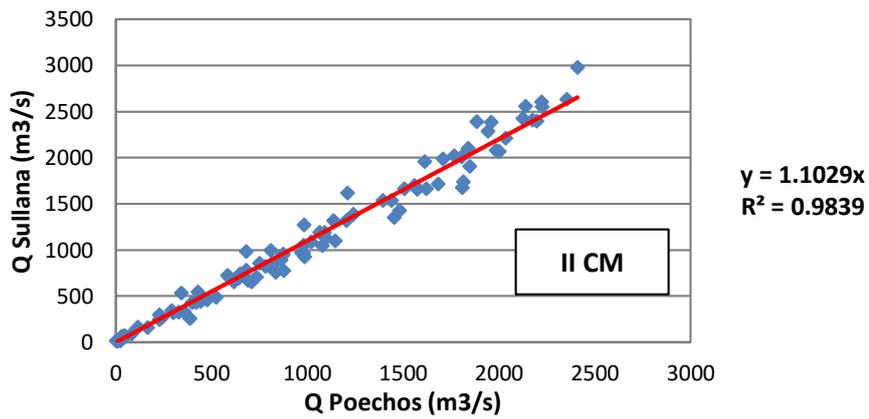
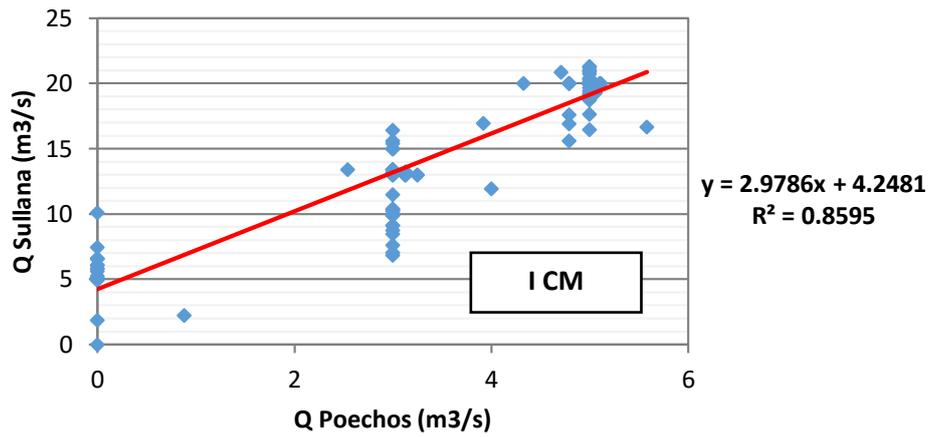


Ilustración 4-4 Calibración de caudales principales de los años hidrológicos extraordinarios.

Fuente: (PECHP, 2017). *Elaboración propia.*

En todos los cuatrimestres se muestra como los caudales de retorno aumentan a medida que se clasifica un año hidrológico por tener mayor oferta hídrica.

Asimismo, los caudales de retorno aumentan durante las épocas de avenidas, segundo cuatrimestre, y vuelve a disminuir cuando entra en la etapa de transición, tercer cuatrimestre, hacia la época de estiaje, primer cuatrimestre.

4.2.2 Regresiones

Una vez calculados las ecuaciones por regresión en el apartado 4.1, se muestra a continuación un cuadro resumen de dichas ecuaciones, así como, de ecuaciones generales que reflejen el comportamiento de los caudales dentro del cauce del río Chira, considerando como variables independientes los caudales de Poechos y los caudales de distribución de las Juntas de Usuarios del valle Chira. Las formulaciones se pueden observar en la Tabla 4.5 a continuación:

Tabla 4-5 Ecuaciones de regresiones de años muy húmedos, 2004-2017.

| | Normales | Húmedos | Muy Húmedos | Ecuación General |
|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| I CM | $1.29 Q_p + 1.37 Q_d$ | $1.03 Q_p + 1.26 Q_d$ | $1.32 Q_p + 1.36 Q_d$ | $1.31 Q_p + 1.34 Q_d$ |
| II CM | $1.03 Q_p + 1.62 Q_d$ | $0.94 Q_p + 2.36 Q_d$ | $1.00 Q_p + 2.06 Q_d$ | $1.00 Q_p + 1.75 Q_d$ |
| III CM | $1.09 Q_p + 1.42 Q_d$ | $0.87 Q_p + 1.75 Q_d$ | $0.98 Q_p + 2.01 Q_d$ | $1.01 Q_p + 1.65 Q_d$ |

Fuente: (PECHP, 2017), (Junta de Usuarios Sector Hidráulico Chira, 2015). *Elaboración propia.*

Conclusiones

- La cuenca Catamayo Chira presenta una alta oferta hídrica durante todo el año, lo que se debe a las prolongadas precipitaciones que se presentan en la cuenca alta y media durante los meses de octubre a mayo y de diciembre a mayo respectivamente; y que junto a sus características geomorfológicas permiten que el caudal del río Chira en la cuenca baja, pueda ser aprovechado gracias al reservorio Poechos.
- El sistema hidráulico del proyecto Chira Piura se ha convertido en el principal abastecedor de agua de la región Piura, dado que atiende las demandas hídricas de uso poblacional, piscícola, industrial, energético y agrario, siendo este último el de mayor consumo; haciendo a la población piurana dependiente del mismo para el desarrollo de la región, el cual se ve amenazado por la pérdida de capacidad de almacenamiento del reservorio Poechos.
- Durante el periodo 2004-2017, no se ha presentado ningún año hidrológico seco, pero si 06 años normales, 03 años húmedos, 03 años muy húmedos y 01 año extraordinario, demostrando así la disponibilidad hídrica de la cuenca del Chira.
- El último año hidrológico analizado corresponde al Niño Costero 2017. Sin embargo, el año presentó un severo déficit hídrico durante el mes de noviembre y diciembre de 2016 en el reservorio Poechos, poniendo en riesgo las campañas agrícolas; y posteriormente, durante el mes de marzo de 2017 se presentaron caudales de gran magnitud que permitieron la dotación y reservas de agua en el reservorio. Cabe recalcar que la ocurrencia de eventos extraordinarios trae consigo la acumulación de sedimentos en el reservorio y su consiguiente pérdida de capacidad.
- Debido a la complejidad del tramo estudiado de 39 km, no se pudo identificar todos los puntos de descarga y toma de caudales a lo largo del mismo, por ser estos diversos, además que varios de los identificados no cuentan con aforos siendo así descartados en el análisis. Es así que el análisis de consistencia se evaluó, fundamentalmente, mediante la relación establecida por las correlaciones realizadas entre los caudales principales de entrada, caudal que suelta Poechos al cauce, y de salida, caudales que llegan a Sullana, en el tramo estudiado.

- **Aparente inconsistencia:** Se realizó el análisis de los caudales de entrada y salida al tramo de estudio, considerando una posible inconsistencia entre ambas variables debido a la complejidad del tramo del cauce del río Chira en estudio.
- **Cuatrimestre:** Se vio conveniente agrupar los datos hidrometeorológicos de acuerdo a cuatrimestres de un año hidrológico para un mejor análisis de las variables. Dichos cuatrimestres se dividen en setiembre a diciembre, enero a abril y mayo a agosto, siendo nombrados como primer, segundo y tercer cuatrimestre respectivamente.
- La evaluación individual de los años hidrológicos en el primer cuatrimestre muestra que los caudales principales de entrada, Poechos, y de salida, Sullana, durante el periodo de setiembre-diciembre presentan un comportamiento constante donde los caudales de salida siempre presentan una magnitud mayor a los caudales de entrada, mostrando un grado de correlación bajo.
- En el segundo cuatrimestre el comportamiento de los caudales principales se asemeja, es decir, las magnitudes de ambos caudales se aproximan entre sí, mostrando un alto grado de correlación entre las variables a medida que presenta caudales de mayor magnitud.
- Finalmente, en el tercer cuatrimestre los caudales principales muestran una transición de regreso a la etapa de estiaje, aún con un alto grado de asociación entre variables.
- De los factores que se identificaron como más relevantes y de mayor impacto sobre los caudales principales en el río Chira entre la presa Poechos y la presa Sullana fueron las precipitaciones, la evaporación, los consumos agrícolas de las juntas de usuarios del valle del Chira y los caudales de uso no consuntivo de AQUA S.A.C; donde los dos últimos tienen mayor impacto durante la época de estiaje, pues significan un aporte más significativo, mientras que las precipitaciones lo son para las épocas de avenidas.
- Las condiciones y características de la realidad a la que se ha visto expuesta el sistema hidráulico del PECHP se ha ido transformando desde su inauguración, viéndose expuesto a eventos extraordinarios como los fenómenos el Niño de 1983 y 1998, así como el Niño Costero 2017, por lo que la actualización periódica de la operación del reservorio Poechos es necesaria y de suma importancia al ser la obra principal de dicho sistema.
- Las formulaciones establecidas son un estudio de los últimos 13 años hidrológicos transcurridos para conocer cómo se vienen comportando los caudales principales del tramo estudiado, hasta la actualidad; donde las correspondientes a los años normales, húmedos, muy húmedos y extraordinarios durante la época de avenida son las de mayor relevancia, ya que durante dicha época el sistema hidráulico se ve sometido a caudales importantes. Sin embargo, se muestra una ligera variabilidad entre los modelos propuestos a pesar del análisis exhaustivo realizado, por lo que convendría realizar un análisis aparte en la calibración de las compuertas de ambas presas, Poechos y Sullana, para cerciorarse de que se viene tomando una correcta lectura de los caudales operados. Esto reviste especial importancia con la actual elevación de la presa Poechos en el plan de afianzamiento del reservorio Poechos.

Recomendaciones

- Se debe resaltar la importancia de invertir en estudios que permitan la descolmatación del reservorio Poechos, el cual actualmente ha perdido más del 50% de su capacidad de almacenamiento, lo que generaría un impacto negativo en el desarrollo de la región Piura.
- Es importante que el PECHP implemente pluviógrafos en la cuenca baja del Chira para obtener un mejor análisis de la misma, dado que dichos instrumentos permiten establecer la distribución e intensidad de las lluvias, registrando la hora de comienzo y finalización de las precipitaciones, así como la cantidad de l/m^2 .
- Se debería revisar la calibración de las compuertas de los diferentes cuerpos de descarga del reservorio Poechos, puesto que puede haber sido afectada desde su puesta en marcha por los diferentes eventos a los que han sido expuestos.
- Es necesario el aforo del río Chipillico y de las quebradas importantes que representan un aporte trascendente en el río Chira del tramo estudiado, puesto que de estos aportes hídricos abastecerían el sector del bajo Chira.

Bibliografía

- ANA. (2007). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú- Resumen Ejecutivo*.
- ANA. (06 de Abril de 2011). *Informe Técnico N° 288-2011-ANA-DGCRH/LCHC-MSAP. Identificación de las fuentes contaminantes cuenca Chira*. Lima. Obtenido de <http://www.ana.gob.pe>
- Calle, M. J. (2016). *Análisis hidrológico del reservorio Poechos y nivel de atención a los valles del Chira y Piura*. Tesis de Pregrado, Universidad de Piura, Piura.
- Centro de investigación y promoción del campesinado. (20 de Octubre de 2016). *CIPCA*. Obtenido de <http://www.cipca.org.pe/cipca/perurural/temas/proeschirapiu.htm>
- Ciclo Hidrológico. (2017). *Ciclo Hidrológico.com*. Recuperado el 20 de Agosto de 2017, de <https://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>
- Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Chira-Piura. (2014-2015). *Plan de Aprovechamiento de Disponibilidad Hídrica Chira-Piura*. Piura.
- CONSORCIO ATA-UNP-UNL. (2002). *Caracterización hídrica y adecuación entre la oferta y la demanda en el ámbito de la cuenca binacional Catamayo-Chira*. Piura.
- Corporación Interamericana de Inversiones. (2017). *CII*. Recuperado el 20 de Julio de 2017, de <http://www.iic.org/es/proyectos/project-disclosure/pe1117a-01/american-quality-aquaculture-aqua>
- ENERGOPROJEKT. (1976). *Almacenamiento y Derivación Chira-Piura. Manual (Vol. A.II)*. Piura.
- EPS Grau. (10 de Diciembre de 2016). *EPS Grau*. Obtenido de <http://www.epsgrau.com.pe>

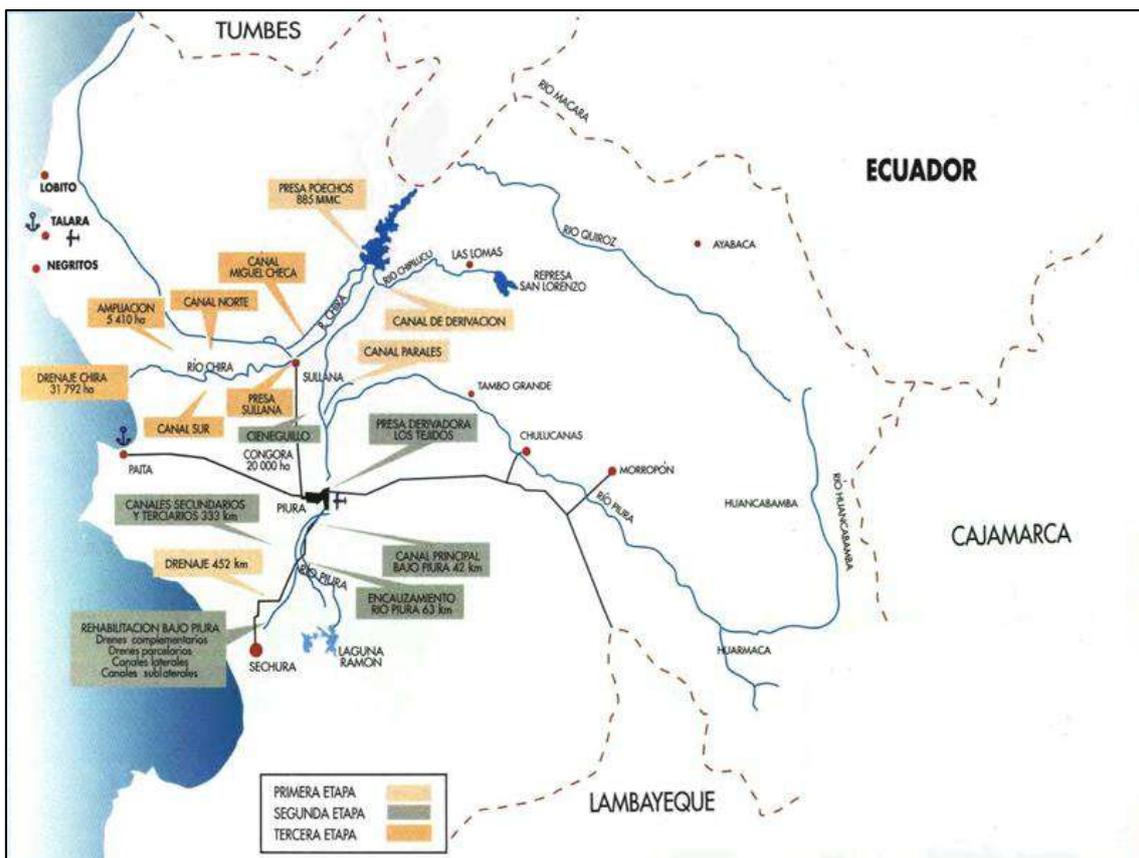
- EPS Grau. (27 de Setiembre de 2016). *Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental*. Obtenido de OEFA: <https://www.oefa.gob.pe/eventos/foro-regional-fortalecimiento-de-capacidades-en-la-gestion-y-fiscalizacion-ambiental-de-las-aguas-residuales>
- Farías, M. (20 de Abril de 2017). *Universidad de Piura*. Obtenido de <http://udep.edu.pe/hoy/2017/necesitamos-prepararnos-porque-estos-eventos-pueden-ser-cada-vez-mas-recurrentes/>
- Free Maps Tools. (s.f.). *Free Maps Tools*. Recuperado el 5 de Febrero de 2017, de <https://www.freemaptools.com/area-calculator.htm>
- Google Earth. (2016). *Google Earth*. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://earth.google.com>
- Hernández, C. (20 de Julio de 2017). Operación del reservorio Poechos. (F. More, Entrevistador)
- INEI. (07 de Enero de 2017). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Obtenido de <http://proyectos.inei.gob.pe>
- Junta de Usuarios Sector Hidráulico Chira. (22 de Junio de 2015). Demandas y cédula de cultivos de la Junta de Usuarios del Chira. Piura, Piura, Perú.
- Marroquin, A. (2016). *Balance Hídrico Superficial de la Subcuenca del río Paltiture*. Piura.
- Mata-Lima, H. (2007). Comportamiento hidrológico de bacías hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. *Revista Escola de Minas*, 60(3), 525-536.
- Miloradovic, M. (2015). *Reglas de operación del embalse Poechos para temporadas de avenidas*. Lima.
- Ministerio de Ambiente. (2010). *Plan de Calidad Ambiental Perú-Ecuador: Catamayo-Chira y Puyango-Tumbes*. Lima.
- Ministerio del Ambiente. (2016). *PLAN DE ACCIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS DE LAS CUENCAS TRANSFRONTERIZAS CHIRA Y TUMBES 2016-2020*. Lima.
- PECHP. (02 de Setiembre de 2017). Informes diarios hidrometeorológicos y consumos atendidos por el PECHP. (F. More, Entrevistador) Piura, Piura, Piura.
- Plan Binacional Catamayo Chira. (2003). *CARACTERIZACIÓN HÍDRICA Y ADECUACIÓN ENTRE LA OFERTA Y LA DEMANDA EN EL ÁMBITO DE LA CUENCA BINACIONAL CATAMAYO-CHIRA*. Loja-Piura.

- Proyecto Especial Chira Piura. (1992). *Diseño definitivo de la Presa de Derivadora de Sullana III Etapa Proyecto Chira Piura. Informe Final* (Vol. IV). Novoa Ingenieros, Corporación de Racionalización y Consultoría S.A.
- Proyecto Especial Chira Piura. (2016). *Proyecto Especial Chira Piura*. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de www.chirapiura.gob.pe/principal.php
- Proyecto Especial Chira Piura. (2016). *Proyecto Especial Chira Piura*. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de <http://www.chirapiura.gob.pe/index.php?pag=13&id=45>
- Proyecto Especial Chira Piura. (2016). *Proyecto Especial Chira Piura*. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de <http://www.chirapiura.gob.pe/index.php?pag=13&id=44>
- Proyecto Especial Chira Piura. (2016). *Proyecto Especial Chira Piura*. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de <http://www.chirapiura.gob.pe/index.php?pag=13&id=46>
- Proyecto Especial Chira Piura. (2016). *Proyecto Especial Chira Piura*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de <http://www.chirapiura.gob.pe/proyecto/proyecto>
- Proyecto Especial Chira Piura. (2016). *Proyecto Especial Chira Piura*. Obtenido de <http://www.chirapiura.gob.pe/>
- Reparaz, G. (2013). *Los Ríos de la Zona Árida Peruana-Edición del trabajo de investigación terminado en 1966*. (M. Farías, Universidad de Piura, & Instituto Cartográfico de Cataluña, Edits.)
- Rodas, A. (2001). *Diagnóstico de Gestión de agua*. Piura.
- Rodríguez, R. (20 de Abril de 2017). *Universidad de Piura*. Obtenido de <http://udep.edu.pe/hoy/2017/la-anomalia-promedio-de-la-temperatura-del-mar-sigue-en-6-gradus/>
- SENAMHI. (14 de Junio de 2017). *Perú Clima*. Obtenido de Servicio Nacional de meteorología e hidrología del Perú: <http://www.peruclima.pe/?p=data-historica>
- SENAMHI. (14 de Junio de 2017). *Servicio Nacional de meteorología e hidrología del Perú*. Obtenido de <http://www.senamhi.gob.pe/?p=data-historica>
- SUNASS. (Noviembre de 2011). *Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento*. Obtenido de http://www.sunass.gob.pe/websunass/index.php/eps/estudios-tarifarios/cat_view/419-regulacion-tarifaria/28-estudios-tarifarios/299-proyectos/444-piura

- Takahashi, K. (Abril de 2017). Fenómeno el Niño: "Global" vs "Costero". *"Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño" - Boletín Técnico*, IV(4), 4-5.
- Tarabochia, M. L. (20 de Abril de 2017). *Mongabay*. Obtenido de <https://es.mongabay.com/2017/03/peru-nino-costero-desastres-inundacion/>
- Universidad de Cádiz. (2016). *Universidad de Cádiz*. Recuperado el 20 de Octubre de 2016, de http://lab-hidrologia.uca.es/metodo_temez_modificado/
- Universidad de Piura. (2015). *Análisis Hidrológico. Desarrollo de una metodología de descolmatación de un reservorio utilizando la misma energía de agua y a un bajo costo. Caso piloto: Reservorio de Poechos*. Piura.
- Universidad de Piura. (2016). *Universidad de Piura*. Recuperado el 20 de Octubre de 2016, de <http://udep.edu.pe/hoy/>
- Universidad de Piura. (2016). *Universidad de Piura*. Recuperado el 25 de Octubre de 2016, de <http://udep.edu.pe/hoy/2015/poechos-el-coloso-del-peru/>
- Varona, M. (2018). Modelo hidrológico de la cuenca Catamayo-Chira hasta el ingreso al reservorio Poechos usando Hec-Hms. Piura.
- Ven Te Chow. (1995). *Hidrología Aplicada*. México: McGraw-Hill.
- Zapata, F. (16 de Octubre de 2015). Cálculo de la evaporación en el Reservorio Poechos. *Dirección de Operación y Mantenimiento*. (M. J. Calle, Entrevistador) Piura.

Anexos

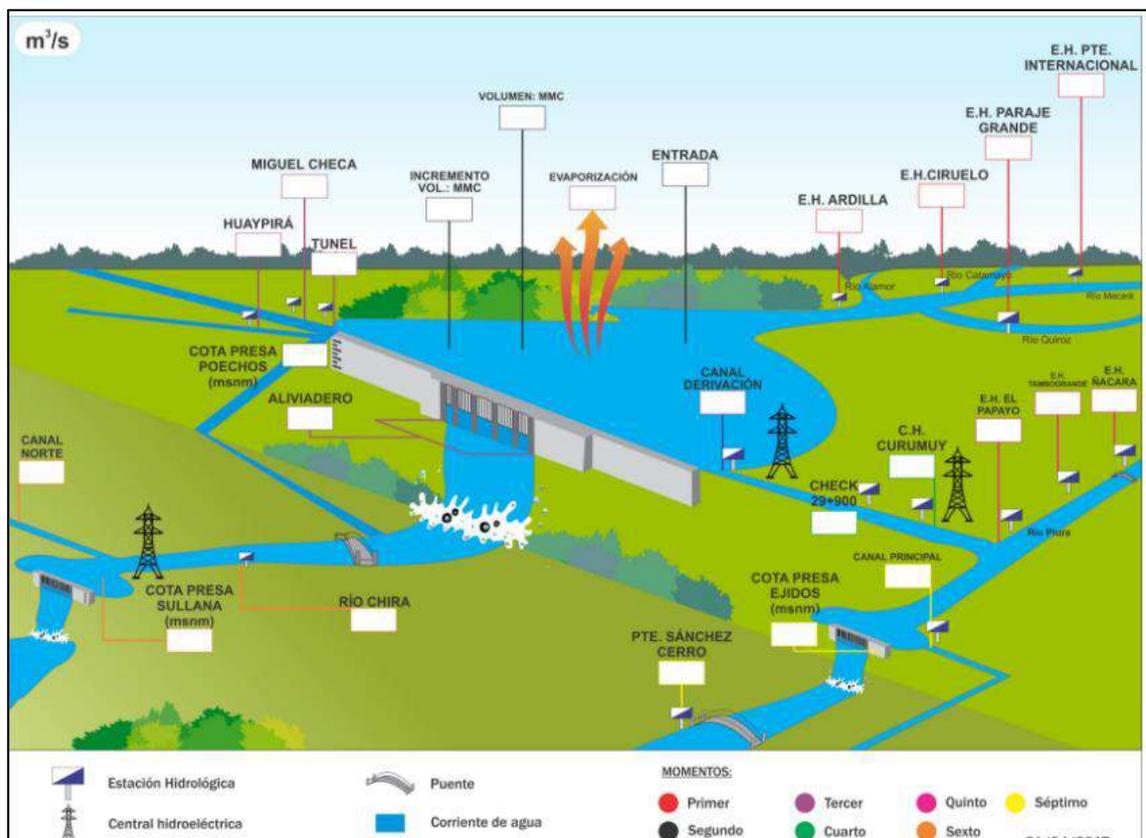
Anexos A: **Ámbito del proyecto**



Anexo A 1 *Ámbito del Proyecto Especial Chira Piura.*

Fuente: (Proyecto Especial Chira Piura, 2016).

Anexo B: Base de datos hidrometeorológica



Anexo B 1 Estaciones de datos hidrometeorológicos.

Fuente: (Proyecto Especial Chira Piura, 2016).

Anexo B 2 Escorrentías anuales y estacionales periodo 1937-2017.

| AÑO | Masas estacionales | | | TOTAL ANUAL | CLASIFICACIÓN |
|---------|--------------------|---------|---------|-------------|----------------|
| | SET/DIC | ENE/ABR | MAY/AGO | | |
| 1197/98 | 1,011 | 14,650 | 2,502 | 18,163 | Extraordinario |
| 1982/83 | 704 | 10,358 | 4,732 | 15,794 | Extraordinario |
| 2016/17 | 205 | 9,074 | | 9,279 | Muy Húmedo |
| 2007/08 | 369 | 6,830 | 1,561 | 8,760 | Muy Húmedo |
| 2011/12 | 469 | 7,055 | 1,169 | 8,693 | Muy Húmedo |
| 1942/43 | 262 | 5,625 | 1,891 | 7,778 | Muy Húmedo |
| 1952/53 | 375 | 5,172 | 1,569 | 7,116 | Muy Húmedo |
| 2008/09 | 477 | 5,204 | 1,361 | 7,042 | Muy Húmedo |
| 1998/99 | 404 | 4,876 | 1,674 | 6,954 | Muy Húmedo |
| 1940/41 | 242 | 5,300 | 1,394 | 6,936 | Muy Húmedo |
| 1983/84 | 843 | 4,468 | 1,471 | 6,782 | Muy Húmedo |
| 1999/00 | 468 | 4,242 | 1,581 | 6,291 | Muy Húmedo |
| 2001/02 | 349 | 4,552 | 1,210 | 6,111 | Muy Húmedo |
| 2000/01 | 290 | 4,274 | 1,162 | 5,726 | Húmedo |
| 1938/39 | 389 | 3,357 | 1,969 | 5,715 | Húmedo |
| 1975/76 | 281 | 3,205 | 1,558 | 5,044 | Húmedo |
| 1991/92 | 204 | 3,788 | 1,013 | 5,005 | Húmedo |
| 1992/93 | 193 | 3,753 | 1,016 | 4,962 | Húmedo |
| 1971/72 | 256 | 3,715 | 961 | 4,932 | Húmedo |
| 1964/65 | 206 | 3,283 | 1,315 | 4,804 | Húmedo |
| 1986/87 | 319 | 3,414 | 977 | 4,710 | Húmedo |
| 1993/94 | 482 | 3,185 | 1,029 | 4,696 | Húmedo |
| 1972/73 | 418 | 3,205 | 923 | 4,546 | Húmedo |
| 2005/06 | 221 | 3,532 | 581 | 4,334 | Húmedo |
| 2014/15 | 337 | 2,892 | 1,092 | 4,321 | Húmedo |
| 1988/89 | 167 | 2,956 | 845 | 3,968 | Húmedo |
| 2015/16 | 372 | 2,512 | 815 | 3,699 | Húmedo |
| 1976/77 | 560 | 2,131 | 951 | 3,642 | Húmedo |
| 1970/71 | 344 | 2,449 | 725 | 3,518 | Húmedo |
| 1974/75 | 281 | 2,228 | 983 | 3,492 | Húmedo |
| 1956/57 | 238 | 2,097 | 799 | 3,134 | Húmedo |
| 1957/58 | 256 | 1,870 | 771 | 2,897 | Normal |
| 2009/10 | 418 | 1,711 | 726 | 2,855 | Normal |
| 2010/11 | 220 | 1,484 | 754 | 2,458 | Normal |
| 1955/56 | 378 | 1,331 | 686 | 2,395 | Normal |
| 2004/05 | 309 | 1,619 | 461 | 2,389 | Normal |
| 1939/40 | 437 | 1,139 | 734 | 2,310 | Normal |
| 1954/55 | 258 | 1,455 | 590 | 2,303 | Normal |
| 1944/45 | 204 | 1,674 | 424 | 2,302 | Normal |
| 1969/70 | 289 | 1,322 | 640 | 2,251 | Normal |
| | | | | | |

| AÑO | Masas estacionales | | | TOTAL ANUAL | CLASIFICACIÓN |
|---------|--------------------|---------|---------|-------------|---------------|
| | SET/DIC | ENE/ABR | MAY/AGO | | |
| 1961/62 | 197 | 1,511 | 541 | 2,249 | Normal |
| 2002/03 | 449 | 1,086 | 652 | 2,187 | Normal |
| 1937/38 | 118 | 1,391 | 671 | 2,180 | Normal |
| 1984/85 | 680 | 917 | 551 | 2,148 | Normal |
| 2012/13 | 475 | 1,069 | 569 | 2,113 | Normal |
| 1951/52 | 204 | 1,478 | 426 | 2,108 | Normal |
| 2006/07 | 308 | 1,135 | 622 | 2,065 | Normal |
| 2013/14 | 256 | 940 | 868 | 2,064 | Normal |
| 1950/51 | 242 | 1,414 | 407 | 2,063 | Normal |
| 1980/81 | 347 | 1,273 | 424 | 2,044 | Normal |
| 1990/91 | 212 | 1,241 | 534 | 1,987 | Normal |
| 1985/86 | 285 | 1,138 | 523 | 1,946 | Normal |
| 1943/44 | 204 | 1,235 | 500 | 1,939 | Normal |
| 1994/95 | 538 | 908 | 394 | 1,840 | Normal |
| 1989/90 | 269 | 938 | 630 | 1,837 | Normal |
| 1945/46 | 282 | 1,070 | 389 | 1,741 | Seco |
| 1959/60 | 203 | 1,158 | 377 | 1,738 | Seco |
| 1979/80 | 265 | 959 | 494 | 1,718 | Seco |
| 1995/96 | 192 | 1,127 | 387 | 1,706 | Seco |
| 1973/74 | 250 | 1,021 | 435 | 1,706 | Seco |
| 1978/79 | 310 | 918 | 442 | 1,670 | Seco |
| 1958/59 | 195 | 994 | 451 | 1,640 | Seco |
| 1948/49 | 144 | 1,312 | 177 | 1,633 | Seco |
| 1953/54 | 419 | 858 | 317 | 1,594 | Seco |
| 1977/78 | 390 | 674 | 506 | 1,570 | Seco |
| 1941/42 | 251 | 874 | 408 | 1,533 | Seco |
| 1987/88 | 287 | 929 | 307 | 1,523 | Seco |
| 2003/04 | 254 | 702 | 484 | 1,440 | Seco |
| 1960/61 | 149 | 719 | 491 | 1,359 | Seco |
| 1996/97 | 117 | 778 | 450 | 1,345 | Seco |
| 1968/69 | 168 | 861 | 311 | 1,340 | Seco |
| 1965/66 | 121 | 818 | 285 | 1,224 | Seco |
| 1949/50 | 171 | 620 | 391 | 1,182 | Muy seco |
| 1963/64 | 309 | 500 | 368 | 1,177 | Muy seco |
| 1946/47 | 338 | 501 | 335 | 1,174 | Muy seco |
| 1981/82 | 205 | 589 | 349 | 1,143 | Muy seco |
| 1966/67 | 126 | 673 | 301 | 1,100 | Muy seco |
| 1962/63 | 124 | 690 | 278 | 1,092 | Muy seco |
| 1947/48 | 187 | 522 | 141 | 850 | Muy seco |
| 1967/68 | 153 | 387 | 227 | 767 | Muy seco |

Fuente: (Universidad de Piura, 2015).

Anexo B 3 Caudales medios mensuales (m3/s) del río Chira medidos en el reservorio Poechos.

| Estación de Reservorio Poechos - río Chira | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|---------|-----------|-----------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|-------|--------|---------|-------|----------|
| Año hidrológico | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Máx. | Mín. | Promedio |
| 2004-2005 | 15.79 | 15.17 | 15.30 | 14.24 | 17.85 | 15.94 | 163.90 | 66.08 | 32.64 | 23.58 | 19.32 | 22.41 | 163.90 | 14.24 | 35.18 |
| 2005-2006 | 26.29 | 20.88 | 18.56 | 20.88 | 12.86 | 248.10 | 421.16 | 294.16 | 35.56 | 24.34 | 20.67 | 20.47 | 421.16 | 12.86 | 96.44 |
| 2006-2007 | 21.41 | 23.88 | 23.10 | 26.11 | 29.95 | 22.56 | 22.84 | 63.58 | 35.15 | 47.76 | 20.25 | 20.44 | 63.58 | 20.25 | 29.75 |
| 2007-2008 | 22.16 | 22.01 | 21.44 | 19.19 | 19.43 | 594.38 | 903.42 | 801.53 | 219.11 | 112.20 | 72.47 | 44.98 | 903.42 | 19.19 | 237.69 |
| 2008-2009 | 29.27 | 26.39 | 26.10 | 22.01 | 183.59 | 474.40 | 597.22 | 269.50 | 171.84 | 58.94 | 59.55 | 32.89 | 597.22 | 22.01 | 162.64 |
| 2009-2010 | 27.26 | 26.24 | 26.24 | 24.46 | 19.81 | 90.27 | 90.96 | 169.05 | 67.23 | 35.02 | 20.77 | 25.22 | 169.05 | 19.81 | 51.88 |
| 2010-2011 | 23.95 | 24.75 | 20.34 | 15.53 | 12.75 | 104.48 | 27.30 | 145.63 | 53.67 | 30.09 | 61.36 | 23.22 | 145.63 | 12.75 | 45.26 |
| 2011-2012 | 24.83 | 24.65 | 24.85 | 40.21 | 256.81 | 1110.00 | 784.44 | 438.97 | 155.01 | 56.36 | 44.91 | 27.68 | 1110.00 | 24.65 | 249.06 |
| 2012-2013 | 27.25 | 26.16 | 26.29 | 24.72 | 17.38 | 15.48 | 36.90 | 40.19 | 51.75 | 64.29 | 33.53 | 18.65 | 64.29 | 11.70 | 30.49 |
| 2013-2014 | 24.91 | 25.95 | 25.13 | 17.38 | 18.32 | 17.92 | 502.22 | 258.53 | 84.53 | 75.83 | 52.57 | 24.18 | 502.22 | 17.92 | 98.84 |
| 2014-2015 | 24.30 | 23.60 | 23.03 | 21.03 | 13.34 | 56.67 | 480.99 | 122.84 | 70.43 | 37.59 | 26.88 | 21.11 | 480.99 | 13.34 | 76.65 |
| 2015-2016 | 24.02 | 23.12 | 22.40 | 20.44 | 35.14 | 510.40 | 1865.28 | 1154.01 | | | | | 1865.28 | 7.01 | 452.96 |
| 2016-2017 | 20.00 | 19.29 | 12.56 | 7.01 | | | | | | | | | | | |

Fuente: (PECHP, 2017) Elaboración: Elaboración propia.

Anexo B 4 Caudales medios mensuales (m3/s) del río Chira medidos en presa de Sullana.

| Estación de Reservorio Poechos - río Chira | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|---------|-----------|-----------|--------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|--------|---------|------|----------|
| Año hidrológico | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Máx. | Mín. | Promedio |
| 2004-2005 | 2.56 | 1.97 | 2.13 | 2.42 | 4.91 | 3.17 | 194.39 | 57.18 | 9.59 | 4.81 | 4.78 | 4.12 | 194.39 | 1.97 | 24.34 |
| 2005-2006 | 4.82 | 3.94 | 3.33 | 1.67 | 2.80 | 256.59 | 423.19 | 295.18 | 10.47 | 4.83 | 4.79 | 4.79 | 423.19 | 1.67 | 84.70 |
| 2006-2007 | 4.65 | 4.92 | 4.80 | 8.58 | 11.85 | 4.82 | 4.80 | 46.11 | 15.73 | 38.80 | 5.05 | 3.98 | 46.11 | 3.98 | 12.84 |
| 2007-2008 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.87 | 568.99 | 886.24 | 762.44 | 197.64 | 97.01 | 56.78 | 21.57 | 886.24 | 4.00 | 217.63 |
| 2008-2009 | 5.86 | 5.05 | 5.60 | 6.37 | 182.18 | 499.41 | 681.41 | 276.77 | 157.52 | 42.63 | 42.59 | 12.32 | 681.41 | 5.05 | 159.81 |
| 2009-2010 | 6.25 | 5.29 | 5.17 | 8.19 | 4.90 | 74.08 | 72.07 | 142.71 | 45.88 | 22.32 | 7.81 | 7.28 | 142.71 | 4.90 | 33.50 |
| 2010-2011 | 6.10 | 6.07 | 5.00 | 3.71 | 3.74 | 72.66 | 5.84 | 101.16 | 26.21 | 9.89 | 36.36 | 7.09 | 101.16 | 3.71 | 23.65 |
| 2011-2012 | 7.41 | 5.97 | 5.70 | 18.46 | 181.06 | 1031.01 | 714.58 | 381.77 | 132.40 | 33.23 | 23.33 | 5.10 | 1031.01 | 5.10 | 211.67 |
| 2012-2013 | 5.08 | 6.00 | 5.31 | 7.50 | | | | | 5.00 | 7.76 | 5.04 | 5.04 | 7.76 | 5.00 | 5.84 |
| 2013-2014 | 5.95 | 5.58 | 5.17 | 3.94 | 4.12 | 4.13 | 24.35 | 19.55 | 28.59 | 42.37 | 16.04 | 5.03 | 42.37 | 3.94 | 13.73 |
| 2014-2015 | 7.36 | 6.51 | 5.67 | 5.29 | 5.17 | 5.00 | 444.40 | 268.08 | 61.98 | 55.44 | 35.83 | 6.95 | 444.40 | 5.00 | 75.64 |
| 2015-2016 | 6.67 | 6.07 | 5.02 | 4.94 | 5.01 | 34.99 | 461.03 | 95.30 | 48.93 | 19.84 | 9.77 | 5.01 | 461.03 | 4.94 | 58.55 |
| 2016-2017 | 4.66 | 4.92 | 2.63 | 1.72 | 22.38 | 507.04 | 1674.26 | 1051.00 | | | | | 1674.26 | 1.72 | 408.58 |

Fuente: (PECHP, 2017) Elaboración: Elaboración propia.

Anexo B 5 Resumen de registros de la Junta de Usuarios del valle del Chira en Campaña

RESUMEN DE AGUA CAMPAÑA GRANDE 2005-2006
ENERO - JUNIO 2006

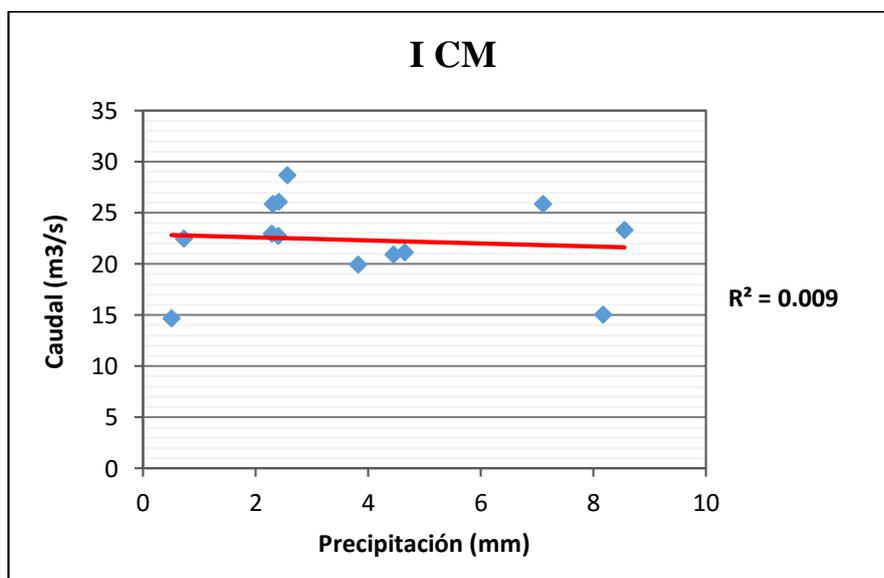


| COMISION DE REGANTES | ENERO | | | FEBRERO | | | MARZO | | | ABRIL | | | MAYO | | | JUNIO | | | TOTALES | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| | PROG. (MHC) | SOLIC. (MHC) | SALDO (MHC) | PROG. (MHC) | SOLIC. (MHC) | SALDO (MHC) | PROG. (MHC) | SOLIC. (MHC) | SALDO (MHC) | PROG. (MHC) | SOLIC. (MHC) | SALDO (MHC) | PROG. (MHC) | SOLIC. (MHC) | SALDO (MHC) | PROG. (MHC) | SOLIC. (MHC) | SALDO (MHC) | PROG. (MHC) | SOLIC. (MHC) | SALDO (MHC) | | | | | | |
| A.-EXTRACCION DIRECTA RESERVOIRIO PUECHOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| POECHOS PELADOS | 5.833 | 3.30 | 1.066 | 3.868 | 7.203 | 4.168 | 2.866 | 14.78 | 11.665 | 5.337 | 3.81 | 11.523 | 10.882 | 6.710 | 0.64 | 10.71 | 13.415 | 6.798 | -2.70 | 8.28 | 10.070 | 7.616 | -1.79 | 60.99 | 56.64 | 32.99 | 4.36 |
| MIGUEL CHECA | 10.498 | 10.76 | 4.812 | 26.325 | 18.025 | 9.611 | 8.30 | 43.36 | 41.137 | 19.263 | 2.83 | 33.210 | 40.462 | 18.665 | -7.25 | 31.36 | 39.639 | 20.977 | -8.28 | 21.94 | 23.363 | 24.853 | -1.43 | 167.30 | 173.39 | 98.19 | -6.09 |
| CIERREQUILLO | 9.227 | 5.951 | 5.393 | 10.406 | 6.655 | 6.420 | 3.75 | 10.56 | 9.075 | 8.553 | 6.610 | 9.075 | 8.553 | 6.217 | 0.52 | 7.16 | 9.108 | 5.934 | -1.95 | 7.08 | 6.504 | 5.823 | 0.57 | 53.50 | 46.42 | 36.40 | 7.08 |
| DANIEL ESCOBAR | 2.463 | 1.248 | 0.837 | 3.811 | 1.293 | 0.708 | 2.53 | 3.47 | 1.687 | 1.715 | 1.79 | 3.245 | 1.897 | 1.731 | 1.35 | 3.03 | 1.913 | 1.170 | 1.12 | 2.66 | 1.290 | 1.378 | 1.43 | 18.69 | 9.26 | 7.66 | 9.43 |
| SUB TOTAL | 28.02 | 21.86 | 12.81 | 50.41 | 33.17 | 20.30 | 17.24 | 72.17 | 63.64 | 35.53 | 9.13 | 57.05 | 61.79 | 35.38 | -4.74 | 52.27 | 64.08 | 34.88 | -11.81 | 39.96 | 41.17 | 39.73 | -1.21 | 300.48 | 285.71 | 175.23 | 14.77 |
| B.-SISTEMA BAJO CHIRA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MARGEN DERECHA | 2.668 | 10.363 | 5.771 | 16.439 | 3.836 | 1.265 | 12.60 | 35.37 | 20.722 | 12.682 | 14.64 | 25.800 | 24.966 | 12.011 | 0.83 | 23.40 | 27.063 | 11.709 | -3.69 | 13.97 | 22.362 | 9.617 | -8.39 | 117.64 | 109.34 | 63.06 | 8.30 |
| MARGEN IZQUIERDA | 1.506 | 2.003 | 0.390 | 3.873 | 1.676 | 0.794 | 2.20 | 7.02 | 3.868 | 3.930 | 3.15 | 5.379 | 2.108 | 2.624 | 3.27 | 4.72 | 1.675 | 2.742 | 3.04 | 2.74 | 3.951 | 2.473 | -1.21 | 25.23 | 15.28 | 13.55 | 9.95 |
| EL ARENAL | 4.728 | 1.278 | 1.936 | 3.477 | 1.210 | 0.865 | 2.27 | 3.60 | 1.460 | 1.217 | 2.14 | 3.134 | 1.957 | 0.624 | 1.98 | 1.16 | 1.193 | 0.632 | -0.02 | 0.73 | 2.236 | 0.603 | -1.51 | 16.82 | 8.53 | 5.90 | 8.30 |
| SUB TOTAL | 8.30 | 13.65 | 8.36 | 23.79 | 6.72 | 3.02 | 17.07 | 45.59 | 26.05 | 17.83 | 19.93 | 34.31 | 28.23 | 15.26 | 6.08 | 29.28 | 29.94 | 15.14 | -0.67 | 17.43 | 28.33 | 12.69 | -11.11 | 159.69 | 133.15 | 12.51 | 26.33 |
| TOTAL VALLE | 36.32 | 35.51 | 21.37 | 74.20 | 39.89 | 23.32 | 34.31 | 118.75 | 89.69 | 51.36 | 29.06 | 91.37 | 90.03 | 46.64 | 1.34 | 81.54 | 94.02 | 50.02 | -12.48 | 57.40 | 69.72 | 52.42 | -12.33 | 460.18 | 418.86 | 247.74 | 41.32 |

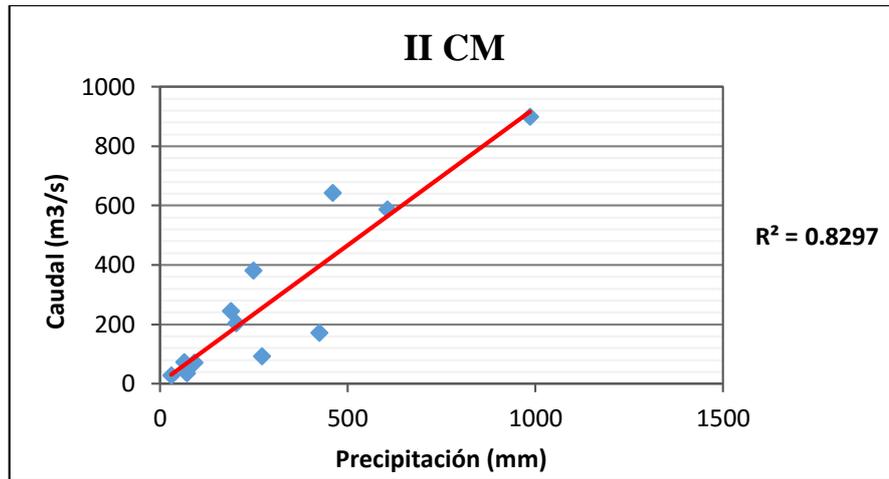
Fuente: (Junta de Usuarios Sector Hidráulico Chira, 2015).

Anexos C1: Precipitaciones

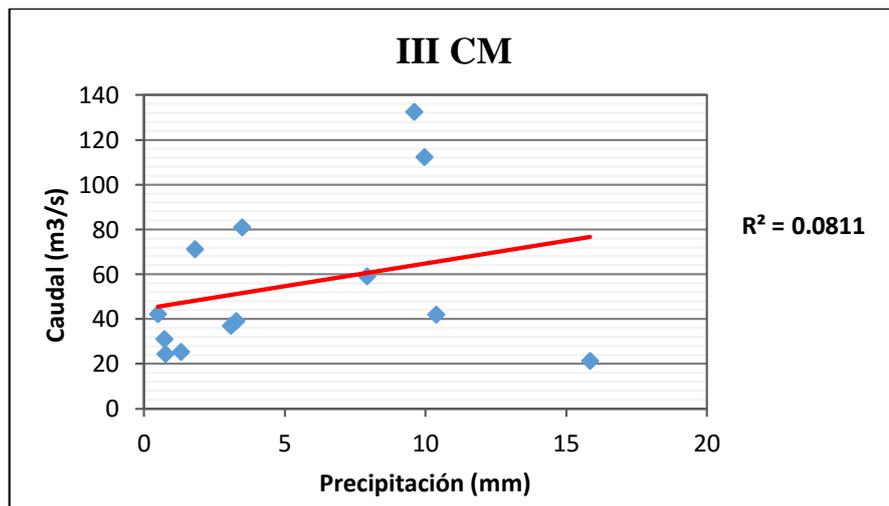
Anexo C1 1 Correlación de precipitaciones totales con caudales de salida, I CM.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo C1 3 Correlación de precipitaciones totales con caudales de salida, II CM.

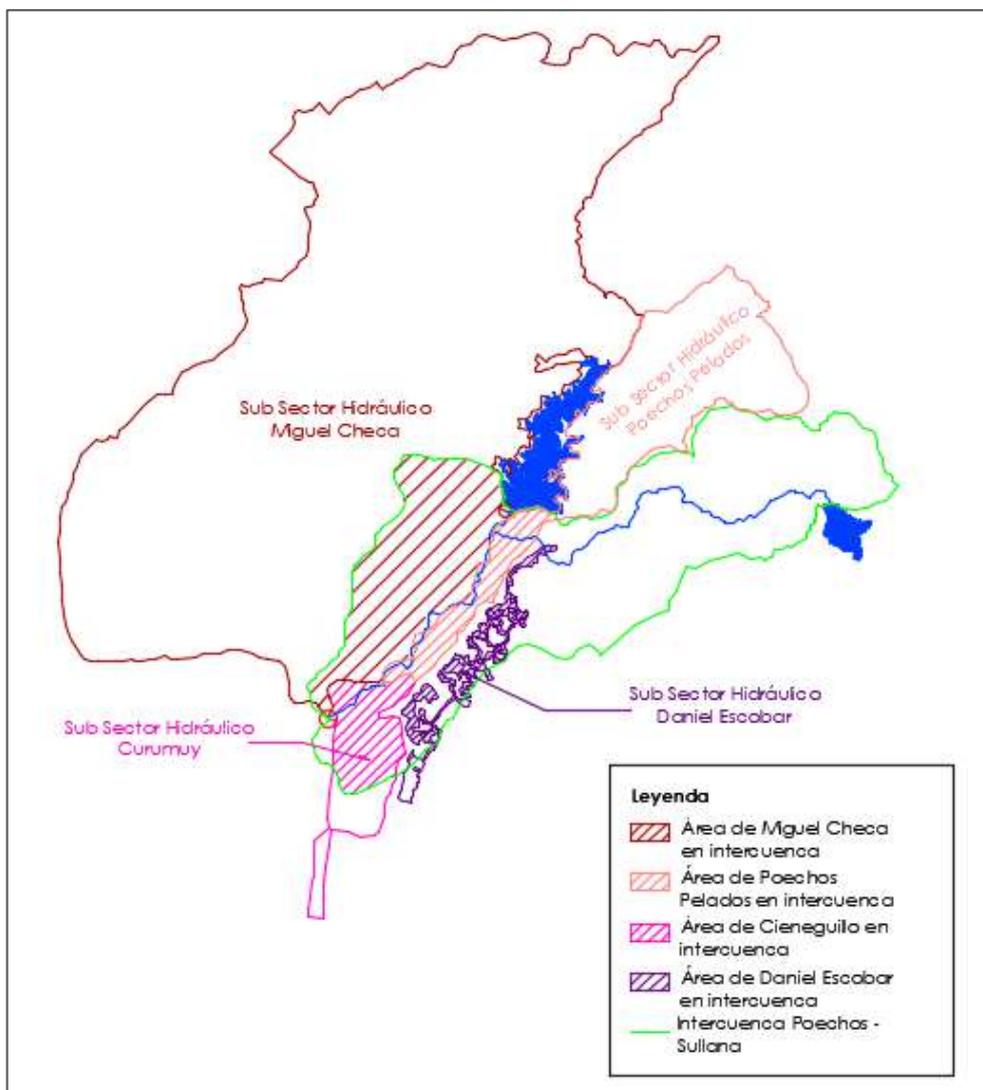
Fuente: Elaboración propia.

Anexo C1 4 Correlación de precipitaciones totales con caudales de salida, II CM.

Fuente: Elaboración propia.

Anexos C2: Junta de usuarios del valle del Chira

Anexo C2 1 Distribución de las comisiones de regantes del valle del Chira y de la intercuenca Pochos-Sullana.



Fuente: *Elaboración propia.*

Anexos C3: Operación de compuertas

Anexo C3 1 Niveles de espera durante la temporada de avenidas de años extraordinarios.

| DESCARGAS MÁXIMAS DE EXCESOS HÍDRICOS DEL EMBALSE POECHOS PARA DIFERENTES “NIVELES DE ESPERA” | | |
|---|---------|---|
| NIVELES DE ESPERA (m) | | CAUDAL (m ³ /s) |
| MINIMO | MÁXIMO | |
| 90.00 | <91.60 | 500.00 |
| 91.60 | <93.20 | 1,000.00 |
| 93.20 | <94.80 | 1,500.00 |
| 94.80 | <96.40 | 2,000.00 |
| 96.40 | <98.00 | 2,500.00 |
| 98.00 | <103.00 | 3,000.00 |
| 103.00 | <103.50 | Todo que Ingresa hasta 3,500.00m ³ /s |
| 103.50 | <104.00 | Todo que Ingresa hasta 4,600.00m ³ /s |
| 104.00 | <105.00 | Todo que ingresa hasta la capacidad hidráulica máxima del Aliviadero de Compuertas, con compuertas radiales totalmente abiertas |

Fuente: (Miloradovic, 2015).

**Anexo C3 2 Niveles de espera durante la temporada de
avenidas de años muy húmedos.**

| DESCARGAS MÁXIMA DE EXCESOS HÍDRICOS DEL EMBALSE POECHOS PARA DIFERENTES “NIVELES DE ESPERA” | | |
|--|-------------------|---|
| NIVELES DE ESPERA (m) | | CAUDAL (m ³ /s) |
| MINIMO | MÁXIMO | |
| 93.00 | <94.00 | 500.00 |
| 91.00 | <95.00 | 1,000.00 |
| 95.00 | <96.00 | 1,500.00 |
| 96.00 | <97.00 | 2,000.00 |
| 97.00 | <98.00 | 2,500.00 |
| 98.00 | <103.00 | 3,000.00 |
| 103.00 | <103.50 | Todo que Ingresa hasta 3,500.00m³/s |
| 103.50 | <104.00 | Todo que Ingresa hasta 4,600.00m³/s |
| 104.00 | <105.00 | Todo que ingresa hasta la capacidad hidráulica máxima del Aliviadero de Compuertas, con compuertas radiales totalmente abiertas |

Fuente: (Miloradovic, 2015).

**Anexo C3 3 Niveles de espera durante la temporada de
avenidas de años normales húmedos**

| DESCARGAS MÁXIMA DE EXCESOS HÍDRICOS DEL EMBALSE POECHOS PARA DIFERENTES “NIVELES DE ESPERA” | | |
|---|---------|---|
| NIVELES DE ESPERA (m) | | CAUDAL (m ³ /s) |
| MINIMO | MÁXIMO | |
| 93.00 | <94.00 | 500.00 |
| 91.00 | <95.00 | 1,000.00 |
| 95.00 | <96.00 | 1,500.00 |
| 96.00 | <97.00 | 2,000.00 |
| 97.00 | <98.00 | 2,500.00 |
| 98.00 | <103.00 | 3,000.00 |
| 103.00 | <103.50 | Todo que Ingresa hasta 3,500.00m ³ /s |
| 103.50 | <104.00 | Todo que Ingresa hasta 4,600.00m ³ /s |
| 104.00 | <105.00 | Todo que ingresa hasta la capacidad hidráulica máxima del Aliviadero de Compuertas, con compuertas radiales totalmente abiertas |

Fuente: (Miloradovic, 2015).

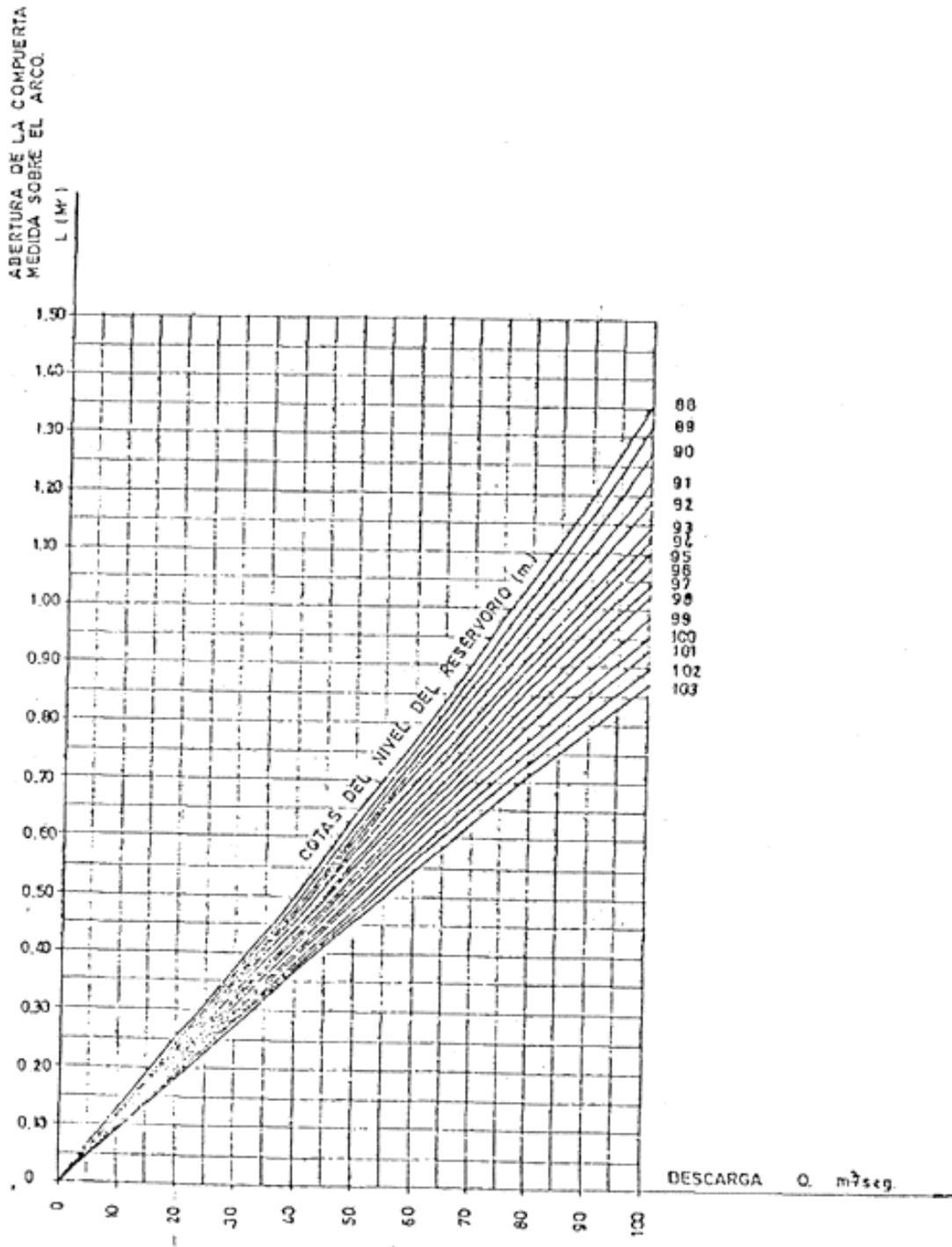
**Anexo C3 4 Niveles de espera durante la
temporada de avenidas de años secos.**

| DESCARGAS MÁXIMA DE EXCESOS HÍDRICOS DEL EMBALSE POECHOS PARA DIFERENTES “NIVELES DE ESPERA” | | |
|---|---------|--|
| NIVELES ACUÁTICOS (m) | | CAUDAL (m ³ /s) |
| MINIMO | MÁXIMO | |
| Menores de 103.00m | | Caudal de Servicio |
| 103.00 | <103.50 | Todo que Ingresa hasta 3,500.00m ³ /s |
| 103.50 | <104.00 | Todo que Ingresa hasta 4,600.00m ³ /s |
| 104.00 | <105.00 | Todo que ingresa hasta la capacidad hidráulica máxima del Aliviadero de Compuertas, con compuertas radiales totalmente abiertas |

Fuente: (Miloradovic, 2015).

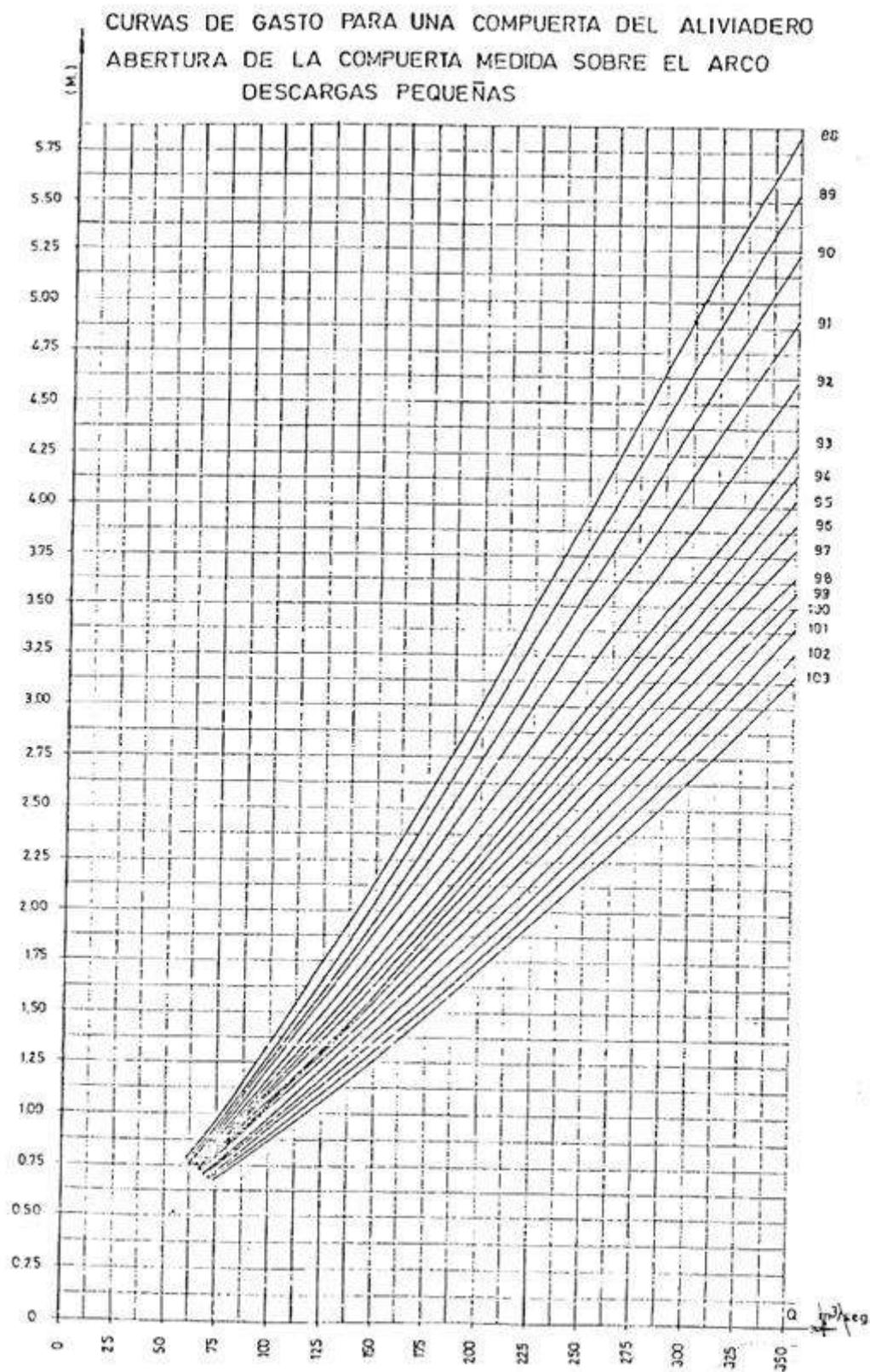
Anexo C3 5 Curvas de calibración de una compuerta del aliviadero – pequeñas descargas.

CURVAS DE GASTO PARA UNA COMPUERTA DEL ALIVIADERO.
 ABERTURA DE LA COMPUERTA MEDIDA SOBRE EL ARCO
 DESCARGAS PEQUEÑAS



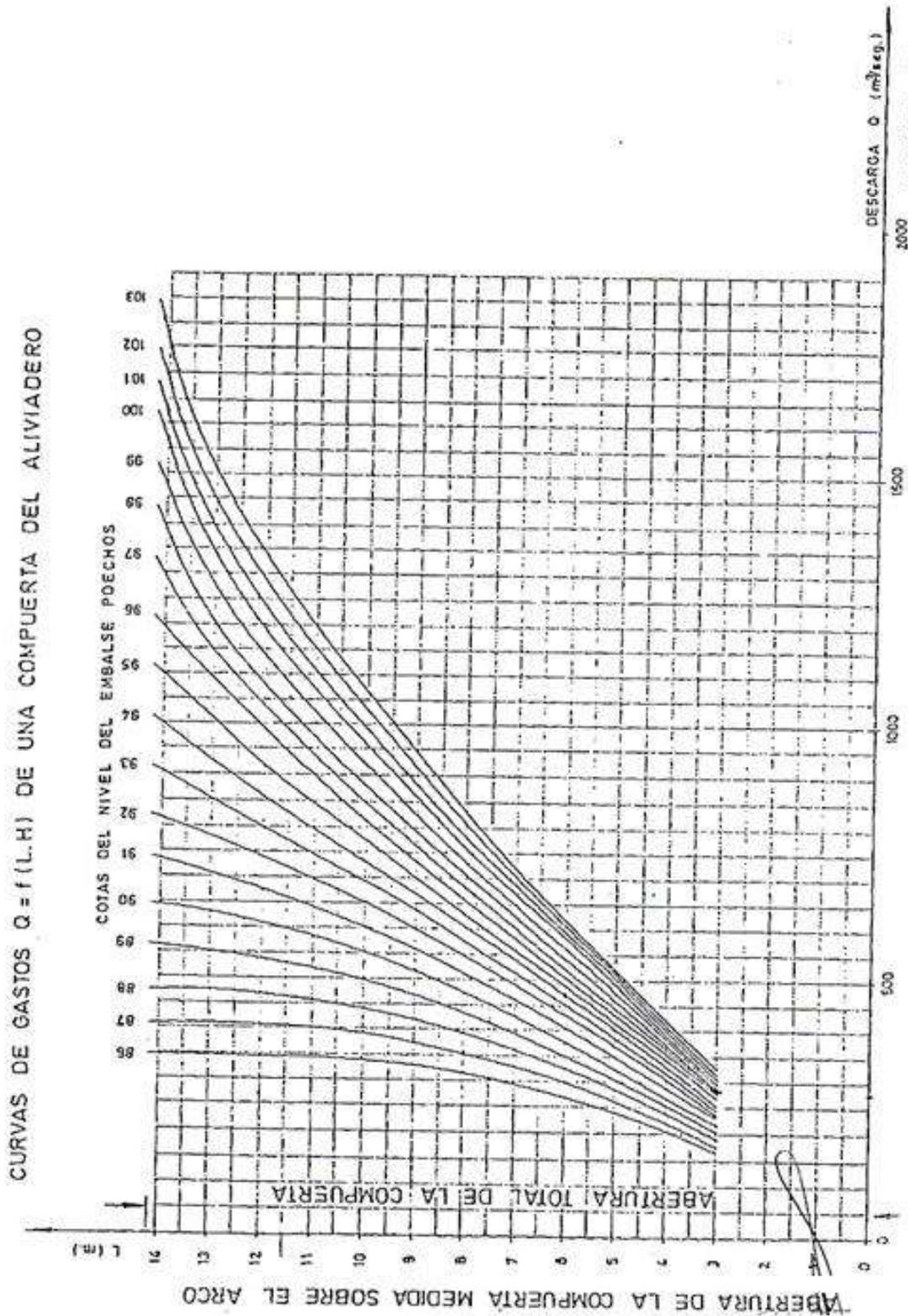
Fuente: (ENERGOPROJEKT, 1976).

Anexo C3 6 Curvas de calibración de una compuerta de las aliviadero-grandes descargas.



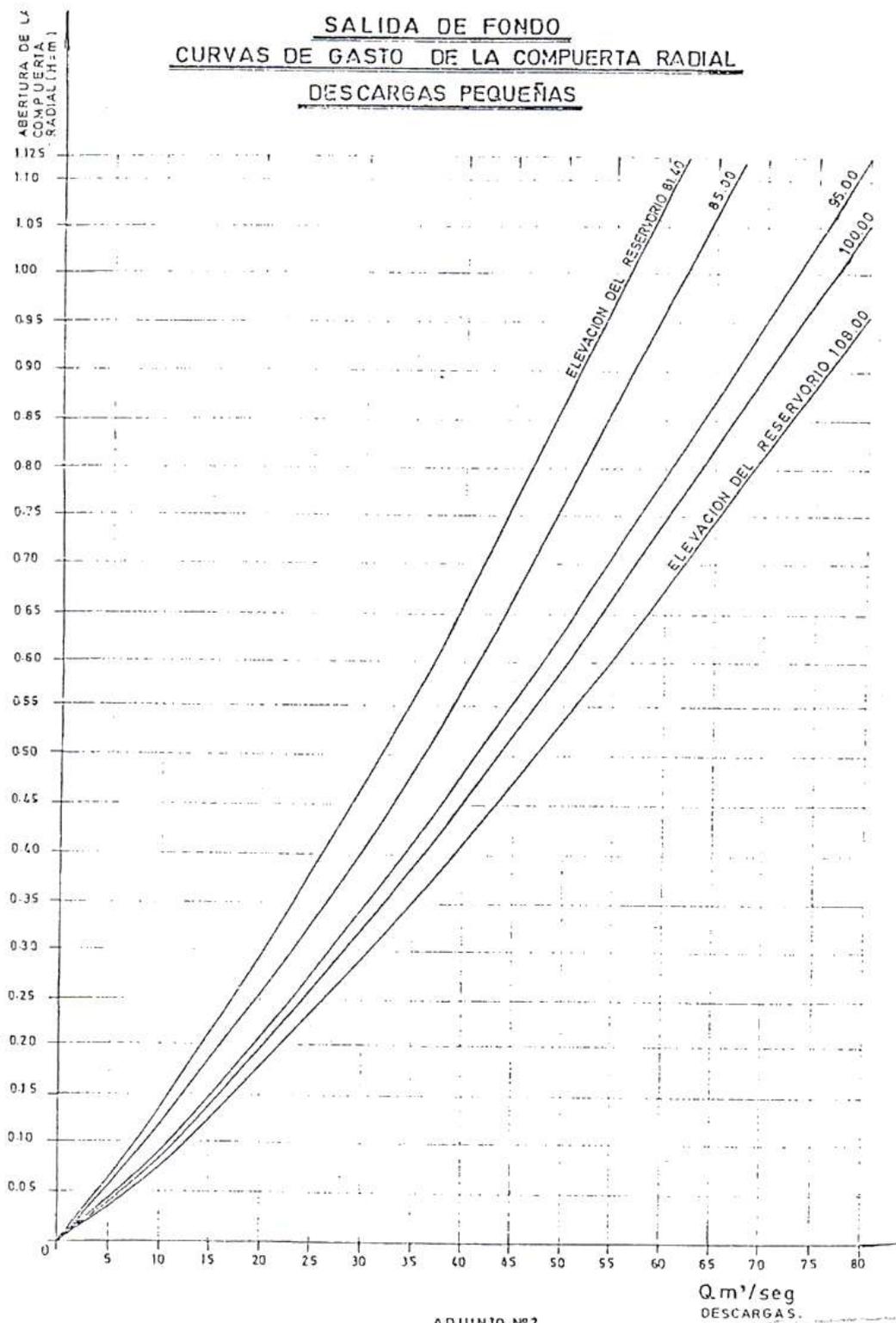
Fuente: (ENERGOPROJEKT, 1976).

Anexo C3 7 Curvas de calibración de una compuerta de las aliviadero-grandes descargas.



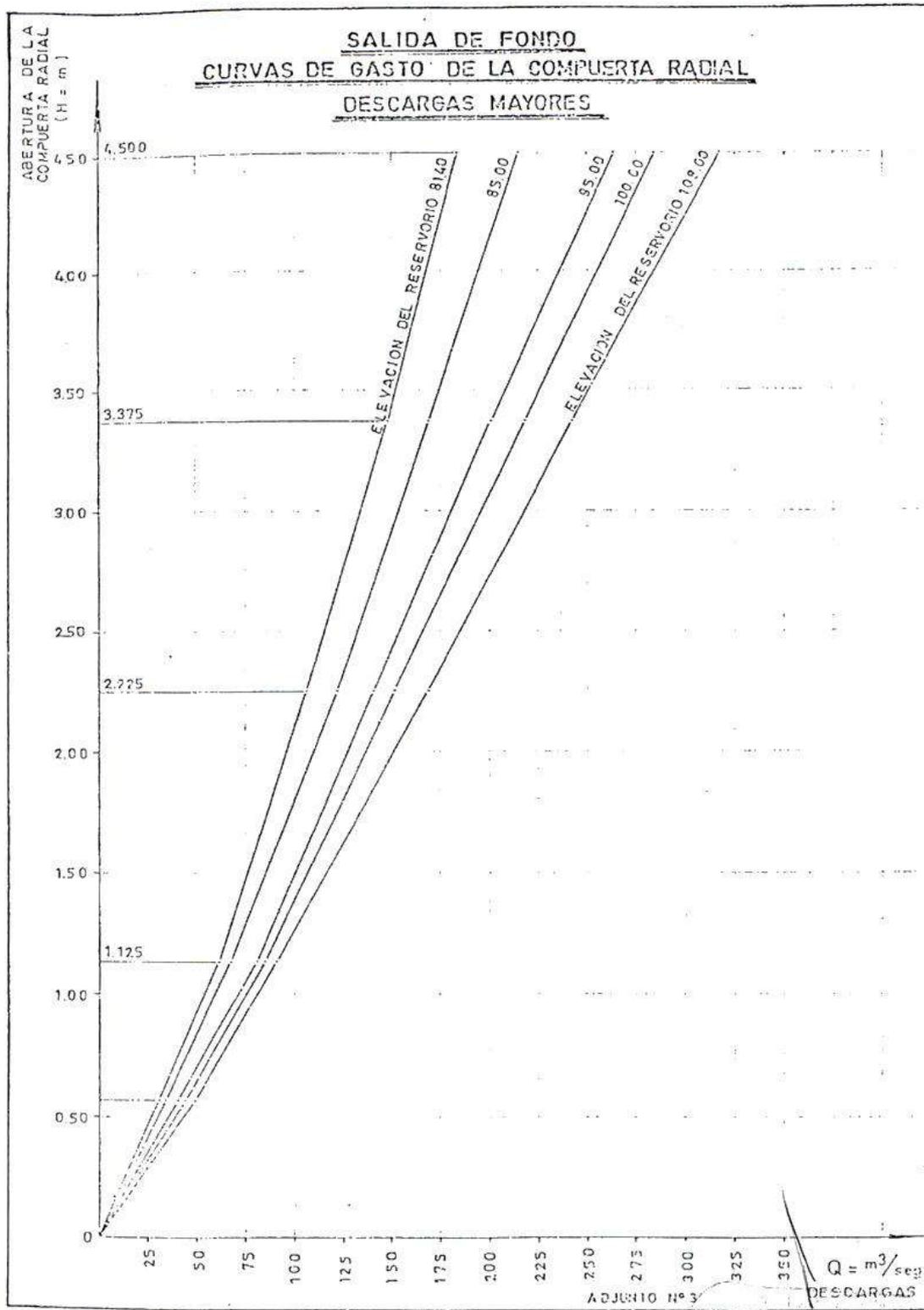
Fuente: (ENERGOPROJEKT, 1976).

Anexo C3 8 Curvas de calibración de la compuerta de radial en la salida de fondo.



Fuente: (ENERGOPROJEKT, 1976).

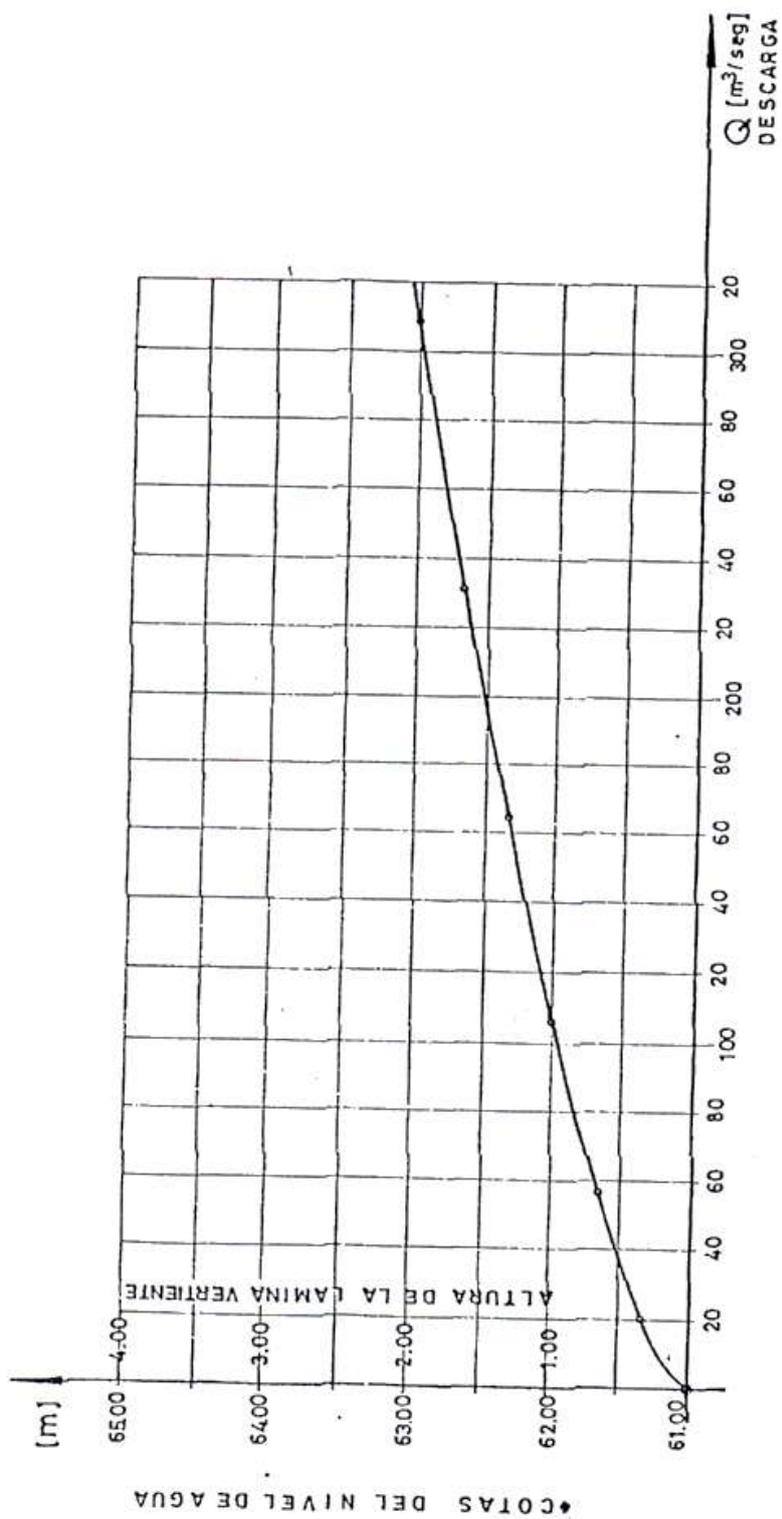
Anexo C3 9 Curvas de calibración de la compuerta de radial en la salida de fondo.



Fuente: (ENERGOPROJEKT, 1976).

Anexo C3 10 Curvas de gasto de vertedero de la salida de fondo.

CURVA DE GASTO DEL VERTEDERO DE LA SALIDA DE FONDO.

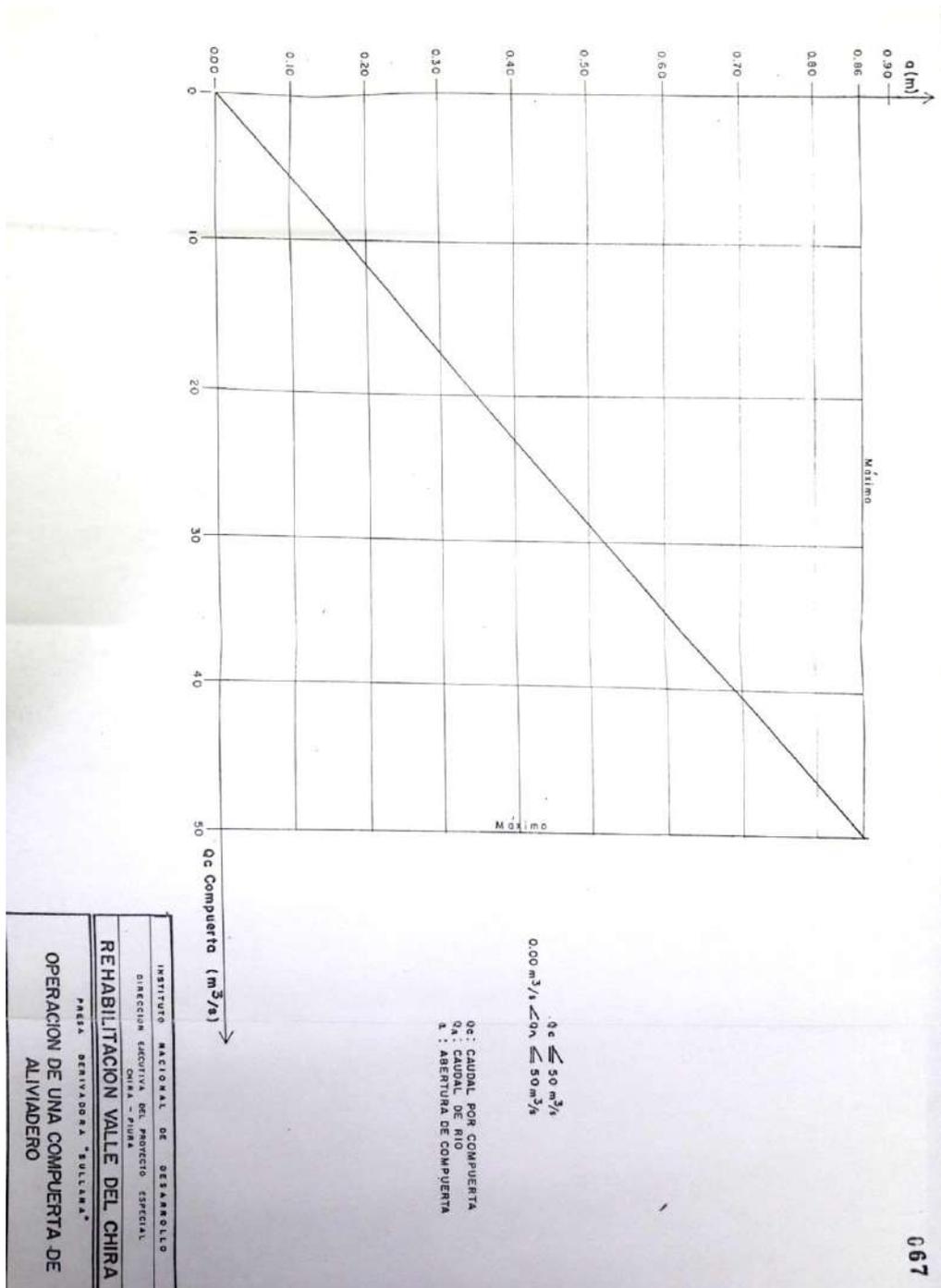


NOTAS:

- --COTA DEL NIVEL DE AGUA SE MEDIRA ARRIBA DEL PUNTO SUPERIOR DE LA CORONA DEL VERTEDERO.
- EXACTITUD DE LA CURVA ES APROXIMADAMENTE UNOS $\pm 5\%$.

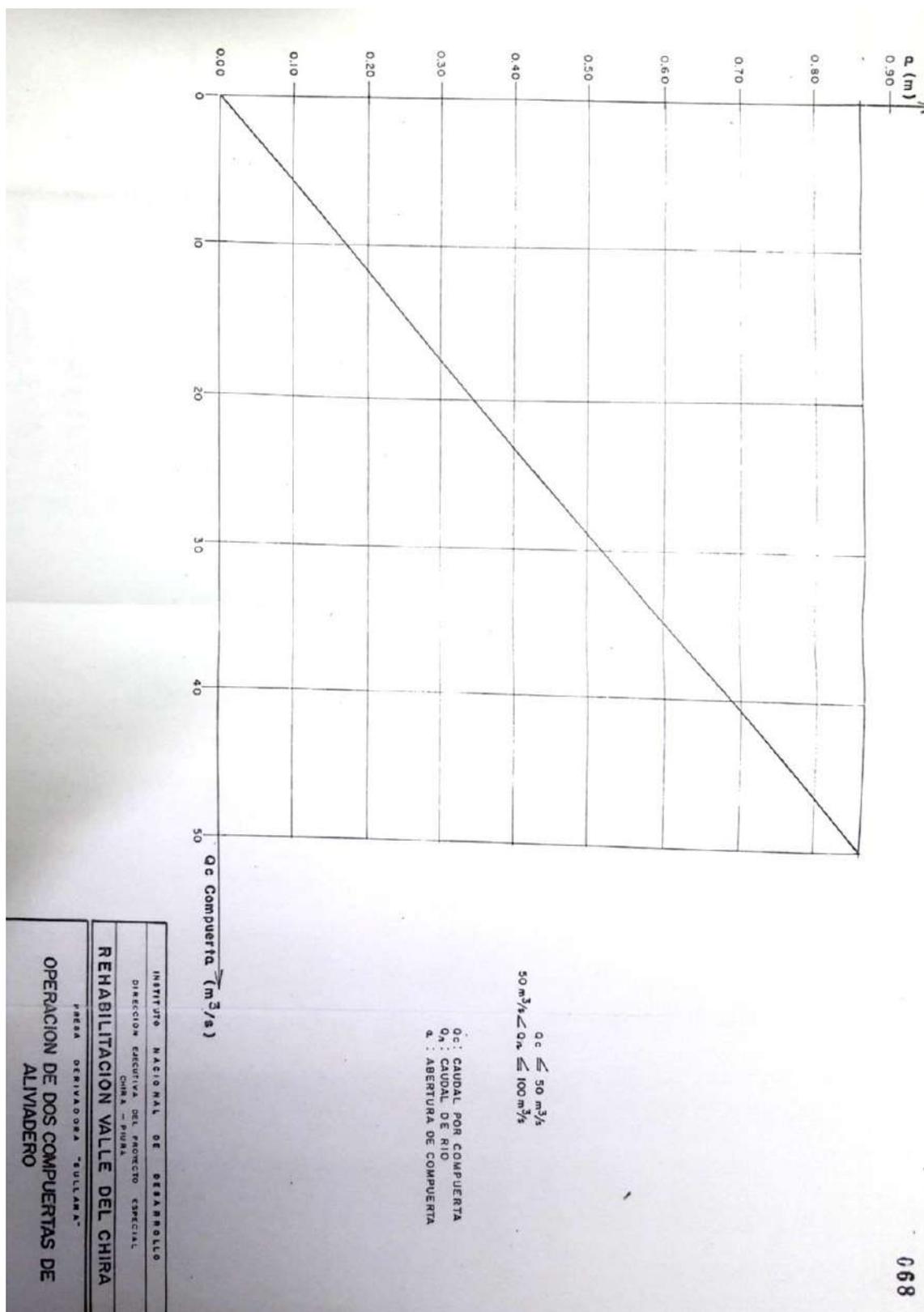
Fuente: (ENERGOPROJEKT, 1976).

Anexo C3 11 Curvas de gasto de una compuerta del aliviadero – presa de Sullana.



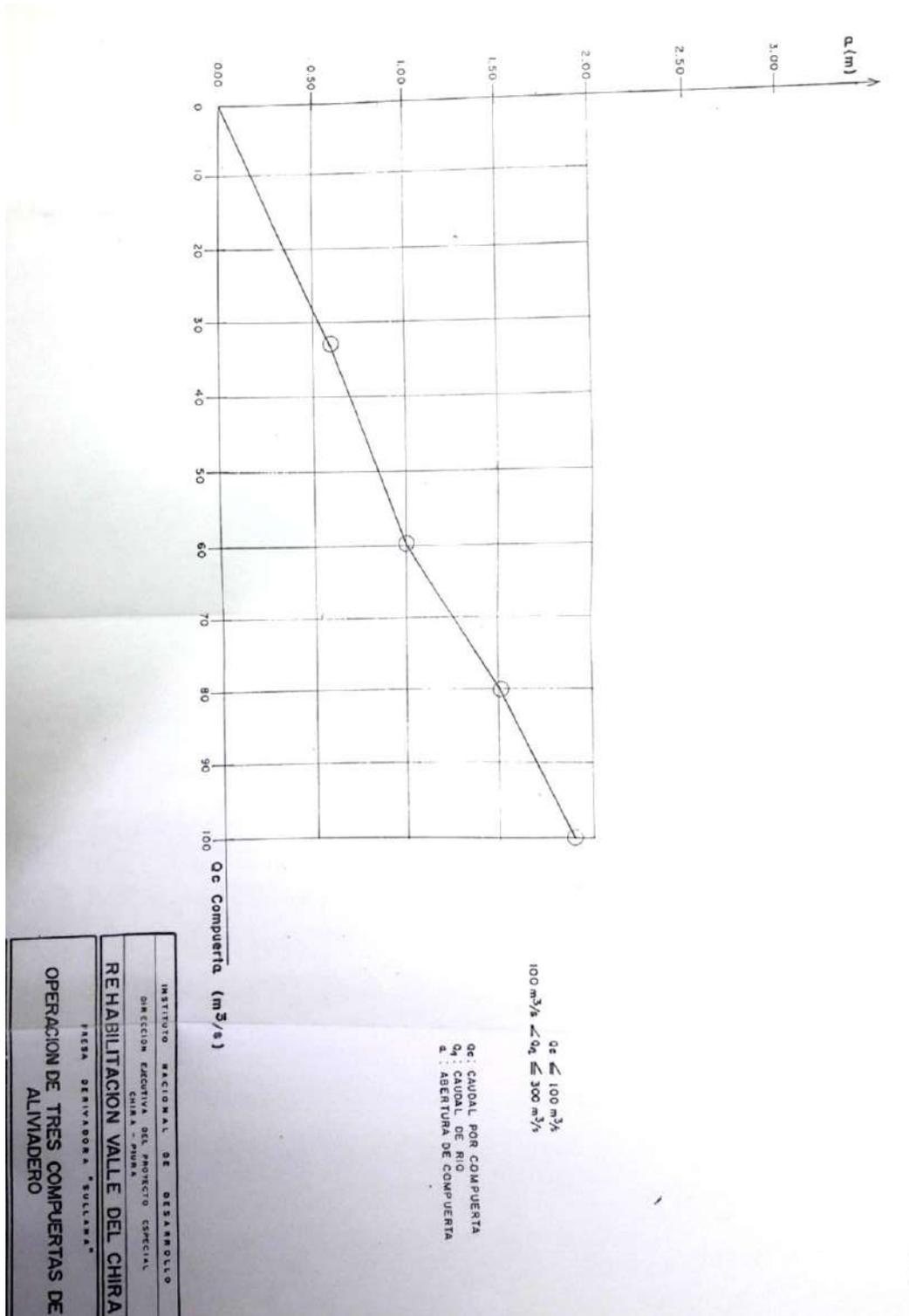
Fuente: (Proyecto Especial Chira Piura, 1992).

Anexo C3 12 Curvas de gasto de dos compuertas del aliviadero – presa de Sullana.



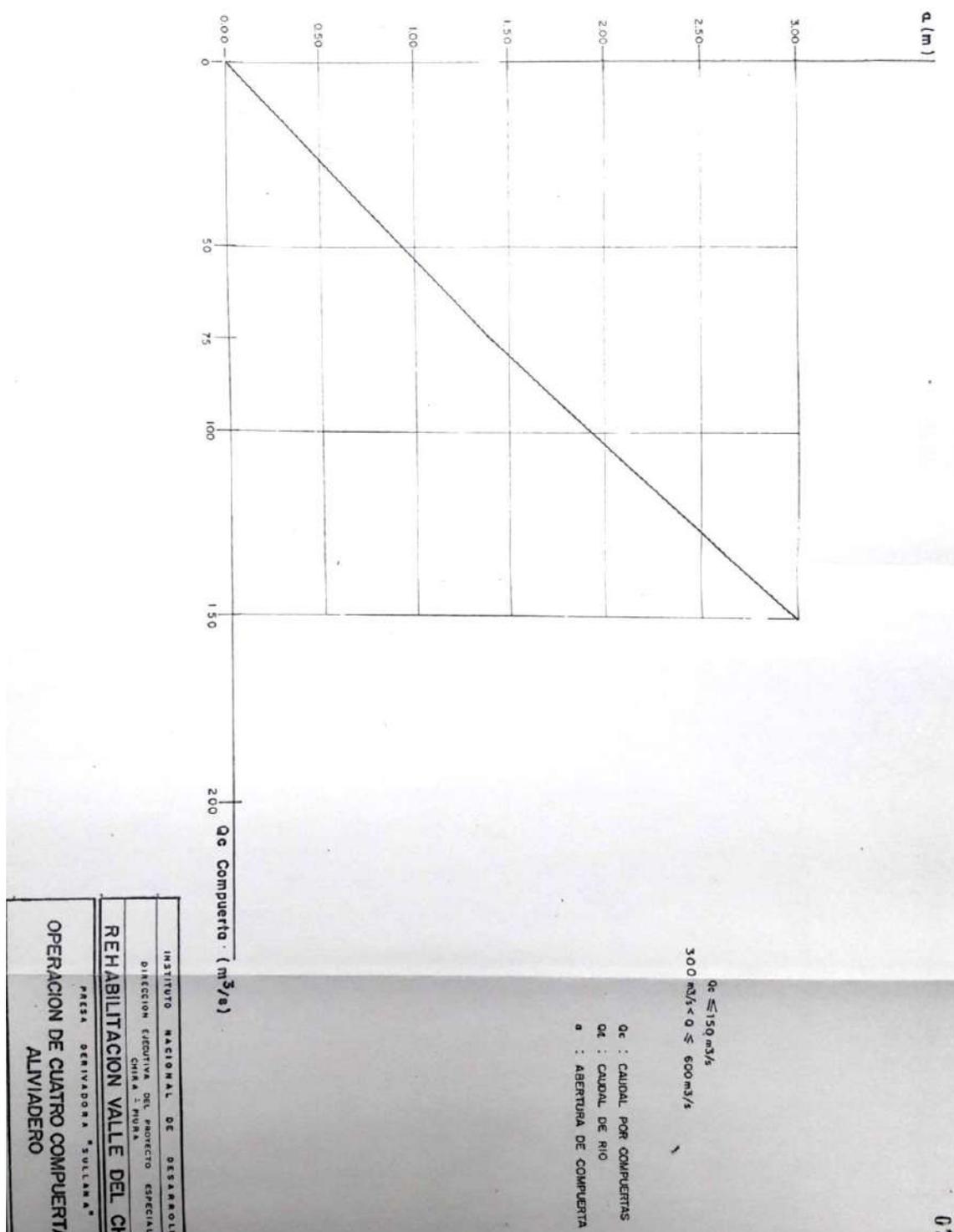
Fuente: (Proyecto Especial Chira Piura, 1992).

Anexo C3 13 Curvas de gasto de tres compuertas del aliviadero – presa de Sullana.



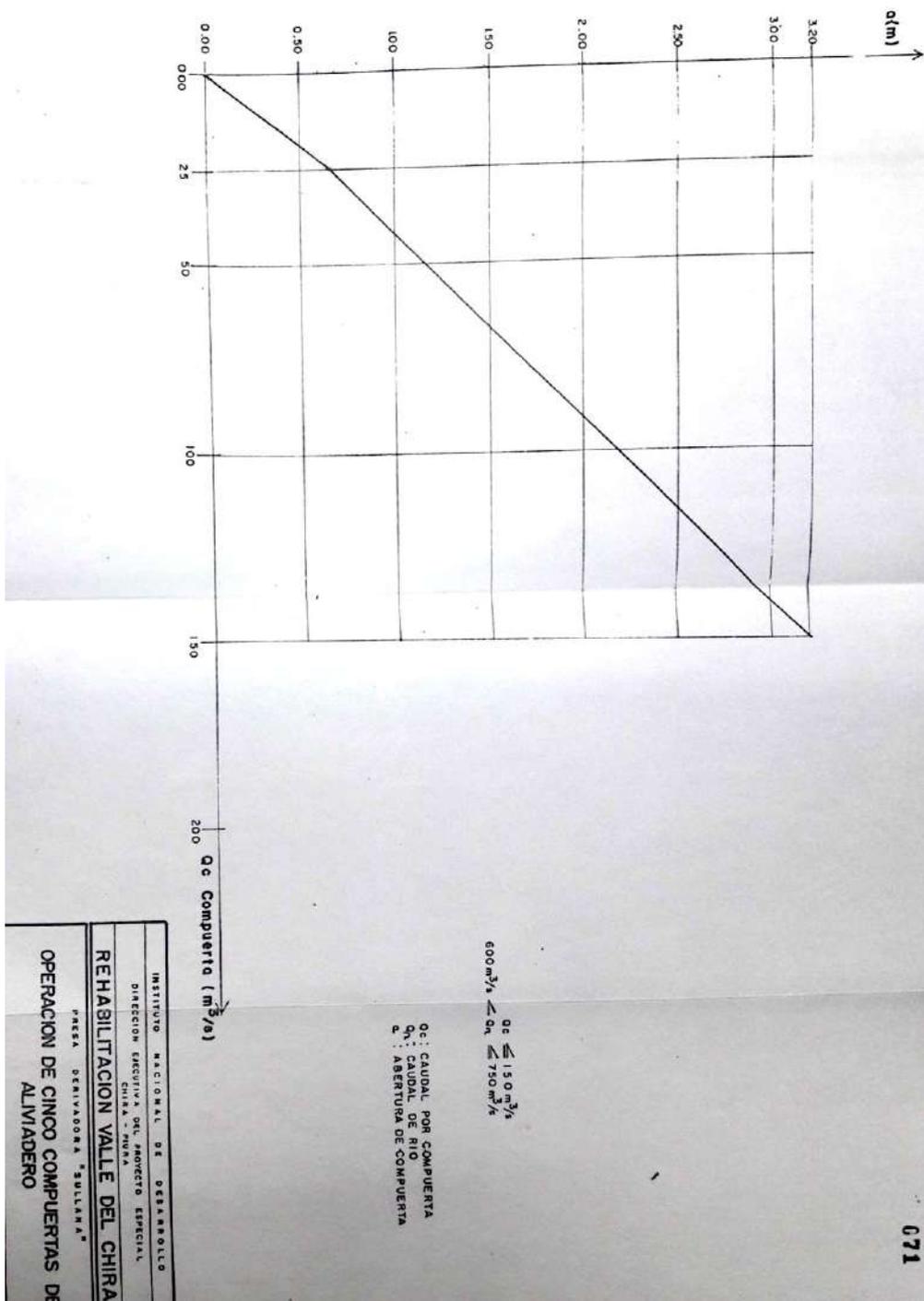
Fuente: (Proyecto Especial Chira Piura, 1992).

Anexo C3 14 Curvas de gasto de cuatro compuertas del aliviadero – presa de Sullana.



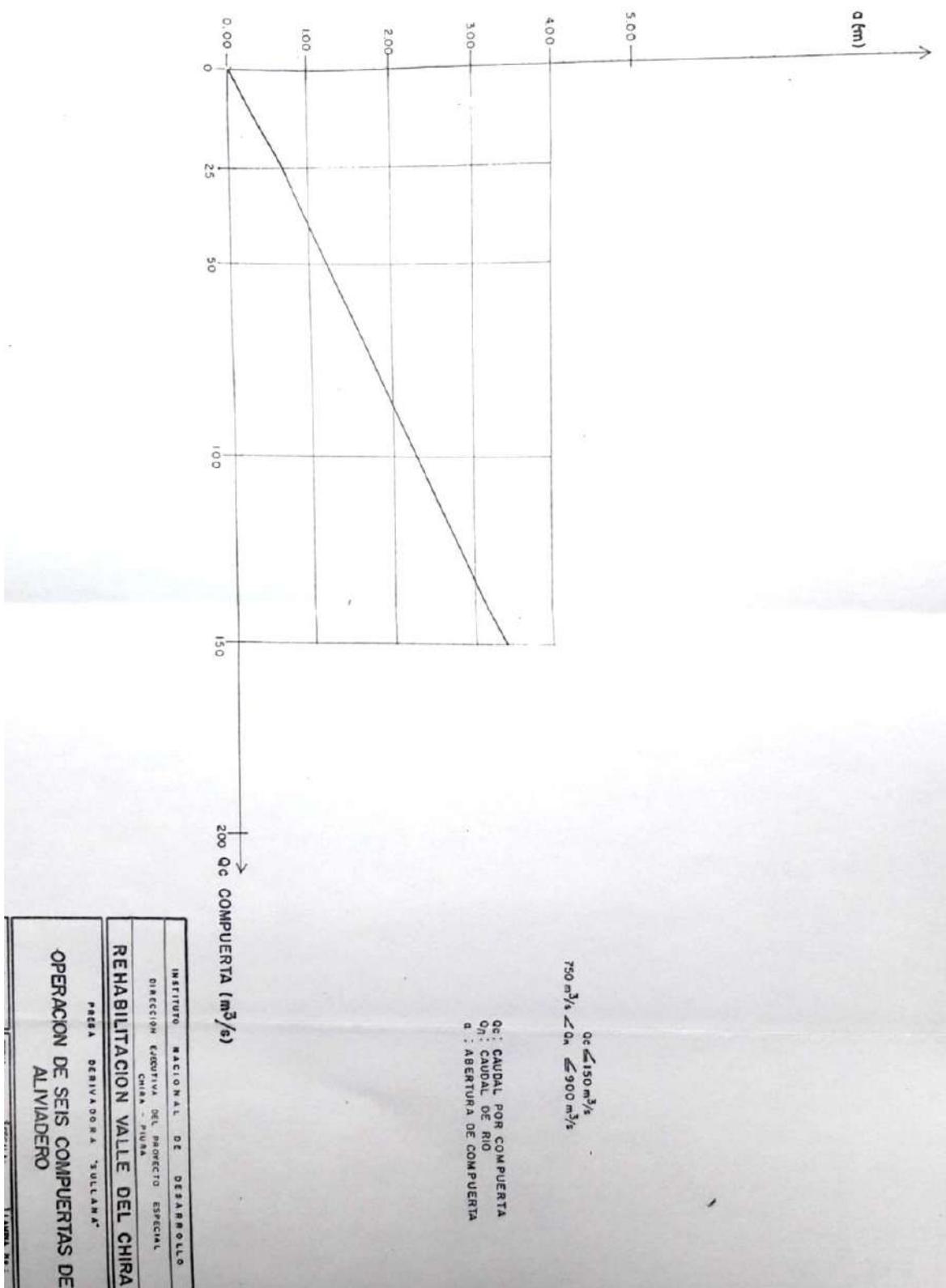
Fuente: (Proyecto Especial Chira Piura, 1992).

Anexo C3 15 Curvas de gasto de cinco compuertas del aliviadero – presa de Sullana.



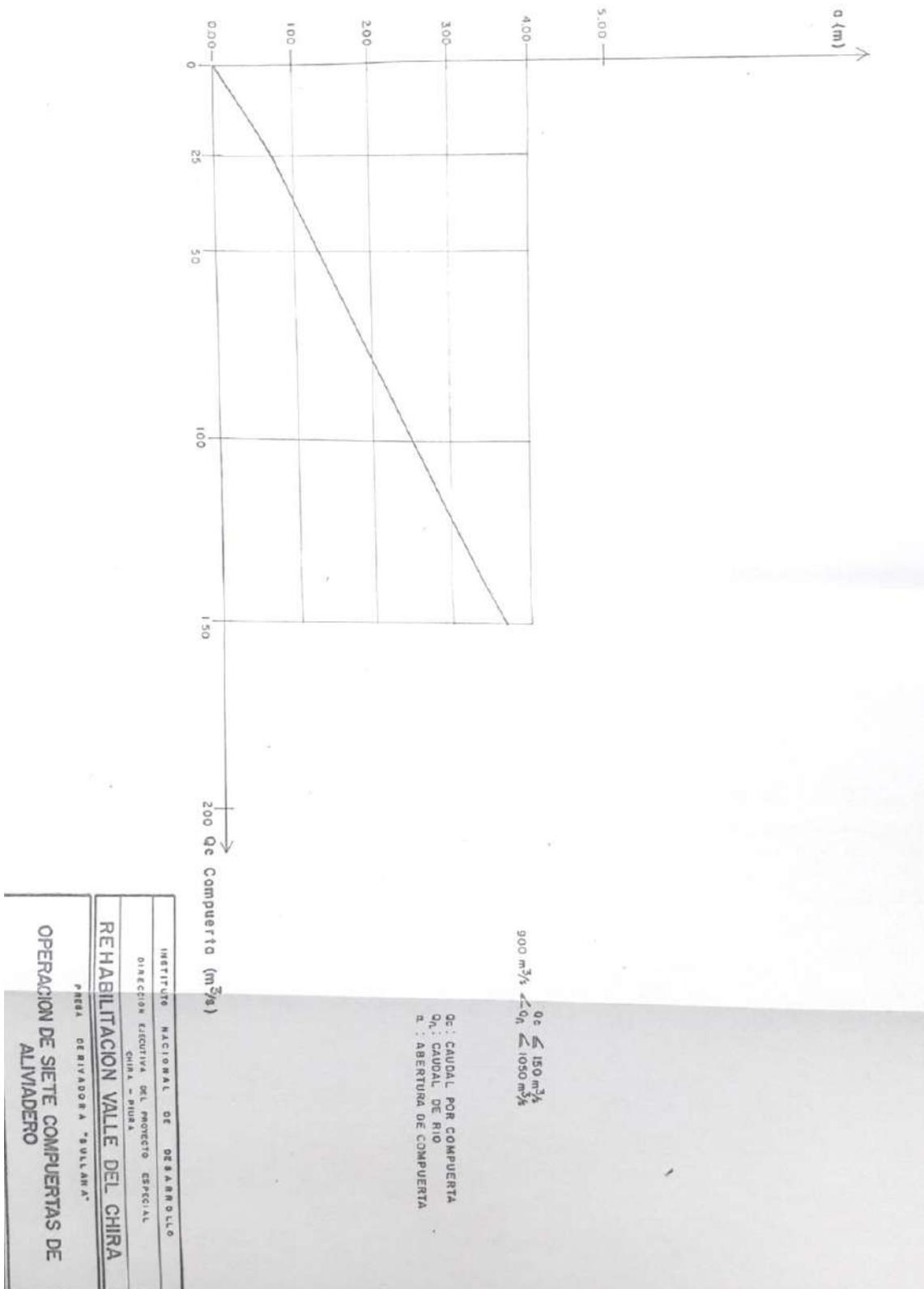
Fuente: (Proyecto Especial Chira Piura, 1992).

Anexo C3 16 Curvas de gasto de seis compuertas del aliviadero – presa de Sullana.



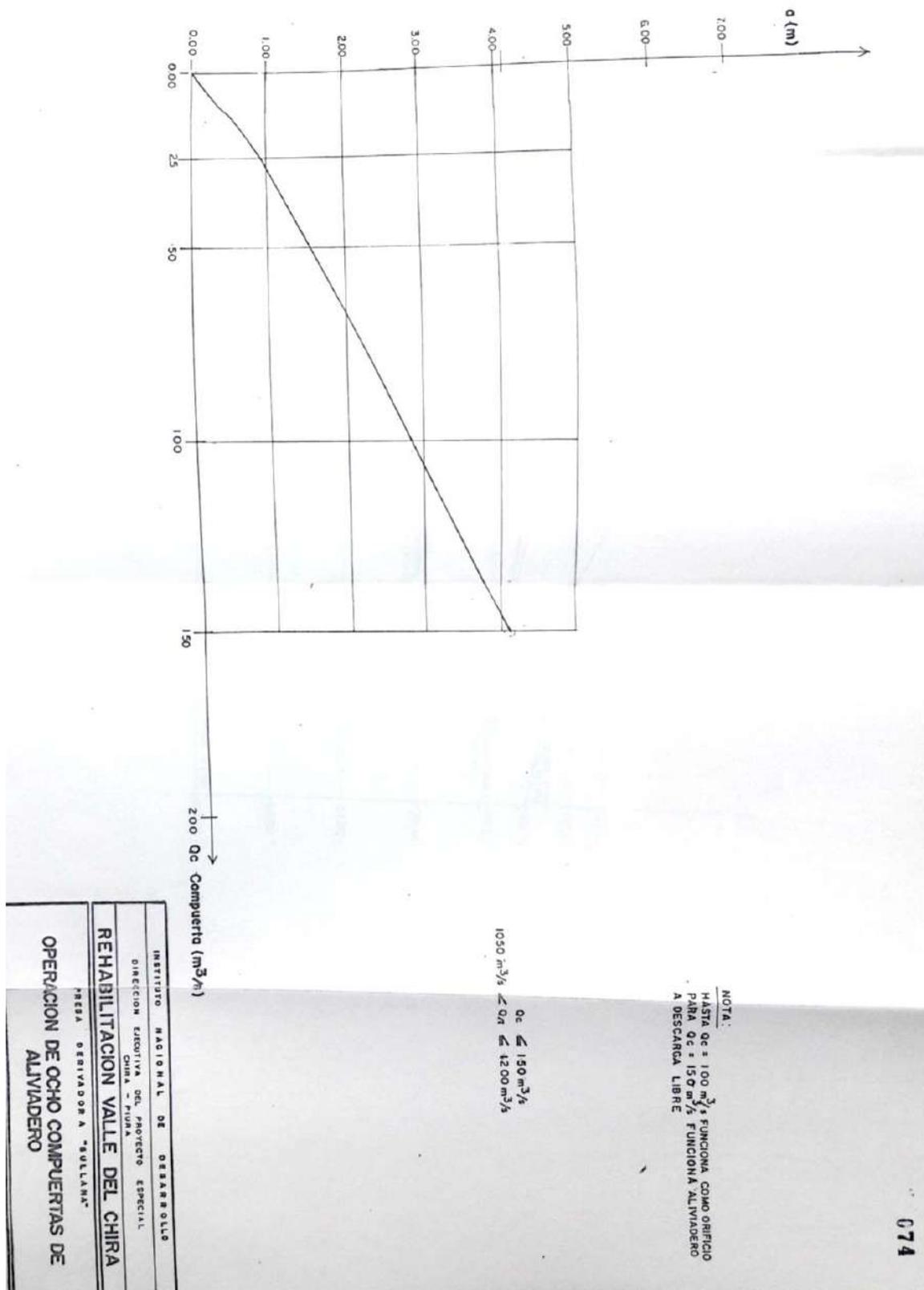
Fuente: (Proyecto Especial Chira Piura, 1992)

Anexo C3 17 Curva de gasto de siete compuertas del aliviadero – presa de Sullana.



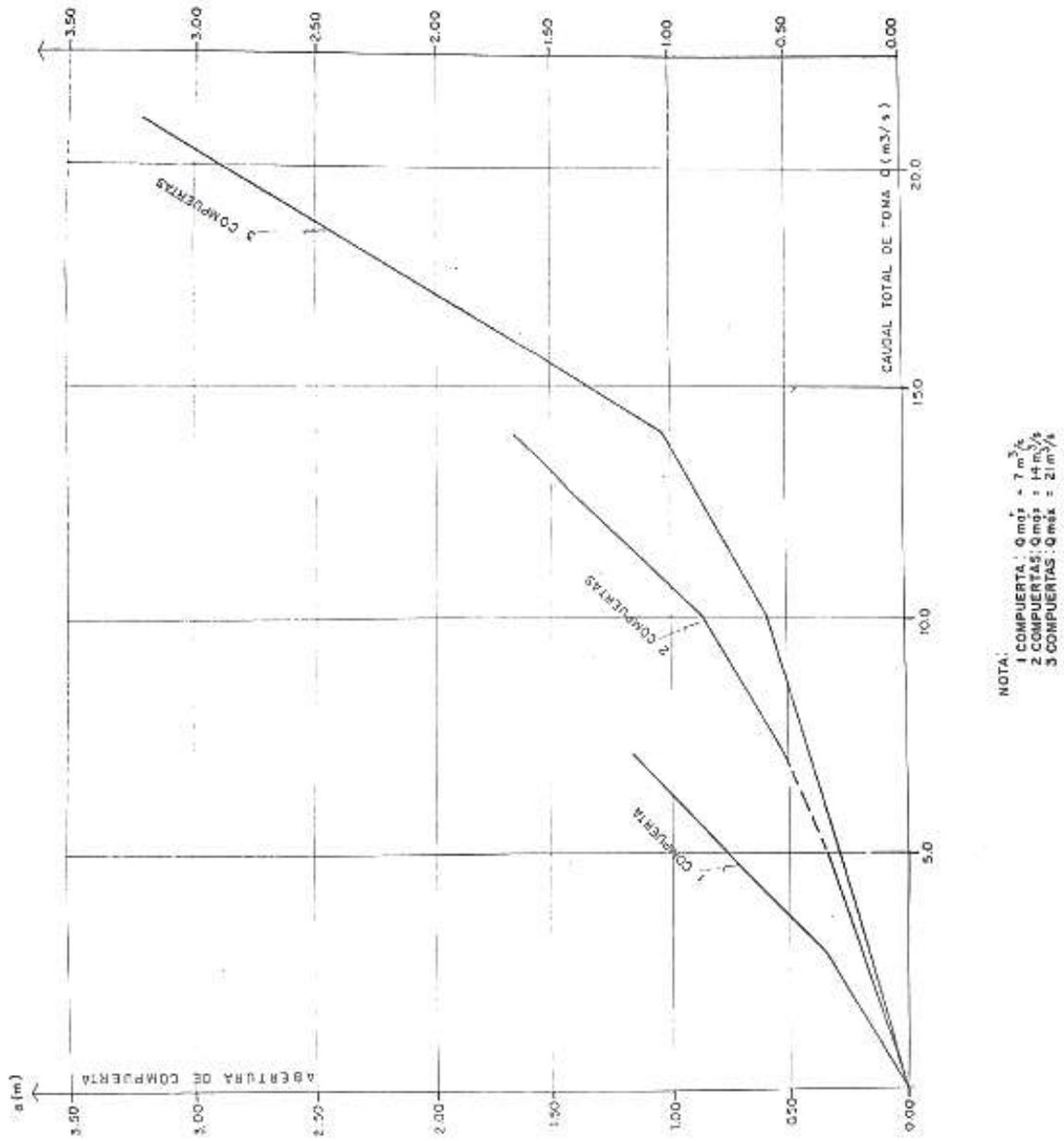
Fuente: (Proyecto Especial Chira Piura, 1992)

Anexo C3 18 Curvas de gasto de ocho compuertas del aliviadero – presa de Sullana.



Fuente: (Proyecto Especial Chira Piura, 1992)

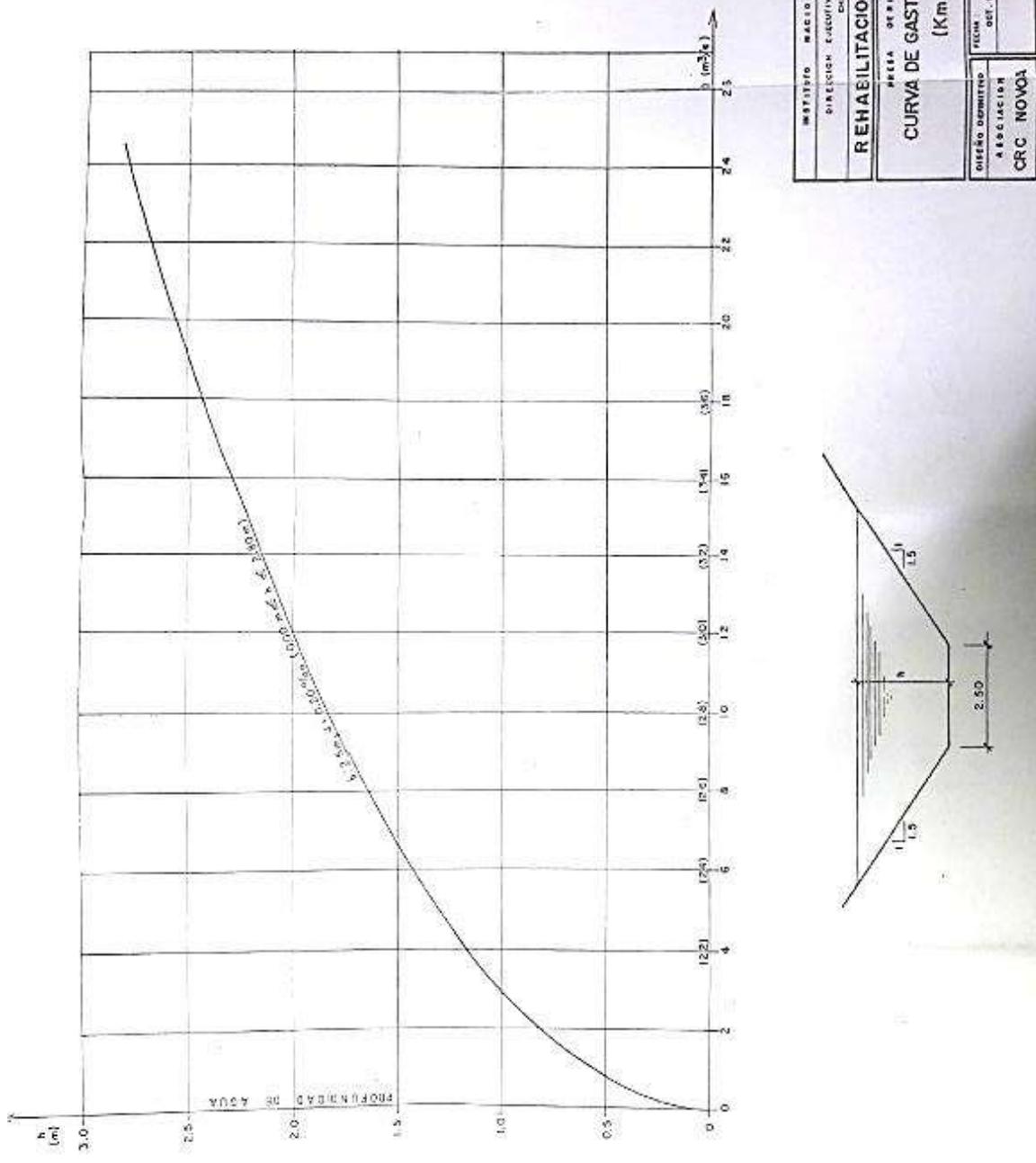
Anexo C3 19 Curvas de gasto de las compuertas del canal Norte.



Fuente: (Proyecto Especial Chira Piura, 1992).

Anexo C3 20 Curvas de gasto de canal Norte.

665



Fuente: (Proyecto Especial Chira Piura, 1992).