

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“MODELACIÓN HIDROLÓGICA DISTRIBUIDA DE LA CUENCA
DEL RÍO LURÍN A ESCALA DIARIA”**

Presentado por:

BACH. DIEGO ALONSO MELÉNDEZ SALDAÑA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

**Lima - Perú
2019**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“MODELACIÓN HIDROLÓGICA DISTRIBUIDA DE LA CUENCA DEL RÍO
LURÍN A ESCALA DIARIA”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. DIEGO ALONSO MELÉNDEZ SALDAÑA

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. EDUARDO ABRAHAM CHÁVARRI VELARDE
Presidente

Dra. LIA RAMOS FERNÁNDEZ
Asesora

Mg. Sc. GONZALO RAMCES FANO MIRANDA
Miembro

Mg. Sc. CAYO LEONIDAS RAMOS TAIPE
Miembro

LIMA - PERÚ

2019

DEDICATORIA

A mis abuelos, Teruo y Lucy, por haberme brindado el apoyo que necesité para cumplir mis metas profesionales. A mi madre, Luz Meléndez, por ser mi ejemplo de lucha en la vida.

AGRADECIMIENTO

- A mis compañeros, por sus consejos y constante ayuda en la realización de este estudio que me permitió comprender el mundo de la modelación hidrológica y crecer profesionalmente.
- A mi primo Jean Franco, por el valioso apoyo que me brindó en el momento que más lo necesité.
- En especial, a la Dra. Lia Ramos por su orientación, paciencia y constante motivación que me brindó a lo largo del desarrollo de la presente investigación, sembrando en mí la pasión por la investigación y la constante búsqueda de la verdad.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA DISTRIBUIDA.....	3
2.1.1.	PROCESOS FÍSICOS EN LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA	4
2.1.2.	LA ESCALA DE TRABAJO.....	4
2.2.	EL MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO TETIS	5
2.2.1.	METODOLOGÍA DE INTERPOLACIÓN ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN PUNTUAL	5
2.2.2.	EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA.....	6
2.3.	SIMULACIÓN EN LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA	13
2.3.1.	CALIBRACIÓN.....	13
2.3.2.	VALIDACIÓN.....	14
2.4.	SIMULACIÓN CON EL MODELO TETIS	15
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1.	ZONA DE ESTUDIO	20
3.1.1.	HIDROMETEOROLOGÍA	21
3.1.2.	COBERTURA VEGETAL	24
3.1.3.	INFORMACIÓN ESPACIAL	34
3.1.4.	DEMANDA HÍDRICA.....	35
3.2.	MATERIALES	44
3.2.1.	HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES	44
3.3.	METODOLOGÍA.....	45
3.3.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA HIDROMETEOROLOGÍA, PARÁMETROS HIDROLÓGICOS, GEOMORFOLOGÍA Y VEGETACIÓN	45
3.3.2.	PARAMETRIZACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO A ESCALA DIARIA.....	53
3.3.3.	ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA A TRAVÉS DE LA SIMULACIÓN DE CAUDALES	56

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.1. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA	58
4.2. INFORMACIÓN ESPACIAL	69
4.3. CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN	72
4.3.1 CALIBRACIÓN.....	72
4.3.2 VALIDACIÓN.....	76
4.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO TETIS.....	77
4.5. SIMULACIÓN DE CAUDALES DIARIOS EN LA ZONA DE ESTUDIO	78
4.6. ANÁLISIS DE TENDENCIA	93
4.7. CAUDALES DE RETORNO MÁXIMOS ANUALES	95
4.8. DISPONIBILIDAD HÍDRICA.....	98
4.9. BALANCE HÍDRICO	102
V. CONCLUSIONES	106
VI. RECOMENDACIONES	108
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
VIII. ANEXOS.....	115

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Ecuaciones del inverso de la distancia correlacionadas con la altura.....	6
Cuadro 2: Lista de estaciones de hidrometeorológicas de SENAMHI	23
Cuadro 3: Tipos y área de cobertura vegetal en la cuenca de Lurín según el MINAM	24
Cuadro 4: Valores de kc para cultivos del área de agricultura	25
Cuadro 5: Valores de kc para pajonal andino.....	26
Cuadro 6: Valores de kc para vegetación escasa.....	26
Cuadro 7: Valores de kc para áreas urbanas.....	27
Cuadro 8: Valores de kc para bofedal	27
Cuadro 9: Valores de kc para desierto costero	27
Cuadro 10: Valores de kc para matorral arbustivo.....	28
Cuadro 11: Valores de kc para cardonal.....	28
Cuadro 12: Valores de kc para glaciár.....	28
Cuadro 13: Valores de kc para cuerpos de agua.....	29
Cuadro 14: Valores de kc para loma	29
Cuadro 15: Valores de profundidad de raíces y almacenamiento superficial	30
Cuadro 16: Resumen de información hidrometeorológica y espacial empleada	35
Cuadro 17: Comisiones de usuarios de agua y bloques de riego del valle de Lurín	36
Cuadro 18: Bloques de riego de la parte media y alta de la cuenca de Lurín	36
Cuadro 19: Demanda hídrica superficial en la cuenca del río Lurín	38
Cuadro 20: Demanda hídrica superficial aguas arriba de las estaciones Antapucro y Manchay	43
Cuadro 21: Lista de herramientas computacionales empleadas en el estudio y su función.....	45
Cuadro 22: Índices para la agrupación de estaciones.....	47
Cuadro 23: Parámetros geomorfológicos usados para el río Lurín	53
Cuadro 24: Parámetros contemplados en la formulación del modelo TETIS para la cuenca del río Lurín.....	54
Cuadro 25: Evaluación de la eficiencia de un modelo hidrológico a escala mensual en función de los índices E, RSR y E_v	56
Cuadro 26: Agrupaciones de estaciones pluviométricas	58
Cuadro 27: Resultados del análisis de consistencia	67

Cuadro 28: Resultados del análisis de consistencia con datos corregidos	68
Cuadro 29: Parámetros del modelo TETIS calibrados en la estación Manchay	74
Cuadro 30: Condiciones iniciales de humedad del periodo de validación de la estación Manchay	74
Cuadro 31: Condiciones iniciales de humedad del periodo de calibración de la estación Manchay	76
Cuadro 32: Estadísticos de la calibración con datos diarios en la estación Manchay... ..	77
Cuadro 33: Estadísticos de la validación con datos diarios en la estación Manchay. ...	77
Cuadro 34: Componentes del balance hídrico en la unidad hidrográfica del río Lurín	79
Cuadro 35: Años secos y húmedos según subcuenca de análisis	88
Cuadro 36: Caudales promedios simulados en la microcuenca de análisis.....	92
Cuadro 37: Tendencias de caudales máximos, promedios y mínimos mensuales de las estaciones San Damián, Antapucro y Manchay	94
Cuadro 38: Distribuciones de probabilidad ordenadas según mejor ajuste.....	96
Cuadro 39: Parámetros de funciones de distribución de probabilidad	96
Cuadro 40: Caudales máximos anuales según periodos de retorno (m^3/s).....	96
Cuadro 41: Balance hídrico de las estaciones Antapucro y Manchay.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema conceptual de tanques a nivel de celda del Modelo TETIS.	7
Figura 2: Representación simplificada 2D del movimiento horizontal de TETIS.	7
Figura 3: Relación entre el área umbral y los componentes de escorrentía.	7
Figura 4: Esquema del tanque de intercepción.	8
Figura 5: Esquema del almacenamiento estático.	9
Figura 6: Esquema de almacenamiento en superficie y escorrentía superficial.	10
Figura 7: Esquema del almacenamiento gravitacional e interflujo.	11
Figura 8: Esquema de almacenamiento subterráneo y flujo base.	12
Figura 9: Hidrograma mensual del caudal observado, simulado y precipitación media de la calibración (panel superior) y validación (panel inferior) en la estación Santo Domingo.	18
Figura 10: Hidrograma generado de la calibración (panel superior) y validación temporal (panel inferior) de los caudales observados a escala diaria en la estación Pindo AJ Amarillo.	19
Figura 11: Variabilidad espacial de la altitud en la cuenca del río Lurín y ubicación de estaciones pluviométricas, termométrica e hidrométricas	20
Figura 12: Clasificación climática de la cuenca del río Lurín.	22
Figura 13: Distribución espacial de los 11 tipos de cobertura en la cuenca de Lurín ...	24
Figura 14: Ubicación del área urbana en la cuenca del río Lurín.	31
Figura 15: Distribución espacial de los tipos de cobertura en la cuenca del río Lurín en 1979	32
Figura 16: Distribución espacial de los tipos de cobertura en la cuenca del río Lurín en 1985	32
Figura 17: Distribución espacial de los tipos de cobertura en la cuenca del río Lurín en 1995	33
Figura 18: Distribución espacial de los tipos de cobertura en la cuenca del río Lurín en 2015	33
Figura 19: Esquema de bloques de riego del valle del río Lurín.	37
Figura 20: Distribución de las captaciones de agua para uso agrícola en las comisiones de usuarios de agua a lo largo del río Lurín y sus afluentes.	44
Figura 21: Porcentaje de datos según periodo de tiempo y estación.	46

Figura 22: Diagrama de flujo de la metodología empleada.	49
Figura 23 Agrupación de estaciones mediante el método Self-Organizing Map.....	58
Figura 24: <i>Outliers</i> identificados y eliminados en las estaciones pluviométricas.....	60
Figura 25: <i>Outliers</i> identificados y eliminados en la estación pluviométrica Antioquía	60
Figura 26: <i>Outliers</i> identificados y eliminados en la estación pluviométrica Ayaviri..	61
Figura 27: <i>Outliers</i> identificados y eliminados en la estación pluviométrica Canchacalla.....	61
Figura 28: <i>Outliers</i> identificados y eliminados en la estación pluviométrica Chaute ...	62
Figura 29: <i>Outliers</i> identificados y eliminados en la estación pluviométrica Huancata	62
Figura 30: <i>Outliers</i> identificados y eliminados en la estación pluviométrica Langa	63
Figura 31: <i>Outliers</i> identificados y eliminados en la estación Manchay Bajo	63
Figura 32: <i>Outliers</i> identificados y eliminados en la estación pluviométrica Matucana	64
Figura 33: <i>Outliers</i> identificados y eliminados en la estación San José de Parac	64
Figura 34: <i>Outliers</i> identificados y eliminados en la estación San Lázaro de Escomarca.....	65
Figura 35: <i>Outliers</i> identificados y eliminados en la estación San Mateo de Huanchor	65
Figura 36: <i>Outliers</i> identificados y eliminados en la estación Santiago de Tuna	66
Figura 37: Análisis de doble masa de las estaciones pluviométricas	67
Figura 38: Análisis de doble masa de las estaciones pluviométricas corregidas	68
Figura 39: Variabilidad espacial de celdas acumuladas (a), dirección de flujo (b), pendiente (c) y velocidad de flujo en ladera (d).	69
Figura 40: Variabilidad espacial de profundidad de raíces (a), agua disponible en la capa superior (b) y almacenamiento por pendiente (c), cubierta (d), capilar (e) y superficial (f)	71
Figura 41: Variabilidad espacial de almacenamiento estático (a) y conductividad hidráulica del suelo (b) y acuífero (c).....	72
Figura 42: Hidrograma del caudal observado y simulado de la calibración a escala diaria en la estación Manchay (altitud: 229 m.s.n.m.).....	74
Figura 43: Calibración automática de los parámetros del modelo TETIS	75

Figura 44: Hidrograma del caudal observado y simulado de la validación a escala diaria en la estación Manchay (altitud: 229 m.s.n.m.).....	76
Figura 45: Variación porcentual del caudal promedio respecto a la variación de los parámetros del modelo.....	78
Figura 46: Porcentajes de la composición de la esorrentía total en la parte alta (San Damián), media (Antapucro) y baja (Manchay) de la cuenca del río Lurín.....	79
Figura 47: Variación temporal de la precipitación, caudal y evaporación en el área colectora de la estación San Damián (altitud: 2842 m.s.n.m.)	80
Figura 48: Variación temporal de los flujos horizontales y almacenamientos en el área colectora de la estación San Damián (altitud: 2842 m.s.n.m.).....	81
Figura 49: Variación temporal de la precipitación, caudal y evaporación en el área colectora de la estación Antapucro (altitud: 1026 m.s.n.m.)	82
Figura 50: Variación temporal de los flujos horizontales y almacenamientos en el área colectora de la estación Antapucro (altitud: 1026 m.s.n.m.)	83
Figura 51: Variación temporal de la precipitación, caudal y evaporación en el área colectora de la estación Manchay (altitud: 229 m.s.n.m.).....	84
Figura 52: Variación temporal de los flujos horizontales y almacenamientos en el área colectora de la estación Manchay (altitud: 229 m.s.n.m.)	85
Figura 53: Valores de SPI de las subcuencas San Damián (panel superior), Antapucro (panel medio) y Manchay (panel inferior).....	87
Figura 54: Mapa de isoyetas en época seca (panel superior), normal (panel medio) y húmeda (panel inferior)	90
Figura 55: Microcuenca ubicada en la parte alta de la cuenca del río Lurín.....	91
Figura 56: Hidrograma de la microcuenca de análisis (altitud: 3910 m.s.n.m.).....	91
Figura 57: Ajuste de distribución de probabilidad de caudales máximos anuales de las subcuencas San Damián (panel superior), Antapucro (panel medio) y Manchay (panel medio).....	97
Figura 58: Variación del caudal simulado según la probabilidad de excedencia de las estaciones San Damián (panel superior), Antapucro (panel medio) y Manchay (panel inferior).....	100
Figura 59: Persistencia de caudales al 75% en las estaciones San Damián (panel superior), Antapucro (panel medio) y Manchay (panel inferior).	101

Figura 60: Balance hídrico en las subcuencas de Antapucro y Manchay según el estudio actual (periodo: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017) y de ANA (ex-INRENA) (periodo: 01 de enero de 1964 al 31 de diciembre de 2002)..... 104

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Variación temporal de la precipitación a escala mensual en las estaciones Ayaviri, Huañec, Huarochiri, Matucana, Ñaña, San Lázaro de Escomarca y Santa Eulalia. Periodo de análisis: enero de 1964 a diciembre de 2015.	115
Anexo 2: Variación temporal de la evapotranspiración a escala mensual en las estaciones Huarochiri, Matucana, Ñaña y Von Humboldt. Periodo de análisis: enero de 1964 a diciembre de 2015.	119
Anexo 3: Registros de precipitación.....	122
Anexo 4: Registros de evapotranspiración	135

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en la modelación hidrológica distribuida de la cuenca del río Lurín a escala diaria mediante el modelo Tetis, para lo cual se recopilieron datos meteorológicos e hidrométricos, así como información respecto a las características físicas de la cuenca, las cuales fueron plasmadas en mapas *raster* tales como el modelo de elevación digital, cobertura vegetal, la conductividad hidráulica del suelo, entre otros.

El modelo se calibró y validó en la estación Manchay, y presentó resultados muy buenos al ser evaluado mediante los índices NSE, RSR y Ev. Luego, se procedió a simular caudales diarios en las subcuencas Manchay, Antapucro y San Damián, de modo que pueda evaluarse la disponibilidad hídrica en la parte baja, media y alta de la cuenca, respectivamente, para lo cual se tomó como periodo de evaluación del 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Posteriormente, con los caudales diarios simulados, se analizó la tendencia mediante el método Mann-Kendall y también se realizó el ajuste a funciones de distribución de probabilidad para el cálculo de caudales máximos anuales para distintos periodos de retorno. También se llevó a cabo un análisis de persistencia, para lo cual se elaboraron curvas de duración de caudales. Finalmente, se llevó a cabo un balance hídrico en las subcuencas Antapucro y Manchay, para lo cual se utilizó datos de demanda hídrica registrados a lo largo del río Lurín.

A partir de los análisis realizados, se concluye que, para el periodo analizado, la tendencia de los valores de caudal simulado es predominantemente decreciente en todos los meses del año, pero no es significativa en su mayoría. En relación al análisis de caudales máximos anuales de retorno, las funciones que mejor se ajustaron fueron Loglogística (3-Parámetros) para la subcuenca San Damián, mientras que para las subcuencas Antapucro y Manchay fue la Lognormal (3-Parámetros). Por otra parte, a partir del balance hídrico, se concluye que existe déficit hídrico en las subcuencas Antapucro y Manchay desde noviembre a febrero.

Palabras clave: Tetis, Lurín, escala diaria, calibración, validación, simulación.

ABSTRACT

This study is about formulating a distributed hydrological model for Lurín basin in a daily scale. For this purpose, it will be used Tetis model as well as meteorological and streamflow data. Also, it has been used raster maps related to physical characteristics as digital elevation model, vegetation cover, soil hydraulic conductivity, among others.

This model was calibrated and validated at Manchay station. Its results were evaluated through estimators as NSE, RSR and Ev which indicate that the model is very good. Then, it was simulated daily streamflow data at San Damián, Antapucro and Manchay sub-basins so water availability could be determined in the lower, middle and upper watershed of Lurín River for period from 01 September 1969 to 31 August 2017.

Subsequently, the trend of simulated streamflow data were analyzed by Mann-Kendall test; analysis of maximum streamflow for various return periods was made by using probability distribution fitting; persistence analysis was made developing duration streamflow curves. Finally, a water balance was made using data about water demand along Lurín River.

Results indicate that there were few significant trends, however, it can be observed a predominant decreasing pattern in every month. With respect to analysis of annual maximum streamflow for various return periods, the best probability distribution fittings were three-parameter log-logistic (3-P) function for San Damián sub-basin and lognormal (3-P) function for Antapucro and Manchay sub-basins. With regard to water balance, it was observed that there is water deficit at Manchay and Antapucro sub-basins from November to February.

Keywords: TETIS, Lurín, daily scale, calibration, validation, simulation.

I. INTRODUCCIÓN

Entre los estudios llevados a cabo respecto a la cuenca del río Lurín, se encuentra aquel realizado por SENAMHI (2016) sobre la vulnerabilidad climática de los recursos hídricos, para lo cual se analizó la disponibilidad hídrica mediante la generación de caudales medios mensuales con el modelo hidrológico agregado WatBal.

Asimismo, también se tiene el estudio realizado por el MINAG e INRENA (2004) que aplica el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz que utiliza datos de precipitación y temperatura relacionados mediante expresiones matemáticas para la generación de caudales medios mensuales en la estación Manchay, así como en otras subcuencas, a fin de determinar la disponibilidad hídrica en las mismas.

Adicionalmente, se han realizado estudios académicos como el de Risco (2013) quien formuló un modelo hidrológico distribuido para la generación de caudales mensuales para cuencas con escasos datos hidrométricos, tal como la de Lurín, ello a partir de datos de precipitación mensual, geomorfología, fisiografía, cobertura vegetal, entre otros.

También se encuentra la investigación de Álvarez y Villaverde (2015) quienes utilizaron el modelo STREAM a una escala espacial y temporal de 1 km y 1 mes, respectivamente, con la finalidad de evaluar la disponibilidad hídrica actual y futura, para lo cual se utilizó datos de precipitación y temperatura mensual, así como un modelo de elevación digital y mapas de uso de suelo y la tierra.

Asimismo, también se ha desarrollado otros estudios como el ejecutado por el BID (2013) que evalúa el aspecto social de la cuenca del río Lurín mediante la formulación de propuestas respecto al mejoramiento de la gestión de los recursos hídricos, o como el realizado por la FFLA (2015) que se enfoca en aplicar y adecuar en el Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Interregional Chillón-Rímac y Lurín las lecciones aprendidas en Ecuador respecto al manejo de un territorio desde una perspectiva de cuenca hídrica.

Por lo expuesto, no existe precedente de un estudio realizado en la cuenca del río Lurín sobre modelación hidrológica distribuida a nivel diario. Asimismo, si bien los caudales promedios mensuales son aquellos que se utilizan en la mayoría de análisis de disponibilidad hídrica, cabe destacar que, tal como explica Sudheer *et al.* (2007), la calibración de un modelo hidrológico debe ser realizada a nivel diario, a fin de preservar de manera más precisa el comportamiento hidrológico de la cuenca, lo cual se reafirma con los resultados del estudio de Nourani *et al.* (2011) quien en términos de modelación obtuvo mejores resultados a escala diaria que a nivel mensual.

Es por ello que en el presente trabajo de investigación se formuló y parametrizó el modelo hidrológico distribuido TETIS en la cuenca del río Lurín a nivel diario, el cual, una vez calibrado y validado satisfactoriamente, permitió simular información de caudales diarios de la red hidrográfica, a fin de determinar la oferta hídrica superficial comprendida entre 1970 y 2017, permitiendo a su vez realizar el análisis de tendencia de Mann-Kendall, el cálculo de los caudales máximos anuales para distintos periodos de retorno, el análisis de persistencia y balance hídrico, todo ello en las subcuencas San Damián, Antapucro y Manchay.

1.1 Objetivo General

- Formular un modelo hidrológico distribuido a escala diaria para determinar la oferta hídrica superficial en la cuenca del río Lurín.

1.2 Objetivos Específicos

- Analizar la información pluviométrica en la cuenca del río Lurín a través métodos de consistencia t de Student y F de Fisher.
- Parametrizar un modelo hidrológico distribuido a escala diaria en la cuenca del río Lurín para la simulación de caudales diarios.
- Determinar la oferta hídrica superficial en la cuenca del río Lurín a través de la simulación de caudales diarios.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA DISTRIBUIDA

Según su capacidad de evaluar la variación espacial de sus parámetros, los modelos hidrológicos se dividen principalmente en tres tipos: agregados, semidistribuidos y distribuidos. Debido a que trabajan con promedios representativos, los modelos hidrológicos agregados no consideran la variación espacial de sus parámetros en la cuenca, por lo tanto, no evalúan las respuestas hidrológicas que ocurren a nivel de subcuenca, es decir, solo realizan dicha evaluación en la desembocadura de la cuenca (Caro 2015).

Por otro lado, los modelos hidrológicos semidistribuidos son capaces de evaluar la respuesta hidrológica a nivel de subcuenca, es decir, consideran el comportamiento hidrológico de una subcuenca ubicada aguas arriba como información de entrada para la evaluación de una subcuenca aguas abajo (Caro 2015).

Por otra parte, los modelos hidrológicos distribuidos son capaces de evaluar la respuesta hidrológica en elementos más pequeños que las subcuencas mediante la variación espacial de sus parámetros, cuyos resultados serán fiables, según el grado de detalle (tamaño de celda) y los parámetros que se utilicen (Caro 2015).

Al igual que los modelos agregados, los modelos distribuidos son capaces de realizar una simulación continua o puntual en el tiempo, sin embargo, se diferencian por su capacidad de realizar una simulación en cualquier punto de la cuenca o subcuencas (Caro 2015).

Asimismo, Triviño *et al.* (2004) indican que los modelos hidrológicos distribuidos se enfocan en la distribución espacial de los datos de la cuenca relacionados con el escurrimiento superficial y en los factores climáticos como las precipitaciones. Estos se aproximan más a la realidad, debido a que se considera a la escorrentía como una respuesta hidrológica continua en el espacio y tiempo, lo cual implica que la simulación de la escorrentía en un lugar concreto considera la influencia del espacio adyacente, es decir, de las zonas que influyen directamente o indirectamente en dicho lugar mediante el vertimiento o drenado del agua precipitada (Triviño *et al.* 2004).

Por lo tanto, la modelación hidrológica distribuida surge de la necesidad de entender mejor los procesos hidrológicos de una cuenca, ya que considera la variabilidad espacial de los procesos hidrológicos, pero requiere mayor información y alto tiempo computacional. Sin embargo, esto se está superando, debido a la mayor disponibilidad de información a través de sensores remotos (radar, satélites) y equipos computacionales con mayor rapidez.

2.1.1. PROCESOS FÍSICOS EN LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA

Según Singh, citado por Francés *et al.* (2014), en los modelos hidrológicos puede considerarse los siguientes procesos:

- Intercepción: proceso en el que parte de la precipitación es interceptada por la vegetación u otras superficies y que posteriormente se evapora.
- Detención: fenómeno en el que el agua no forma parte de la escorrentía superficial, debido a las condiciones del terreno y se moviliza por infiltración o evaporación.
- Infiltración: proceso en el que el agua ingresa al suelo por la superficie de éste.
- Evapotranspiración: transformación del agua en estado líquido o sólido a gaseoso.
- Fusión de nieve: transformación de la nieve a estado líquido.
- Percolación: movimiento del agua a través del perfil del suelo.
- Recarga del acuífero: ingreso del agua al almacenamiento subterráneo del acuífero.
- Escorrentía directa: es el agua que fluye sobre las laderas.
- Interflujo: es el agua que ha infiltrado, pero que no alcanza el almacenamiento del acuífero y forma parte de la escorrentía superficial.
- Flujo base: es el agua almacenada en el acuífero o retrasada en el tiempo que logra llegar al cauce.

Francés *et al.* (2014) indican que los procesos mencionados pueden representarse mediante ecuaciones simples con resultados aceptables, sin embargo, existe la posibilidad de darse errores de escala, los cuales pueden contrarrestarse si se trabaja a una escala adecuada.

2.1.2. LA ESCALA DE TRABAJO

Mamillapalli *et al.*, citado por Francés *et al.* (2014), indican que el nivel de detalle debe contribuir a mejorar los resultados de la simulación y, a su vez, debe considerarse que al

ser muy fino implica un mayor tiempo de computación, mientras que una escala muy grosera dará resultados pocos satisfactorios.

Francés *et al.* (2014) afirman que «no se puede dar un valor exacto del tamaño celda adecuado para la modelación en cada cuenca, porque depende de la heterogeneidad de los parámetros y de las características y tamaño de cada cuenca». Respecto a la escala de trabajo temporal, debe seleccionarse en base a los alcances del estudio. En caso de modelar fenómenos como avenidas, debido a la rapidez del evento, la resolución máxima debe ser de cinco minutos. Por otro lado, estudios sobre oferta hídrica o balance hídrico pueden ser realizados a escalas temporales mayores. En resumen, la selección de la escala de trabajo se realiza por la información disponible y por los alcances que tendrá la modelación hidrológica.

2.2. EL MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO TETIS

Ha sido desarrollado para realizar la simulación hidrológica en cuencas naturales y obtener de la mejor forma posible la respuesta hidrológica ocasionada por la precipitación de lluvia o nieve, teniendo en cuenta los procesos físicos involucrados y empleando la modelación distribuida (Francés *et al.* 2014).

2.2.1. METODOLOGÍA DE INTERPOLACIÓN ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN PUNTUAL

Según Francés *et al.* (2014), el método de interpolación usado por Tetis para el cálculo de una variable X en un punto de interés es el inverso de la distancia, en la que se considera el siguiente factor de ponderación:

$$w_{0j} = \frac{\frac{1}{d_{0j}^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{0i}^2}}$$

Donde w_{0j} es el factor de ponderación; n , el número de estaciones de medición; y d_{0j} , la distancia entre el punto de observación y el de interés, la cual se estima mediante la siguiente fórmula:

$$d_{0j} = \sqrt{(x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2}, j=1, \dots, n$$

Donde x_0 y y_0 son las coordenadas del punto de interés; y x_j y y_j , las coordenadas de la estación de medición. La sumatoria de los productos del factor de ponderación por el valor

puntual de la estación de medición es el valor de la variable de interés, lo cual se expresa como:

$$X_0 = \sum_{j=1}^n w_{0j} X_j$$

Si la variable se correlaciona con la altura, Tetis usa una de las ecuaciones del Cuadro 1.

Cuadro 1: Ecuaciones del inverso de la distancia correlacionadas con la altura

Incremento lineal	Incremento porcentual
$X_0 = \sum_{j=1}^n w_{0j} [X_j + \beta(z_0 - z_j)]$	$X_0 = \sum_{j=1}^n w_{0j} [X_j + X_j * \beta(z_0 - z_j)]$
$\beta =$ variación de X con la altura	β está entre 0 y 1, lo cual representa el incremento porcentual de X con la altura.
	La unidad de β es m^{-1} .

Fuente: Adaptado de Francés *et al.* (2014)

En el presente estudio, las variables que se interpolarán son la precipitación y evapotranspiración. Debido a que la precipitación varía según la altura, el factor β es un parámetro del modelo. Por otro lado, la evapotranspiración puede variar por diversas razones, por lo tanto, no se considera una correlación con la altura (Francés *et al.* 2014).

2.2.2. EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA

Según Francés *et al.* (2014), la producción de escorrentía se realiza mediante un balance hídrico en cada celda, el cual se representa en un esquema de seis tanques de almacenamiento conceptuales o siete si la celda pertenece a la red de cauces, como se aprecia en la Figura 1. El flujo entre tanques depende del agua almacenada en ellos, el esquema conceptual adoptado, el tipo de tanque y las características morfológicas e hidrológicas del suelo de la celda (Francés *et al.* 2014).

La Figura 2 representa el flujo mediante una malla interconectada tridimensional de tres tanques, en la que el primero representa la escorrentía superficial; el segundo, el interflujo; y el último, el flujo base. El modelo de elevación digital define la dirección del flujo, cuyo destino son las cárcavas y cauces de la red hídrica (Francés *et al.* 2014). Asimismo, Francés *et al.* (2014) indica que la red hídrica tiene tres elementos delimitados por dos áreas umbrales relacionadas con las cárcavas y cauces de la cuenca. La relación entre el área umbral y los componentes de escorrentía se detallan en la Figura 3.

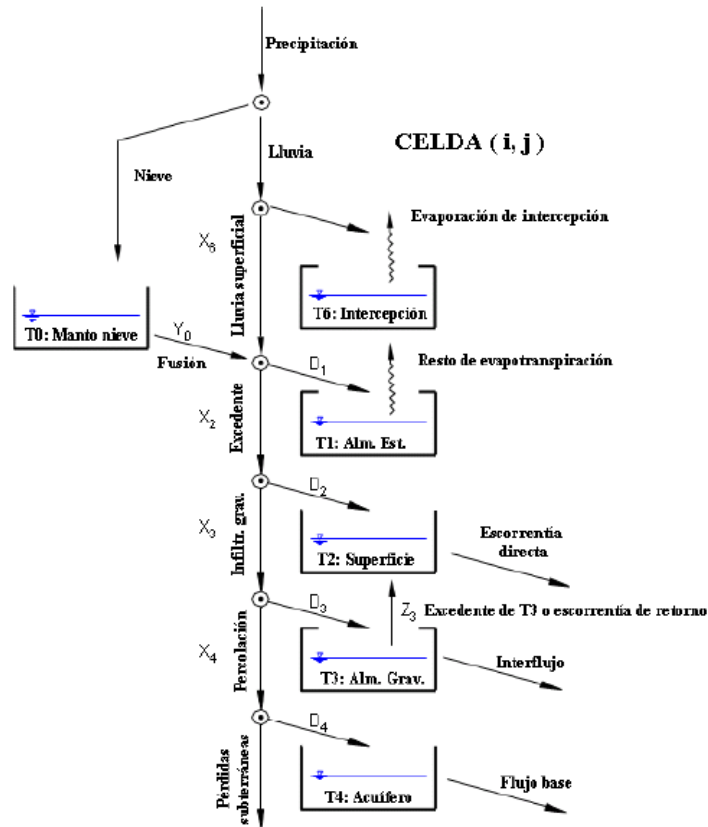


Figura 1: Esquema conceptual de tanques a nivel de celda del Modelo TETIS.

Fuente: Tomado de Francés *et al.* (2014).

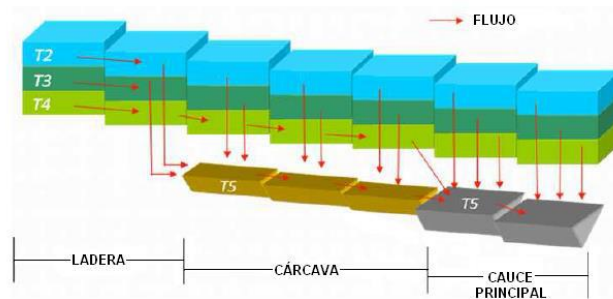


Figura 2: Representación simplificada 2D del movimiento horizontal de TETIS.

Fuente: Tomado de Francés *et al.* (2014).



Figura 3: Relación entre el área umbral y los componentes de escorrentía.

Fuente: Tomado de Montoya, citado por Francés *et al.* (2014).

a. EL TANQUE DE INTERCEPCIÓN

Representa el agua de lluvia interceptada por la vegetación y que sale de la cuenca por evaporación directa, es decir, no forma parte de la escorrentía (Francés *et al.* 2014).

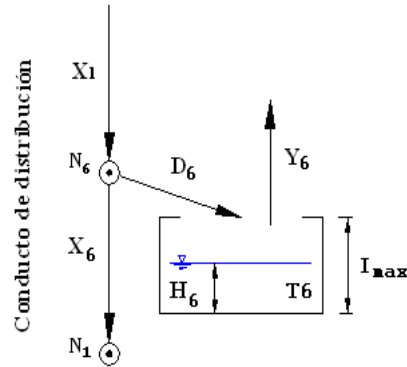


Figura 4: Esquema del tanque de intercepción.

Fuente: Tomado de Francés *et al.* (2014).

La Figura 4 representa el tanque de intercepción, en el cual X_1 es la lluvia; D_6 , el agua interceptada; T_6 , el tanque de intercepción; I_{max} , la capacidad máxima de T_6 ; Y_6 , la evaporación directa; y X_6 , la lluvia no interceptada o superficial que depende de X_1 y de la humedad y características de la cubierta vegetal (Francés *et al.* 2014).

Según Francés *et al.* (2014), Y_6 se estima mediante la siguiente fórmula:

$$Y_6 = \text{Min}[ETP * \lambda_v(t) * FC_2, H_6]$$

Donde ETP es la evapotranspiración potencial, la cual varía en función del tiempo y la estación de medición; λ_v , el factor de vegetación; y FC_2 , el factor corrector cuyo valor es cercano a uno (Francés *et al.* 2014).

Francés *et al.* (2014) indica que el agua no fluirá a los tanques siguientes sin antes haberse llenado T_6 . A su vez, la lluvia directa recorrerá los tanques que siguen para formar los componentes de escorrentía (Francés *et al.* 2014).

b. ALMACENAMIENTO ESTÁTICO Y PÉRDIDAS POR EVAPOTRANSPIRACIÓN

El tanque de almacenamiento estático, T_1 , representa el agua retenida en charcos o por fuerzas capilares del suelo, la cual sale de la cuenca por evapotranspiración (ver Figura 5), por lo tanto, no forma parte de la escorrentía (Francés *et al.* 2014).

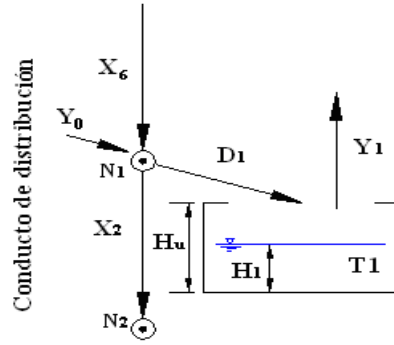


Figura 5: Esquema del almacenamiento estático.

Fuente: Tomado de Francés et al. (2014).

Según Francés *et al.* (2014), la cantidad de agua derivada a este tanque, D_1 , se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$D_1 = \min \left\{ (X_6 + Y_0) * \left(1 - \frac{H_1}{H_u * FC_1} \right)^{p_1}; H_u * FC_1 - H_1 \right\}$$

Donde X_6 es la lluvia superficial; Y_0 , el agua proveniente de la fusión de nieve; H_1 , el agua contenida en T_1 ; H_u , la capacidad máxima de T_1 ; FC_1 , un factor corrector cercano a uno; y p_1 , el exponente que inicia el excedente X_2 . Si p_1 es cero, X_2 empieza cuando T_1 esté completamente lleno, en cambio, si p_1 es mayor a cero, X_2 se producirá antes del llenado de T_1 y habrá más agua disponible para la escorrentía directa, interflujo y flujo base. Asimismo, si FC_1 es mayor a uno, aumenta la capacidad de almacenamiento estático, por lo que menos agua será parte de la escorrentía, y viceversa.

El cálculo de Y_1 , que representa la evapotranspiración del agua almacenada en este tanque, se efectuará a través de la siguiente fórmula:

$$Y_1 = \text{Min}[(ETP * FC_2 - Y_6) * \lambda_v(t) * f(\theta), H_1]$$

Donde ETP es la evapotranspiración potencial; $\lambda_v(t)$, el factor de vegetación mensual; FC_2 , un factor corrector cercano a uno; y $f(\theta)$, una función del contenido de humedad del suelo. Si FC_2 es mayor a uno, aumenta la evapotranspiración y disminuye el hidrograma de salida, mientras que si es menor, incrementa el hidrograma hasta cierto punto. Asimismo, solo si hay datos de evapotranspiración, FC_2 es sensible en el modelo (Francés *et al.* 2014).

c. ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL Y ESCORRENTÍA DIRECTA

El tanque de almacenamiento de flujo superficial (T_2) contiene el agua de la superficie que se desplaza por las laderas o infiltra en el suelo (Francés *et al.* 2014). Como se aprecia en la Figura 6, este tanque es alimentado por la derivación D_2 y Z_3 que es el excedente del tanque de almacenamiento gravitacional (T_3) (Francés *et al.* 2014).

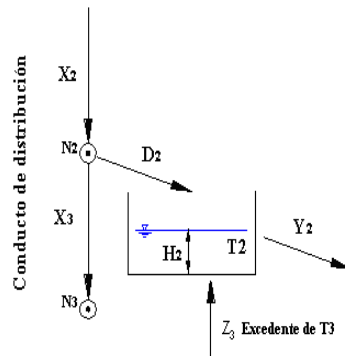


Figura 6: Esquema de almacenamiento en superficie y escorrentía superficial.

Fuente: Tomado de Francés *et al.* (2014).

Según Francés *et al.* (2014), D_2 depende de la capacidad de infiltración del suelo y el estado de almacenamiento de su capa superior, mientras que Z_3 , de la capacidad máxima y el nivel de almacenamiento de T_3 . Al respecto, X_3 se desplaza por infiltración gravitacional y depende del ingreso de agua al suelo en condiciones de humedad superiores a la capacidad de campo (k_s), el tiempo de infiltración (Δt) y el excedente del almacenamiento estático (X_2), lo cual se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$X_3 = \text{Min}[X_2, \Delta t * k_s * FC_3]$$

FC_3 debe ser cercano a 0.2, sin embargo, si es mayor, incrementa la infiltración y disminuye la escorrentía superficial, lo cual genera caudales pico suaves en el hidrograma de salida; en cambio, si FC_3 es menor, disminuye la infiltración y se genera caudales pico con variaciones abruptas (Francés *et al.* 2014).

Francés *et al.* (2014) indican que el flujo de escorrentía directa (Y_2) se estima de la siguiente forma: $Y_2 = H_2 * \alpha$. Donde H_2 es el nivel de T_2 y α , un coeficiente de descarga igual a:

$$\alpha = 1 - \frac{\Delta x}{v_t * FC_4 * \Delta t + \Delta x}$$

Siendo v_t , la velocidad de flujo en función de: $v_t = 1.4142 * s_o^{0.5}$. En esta expresión, s_o es la pendiente; 1.4142, un valor que varía la velocidad de flujo entre 0.01 a 1 m/s; y FC_4 , un factor corrector que está entre 0.01 y 10. Si FC_4 aumenta, se incrementa el valor de α y, consecuentemente, también el hidrograma de salida, pero si disminuye, decrece el hidrograma. De no existir almacenamiento en T_2 , FC_4 es insensible al modelo (Francés *et al.* 2014).

d. ALMACENAMIENTO GRAVITACIONAL E INTERFLUJO

El tanque de almacenamiento gravitacional (T_3) representa el agua contenida en la capa superior del suelo que fluye en dirección a la red de drenaje, por lo tanto, al ocurrir simultáneamente el almacenamiento y flujo es necesario que la cantidad almacenada y el tiempo de almacenamiento se aproximen a la realidad (Francés *et al.* 2014).

En la Figura 7, X_3 se divide en X_4 , que se dirige a estratos más profundos, y D_3 que será interflujo (Y_3) o Z_3 si se excede la capacidad máxima de T_3 .

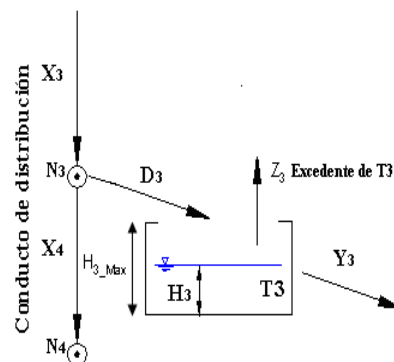


Figura 7: Esquema del almacenamiento gravitacional e interflujo.

Fuente: Tomado de Francés *et al.* (2014).

Según Francés *et al.* (2014), X_4 se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$X_4 = \text{Min}[X_3, \Delta t * k_p * FC_5]$$

Donde k_p es la conductividad hidráulica del estrato inferior del suelo en estado de saturación; Δt , un intervalo de tiempo; y FC_5 , un factor corrector cercano a 0.2, el cual si es mayor, aumenta la velocidad de percolación y disminuyen los picos del hidrograma de salida, mientras que si es menor, se producen picos con variaciones más fuertes (Francés *et al.* 2014).

El interflujo (Y_3) se calcula mediante las siguientes expresiones (Francés *et al.* 2014):

$$Y_3 = H_3 * \alpha.$$

Siendo:

$$\alpha = 1 - \frac{\Delta x}{FC_6 * k_{ss} * \Delta t + \Delta x}$$

Donde FC_6 es el factor corrector de la conductividad hidráulica horizontal saturada del estrato profundo (k_{ss}), cuyos valores oscilan entre 0.001 y 100000 (Francés *et al.* 2014). Valores elevados de FC_6 aumentan Y_3 y generan un hidrograma con descensos y ascensos más abruptos, debido a que α tienda a ser uno, mientras que valores menores producen el efecto contrario. Si T_3 tiene insuficiente volumen almacenado, FC_6 es insensible al modelo (Francés *et al.* 2014).

e. ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO Y FLUJO BASE

En la Figura 8, X_4 se divide en D_4 , que forma el almacenamiento subterráneo (T_4), y X_5 que representa las pérdidas subterráneas.

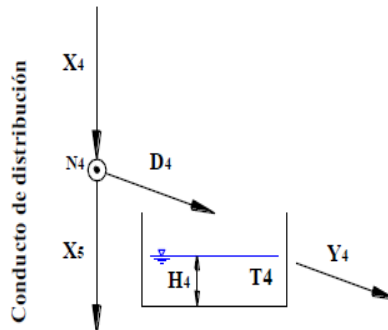


Figura 8: Esquema de almacenamiento subterráneo y flujo base.

Fuente: Tomado de Francés *et al.* (2014).

Según Francés *et al.* (2014), las pérdidas subterráneas se calculan de la siguiente forma:

$$X_5 = \text{Min}[X_4, \Delta t * k_{ps} * FC_7]$$

Donde k_{ps} es la conductividad hidráulica de la zona profunda del suelo; FC_7 , un factor corrector que al incrementar, disminuye el flujo base y el hidrograma de salida, pero si disminuye, produce lo opuesto. Si las pérdidas por percolación profunda son mínimas, FC_7 se iguala a cero (Francés *et al.* 2014).

Respecto al flujo base (Y_4), se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$Y_4 = H_4 * \alpha$$

Siendo:

$$\alpha = 1 - \frac{\Delta x}{FC_8 * k_{sa} * \Delta t + \Delta x}$$

Donde k_{sa} es la conductividad hidráulica horizontal del acuífero y FC_8 , un factor corrector que oscila entre 0.001 y 100000 (Francés *et al.* 2014). Si FC_8 tiene valores elevados, α se aproxima a uno, lo cual incrementa Y_4 y el hidrograma de salida; en cambio, valores menores generan lo contrario. Asimismo, FC_8 es insensible al modelo si T_4 carece de agua (Francés *et al.* 2014).

2.3. SIMULACIÓN EN LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA

Según Beven, citado por Francés *et al.* (2014), la calibración de un modelo se asemeja a un ajuste por regresión múltiple, ya que los parámetros óptimos reducen al máximo el valor de los residuales, los cuales implican una incertidumbre en el modelo. Asimismo, los resultados de un modelo conceptual lluvia-escorrentía depende de los datos de entrada, la estructura del modelo y el proceso de calibración.

Para el modelo Tetis, se puede calibrar manual o automáticamente todos o un conjunto de los siguientes elementos (Francés *et al.* 2014):

- Los nueve factores correctores del proceso de formación y distribución de escorrentía.
- Las condiciones de humedad iniciales de la cuenca.
- Los coeficientes que relacionan la altura con la interpolación espacial.
- Los parámetros agregados del submódulo de nieve.

2.3.1. CALIBRACIÓN

En un inicio, la calibración de los parámetros del modelo se realiza manualmente. Posteriormente, para obtener los parámetros óptimos de un modelo, se utiliza un algoritmo de calibración automática, el cual depende de (Gan y Burges (1990) y Gan y Biftu (1996) citados por Francés *et al.* (2014)):

- La estructura y base conceptual del modelo.
- La potencia y robustez del algoritmo de optimización.
- La calidad y cantidad de datos de entrada usados en la calibración y validación.
- La función objetivo empleada en el proceso de optimización.

Asimismo, según Francés *et al.* (2014), el rendimiento de un algoritmo de optimización se mide según las siguientes características:

- Robustez: es la probabilidad de encontrar valores óptimos partiendo de distintos inicios.
- Eficiencia: es el número de evaluaciones para llegar al valor óptimo de un parámetro.
- Efectividad: es la cercanía que puede llegar el algoritmo al óptimo global.

El método SCE-UA (Shuffled Complex Evolution – University of Arizona) es usado por Tetis para la calibración automática. Según Sorooshian *et al.* y Gan y Biftu, citados por Francés *et al.* (2014), las características de este método son las siguientes:

- Requiere menos evaluaciones para alcanzar el valor óptimo de los parámetros.
- El valor de los parámetros obtenidos tienden a agruparse.
- No requiere de un conocimiento experto para ser utilizado.
- Proporciona resultados mediante una sola ejecución.

2.3.2. VALIDACIÓN

Según Klemeš, citado por Francés *et al.* (2014), el modelo se valida para las aplicaciones que fue desarrollado, pero con datos distintos a los de la calibración. Asimismo, Tetis permite realizar la validación en los siguientes escenarios:

- Validación temporal: se simula en el punto de calibración, pero en un periodo distinto.
- Validación espacial: se simula en el periodo de calibración, pero en un punto distinto.
- Validación espacio-temporal: el punto y periodo es distinto al de la calibración.

2.4. SIMULACIÓN CON EL MODELO TETIS

Una investigación contribuye a enriquecer el conocimiento que se tiene respecto al tema que trata. Esto ha sucedido también con el modelo Tetis, el cual ha sido usado en diversos estudios que han brindado un mejor entendimiento sobre el proceso hidrológico presente en la naturaleza. De las numerosas investigaciones realizadas con el modelo Tetis, se ha considerado hacer mención de las siguientes:

- Proyecto «Modelación distribuida con Tetis dentro del marco del proyecto comparación de modelos distribuidos del NWS de EEUU aplicado en la región de Oklahoma»

Consistió en modelar los ríos Illinois, Baron y Elk, ubicados en Oklahoma, Arkansas y Missouri, respectivamente, para el Proyecto Comparación de Modelos Distribuidos - Fase dos (DIMP2)”, llevado a cabo por *National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service* (NOAA/NWS) de EE.UU. (Dávila 2011).

Entre las conclusiones a las que llegó dicho estudio fueron las siguientes (Dávila 2011):

- a. La simulación con factores correctores calibrados es mejor que una con no calibrados, ya que disminuye la sobreestimación de caudales.
- b. En una validación temporal, Tetis subestima los caudales picos, sin embargo, el tiempo en el que ocurren tiende a coincidir con lo real, pero si hay dos caudales picos, uno seguido por otro de menor magnitud, Tetis no es capaz de representar el segundo.
- c. El índice de Nash disminuye en una validación espacio temporal que se da en una cuenca más grande a la que se calibró, debido a una mayor variabilidad en las condiciones de respuesta.
- d. Al comparar Tetis con otros modelos fue el mejor en calibración, pero el más deficiente al simular con factores sin calibrar.

- Proyecto «Modelación Parsimoniosa y Espacialmente Distribuida de los Procesos de Acumulación y Fusión de Nieve»

Su objetivo fue determinar los efectos de la variabilidad de los factores de fusión del método grado-día usado para la modelación de fusión nieve y la influencia de esta variabilidad en la modelación hidrológica de cuencas de alta montaña (Orozco 2014).

Para ello, se incorporó al modelo Tetis tres conceptualizaciones matemáticas de modelos híbridos de fusión de nieve basados en el método grado-día con variabilidad en sus factores de fusión a escala de celda mediante mapas de índices de radiación y de factores de fusión (Orozco 2014). Los modelos se aplicaron a los ríos Carson y American de Sierra Nevada, EE.UU., y la cuenca pirenaica-mediterránea de Contraix, ubicada en el Parque Nacional de Aigüestortes en los pirineos catalanes España (Orozco 2014).

Se observó que la influencia de la variabilidad de los factores de fusión es mínima en la modelación hidrológica, pero a nivel de modelación de nieve, el modelo híbrido que usa mapas índices de radiación brinda mejores resultados (Orozco 2014).

Se concluyó que los procesos de acumulación y fusión de nieve pueden representarse adecuadamente mediante una conceptualización parsimoniosa de la variabilidad de los factores de fusión, la cual no aporta mayores ventajas en la modelación de caudales que la conceptualización clásica del método grado-día (Orozco 2014).

- Proyecto «Estudio de la Utilidad de la Lluvia Estimada de Satélite en la Modelación Hidrológica Distribuida»

Se evaluó mediante Tetis la utilidad de dos productos de lluvia estimada de satélite con resolución temporal diaria y resolución espacial de 0.25° (PERSIANN) y 0.04° (PERSIANN-CSS) (Ramos 2013).

Como resultado, se obtuvo que la correlación entre la lluvia estimada y observada es aceptable a escala anual, menos aceptable a escala mensual y pobre a escala diaria (Ramos 2013). Asimismo, se observó que la lluvia PERSIANN-CCS tiende a sobrevalorar, mientras que PERSIANN subestima a diferentes escalas de agregación de la cuenca, sin embargo, desde el punto de vista de la modelación, el error puede corregirse mejor a partir de una sobrevaloración que de una subestimación (Ramos 2013).

En la modelación hidrológica, los mejores resultados se obtuvieron con PERSIANN-CCS, debido a una mejor resolución de los datos raster de lluvia, un menor FBIAAS y al error de sobrestimación de lluvias, en cambio, con PERSIANN, los resultados fueron insatisfactorios, debido a su resolución espacial grosera y la subestimación en el volumen de lluvia, lo cual no alimenta suficientemente al ciclo hidrológico (Ramos 2013).

- Proyecto «Efecto del cambio climático en la hidrología de la cuenca Chancay - Huaral»

Evaluó los posibles efectos del cambio climático en la cuenca Chancay-Huaral mediante seis escenarios futuros. Para ello, se calibró y validó el modelo hidrológico distribuido a escala mensual, cuyos resultados se clasificaron como buenos, los cuales se muestran en la Figura 9. Entre sus resultados, se observó un decremento del 27% de las precipitaciones en la parte alta de la cuenca, mientras que en la parte media, la situación era opuesta, debido a que las proyecciones futuras indicaron un incremento de 153% en las precipitaciones (Palomino 2015).

Respecto a producción de escorrentía, se indica que esta podría variar en promedio entre un -9 y 70% a nivel anual, mientras que a nivel mensual, se estima que en septiembre y febrero se presente el mayor incremento (166%) y decremento (-11%), respectivamente (Palomino 2015).

Asimismo, se concluyó que, según los escenarios futuros, en el periodo húmedo de la cuenca, el caudal mensual se incrementará en promedio en un 29% y que dicho incremento será mayor en marzo, ya que será igual a 54%. Asimismo, este incremento del caudal también se producirá en el periodo seco, ya que el caudal mensual se incrementará en promedio en un 103%. Adicionalmente, dicho proyecto llegó a la conclusión que la demanda hídrica no será satisfecha en intervalos promedio de cinco años hasta el 2045 (Palomino 2015).

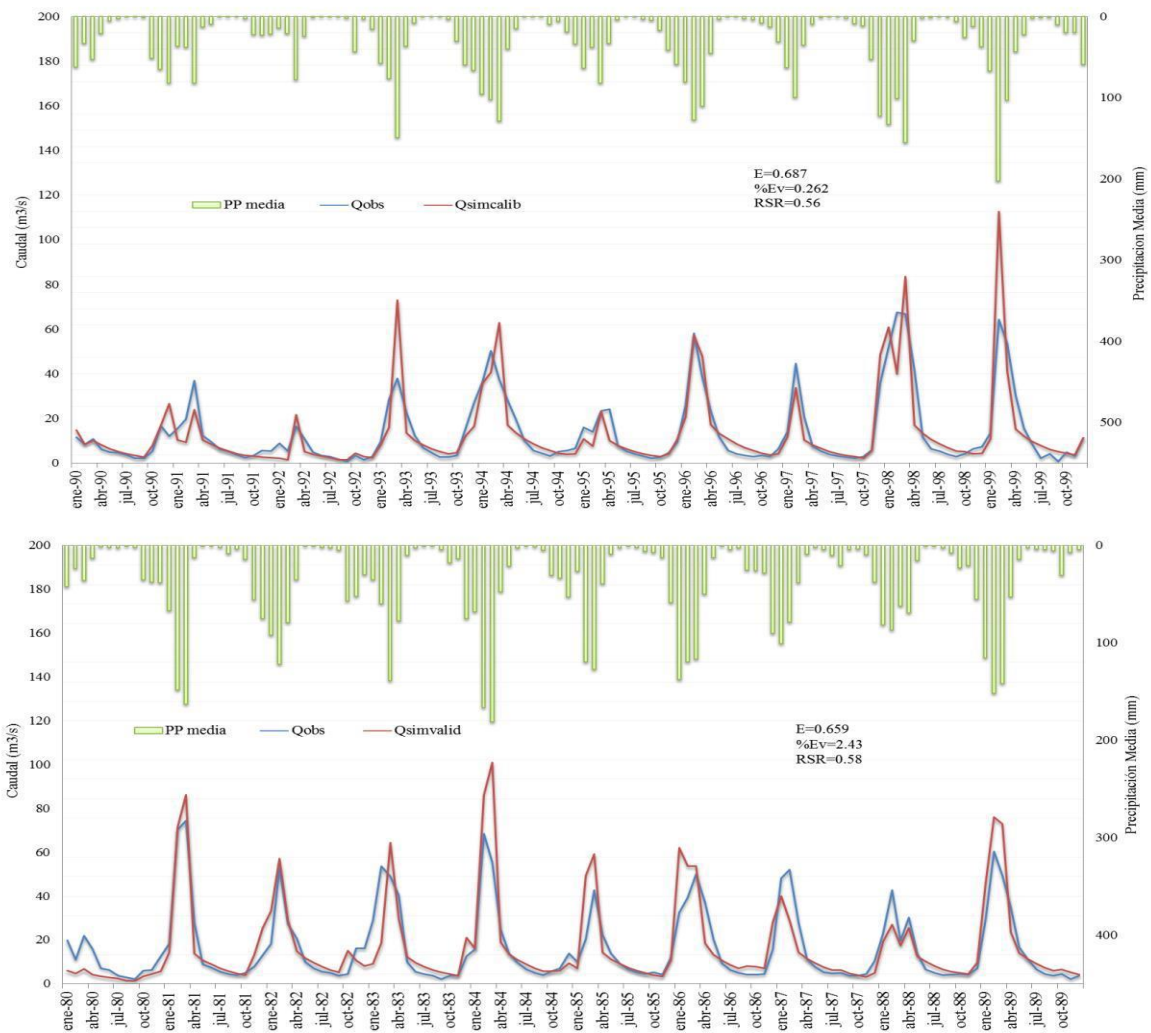


Figura 9: Hidrograma mensual del caudal observado, simulado y precipitación media de la calibración (panel superior) y validación (panel inferior) en la estación Santo Domingo.

Fuente: Tomado de Palomino (2015)

- Proyecto «Balance hídrico usando un modelo hidrológico distribuido en la unidad hidrográfica río Pindo, provincias de Loya y El Oro, Ecuador»

El ámbito de estudio del proyecto fue la cuenca del río Pindo, ubicada al sur de Ecuador, en la que se le aplicó el modelo hidrológico distribuido Tetis a escala diaria. Se realizó tanto la calibración como la validación del modelo, las cuales se clasificaron en la categoría de muy buena. Luego, se procedió a simular caudales en la zona alta y baja de la cuenca, de lo cual se observó que la precipitación, infiltración, escorrentía directa e interflujo se encuentran en mayor proporción en la zona alta, mientras que en la parte baja predomina la evapotranspiración y el flujo base (Tapia 2016).

Adicionalmente, se realizó un análisis de variabilidad de la precipitación, temperatura y caudal, de lo cual se encontró un incremento en los dos primeros, mientras que en lo que respecta a variabilidad hidrológica, esta no existe, por lo cual se concluyó que la cuenca se encuentra en un proceso de amortiguamiento de los cambios climáticos que se producen en ella (Tapia 2016).

También se encontró que a pesar de la existencia de eventos intensos de lluvia, esto no genera un aumento en los caudales de salida, debido a que los ecosistemas naturales como el de páramo y bosque natural regulan el funcionamiento hidrológico de la cuenca, lo cual evita un eventual fenómeno de inundación. Asimismo, se observó que el mayor aporte a la escorrentía total lo da el interflujo, debido a las condiciones del suelo y de la cobertura vegetal (Tapia 2016).

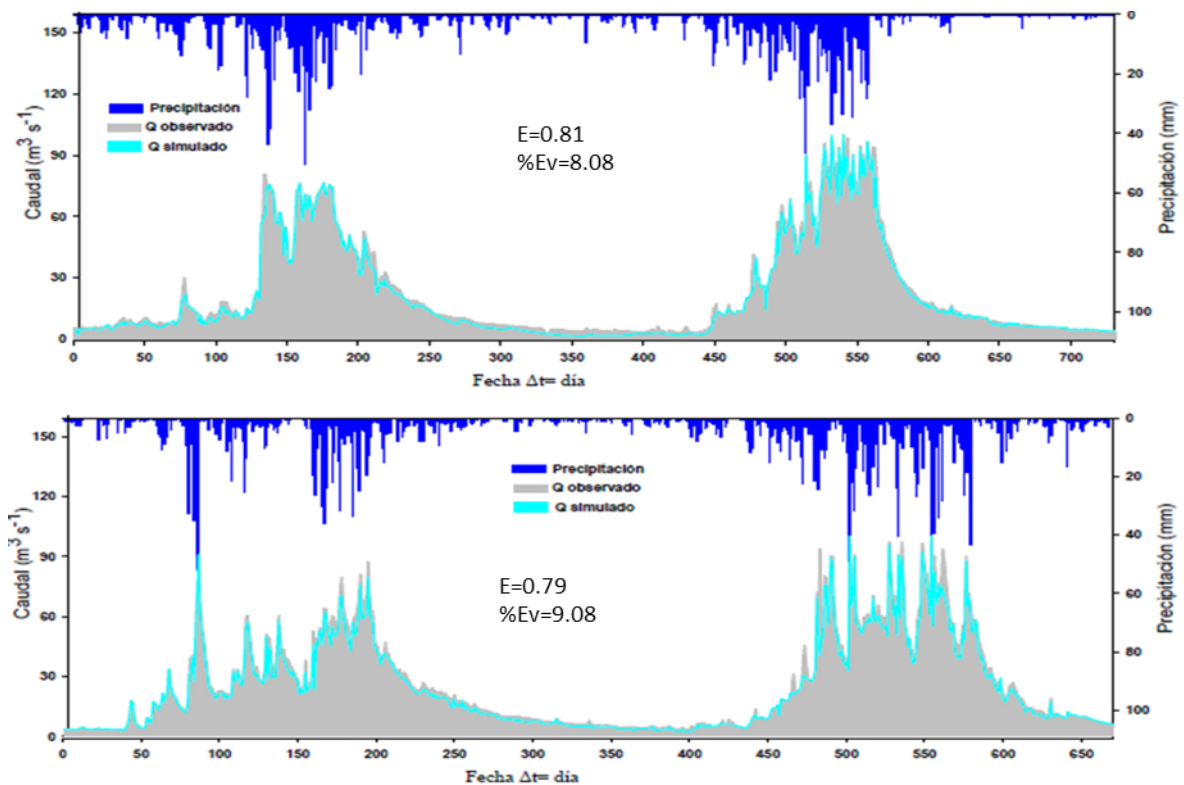


Figura 10: Hidrograma generado de la calibración (panel superior) y validación temporal (panel inferior) de los caudales observados a escala diaria en la estación Pindo AJ Amarillo.

Periodo de calibración: 1 de octubre de 2004 al 1 de octubre de 2006.

Periodo de validación: 2 de octubre de 2006 al 1 de agosto de 2008.

Fuente: Tomado de Tapia (2016).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en la cuenca del río Lurín que desemboca en el Océano Pacífico con un área drenada de 1645.7 km², un caudal medio de 4.3 m³/s, una altitud máxima de 5242 m.s.n.m. y está comprendida entre las coordenadas geográficas 76° 10' y 76° 88' de longitud Oeste, y 11° 80' y 12° 20' de latitud Sur. Se localiza en el departamento de Lima, ocupando las provincias de Lima y Huarochiri. Limita por el Norte con la cuenca del Rímac, por el Sur y el Este con la cuenca del río Mala y por el Oeste con el Océano Pacífico.

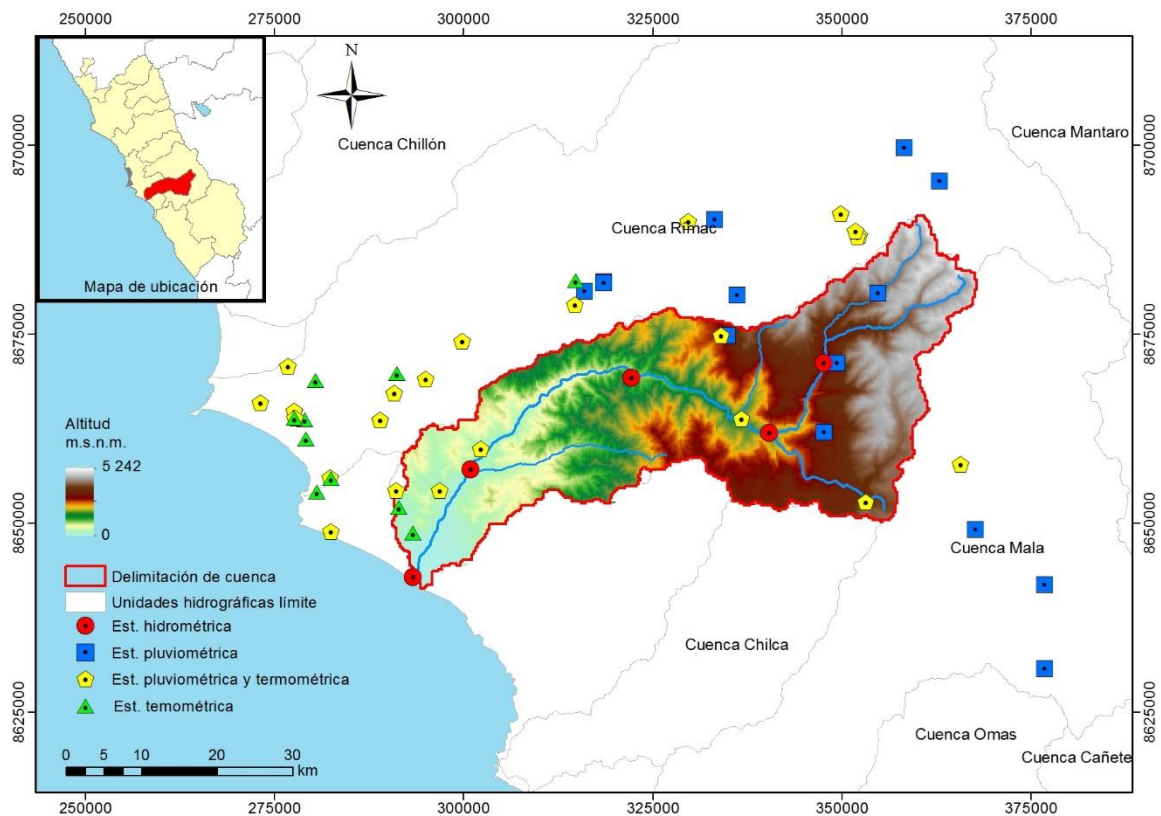


Figura 11: Variabilidad espacial de la altitud en la cuenca del río Lurín y ubicación de estaciones pluviométricas, termométrica e hidrométricas

Fuente: Elaborado con base en un MED de 30 x 30 m de píxel obtenido de LP DAAC (2017)

3.1.1. HIDROMETEOROLOGÍA

El río Lurín tiene una longitud de 110.4 km con pendiente promedio de 10.9%. Desde su curso superior hasta la localidad de San Damián, la pendiente es de 14.9%; de su curso medio hasta la localidad de Manchay, 10.8%; y en el curso inferior, 3.1%.

Respecto a la precipitación, se considera como la fuente principal de agua en la cuenca. La época de lluvias se da de noviembre a abril, mientras que de mayo a octubre, la precipitación es escasa (PROFODUA 2006). La precipitación media anual va desde escasos milímetros, en la costa árida, hasta más de 500 mm en la cuenca alta,

El río Lurín posee un régimen de descargas regular y torrencioso, cuyos registros indican caudales desde 0 m³/s hasta 100 m³/s. Su caudal promedio anual se estima en 4.43 m³/s, el cual representa un volumen medio anual 139.70 millones de m³. La formación de su cauce principal se inicia en el río Chalilla que al converger con la quebrada Taquia forma el río Lurín, el cual recibe el aporte de numerosos ríos y quebradas: Taquia, Lahuaytambo, Canchahuara y Tinajas, por la margen izquierda, y Chamacha, por la margen derecha. Su red de drenaje es densa, sin embargo, varios de sus afluentes no aportan continuamente al cauce principal, ya que son derivados para fines agrícolas durante la época de escasez de lluvias (PROFODUA 2006).

Por otro lado, según PROFODUA (2006), su zona glaciar ha disminuido en un 85.20% en 37 años, el cual ha llegado a ser 0.76 km². Asimismo, existen lagunas como la laguna Yanacocha, que es suministro para los bloques de riego de San Damián y Concha, la laguna Atococha y Tres Lagunas, que son el suministro de los sectores de Concha y Sunicancha. Algunas lagunas se encuentran al pie de los glaciares y sus aguas provienen del deshielo de los mismos. También existen manantiales en la parte alta de la cuenca que son usados para riego (PROFODUA 2006).

En lo concerniente a las estaciones meteorológicas e hidrométricas que se encuentran dentro y en los alrededores de la cuenca de Lurín, en el Cuadro 2 se presenta una lista de las estaciones identificadas en el presente estudio.

Asimismo, en la Figura 12 se aprecia el mapa de clasificación climática correspondiente a la cuenca en estudio. La zona B (i) D' H3 se caracteriza por ser lluviosa en todas las estaciones del año, a excepción de invierno, así como, por una temperatura semifrígida y una húmeda relativa categorizada como húmeda. Esta última característica es compartida por

las zonas C (o, i, p) B'2 H3 y C (o, i, p) B'3 H3 que poseen una temperatura templada y semifría, respectivamente, mientras que en ambas su clima es semiseco y no presentan deficiencia de lluvia en verano. Por las características expuestas, dado que son las zonas que mayor contribución presentan durante la época de avenidas, en conjunto darán origen a la cuenca. Por último, la zona E (d) B'1 H3 tiene una clima semicálido y desértico, así como escasez de lluvia en todas las estaciones del año y una humedad relativa clasificada como húmeda. Por lo expuesto, esta zona es la de menor contribución de agua a la cuenca, por lo tanto, el área que ocupa se le denominará cuenca seca.

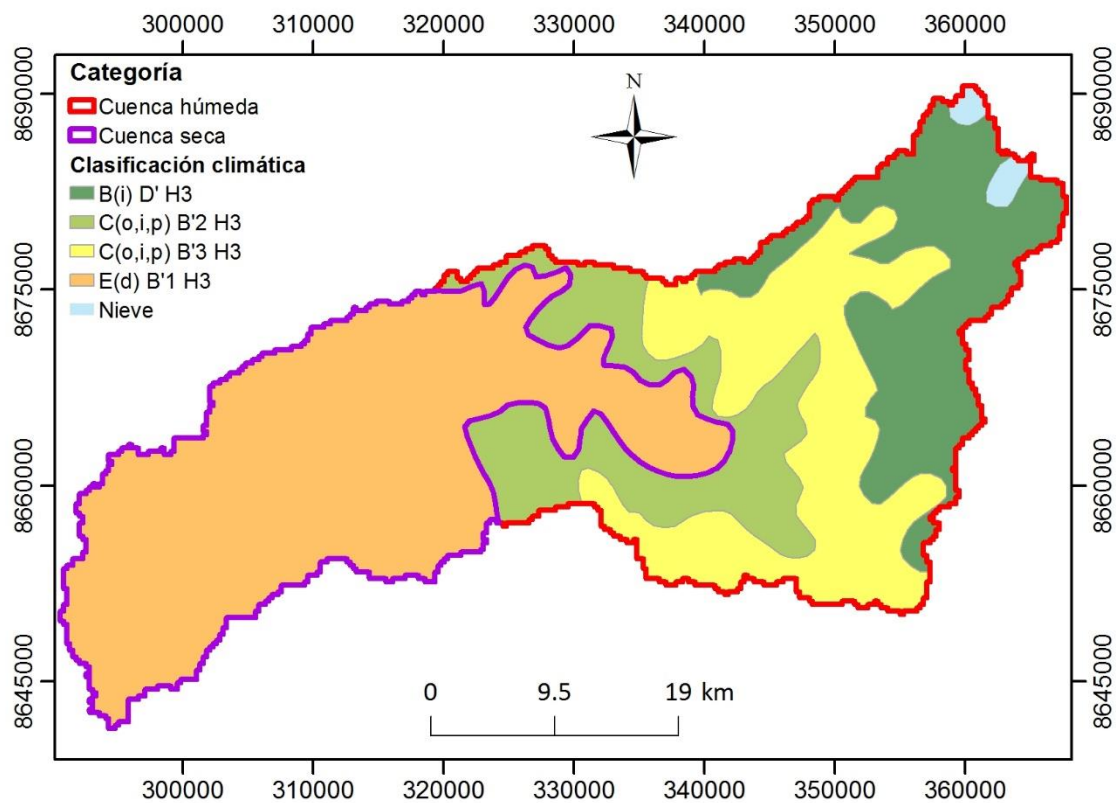


Figura 12: Clasificación climática de la cuenca del río Lurín

Fuente: Elaborado con base en el mapa de clasificación climática del SENAMHI (2002)

Cuadro 2: Lista de estaciones de hidrometeorológicas de SENAMHI

Estaciones	Altitud (m.s.n.m.)	Longitud (° O)	Latitud (° S)	Datos ¹	Provincia	Distrito
Antapucro	1300	76.63	12.03	H	Huarochiri	Antioquia
Cruz De Laya	1910	76.47	12.10	H	Huarochiri	Antioquia
Desembocadura L-1	6	76.90	12.27	H	Lima	Lurín
Manchay	229	76.83	12.14	H	Lima	Cieneguilla
San Damián	2842	76.40	12.02	H	Huarochiri	San Damián
Ayaviri	3228	76.13	12.38	P	Yauyos	Ayaviri
Canchacalla	2554	76.53	11.85	P	Huarochiri	San Mateo De Otao
Chalilla	3975	76.33	11.93	P	Huarochiri	San Damián
Chaute	2215	76.50	11.94	P	Huarochiri	San Bartolomé
Chosica	906	76.69	11.93	P	Lima	Lurigancho
Huancata	2700	76.22	12.22	P	Huarochiri	San Lorenzo De Quinti
Huañec	3205	76.14	12.29	P	Yauyos	Huañec
Langa	2860	76.42	12.13	P	Huarochiri	Langa
San Damián	3248	76.38	12.02	P	Huarochiri	San Damián
San José de Parac	3650	76.26	11.80	P	Huarochiri	San Mateo
Santa Eulalia	934	76.67	11.92	P	Huarochiri	Santa Eulalia
Santa Eulalia	959	76.67	11.92	P	Huarochiri	Santa Eulalia
Santiago de Tuna	2921	76.52	11.98	P	Huarochiri	Santiago De Tuna
San Mateo de Huanchor	3015	76.30	11.76	P	Huarochiri	San Mateo
Antioquia	1839	76.50	12.08	P + T	Huarochiri	Antioquia
Campo de Marte	123	77.04	12.07	P + T	Lima	Jesús María
Campo de Marte	123	77.04	12.07	P + T	Lima	Jesús María
Campo de Marte CGFAP	123	77.04	12.07	P + T	Lima	Jesús María
Cieneguilla	307	76.82	12.12	P + T	Lima	Cieneguilla
Huarochiri	3146	76.23	12.13	P + T	Huarochiri	Huarochiri
Huilpas	3318	76.36	11.86	P + T	Huarochiri	Matucana
Kutoshica	3318	76.36	11.87	P + T	Huarochiri	Matucana
La Cantuta	836	76.70	11.95	P + T	Lima	Lurigancho
Las Palmas	74	77.00	12.15	P + T	Lima	Santiago De Surco
Lima Este	510	76.92	12.05	P + T	Lima	Ate
Manchay Bajo	164	76.87	12.17	P + T	Lima	Pachacamac
Matucana	2348	76.38	11.84	P + T	Huarochiri	Matucana
Matucana	2479	76.38	11.84	P + T	Huarochiri	Matucana
Modelo	123	77.03	12.08	P + T	Lima	Lince
Ñaña	522	76.84	11.99	P + T	Lima	Lurigancho
Pantanos de Villa	40	76.99	12.20	P + T	Lima	Chorrillos
Rímac	109	77.05	12.02	P + T	Lima	Rímac
San Lázaro de Escomarca	3600	76.35	12.18	P + T	Huarochiri	Langa
San Marcos	72	77.08	12.06	P + T	Lima	Lima
San Mateo de Otao	3506	76.56	11.85	P + T	Huarochiri	San Mateo De Otao
Santa Clara	436	76.88	12.03	P + T	Lima	Ate
Santiago de Tuna	2908	76.52	11.98	P + T	Huarochiri	Santiago De Tuna
Sede Central	112	77.04	12.08	P + T	Lima	Jesús María
Soca	3135	76.36	11.86	P + T	Huarochiri	Matucana
Villa María del Triunfo	292	76.92	12.17	P + T	Lima	Villa María Del Triunfo
Von Humboldt	247	76.94	12.08	P + T	Lima	La Molina
Von Humboldt	247	76.94	12.08	P + T	Lima	La Molina
Ate	362	76.92	12.03	T	Lima	Ate
Chorrillos	37	77.02	12.17	T	Lima	Chorrillos
Chosica	1237	76.69	11.93	T	Lima	Lurigancho
Hospital Central FAP	158	77.03	12.10	T	Lima	Miraflores
Las Palmas	73	77.00	12.15	T	Lima	Santiago De Surco
Limatambo	123	77.02	12.03	T	Lima	San Juan De Lurigancho
Lince	109	77.03	12.08	T	Lima	Lince
Tablada de Lurín	287	76.92	12.19	T	Lima	Villa María Del Triunfo

1: P: pluviométrica, T: termométrica, P+T: pluviométrica y termométrica, H: hidrométrica

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

3.1.2. COBERTURA VEGETAL

Respecto a la cobertura vegetal, se usó como fuente el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal del MINAM (2015) que se presenta en la Figura 13, mientras que en el Cuadro 3 puede apreciarse los tipos de cobertura vegetal existentes en la cuenca de estudio, así como el área que ocupan cada uno de estos.

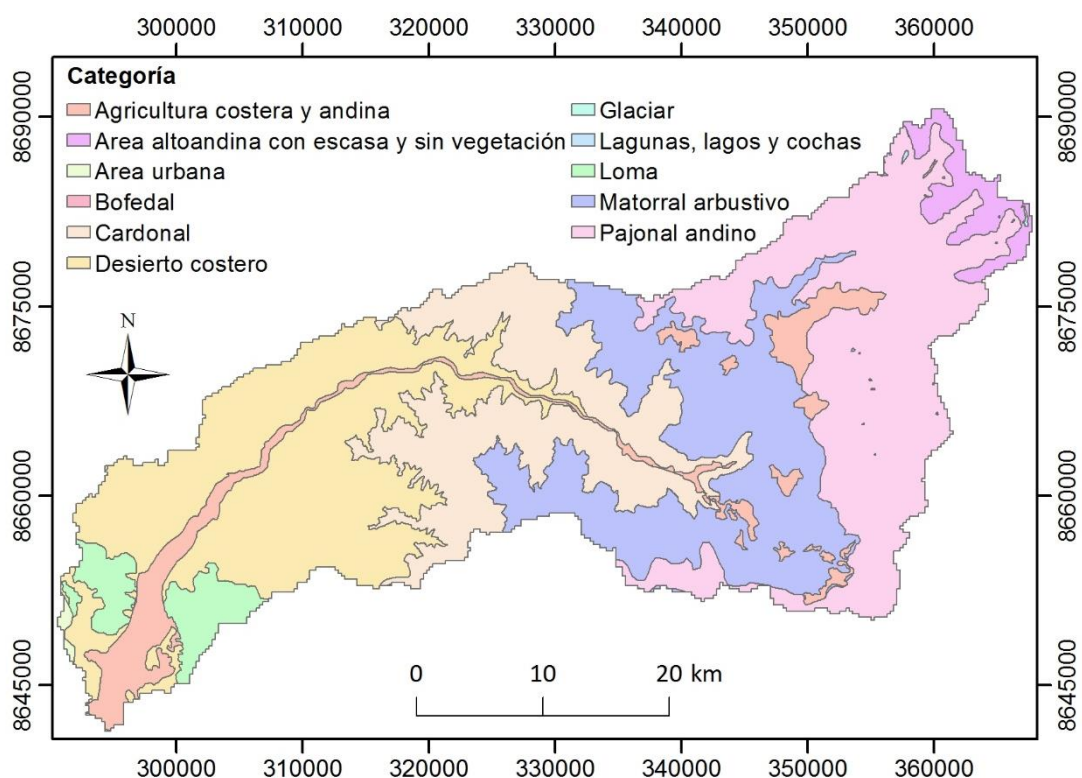


Figura 13: Distribución espacial de los 11 tipos de cobertura en la cuenca de Lurín

Fuente: Elaborado con base en el mapa de cobertura vegetal obtenido del MINAM (2015)

Cuadro 3: Tipos y área de cobertura vegetal en la cuenca de Lurín según el MINAM

Tipo de cobertura	Área (km ²)
Agricultura costera y andina	116.6
Área altoandina con escasa y sin vegetación	42.8
Área urbana	2.8
Bofedal	0.3
Cardonal	279.9
Desierto costero	421.6
Glaciar	0.3
Lagunas, lagos y cochas	0.5
Loma	57.7
Matorral arbustivo	323.4
Pajonal andino	397.0

Fuente: Elaborado con base en el mapa de cobertura vegetal del MINAM (2015)

A partir de la identificación del tipo de vegetación existente en la cuenca del río Lurín, se estimaron los valores de kc mensuales e interceptión de lluvia para cada tipo de cobertura. Cabe señalar que no existen estándares establecidos para los valores de kc e interceptión de lluvia para los tipos de cobertura vegetal identificados, por lo cual, la estimación de dichos parámetros se realizó en base a lo expuesto por PROFODUA (2006) y Ramírez (2012). A continuación, se describe la estimación realizada:

a. AGRICULTURA COSTERA Y ANDINA

Tal como lo explica MINAM (2015), en este tipo de cobertura vegetal se realizan actividades agropecuarias y engloba tanto áreas activas como en descanso que se ubican en los valles que atraviesan el desierto costero y que ascienden a la vertiente occidental andina hasta limitar con el pajonal altoandino.

En base a información expuesta por PROFODUA (2006), se tomará como referencia los valores de kc de los cultivos que se muestran en el Cuadro 4, de los cuales se calculará el promedio de los mismos, de modo que dicho promedio sea el valor representativo de kc para este tipo de cobertura. Por otra parte, en lo concerniente al valor de interceptión de lluvia, se considerará que este asciende a 1 mm, tomando como referencia a Ramírez (2012), quien indica que, para tierras regadas permanentemente y árboles frutales, el valor de interceptión de lluvia es igual a 1 mm.

Cuadro 4: Valores de kc para cultivos del área de agricultura

Cultivo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Alfalfa	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Ají amarillo (invierno)	--	--	--	0.50	0.69	0.94	0.91	--	--	--	--	--
Ají amarillo (verano)	0.50	0.69	0.94	0.91	--	--	--	--	--	--	--	--
Berenjena (invierno)	--	--	--	--	--	--	--	0.31	0.75	1.05	0.97	--
Cebolla cabeza (verano)	0.43	0.64	0.75	0.82	0.76	--	--	--	--	--	--	--
Chala (invierno)	--	--	--	--	--	--	--	0.50	1.00	0.35	--	--
Chala (verano)	0.50	1.00	0.35	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Flores	0.57	0.55	0.52	0.55	0.55	0.60	0.60	0.60	0.65	0.64	0.63	0.60
Frijol (invierno)	--	--	--	--	--	--	--	--	0.45	0.65	0.75	0.50
Frijol (verano)	--	0.45	0.65	0.75	0.50	--	--	--	--	--	--	--
Frutales	0.75	0.65	0.65	0.65	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Grass jardínes	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Hortalizas (invierno)	--	--	--	--	--	--	--	0.52	0.89	0.62	--	--
Hortalizas (verano)	0.52	0.89	0.62	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Maíz choclo (invierno)	--	--	--	--	--	--	--	--	0.43	0.70	1.04	1.00
Maíz choclo (verano)	0.43	0.70	1.04	1.00	--	--	--	--	--	--	--	--
Tomate (invierno)	--	--	--	--	--	--	--	--	0.64	0.75	0.82	0.76
Tomate (verano)	0.75	0.82	0.76	--	--	--	--	--	--	--	--	0.64
Tuna	0.92	0.82	--	--	--	--	--	0.41	0.55	0.75	1.05	1.03
Vainitas (invierno)	--	--	--	--	--	--	--	0.45	0.65	0.75	0.50	--

«continuación»

Vainitas (verano)	0.65	0.75	0.50	--	--	--	--	--	--	--	--	0.45
Zapallito italiano (invierno)	--	--	--	--	--	--	--	0.45	0.70	0.46	--	--
Zapallito italiano (verano)	0.70	0.46	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.45
Promedio	0.66	0.73	0.72	0.78	0.72	0.82	0.81	0.58	0.71	0.71	0.83	0.73

Fuente: Adaptado de PROFODUA (2006)

b. PAJONAL ANDINO

Según el MINAM (2015), este tipo de cobertura vegetal está conformado principalmente por herbazales en la porción superior de la cordillera de los Andes entre 3800 y 4800 m.s.n.m. Por esta razón y en base a lo expuesto por Ramírez (2012), quien toma como guía la propuesta N° 56 de la FAO, se adoptará un kc continuo e igual a 0.7, tal como se muestra en el Cuadro 5. Por otra parte, en lo concerniente a valores de intercepción de lluvia, este se asumirá igual a lo expuesto por Ramírez (2012), quien toma un valor de 3 mm para la cobertura en mención.

Cuadro 5: Valores de kc para pajonal andino

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	I*
0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	3.00

Nota: (*) I: intercepción.

Fuente: Adaptado de Ramírez (2012)

c. ÁREA ALTO ANDINA CON ESCASA Y SIN VEGETACIÓN

Según Ramírez (2012), el valor de kc para este tipo de cobertura estará influenciado por la vegetación que se encuentran cerca a esta zona. Por este motivo, ya que la cobertura vegetal más cercana es el pajonal andino, se procedió a promediar sus valores de kc con los de suelo desnudo (ver Cuadro 6). En lo concerniente a intercepción de lluvia, se tomará como referencia lo expuesto por Ramírez (2012), quien para áreas con escasa vegetación toma dicho valor como 0 mm.

Cuadro 6: Valores de kc para vegetación escasa

Cobertura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	I ¹
Pajonal andino	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.00
Suelo desnudo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Vegetación escasa	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.00

I: I significa intercepción.

Fuente: Adaptado de Ramírez (2012)

d. ÁREA URBANA

Según Ramírez (2012), al asumir que en este tipo de cobertura de suelo no existe ningún tipo de vegetación, se tiene que los valores de kc mensuales son iguales a uno durante todo el año. Respeto a su valor de intercepción de lluvia, se tomará el valor expuesto por Ramírez (2012), quien asigna un valor de 0 mm para áreas con tejido urbano continuo (ver Cuadro 7).

Cuadro 7: Valores de kc para áreas urbanas

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	I ¹
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00

1: I significa intercepción.

Fuente: Adaptado de Ramírez (2012)

e. BOFEDAL

Es un ecosistema hidromórfico, el cual también es conocido como oconal o turbera (MINAM 2015). Zea (2015) estudió los valores de kc para este tipo de cobertura, los cuales serán tomados como referencia para el presente estudio y cuyos valores se muestran en el Cuadro 8. Respecto a su valor de intercepción, al ser una cobertura de tipo turbera, se tomará un valor de 0 mm, según lo expuesto por Ramírez (2012).

Cuadro 8: Valores de kc para bofedal

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	I ¹
1.57	1.40	1.33	1.08	0.91	0.97	0.89	0.89	0.96	1.09	1.29	1.52	0.00

1: I significa intercepción.

Fuente: Adaptado de Zea (2015) y Ramírez (2012)

f. DESIERTO COSTERO

Como lo explica MINAM (2015), en este tipo de cobertura no existe vegetación, por lo tanto, su kc será constante e igual a uno, tal como se muestra en el Cuadro 9. Asimismo, su valor de intercepción de lluvia será 0 mm.

Cuadro 9: Valores de kc para desierto costero

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	I ¹
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00

1: I significa intercepción.

Fuente: Adaptado de Ramírez (2012)

g. MATORRAL ARBUSTIVO

En relación a lo manifestado por Ramírez (2012), tanto los valores mensuales de kc e intercepción de lluvia para este tipo de cobertura vegetal se consideran según lo expuesto en el Cuadro 10.

Cuadro 10: Valores de kc para matorral arbustivo

Valores de kc												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	I ¹
0.80	0.80	0.80	0.80	0.75	0.70	0.60	0.60	0.60	0.65	0.70	0.75	5.00

1: I significa intercepción.

Fuente: Adaptado de Ramírez (2012)

h. CARDONAL

Dado que este tipo de cobertura vegetal está influenciada por condiciones de aridez y, a su vez, predominan comunidades de suculentas, incluyendo también especies arbustales o subarbustos (MINAM 2015), se asumirán valores de kc e intercepción de lluvia iguales al promedio de los valores de expuestos tanto para desierto costero como matorral arbustivo, como se muestra en el Cuadro 11.

Cuadro 11: Valores de kc para cardonal

Cobertura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	I ¹
Desierto costero	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5.00
Matorral arbustivo	0.80	0.80	0.80	0.80	0.75	0.70	0.60	0.60	0.60	0.65	0.70	0.75	0.00
Cardonal	0.90	0.90	0.90	0.90	0.88	0.85	0.80	0.80	0.80	0.83	0.85	0.88	2.50

1: I significa intercepción.

Fuente: Adaptado de Ramírez (2012)

i. GLACIAR

No posee cobertura vegetal, por lo que tendrá un valor de kc igual a uno, el cual será constante durante todo el año. Además, su valor de intercepción de lluvia será 0 mm (ver Cuadro 12).

Cuadro 12: Valores de kc para glaciar

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	I ¹
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00

1: I significa intercepción.

Fuente: Adaptado de Ramírez (2012)

j. LAGUNAS, LAGOS Y COCHAS

Debido a que no existe ningún tipo de vegetación en este tipo de cobertura, se asume que el valor de kc es igual a uno y es constante durante el año, tal como se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13: Valores de kc para cuerpos de agua

Valores de kc												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	I ¹
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00

I: I significa intercepción.

Fuente: Adaptado de Ramírez (2012)

k. LOMA

Es una formación vegetal del tipo herbácea que se produce de las bajas temperaturas de las aguas marinas continentales (corriente peruana de Humboldt) que producen capas densas de neblina durante el invierno austral (junio a septiembre). En base a ello, se considerará que el inicio y final de su ciclo vegetativo corresponde a los meses de junio y septiembre, respectivamente. Tomando como referencia lo expuesto por Ramírez (2012), su kc será 0.5, ya que se asumirá que su cobertura se encontrará entre 25% y 40%, mientras que para los meses restantes, se asumirá un porcentaje mayor, teniendo un kc de 0.7. Respecto a los meses en los cuales no existe vegetación, como es de octubre a mayo, se asumirá un kc igual a 1.

En lo concerniente a la intercepción de lluvia, dado que la mayor parte del año el área de la cobertura en cuestión permanece sin vegetación se asumirá un valor igual a 0 mm (ver Cuadro 14).

Cuadro 14: Valores de kc para loma

Valores de kc												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	I*
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.70	0.70	0.50	1.00	1.00	1.00	0.00

Nota: (*) I: intercepción.

Fuente: Adaptado de Ramírez (2012)

Finalmente, otro de los aspectos importantes de la cobertura vegetal es la profundidad de raíces, así como su influencia en el almacenamiento superficial, para lo cual se realizó una estimación en base al estudio desarrollado por Ramírez (2012) quien determinó los valores de dichos aspectos para coberturas vegetales similares a las evaluadas en el presente estudio, cuyos valores se muestran en el Cuadro 15.

Cuadro 15: Valores de profundidad de raíces y almacenamiento superficial

Cobertura	Profundidad de raíces (mm)	Almacenamiento superficial (mm)
Agricultura costera y andina	0.50	6.00
Pajonal andino	0.60	6.00
Área alto andina con escasa y sin vegetación	0.02	3.00
Área urbana	0.00	0.00
Bofedal	0.00	0.00
Desierto costero	0.00	0.00
Matorral arbustivo	0.70	5.00
Cardonal	0.35	2.50
Glaciar	0.00	0.00
Lagunas, lagos y cochas	0.00	0.00
Loma	0.60	0.00

Fuente: Adaptado de Ramírez (2012)

A fin de analizar la variación de la cobertura vegetal en la cuenca del río Lurín a lo largo del tiempo, se utilizaron imágenes satelitales tomadas en distintas fechas que fueron reclasificadas, de modo que pudieran apreciarse las coberturas expuestas en el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal del MINAM (2015).

Cabe destacar que entre las coberturas que no pudieron representarse mediante el método de reclasificación fueron las de área urbana y loma, así como, los bofedales y las lagunas, lagos y cochas, lo cual se debió a la resolución espacial de las imágenes satelitales utilizadas. Sin embargo, es importante indicar que el objetivo principal del presente análisis es analizar la variación de las coberturas que ocupan mayor área en la cuenca en cuestión, por lo cual la representación de bofedales, lagunas, lagos y cochas no influenciaría en el presente análisis, dado que dichos cuerpos de agua representan menos de 1 km² del área total de la cuenca.

En lo concerniente a la cobertura vegetal tipo loma, esta no pudo ser representada adecuadamente, debido a que dicha cobertura se presente en los meses de junio a septiembre, en los que la presencia de nubes impide una adecuada visualización mediante imágenes satelitales, mientras que en los meses restantes, dicha cobertura desaparece para formar un paisaje desértico. Por lo cual, se podrá visualizar como parte de la cobertura del desierto costero.

Respecto al área urbana, en el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal del MINAM (2015) ocupa 2.8 km², es decir, el 0.7 por ciento del total de la cuenca. Asimismo, se puede apreciar en la Figura 14 que las zonas urbanas se encuentran aguas debajo de la estación

Manchay, la cual será la estación hidrométrica más baja en la cual se realizará la calibración, validación y simulación de caudales. En razón de lo expuesto, la influencia del área urbana en la respuesta hidrológica de la cuenca del río Lurín es mínima, debido al bajo porcentaje de área que ocupa en la cuenca, así como a la ubicación aguas abajo de la misma respecto a las estaciones hidrométricas en base a las que se realizarán los análisis del presente estudio.

Asimismo, desde la Figura 15 a la Figura 18 se puede apreciar unos mapas de clasificación de coberturas vegetales elaborados a partir de imágenes satelitales *Landsat* de distintos años. En dichos mapas se puede apreciar que las coberturas identificadas han mantenido cierta similitud con el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal del MINAM (2015).



Figura 14: Ubicación del área urbana en la cuenca del río Lurín

Fuente: Elaborado con base en una imagen satelital obtenida de Esri

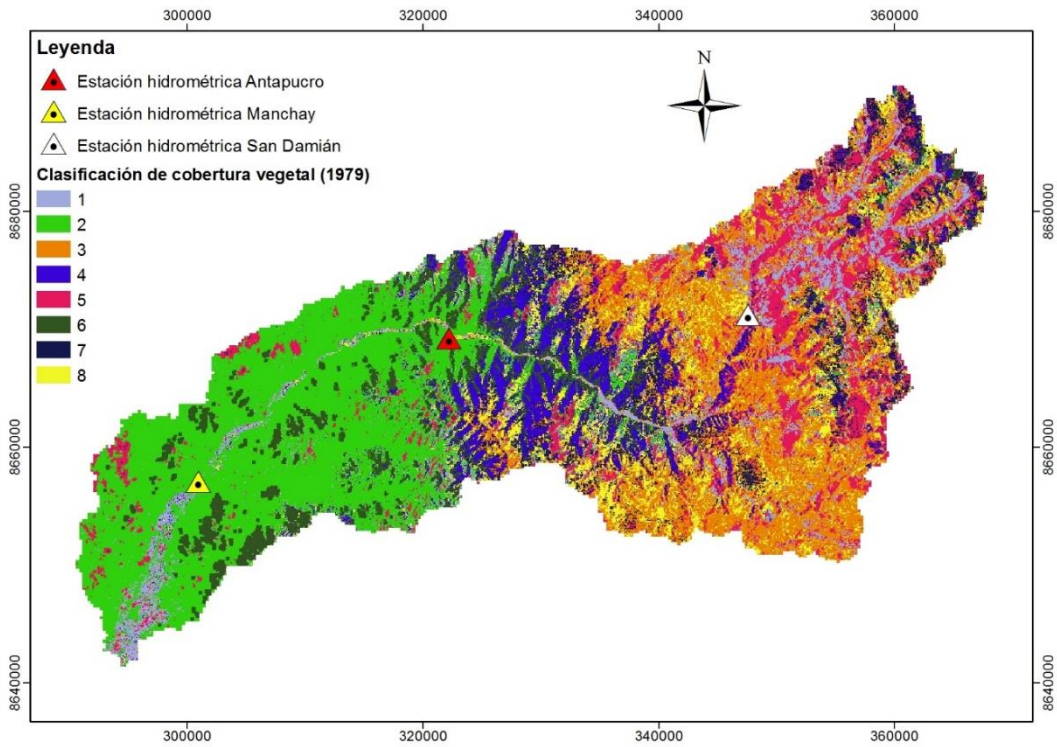


Figura 15: Distribución espacial de los tipos de cobertura en la cuenca del río Lurín en 1979

Fuente: Elaborado a partir de una imagen satelital *Landsat* 4-5 del 01 de febrero de 1979 obtenido de la USGS

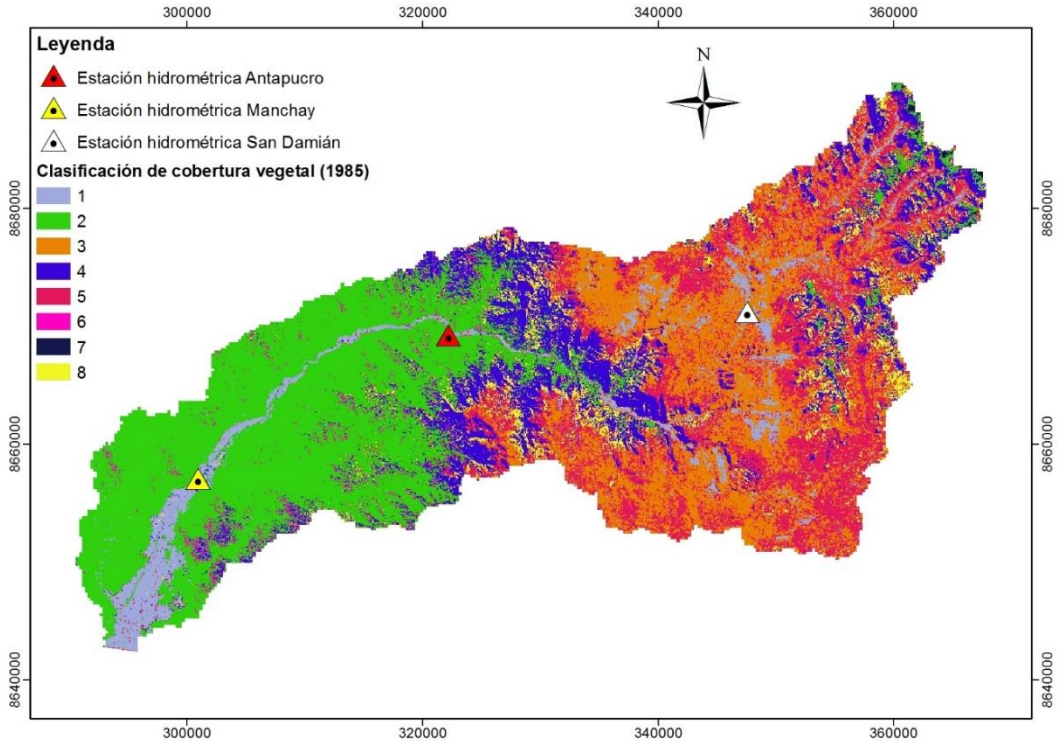


Figura 16: Distribución espacial de los tipos de cobertura en la cuenca del río Lurín en 1985

Fuente: Elaborado a partir de una imagen satelital *Landsat* 4-5 del 18 de mayo de 1985 obtenido de la USGS

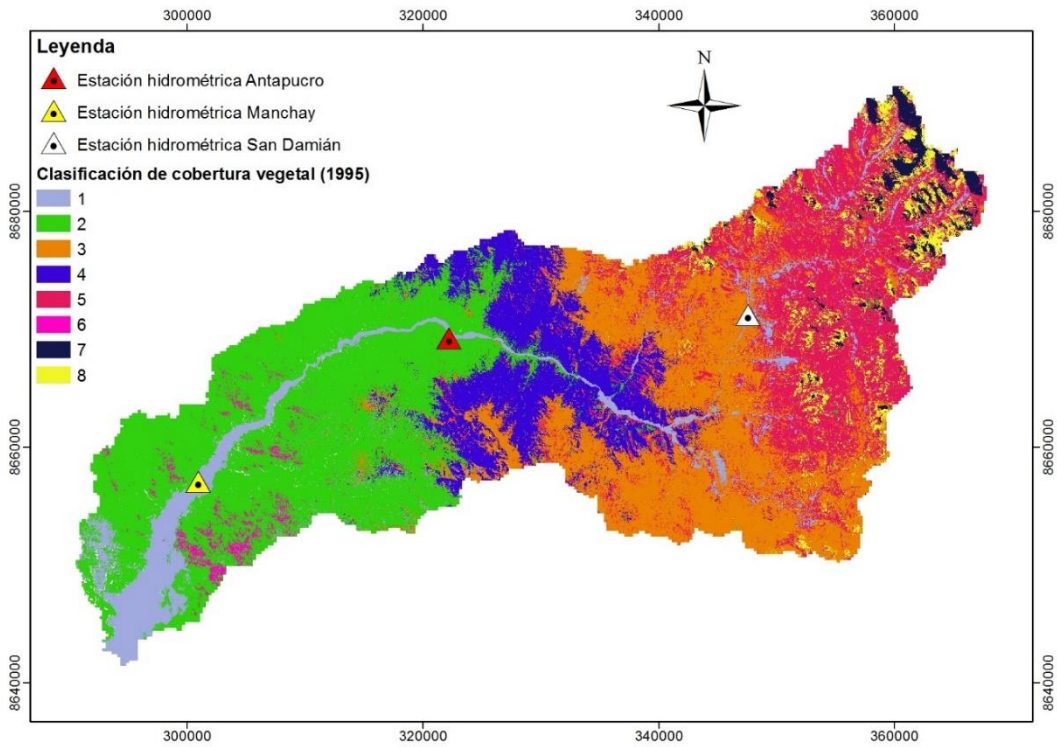


Figura 17: Distribución espacial de los tipos de cobertura en la cuenca del río Lurín en 1995

Fuente: Elaborado a partir de una imagen satelital *Landsat* 4-5 del 14 de mayo de 1995 obtenido de la USGS

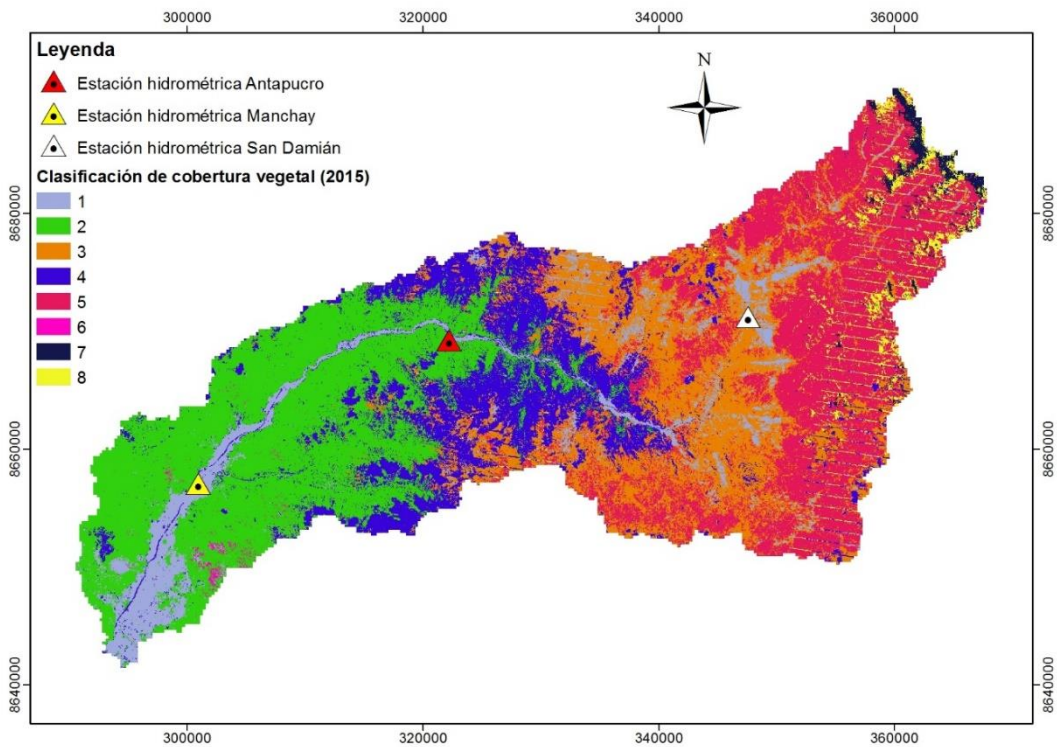


Figura 18: Distribución espacial de los tipos de cobertura en la cuenca del río Lurín en 2015

Fuente: Elaborado a partir de una imagen satelital *Landsat* 7 del 27 de mayo de 2015 obtenido de la USGS

3.1.3. INFORMACIÓN ESPACIAL

Se usó un modelo de elevación digital (MED), el cual se descargó de la página *web* del *Land Processes Distributed Active Archive Center*. A partir de este mapa, mediante las herramientas de ArcGIS 10.1, se obtuvieron los mapas de dirección de flujo, celdas acumuladas, pendiente y velocidad de flujo en ladera.

Asimismo, se usaron también mapas de parámetros hidráulicos, entre los cuales se encuentran el de almacenamiento estático, conductividad hidráulica del suelo y del acuífero.

Según Ramírez (2012), el mapa de almacenamiento estático (H_u) es la suma del mapa de almacenamiento capilar y almacenamiento superficial. El mapa de almacenamiento capilar (H_u') se obtiene de multiplicar los mapas de agua disponible en la capa superior del suelo y de profundidad de raíces (Ramírez 2012). El mapa de agua disponible en la capa superior del suelo se obtuvo de la Harmonized World Soil Database, mientras que el de profundidad de raíces se elaboró a partir de los datos expuestos por Ramírez (2012), los cuales se expusieron en el Cuadro 15.

Por otro lado, el mapa de almacenamiento superficial (H_u'') es la suma de los mapas de almacenamiento por pendiente y por cobertura vegetal (Ramírez 2012). Según Ramírez (2012), el almacenamiento por pendiente se estima de la siguiente forma:

$$\text{Almacenamiento por pendiente} = 10 - 1.3 \times (\text{pendiente})$$

Esta ecuación indica que el almacenamiento es 10 mm en zonas de pendiente cero, pero si es mayor, el almacenamiento disminuye en 1.3 multiplicado por la pendiente (Ramírez 2012). Por otra parte, el mapa de almacenamiento por cobertura vegetal se estimó en base al tipo de cobertura vegetal y la información expuesta por Ramírez (2012), lo cual también fue mostrado en el Cuadro 15.

Respecto a los mapas de conductividad hidráulica del suelo (K_s) y acuífero (K_p), se estimaron a partir de los mapas elaborados por Gleeson *et al.* (2014) y Gleeson *et al.* (2011), respectivamente. También se usó información expuesta por Fetter (1994).

Según Ramírez (2012), los mapas de conductividades hidráulicas horizontales del suelo y acuífero se asumen iguales a K_s y K_p , respectivamente; mientras que el de conductividad hidráulica saturada del estrato rocoso se estimó como $0.1 \cdot K_p$. En el Cuadro 16 se presentan las características de los datos de entrada en relación a las fuentes de las cuales fueron extraídas y al año de dicha fuente.

Cuadro 16: Resumen de información hidrometeorológica y espacial empleada

Información utilizada			Fuente	Año
Modelo de elevación digital (30 x 30 m)			<i>Land Processes Distributed Active Archive Center</i> (LP DAAC, 2017)	2011
Mapa de cobertura vegetal			Ministerio del Ambiente (MINAM)	2015
Información hidrometeorológica			Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)	1970 - 2017
Información sobre textura, profundidad y capacidad de almacenamiento de agua útil del suelo			<i>Harmonized World Soil Database</i> (HWSD) - FAO	2012
Información	sobre	permeabilidad litológica	<i>Mapping permeability over the surface of the Earth</i> (Gleeson <i>et al.</i> 2011)	2011
Información	sobre	conductividad hidráulica	<i>A glimpse beneath earth's Surface</i> (Gleeson <i>et al.</i> 2014)	2014

Fuente: Elaboración propia

3.1.4. DEMANDA HÍDRICA

En las márgenes del río Lurín existen captaciones utilizadas por distintas organizaciones de usuarios de agua, cuya información de demanda hídrica fue obtenida de ANA (2014), la cual será utilizada para la naturalización de caudales y en el cálculo de balance hídrico que formará parte de los resultados del presente estudio. En lo concerniente a la naturalización de caudales, esta se realizó considerando la siguiente expresión:

$$Q_{naturalizado} = Q_{estación} + \sum Q_{captado}$$

Donde $Q_{naturalizado}$ es el caudal naturalizado; $Q_{estación}$, el caudal medido en la estación hidrométrica; y $Q_{captado}$, el caudal captado por las tomas ubicadas aguas arriba de la estación hidrométrica. Se observó que existen captaciones aguas arriba de las estaciones Manchay y Antapucro, mas no aguas arriba de la estación San Damián, lo cual se aprecia en el Cuadro 19.

En el Cuadro 17 se muestran las comisiones y sus bloques de riego, ubicadas en el valle de Lurín, cuya principal actividad económica es la agricultura, debido a las condiciones favorables climáticas, agrológicas, hídricas, entre otras. Asimismo, su área agrícola bajo riego es 4321 ha, posee una demanda hídrica de 47 MMC y tiene cultivos tales como papa, alfalfa, frutales, caña de azúcar, entre otros (MINAG e INRENA 2008). De manera referencial, en la Figura 19 se muestra un esquema que representa la distribución de las comisiones en el valle de Lurín.

Por otro lado, en el Cuadro 18 se muestran las características de los bloques de riego ubicados en la parte media y alta de la cuenca. Respecto a la distribución del agua de riego, se planifica en base a la disponibilidad de agua y el área de riego. El recurso hídrico

abunda entre diciembre y marzo, lo cual impulsa el incremento de las siembras. El tipo de riego predominante es el riego por gravedad (PROFODUA 2006).

Cuadro 17: Comisiones de usuarios de agua y bloques de riego del valle de Lurín

Comisión	Bloque de riego	Área total (ha)	Área Bajo Riego (ha)
Sub-Sector Cieneguilla	Sub-Sector Cieneguilla	258.5	238.9
Nueva Toledo	Nueva Toledo	263.8	200.9
Cieneguilla	Cieneguilla	420.8	370.4
Condorhuaca-Molino	Condorhuaca-Molino	21.3	110.2
Tambo Inga	Tambo Inga	509.8	273.8
Jatosisa-Sotelo	Jatosisa-Sotelo	258.2	231.2
Caña hueca	Caña hueca	331.4	306.2
San Fernando	San Fernando	443.6	335.2
Pan de Azúcar	Pan de Azúcar	440.6	321.7
Mejorada	Mejorada, Platanal, Huertos	309.1	232.03
	Olivar	115.6	83.3
	Rinconada	167.8	149.0
	Buena Vista	200.2	124.5
Venturosa	Venturosa	379.4	273.3
Lurín	Casica	84.4	66.4
	Buena Vista	103.8	75.1
	San Pedro	174.7	117.9
	San Vicente	243.7	117.3
	Salinas	122.1	73.3
	La Comunidad	176.3	112.6
	Huarangal	76.1	70.4
	Santa Rosa	149.5	128.2
	Mamacona	179.1	71.1
	Suche	96.1	83.2
	TOTAL	5720.8	4166.0

Fuente: Adaptado de PROFODUA-Lurín (citado por MINAGRI 2008)

Cuadro 18: Bloques de riego de la parte media y alta de la cuenca de Lurín

Bloque	Fuente principal	Captaciones	O.U.A.
Sisicaya	Río Lurín	17 TD	1 C
Antioquia	Ríos Lurín y Canchahuara	22 TD	2 C
Acurana - Avichuca	Río Canchahuara	6 TD	2 CT
Langa - Escomarca	Ríos Lurín y Canchahuara	44 TD	2 C
Llambilla	Manantiales	4 C	CC
Pariapongo - Santa Ana	Manantiales	3 C	CC
Sunicancha	Manantiales	12 C	CC
Concha	Laguna Yanascocha y manantiales	16 C	CC
San Damián	Ríos Chanape y Vilcapampa	7 TD	Presidente de cada canal
San Andrés de Tupicocha	Río Vilcapampa	1 TD	CC
Santiago de Tuna	Manantiales	25 C	Regidor de cada canal

O.U.A.: Organización de usuarios de agua; TD: toma directa; C: canal; C: comisión de usuarios de agua; CT: comité de usuarios de agua; CC: comunidad campesina

Fuente: Adaptado de PROFODUA (2006)

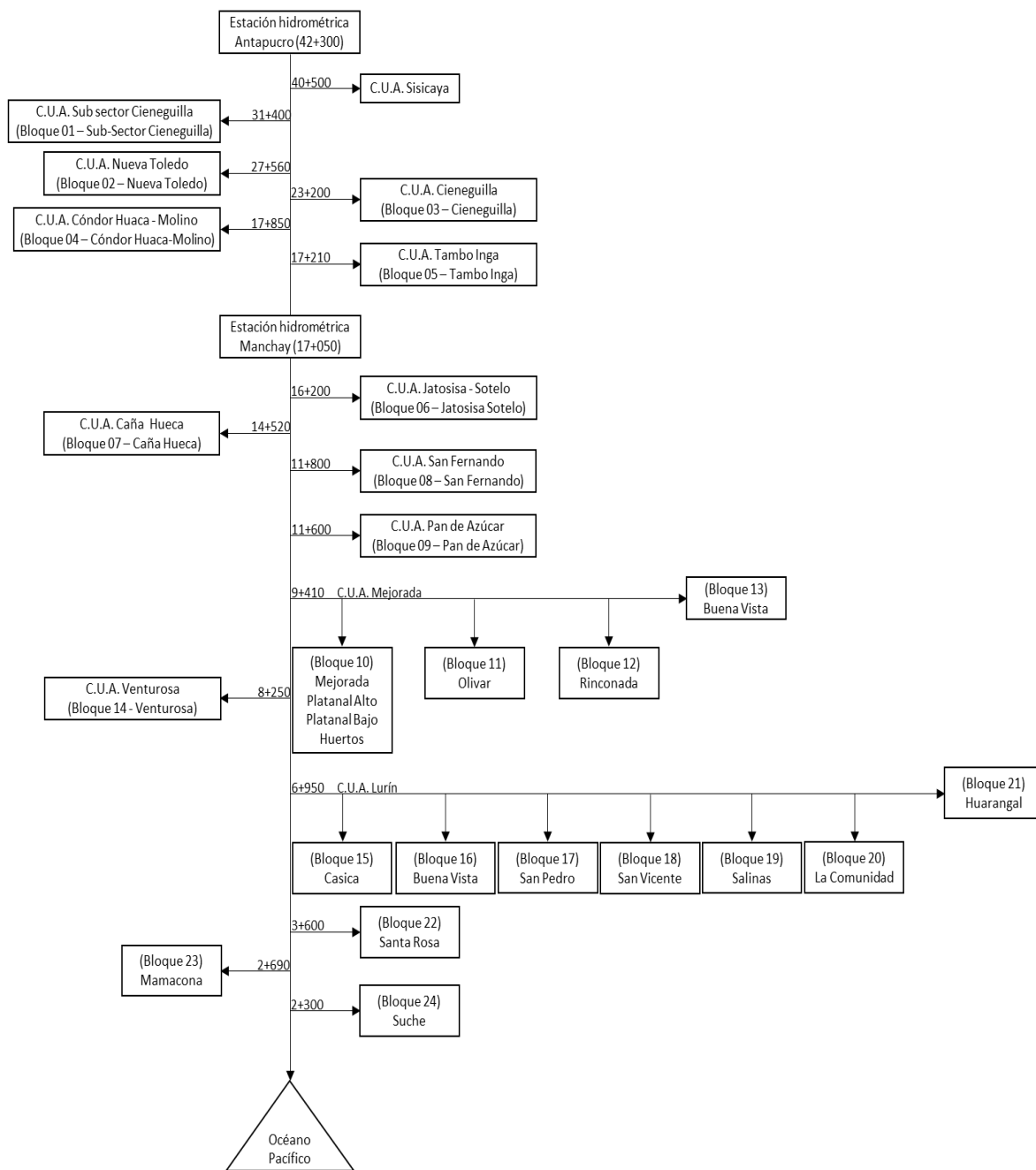


Figura 19: Esquema de bloques de riego del valle del río Lurín

Fuente: Elaborado con información de MINAG (2008)

Cuadro 19: Demanda hídrica superficial en la cuenca del río Lurín

Datum PSAD56, Zona 18S		Nombre de la captación	Organización	Volumen de agua mensual (Hm ³)											
Este (m)	Norte (m)			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
341371.43	8661806.72	San Martín de Chaupirarca	Comunidad Campesina Langa	0.004	0.004	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
343725.49	8662765.52	Toma Media Huatiacaya	Comunidad Campesina Llambilla (Junta Lurín)	0.008	0.009	0.010	0.005	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003
342520.47	8662620.87	Prolog. Huatiacaya (e)		0.038	0.041	0.045	0.025	0.010	0.005	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.003
344906.14	8663158.60	Quilco Alto		0.010	0.010	0.011	0.006	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001	0.002	0.006	0.026
348108.41	8660601.55	Aguasquiche		0.018	0.020	0.022	0.012	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.006
348238.32	8663181.79	Antanga		0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
348577.40	8663136.88	Antanga Medio		0.004	0.005	0.005	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
348367.28	8663173.26	Antanga Bajo		0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
347414.44	8662702.18	Canlle Bajo		0.024	0.026	0.028	0.016	0.006	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.008
348904.76	8662985.32	Antanga Alto		0.007	0.007	0.008	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002
348075.99	8660571.58	Pichucalla		0.018	0.020	0.022	0.012	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.006
349960.25	8667357.01	Canal Chulla		0.020	0.022	0.023	0.013	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.007
350499.15	8667437.94	Canal Ancashcocha		0.017	0.018	0.020	0.011	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.006
351084.09	8667530.77	Canal Cantucha		0.011	0.012	0.013	0.007	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004
351866.62	8667378.80	Canal Calalule		0.028	0.030	0.032	0.018	0.007	0.004	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.010
350895.47	8666859.35	Canal Chacarilla		0.010	0.010	0.011	0.006	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003
350376.02	8667454.08	Canal Taulimasca		0.007	0.007	0.008	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002
350790.08	8667679.93	Canal Coñanche		0.006	0.007	0.007	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002
350601.87	8668041.29	Canal Aushama Alto	Comunidad Campesina Sunicancha (Junta Lurín)	0.005	0.005	0.006	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
350458.83	8667966.00	Canal Aushama Bajo		0.003	0.003	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
350541.64	8666874.40	Canal Palquincocha		0.003	0.004	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
350677.15	8667536.89	Canal Jorero		0.006	0.006	0.007	0.004	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
351475.15	8667476.67	Canal Shajallagua Bajo		0.012	0.013	0.014	0.008	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004
351859.09	8667386.33	Canal Calalule Alto		0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
351610.66	8667454.08	Canal Shajallagua Alto		0.005	0.006	0.006	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
352107.53	8667333.63	Canal Tauli		0.004	0.004	0.005	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
352303.26	8667371.27	Toma Directa		0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
350551.76	8667996.12	Canal Aushama Medio		0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Captaciones aguas arriba de la estación Antapucro y Manchay

«continuación»

341416.81	8662510.84	Prolongación Antioquia (e)	Comunidad Campesina Espíritu Santo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.009
349939.24	8668648.13	Condianga Alto		0.043	0.047	0.052	0.030	0.011	0.007	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000	0.015
350006.08	8668233.74	Manantial Antagalla		0.009	0.009	0.010	0.006	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003
350096.37	8669970.16	Pasaique	Comunidad Campesina	0.004	0.005	0.005	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
349602.32	8668776.53	Cotucha Alta	Concha	0.017	0.019	0.021	0.012	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.006	
350001.53	8670338.15	Cotucha Baja	(Junta Lurín)	0.064	0.070	0.078	0.046	0.017	0.010	0.003	0.001	0.001	0.002	0.001	0.023	
349635.95	8668783.54	Huancaquilla		0.066	0.071	0.080	0.046	0.017	0.010	0.003	0.001	0.001	0.002	0.001	0.023	
350045.33	8668576.08	Pischiuile		0.018	0.020	0.022	0.013	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.006	
351419.40	8655124.68	Anaspunco (Langa)		0.003	0.003	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	
349448.05	8655877.64	Toma Alta		0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
344223.84	8659645.23	C.D. Principal Langa		0.192	0.208	0.231	0.128	0.048	0.028	0.010	0.002	0.003	0.006	0.015	0.064	
342421.00	8660266.38	Antinca Chipa Chipa		0.025	0.027	0.029	0.016	0.006	0.004	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.008	
341971.24	8660720.22	Chataique Bajo		0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
341843.43	8660887.33	Talquiche		0.006	0.006	0.007	0.004	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	
341639.62	8661020.80	Maranniche		0.004	0.004	0.005	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	
345059.05	8658817.12	Manantial Ajarhuayque		0.003	0.003	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	
345198.53	8658965.24	Manantial Tallque		0.004	0.004	0.005	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	
		Aculaique	Comunidad Campesina													
345003.37	8659225.71	Manantial Putaca	Langa	0.012	0.013	0.015	0.008	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	
345094.28	8659368.43	Manantial Quishuarita	(Junta Lurín)	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
344633.28	8659512.77	Manantial Puquio		0.007	0.008	0.009	0.005	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	
344995.69	8659597.12	Manantial Calicha		0.002	0.002	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	
344965.69	8659769.12	Manantial Atinculla		0.002	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	
344339.35	8659906.86	Manantial Charincosa		0.016	0.017	0.019	0.010	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.005	
344831.68	8660366.30	Manantial Carrizales		0.004	0.004	0.005	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	
343936.93	8660028.39	Manantial Liquisjuayque		0.006	0.007	0.008	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	
342579.83	8660173.61	Manantial Agua Bendita		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
345029.26	8658849.81	Manantial Chataique Alto		0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
345607.85	8658468.68	San Miguel de Laya		0.010	0.011	0.012	0.006	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	

Captaciones aguas arriba de la estación Antapucro y Manchay

«continuación»

354699.51	8656975.78	Julio C. Tello		0.095	0.103	0.114	0.063	0.024	0.014	0.005	0.001	0.002	0.003	0.008	0.033
354475.66	8656875.28	Totorache Alto		0.019	0.020	0.022	0.012	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.007
353984.52	8656629.78	Totorache Bajo		0.006	0.006	0.007	0.004	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
353079.32	8655853.48	Pariajaja		0.002	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
352793.94	8655259.71	Lumajire Taliaza		0.028	0.030	0.033	0.018	0.007	0.004	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.010
351753.41	8654835.89	Monte Verde		0.007	0.008	0.008	0.005	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002
351412.00	8654989.55	Pozo Azul		0.002	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
351040.65	8655287.47	Puente Bajo	Comunidad Campesina	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
349538.88	8655698.25	Sta. Rosa de Matarachi	Escomarca	0.009	0.010	0.011	0.006	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003
349279.38	8655879.94	Juinca	(Junta Lurín)	0.005	0.006	0.006	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
353202.60	8655850.51	Manantial La Champa		0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
350317.47	8654469.80	Manantial Casinche		0.025	0.028	0.031	0.017	0.006	0.004	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.009
353208.78	8653474.05	Manantial Fundo Escomarca		0.044	0.047	0.052	0.029	0.011	0.006	0.002	0.001	0.001	0.001	0.004	0.015
353324.81	8653155.82	Manantial Estanque Viejo		0.013	0.015	0.016	0.009	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005
351528.67	8652450.21	Manantial Chacayaco		0.040	0.043	0.047	0.026	0.010	0.006	0.002	0.000	0.001	0.001	0.003	0.014
353861.99	8654345.51	Manantial Chumire		0.015	0.016	0.018	0.010	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005
341415.13	8662490.49	Lucumine Alto (e)		0.002	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
341415.13	8662490.49	Lucumine Bajo (e)	Comunidad Campesina	0.003	0.003	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
341397.21	8662234.55	Mataranche	Pariapongo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
341371.43	8661806.72	Pacashuayque		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
341360.50	8661831.85	Cañal		0.007	0.007	0.008	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
345007.61	8657067.49	Avechuca		0.074	0.080	0.088	0.049	0.018	0.011	0.004	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002
344594.09	8659299.28	Bajo Ajuya	Comunidad Campesina	0.007	0.007	0.008	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.007
343366.45	8659536.84	Lacapucro	Avechuca	0.019	0.021	0.023	0.013	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004
342433.76	8660340.02	Lecheca Orcocoto	(Junta Lurín)	0.013	0.014	0.015	0.008	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005
341900.40	8660747.78	Talquiche Orcocoto		0.013	0.014	0.016	0.009	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.003	0.006	0.027
346355.16	8656422.07	Acurana	Comunidad Campesina Acurana (Junta Lurín)	0.078	0.084	0.093	0.033	0.012	0.007	0.004	0.001	0.001	0.003	0.006	0.027

Captaciones aguas arriba de la estación Antapucro y Manchay

«continuación»

333781.09	8674292.93	Canal Michuraya		0.007	0.008	0.008	0.005	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002
333964.33	8673796.35	Manantial Piedra Colorada		0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
333526.79	8673770.88	Manantial Peligro		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
333599.35	8673778.60	Manantial Coyure		0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
333975.14	8673794.36	Manantial Lantaguache		0.011	0.012	0.013	0.007	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004
333812.89	8675050.43	Manantial Sacuayque		0.003	0.003	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
333875.12	8673848.95	Manantial Yacan - Malparaje		0.008	0.008	0.009	0.005	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003
333832.93	8673527.30	Manantial Canto-Medio-Masculfe		0.025	0.027	0.030	0.017	0.006	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.009
333786.24	8673865.53	Manantial Cadasana		0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
333855.19	8673606.04	Manantial Caña		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
333953.41	8673893.52	Manantial Cajalaya		0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
333952.06	8673892.73	Manantial Tara	Comunidad	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
333646.42	8674174.10	Manantial Patachine	Campesina	0.014	0.015	0.017	0.009	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005
333937.83	8674397.05	Manantial Palermo	Santiago	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
333936.38	8674395.11	Manantial Peña Negra	de Tuna	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
332973.51	8675279.79	Manantial Ñiquitanche	(Junta Lurín)	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
333558.02	8673986.09	Manantial Antashica		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
333595.59	8674013.47	Manantial Caña Antashica		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
333595.36	8674013.52	Manantial Shuturi		0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
334181.43	8674722.65	Manantial Huaycacosa		0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
334180.00	8674723.00	Manantial Huancalache		0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
331455.08	8674646.66	Manantial Masahuayque Bajo		0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
333851.43	8674137.57	Manantial Esperanza		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
333904.88	8673836.10	Manantial Higo		0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
332758.00	8675364.00	Manantial Cacho Cacho		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
333292.46	8673639.26	Manantial Lacashin Alto		0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
334173.00	8674281.00	Manantial Lacashin Bajo		0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
333987.00	8674105.00	Manantial Michuraya Alizo Masahuayque		0.006	0.007	0.007	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
338341.22	8662789.43	Cochahuayco	Com. Camp.	0.007	0.008	0.009	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003
337638.61	8662981.07	Buenos Aires (c)	Cochahuayco	0.058	0.063	0.069	0.025	0.009	0.005	0.003	0.001	0.001	0.002	0.005	0.020
338602.81	8662644.42	Toma Media Pampilla	Com. Camp.	0.020	0.021	0.023	0.017	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.007
339215.39	8662387.73	Toma Pampilla (c)	Villa	0.045	0.049	0.054	0.039	0.011	0.006	0.002	0.000	0.001	0.002	0.004	0.016
339903.36	8662089.09	Prolong. Molino Queb. Huariaco (a)	Pampilla (Junta Lurín)	0.023	0.025	0.027	0.015	0.006	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.008

Captaciones aguas arriba de la estación Antapucro y Manchay

«continuación»

331213.94	8667829.66	Palma Alta		0.006	0.006	0.007	0.004	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.006	
331691.71	8667650.77	Palma Alta Nueva		0.017	0.018	0.021	0.011	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.006	
332248.68	8666775.62	Pacashuayue		0.016	0.017	0.019	0.011	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	
334096.39	8665934.84	Picuya Baja	Comunidad Campesina Espíritu	0.011	0.012	0.013	0.007	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	
334848.28	8665675.13	Picuya Alta	Santo	0.010	0.011	0.013	0.007	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.004	0.016	
334849.15	8665688.70	Picuya Alta Palma	(Junta Lurín)	0.044	0.047	0.053	0.029	0.011	0.005	0.002	0.000	0.000	0.001	0.002	0.007	
336705.47	8663653.98	Principal Antioquia		0.018	0.020	0.022	0.012	0.005	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.004	0.016	
337508.02	8663497.20	Chuquichaqui		0.045	0.049	0.055	0.030	0.012	0.006	0.002	0.000	0.001	0.001	0.003	0.012	
340550.02	8662058.35	Tutana		0.034	0.037	0.042	0.023	0.009	0.004	0.002	0.000	0.001	0.001	0.003	0.012	
317896.71	8670177.53	Vichuya Alta		0.005	0.005	0.006	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	
317439.25	8670431.92	Vichuya Baja		0.021	0.022	0.025	0.009	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.007	
318398.09	8670275.88	Nieve Nieve		0.011	0.012	0.013	0.005	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	
319023.81	8670335.75	Balconsillo de Avillay		0.025	0.027	0.030	0.011	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.009	
319954.21	8670747.79	Balconsillo La Palma		0.005	0.006	0.007	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	
320003.95	8670755.73	Canturia		0.010	0.011	0.012	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	
320994.70	8671049.45	Sisicaya Baja	Comunidad	0.066	0.072	0.080	0.029	0.011	0.006	0.003	0.001	0.001	0.002	0.005	0.023	
322895.53	8669862.94	Sisicaya Alta	Campesina	0.039	0.042	0.046	0.017	0.006	0.003	0.002	0.000	0.001	0.001	0.003	0.014	
326482.06	8669556.43	Antapucro Alto	Sisicaya	0.043	0.046	0.051	0.018	0.007	0.004	0.002	0.000	0.001	0.001	0.003	0.015	
324950.69	8669963.49	Antapucro Bajo		0.037	0.040	0.045	0.016	0.006	0.003	0.002	0.000	0.001	0.001	0.003	0.013	
328651.74	8668069.94	Chillaco Bajo		0.009	0.010	0.011	0.004	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	
328921.17	8668048.51	Chillaco Alto		0.010	0.010	0.011	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	
329946.88	8668066.31	Orcorure		0.009	0.010	0.011	0.004	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	
331053.52	8667620.73	Palma Baja		0.077	0.083	0.092	0.033	0.012	0.006	0.004	0.001	0.001	0.003	0.006	0.027	
306911.00	8662960.00	Toledo	Comisión Toledo	0.362	0.345	0.422	0.287	0.174	0.093	0.034	0.007	0.006	0.012	0.030	0.143	
301010.00	8657731.00	Cóndor Huaca	Comisión Cóndor Huaca Molino	0.319	0.267	0.335	0.157	0.097	0.037	0.008	0.004	0.006	0.015	0.030	0.136	
300820.00	8657096.00	Tambo Inga	Comisión Tambo Inga	0.607	0.595	0.648	0.438	0.092	0.062	0.020	0.005	0.006	0.014	0.031	0.165	
		Captaciones aguas arriba de la estación Antapucro y Manchay														
																Captaciones aguas arriba de la estación Manchay

«continuación»

313788.00	8669270.00	Lindero Alto		0.042	0.045	0.050	0.028	0.011	0.005	0.002	0.000	0.001	0.001	0.003	0.015
312865.00	8669078.00	San Isidro Alto		0.002	0.002	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
312427.00	8668410.00	San Isidro Bajo		0.021	0.023	0.025	0.014	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.007
312344.00	8668375.00	Lindero Bajo		0.009	0.010	0.010	0.006	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003
311395.00	8667593.00	Virgen de la Asunción		0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
311242.00	8667317.00	Valencia		0.004	0.004	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
311182.00	8667201.00	San Vicente	Comisión Sub Sector	0.003	0.003	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
310602.00	8667306.00	Altamirano	Cieneguilla	0.002	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
310387.00	8667152.00	Piedra Liza	(Junta Lurín)	0.033	0.035	0.039	0.022	0.008	0.004	0.001	0.000	0.001	0.001	0.003	0.011
310289.00	8666895.00	San Francisco		0.025	0.027	0.029	0.016	0.006	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.009
308290.00	8665249.00	Carricillo		0.024	0.026	0.029	0.016	0.006	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.009
310098.00	8666276.00	Huaycan		0.027	0.030	0.033	0.018	0.007	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.010
310387.00	8667152.00	Molle Alto		0.068	0.074	0.081	0.045	0.017	0.009	0.003	0.001	0.001	0.002	0.005	0.024
308268.00	8665390.00	Molle Bajo		0.019	0.021	0.023	0.013	0.005	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.007
307494.00	8664112.00	Santa Augusta		0.018	0.020	0.022	0.012	0.005	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.006
315086.95	8669965.64	Chacra Alta Baja (d)		0.008	0.009	0.010	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003
315821.32	8670098.34	Chacra Dolores	Comunidad	0.071	0.077	0.085	0.030	0.011	0.006	0.003	0.001	0.001	0.002	0.006	0.025
316467.69	8670065.73	Chacra Alta Alta	Campesina	0.010	0.011	0.012	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004
314257.57	8669619.57	Chontay Alto Bajo (d)	Santa Rosa	0.010	0.010	0.011	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003
316780.82	8670269.07	San Martin	de Chontay	0.022	0.024	0.027	0.010	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.008

Captaciones aguas arriba de la estación Manchay

Fuente: Registros mensuales de volúmenes de agua programados y captados en fuente natural (ANA 2014)

Cuadro 20: Demanda hídrica superficial aguas arriba de las estaciones Antapucro y Manchay

Estación	Volumen de agua mensual (Hm ³)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Antapucro	1.94	2.11	2.33	1.23	0.46	0.25	0.10	0.02	0.04	0.07	0.15	0.72
Manchay	3.22	3.37	3.80	2.00	0.86	0.45	0.17	0.04	0.06	0.12	0.26	1.21

Fuente: Elaborado a partir de los Registros mensuales de volúmenes de agua programados y captados en fuente natural (ANA 2014)

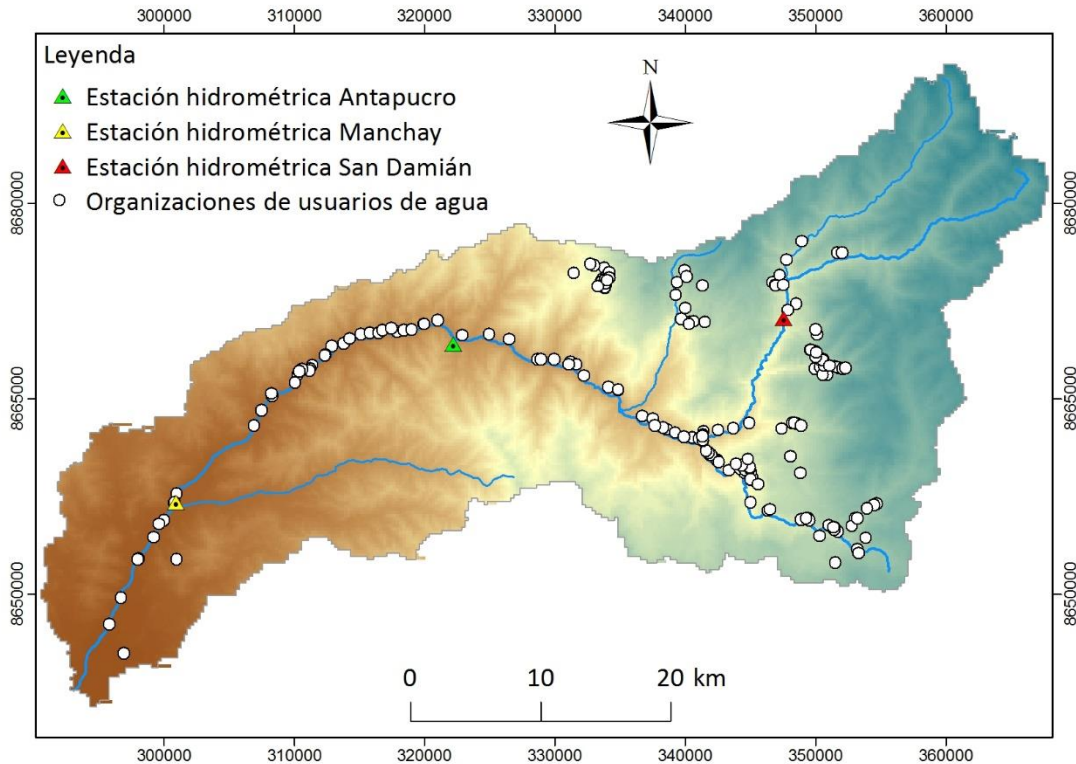


Figura 20: Distribución de las captaciones de agua para uso agrícola en las comisiones de usuarios de agua a lo largo del río Lurín y sus afluentes.










Fuente: Elaboración propia

3.2. MATERIALES

3.2.1. HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

Para realizar los trabajos de geoprocésamiento se usó ArcGIS 10.1, mientras que para la conversión y lectura de los archivos que se introdujeron al modelo, se usó el *software* IDL y EditPad Lite 7. El modelo hidrológico distribuido se desarrolló mediante Tetis y sus resultados se analizaron mediante los *softwares* ProUCL 5.0 y Statgraphics, los cuales se graficaron con SigmaPlot 10.0. En el Cuadro 21 se listan cada una de las herramientas computacionales usadas y la función que desempeñaron.

Cuadro 21: Lista de herramientas computacionales empleadas en el estudio y su función

Logo	Software	Función
	Cropwat	Cálculo de la evapotranspiración potencial con el método Penman-Monteith
	SigmaPlot 10.0	Elaboración de gráficos para la caracterización de datos de precipitación, evapotranspiración y caudal, y elaboración de curvas de duración de caudales.
	JMP 13 (SW)	Agrupación de estaciones con el método Self-Organizing Map.
	Interactive Data Language	Conversión de archivos txt a CEDEX.
	EditPad Lite 7	Lectura y edición de archivos en formato CEDEX.
	TETIS 8.3.0.b	Calibración manual y automática, y validación del modelo.
	ProUCL 5.0	Análisis de tendencia mediante el método Mann-Kendall.
	Statgraphics	Ajuste de distribución de probabilidad.
	ArcGIS 10.1	Geoprocesamiento de mapas <i>raster</i> , conversión de <i>raster</i> a ASCII y elaboración de mapas temáticos.

Fuente: Elaboración propia

3.3. METODOLOGÍA

La metodología empleada se muestra en la Figura 22. En las siguientes secciones se explicarán cada uno de los procesos aplicados en el presente estudio.

3.3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA HIDROMETEOROLOGÍA, PARÁMETROS HIDROLÓGICOS, GEOMORFOLOGÍA Y VEGETACIÓN

Se recopiló datos climáticos e hidrométricos que se obtuvieron de los registros de las estaciones de SENAMHI ubicadas en el interior y los alrededores de la cuenca de Lurín. En la Figura 21 se muestra el porcentaje de datos disponibles por cada estación. En lo concerniente a los datos de temperatura, se usaron para calcular la evapotranspiración potencial mediante la ecuación de Hargreaves, la cual fue calibrada previamente con la ecuación de Penman-Monteith.

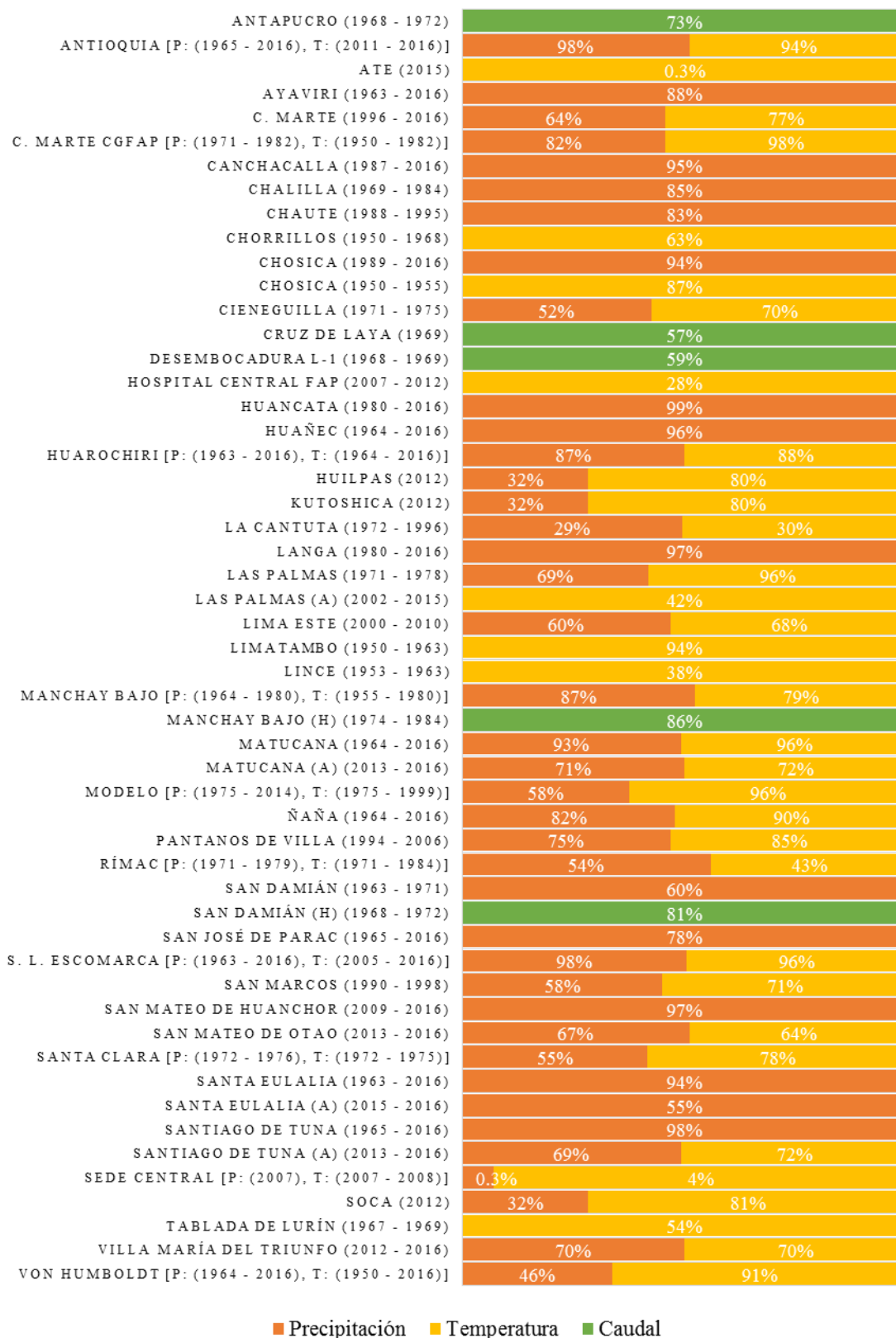


Figura 21: Porcentaje de datos según periodo de tiempo y estación.

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, para fines de control de calidad, los datos recopilados fueron evaluados mediante las siguientes tres etapas:

1. Eliminación de valores erróneos: Se descartaron aquellos valores perjudiciales para efectos de cálculo como valores negativos de precipitación, valores temperatura mínima mayores a los de temperatura máxima y valores de temperatura superiores a 50°C.
2. Identificación de *outliers*: Se usó el método *Adjusted BoxPlot* que se adapta a la distribución de probabilidad de la variable (Hubert y Vandervieren 2007). En el cálculo se usó la *medcouple* (MC) (Hubert y Vandervieren 2007):

$$MC = med_{x_i \leq Q_2 \leq x_j} h(x_i, x_j)$$

Donde Q_2 representa la mediana, mientras que h es una función de kernel, para todo $x_i \neq x_j$, expresada por la siguiente ecuación (Hubert y Vandervieren 2007):

$$h_{(x_i, x_j)} = \frac{(x_j - Q_2) - (Q_2 - x_i)}{x_j - x_i}$$

El cálculo del límite inferior y superior es como sigue (Hubert y Vandervieren 2007):

$$[Q_1 - 1.5e^{-4MC} IQR ; Q_3 + 1.5e^{3MC} IQR], \text{ si } MC \geq 0$$

$$[Q_1 - 1.5e^{-3MC} IQR ; Q_3 + 1.5e^{4MC} IQR], \text{ si } MC < 0$$

Donde Q_1 es el percentil 25; Q_3 , el percentil 75; y IQR, el rango intercuartil ($Q_3 - Q_1$).

3. Evaluación de *outliers*: Se determinó si los potenciales *outliers* provienen de fenómenos naturales o errores humanos. Para ello, las estaciones se agruparon mediante el método *Self-Organizing Maps*, para lo cual se empleó el *software* JMC. Los índices de agrupación usados se muestran en el Cuadro 22.

Cuadro 22: Índices para la agrupación de estaciones

Característica X	Variable de agrupación Y
Latitud (m)	$Y = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$
Longitud (m)	$Y = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$
Elevación (m)	$Y = X / X_{\max}$

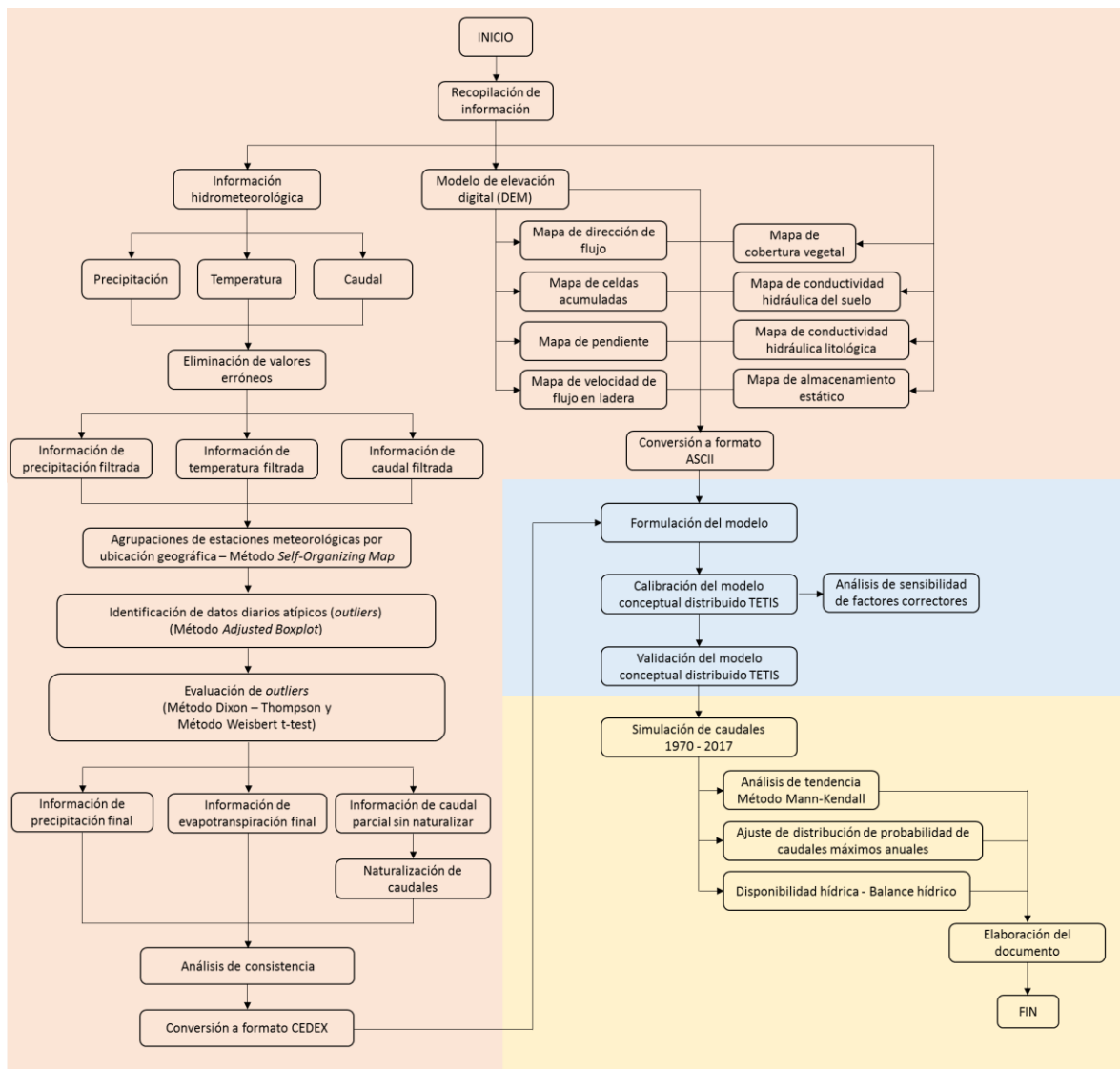
Fuente: Adaptado de Lin & Chen (2006)

Luego, se compararon los *outliers* con valores registrados en la misma fecha por estaciones pertenecientes a una misma agrupación, mediante las pruebas t de Weisberg y Dixon-Thompson. Según Seely *et al.* (2003), el método t de Weisberg evalúa *outliers* en muestras con un tamaño igual a cinco en adelante y su ecuación es la siguiente:

$$t_{calc} = \frac{\left(\frac{n-1}{n}\right)^{\frac{1}{2}} \times (y_i - \bar{y}_{-i})}{s_{-i}}$$

Donde n es el tamaño de muestra; y_i , el *outlier*; \bar{y}_{-i} y s_{-i} , la media y desviación estándar de la muestra, respectivamente, ambas sin considerar el *outlier*. Si t_{calc} es menor a t_{crit} , obtenido de tabla, el *outlier* se mantiene en los datos, en caso contrario, se descarta.

Por otro lado, el método de Dixon-Thompson puede evaluar solo un *outlier* en una muestra, con un tamaño igual a tres en adelante (McCuen 2003). En función del tipo de *outlier* que se evalúe y el tamaño de muestra, McCuen (2003) expone distintas fórmulas para el cálculo del estadístico R, el cual comparado con R_c , obtenido de tablas, se determina si se mantiene el *outlier* en caso que R sea menor a R_c .



Caracterización de la hidrometeorología, parámetros hidrológicos, geomorfología y vegetación de la cuenca del río Lurín.

Parametrización del modelo hidrológico distribuido a escala diaria en la cuenca del río Lurín.

Estimación de la oferta hídrica a través de la simulación de caudales.

Figura 22: Diagrama de flujo de la metodología empleada.

Fuente: Elaboración propia

Respecto al análisis de consistencia, se emplearon los métodos de t de Student y F de Fisher para la información de precipitación, evapotranspiración y caudal. De las tres variables en mención, se hizo énfasis en la variable de precipitación, la cual es de suma importancia en la simulación de caudales. Dichos métodos se aplicaron en conjunto con el método de análisis de doble masa.

Luego, los datos finales de precipitación, evapotranspiración y caudal naturalizado se guardaron en archivos de formato txt, los cuales se transformaron a formato CEDEX mediante un código IDL.

Por otra parte, se elaboraron los mapas mencionados en la Sección 3.3.3 mediante el *software* ArcGIS 10.1 y se les asignó un tamaño de celda de 250 m.

En lo que respecta a parámetros geomorfológicos, según Leopold y Madock (1995), citados por Francés *et al.* (2014), la forma de la sección de flujo de los elementos que constituyen la red de drenaje puede expresarse mediante las relaciones de geometría hidráulica, las cuales son las siguientes:

$$y = bQ^\beta$$

$$w = cQ^\varepsilon$$

$$v = pQ^\lambda$$

Donde $b, c, p, \beta, \varepsilon$ y λ son constantes, mientras que y, w, v y Q son la profundidad de flujo, el ancho del cauce, la velocidad de flujo y el caudal de cauce, respectivamente.

Asimismo, en base a lo expuesto por Leopold *et al.* (1964) se tiene entendido que una zona que posee condiciones climáticas y morfológicas homogéneas tendrá la siguiente relación (citado por Francés *et al.* 2014):

$$Q_b = \kappa\Lambda^\varphi$$

Donde Q_b es el caudal a sección llena; Λ , el área de la cuenca a través de la cual el agua dreña; y κ y φ , constantes de validez regional.

Mediante la combinación de la última expresión con las ecuaciones de geometría hidráulica, se puede establecer una relación entre las características geométricas de la sección de flujo y el área drenada a través del cauce, por lo tanto, pueden obtenerse las siguientes expresiones (Francés *et al.* 2014):

$$y_b = b(\kappa\Lambda^\varphi)^\beta$$

$$w_b = c(\kappa\Lambda^\varphi)^\varepsilon$$

$$v_b = p(\kappa\Lambda^\varphi)^\lambda$$

Respecto a la rugosidad del cauce, Francés *et al.* (2014) expone también que la siguiente ecuación sobre la variación de la rugosidad es aplicable para múltiples casos:

$$n = \Omega\Lambda^{\sigma_1}y^{\sigma_2}s^{\sigma_3}$$

Donde Ω es una constante; Λ , el área acumulada de la cuenca; y , la profundidad de flujo; y s , la pendiente del cauce. De la anterior expresión, es posible realizar la siguiente deducción (Vélez 2001 citado por Francés *et al.* 2014):

$$\sigma_1 = 0; \sigma_2 = \xi\theta; \sigma_3 = \sigma_2 \text{ y } \Omega = c_n c_d^\xi$$

Con ello, la expresión general que utiliza el modelo Tetis es la siguiente:

$$n = c_n c_d^\xi y^{\xi\theta} s^{\xi\theta}$$

Asimismo, Francés *et al.* (2014) hace mención de distintas fórmulas que relacionan el diámetro de sedimento con la rugosidad de cauce, tales como la ecuación de Strickler:

$$n = 0.0477 d_{50}^{1/6}$$

Donde n es la rugosidad del cauce y d_{50} es el diámetro de grano correspondiente al 50% de la curva granulométrica. Otra de las expresiones citados por Francés *et al.* (2014) es la siguiente:

$$d = 5.5ys$$

Donde d es el diámetro del sedimento; y , la profundidad de flujo; y s , la pendiente del cauce.

A partir de las expresiones expuestas, se entiende que el modelo Tetis emplea las siguientes relaciones potenciales geomorfológicas:

- a. Relación entre el caudal a sección llena y el área acumulada de la cuenca:

$$Q_b = \kappa \Lambda^\varphi$$

Donde Q_b es el caudal a sección; Λ , el área acumulada de la cuenca; mientras que κ y φ son el coeficiente y el exponente de la ecuación, respectivamente.

- b. Relación entre el ancho de la sección transversal y el caudal, ambos en condiciones de sección llena:

$$w_b = c_1 Q_b^{\varepsilon_1}$$

Donde w_b es el ancho de la sección transversal a sección llena; Q_b , el caudal a sección llena; mientras que c_1 y ε_1 son el coeficiente y el exponente de la ecuación, respectivamente.

- c. Relación entre el ancho de la sección transversal y el caudal:

$$w_t = c_2 Q_t^{\varepsilon_2}$$

Donde w_t es el ancho de la sección transversal; Q_t , el caudal; mientras que c_2 y ε_2 son el coeficiente y el exponente de la ecuación, respectivamente. Cabe señalar que el valor de c_2 puede ser determinado en base a la expresión anteriormente mostrada, siendo igual a:

$$c_2 = w_b Q_b^{\varepsilon_2}$$

- d. Relación entre el diámetro característico del sedimento, la pendiente del cauce y la profundidad de flujo:

$$d = c_d (y s_o)^\theta$$

Donde d es el diámetro del sedimento; s_o , la pendiente del cauce; y , la profundidad de flujo; y c_d y θ , el coeficiente y exponente, respectivamente.

- e. Relación entre el coeficiente de rugosidad y el diámetro característico del sedimento:

$$n = c_n d^\xi$$

Donde n es el coeficiente de rugosidad; d es el diámetro del sedimento; y c_n y ξ , el coeficiente y exponente, respectivamente.

Otro aspecto a considerar es el factor corrector FC_9 , el cual multiplica la velocidad de la onda cinemática y su valor debe ser cercano a uno. En caso su valor difiera significativamente de uno, debe ajustarse los valores de los parámetros geomorfológicos. Cabe precisar que el factor corrector en mención no influye en el volumen del hidrograma, mas sí en la velocidad del flujo, es decir, si dicho factor corrector es mayor a uno, la respuesta de la cuenca será más rápida, mientras que valores menores a uno implican un retraso en el hidrograma de salida, cuyas características serán los caudales picos menores y un mayor tiempo al pico (Francés *et al.* 2014).

Finalmente, se indica que la cuenca del río Lurín no cuenta con información sobre dichos parámetros, por ello, se tomaron valores usados en trabajos de investigación previos en los cuales se tuvieron resultados satisfactorios en términos de modelación hidrológica, tal es así el caso de Ramírez (2012) y Ramos (2013). Asimismo, cabe mencionar que la adecuada

o inadecuada asunción realizada respecto a los valores de los parámetros geomorfológicos se verá reflejada por el factor corrector FC₉, por lo que en caso de que dicho factor difiera significativamente de uno, se procederá a realizar el reajuste de dichos parámetros. Los parámetros usados se muestran en el Cuadro 23.

Cuadro 23: Parámetros geomorfológicos usados para el río Lurín

Relaciones geomorfológicas de tipo potencial	Y = Coeficiente X ^{Exponente}	Coeficiente	Exponente
Área acumulada (Λ) y flujo a sección llena (Q_b)	$\Lambda = \kappa \cdot Q_b^\phi$	1.2968	0.7571
Ancho de sección transversal llena (w_b) y flujo a sección llena (Q_b)	$w_b = c_1 \cdot Q_b^{\varepsilon_1}$	3.1301	0.5088
Ancho de sección transversal (w) y flujo (Q)	$w_t = Q_t^{\varepsilon_2}$		0.3253
Diámetro del sedimento (d), pendiente (S_o) y profundidad del flujo (y)	$d = c_d \cdot (yS_o)^\theta$	6.5156	0.6548
Coeficiente de rugosidad (n) y diámetro del sedimento (d)	$n = c_n \cdot d^\xi$	0.047	0.1667

Fuente: Tomado de Ramos (2013)

3.3.2. PARAMETRIZACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO A ESCALA DIARIA

Para el proceso de calibración, el modelo Tetis posee nueve factores correctores, los cuales fueron explicados en la Sección 2.3.1. En la parametrización, se consideró el factor relacionado con el almacenamiento estático (FC₁), debido a que dicho factor está relacionado con la rugosidad del terreno, la cual guarda una estrecha relación con la producción escorrentía directa que, a su vez, influye en el caudal simulado.

También se tomó el factor corrector de evapotranspiración (FC₂), ya que incide en la cantidad de agua que se transforma en evapotranspiración y, por ende, influye en los valores de caudal simulado.

Asimismo, se ha considerado el factor corrector de infiltración (FC₃), debido a que está relacionado directamente con el agua que ingresa al suelo, lo cual ejercerá influencia en el valor de interflujo.

Otro factor corrector considerado es el de escorrentía directa (FC₄), el cual tiene influencia directa con el valor de escorrentía directa, guardando estrecha relación con los valores picos de caudal simulado.

Se tiene también el factor corrector de percolación (FC₅), el cual tiene influencia directa con el agua que ingresa al acuífero, lo que repercute con el caudal de flujo base simulado.

Los factores correctores de interflujo (FC_6) y flujo base (FC_8) se tomaron en cuenta, debido a que tienen una relación directa con los caudales simulados, ya que ambos son componentes de la escorrentía total.

Se consideraron también un factor de interpolación de lluvia y el número de estaciones a interpolar, los cuales también fueron considerados, a fin de conocer los valores óptimos de estos en base a la información de precipitación y número de estaciones utilizadas en el presente estudio. Adicionalmente, se usó el exponente de infiltración al tanque estático, este último relacionado con el llenado del tanque estático, ya que al aumentar su valor se incrementa la cantidad de agua disponible para escorrentía directa, interflujo y flujo base.

Se excluyó al factor corrector FC_7 relacionado con el flujo subterráneo profundo, ya que dicho factor contempla la posibilidad de que parte del agua almacenada en los acuíferos se pierda en estratos más profundos, por lo cual al ser estas pérdidas muy reducidas o insignificantes, es factible asignarle a FC_7 un valor igual a cero, quedando de esta manera fuera del proceso de calibración y validación del modelo. Asimismo, se excluirá también el factor corrector FC_9 , ya que se asumirán como correctos los parámetros geomorfológicos expuestos en la sección precedente.

Finalmente, los parámetros contemplados en el presente estudio se muestran en el Cuadro 24.

Cuadro 24: Parámetros contemplados en la formulación del modelo TETIS para la cuenca del río Lurín

Símbolo	Parámetro del modelo
FC-1	Almacenamiento estático
FC-2	Evapotranspiración
FC-3	Infiltración
FC-4	Escorrentía directa
FC-5	Percolación
FC-6	Interflujo
FC-8	Flujo base
β	Factor de interpolación de lluvia
p1	Exponente de infiltración al tanque estático
EST	Número de estaciones interpoladas

Fuente: Elaboración propia

- **Calibración y validación**

Asimismo, es necesario indicar que la calibración y validación del modelo se realizará en la estación Manchay. El periodo de calibración será del 01 de septiembre de 1974 al 31 de agosto de 1977, mientras que el de validación será del 01 de septiembre de 1981 al 29 de febrero de 1984.

En lo concerniente a la evaluación de la eficiencia del modelo hidrológico, esta se llevará a cabo en base a los siguientes tres índices:

- Error en volumen (Ev): se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\%errVol = \frac{V_p - V_o}{V_o} \times 100\%$$

Donde V_p es el volumen total simulado y V_o , el total observado. Si Ev es positivo, se sobreestima el volumen real, mientras que si es negativo, ocurre lo contrario, por lo tanto, cero es el valor óptimo (Francés *et al.* 2014).

- Razón entre el RMSE y la desviación estándar de las observaciones (RSR): su cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2}}$$

Donde Y_i^{obs} es el valor observado i ; Y_i^{sim} , valor simulado i ; y Y_i^{mean} , el promedio de los valores observados.

- El coeficiente de eficiencia NSE (E): Es el índice de Nash y tiene la siguiente ecuación:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - Q_i^{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_{prom})^2}$$

Donde Q_{prom} es el promedio de los caudales observados; Q_i^{sim} , el caudal simulado i ; Q_i^{obs} , el caudal observado i . Kachroo y Natale (1992) indican que este índice no se altera por la longitud del registro o la magnitud de los valores de escurrentía (citado por Kothiyari y Singh, 1999 en Francés *et al.*, 2014).

La eficiencia del modelo se clasificó según lo expuesto en el Cuadro 25, el cual es para un nivel de agregación mensual, sin embargo, mientras más grosera sea la resolución temporal, más exigente son los rangos clasificatorios, por lo cual se está siendo más exigente para escala diaria (Ramos 2013).

Cuadro 25: Evaluación de la eficiencia de un modelo hidrológico a escala mensual en función de los índices E, RSR y Ev

Rendimiento	RSR	E	Ev
Muy bueno	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	$0.75 < E \leq 1.00$	< 10%
Bueno	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$0.65 < E \leq 0.75$	10-15%
Satisfactorio	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$0.50 < E \leq 0.65$	
Insatisfactorio	$RSR > 0.70$	$E \leq 0.50$	
Desfavorable			15-25%

Fuente: Tomado de Moriasi *et al.*, 2007; Donigian y Imhoff, 2002 citados por Ramos (2013)

Asimismo, también se llevó a cabo un análisis de sensibilidad, el cual consistió en modificar, uno a la vez, el valor de un parámetro del modelo y simular la serie caudales del periodo de calibración. Luego, se calculó las variaciones porcentuales del caudal promedio y los parámetros del modelo, las cuales se graficaron.

3.3.3. ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA A TRAVÉS DE LA SIMULACIÓN DE CAUDALES

Una vez que se calibró y validó el modelo, se procedió a introducir al modelo Tetis información de precipitación y evapotranspiración desde el 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017, para luego simular el caudal a nivel diario en las subcuencas San Damián, Antapucro y Manchay.

Con la información hidrométrica simulada en las tres subcuencas, se analizó la tendencia de los caudales diarios simulados del 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017 mediante el método Mann-Kendall, para lo que se dividió esta en intervalos de 12 años hidrológicos, los cuales, según SENAMHI, se inicia del 01 de septiembre al 31 de agosto. Los intervalos considerados van de 1970 a 1981, 1982 a 1993, 1994 a 2005 y 2006 a 2017. El análisis se realizó para datos de caudal diario promedio, máximo y mínimo por mes. El método empleado determina si la tendencia ha sido creciente o decreciente, y si fue significativa o no. Los cálculos se realizaron usando el *software* ProUCL 5.0.

Luego, se analizaron los caudales máximos anuales de retorno con la información hidrométrica simulada en las tres subcuencas, para lo que se tomaron los caudales

máximos anuales de los años 1970 al 2017 y se ajustaron a distintas funciones de distribución de probabilidad mediante el *software* STATGRAPHICS. Los ajustes se evaluaron mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov. Aquella función que presentó el mejor ajuste se le calculó los caudales para los periodos de retorno de 10, 20, 30, 40, 50 y 100 años.

También se procedió a elaborar las curvas de duración de caudales en base a los datos de caudales diarios simulados en las tres subcuencas del 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017 y se calcularon la disponibilidad hídrica mediante el percentil 75.

Finalmente, con los datos de disponibilidad hídrica al percentil 75 y la información de demanda hídrica brindada por la ANA, se realizó un balance hídrico, a fin de determinar el excedente o déficit hídrico que pudiera existir en la cuenca del río Lurín. Los resultados de balance hídrico fueron comparados con un estudio realizado por el MINAG e INRENA (2004).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA

Antes de proceder a realizar el análisis de consistencia, se utilizó el método *Adjusted BoxPlot*, con la finalidad de identificar los *outliers* presentes en los datos de precipitación. Después de identificar los outliers, se agruparon las estaciones geográficamente cercanas, para lo cual se usó el método *Self-Organizing Map* y se obtuvo como resultados los grupos mostrados en el Cuadro 26 y Figura 23 para las estaciones pluviométricas.

Cuadro 26: Agrupaciones de estaciones pluviométricas

Grupo I	Grupo II	Grupo III	
Canchacalla	Antioquia	C. Marte	Rímac
Chalilla	Ayaviri	C. Marte CGFAP	San Marcos
Chaute	Huancata	Chosica	S. Clara
Matucana	Huañec	Cieneguilla	S. Eulalia
S.J. Parac	Huarochiri	La Cantuta	V. Humboldt
S.M. Huanchor	Langa	Las Palmas	L. Este
Huilpas	S. Damián	Manchay Bajo	S. Eulalia (A)
Kutoshica	S.L. Escomarca	Modelo	Sede Central
Matucana (A)	S. Tuna	Ñaña	V.M.T
S. M. Otao	S. Tuna (A)	P. Villa	
Soca			

Fuente: Elaboración propia

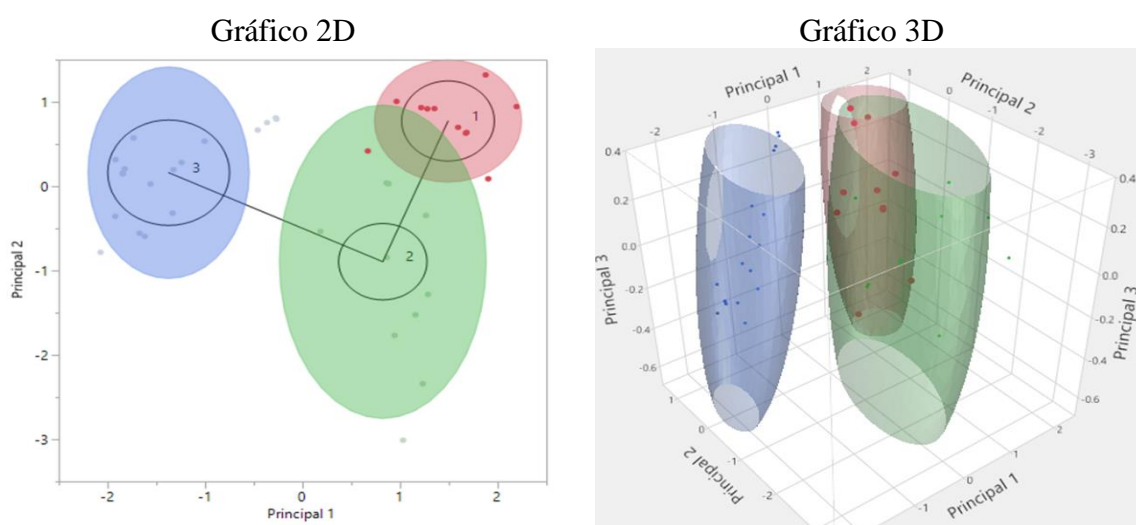


Figura 23 Agrupación de estaciones mediante el método Self-Organizing Map

Fuente: Elaboración propia

Es importante indicar que si bien se listaron más de 40 estaciones pluviométricas, la mayoría de estas presentaban registros que no superaban el 50% del periodo de simulación del presente estudio que comprendió un total de 48 años, motivo por el cual se optó por no considerar el total de estaciones pluviométricas, utilizando finalmente 13 estaciones, las cuales son las estaciones Antioquía, Ayaviri, Canchacalla, Chaute, Huancata, Langa, Matucana, Manchay Bajo, Pantanos de Villa, San José de Parac, San Lázaro de Escomarca, San Mateo de Huanchor y Santiago de Tuna.

Las 13 estaciones pluviométricas consideradas en el presente estudio se ubican en su mayoría en la parte media y alta de la cuenca de Lurín, las cuales son las que aportan la mayor cantidad de lluvia en la cuenca, lo cual permitirá un adecuado funcionamiento del modelo durante la simulación, sin embargo, dado el reducido número de estaciones consideradas para el presente estudio, la representación de la lluvia pudiera carecer de precisión a lo largo del periodo de simulación, ya que mientras mayor sea el número de estaciones pluviométricas a utilizar, mayor será la precisión con la cual la grilla de precipitación será generada, lo cual es importante entender como una limitante del presente estudio.

Respecto a los datos de precipitación, como puede observarse en la Figura 24, el número de *outliers* identificados es sumamente bajo, ya que la identificación de valores atípicos se realizó para los datos diarios comprendidos entre el 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017, mientras que el número de valores atípicos eliminados no es mayor a 30.

De la Figura 25 a la Figura 36 puede apreciarse los *outliers* identificados y eliminados por cada estación pluviométrica considerada para el presente estudio, en comparación con los valores registrados por las estaciones pluviométricas más cercanas. Como se aprecia, el *outlier* no es eliminado por ser de mayor valor, sino por su diferencia respecto a los datos con los que se le compara.

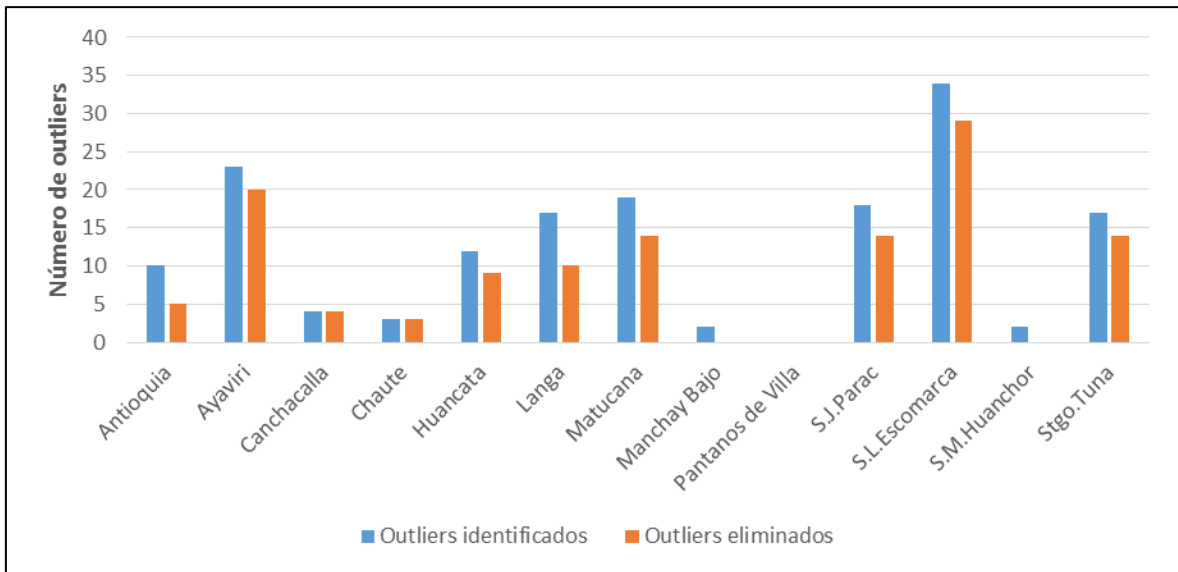


Figura 24: Outliers identificados y eliminados en las estaciones pluviométricas
Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

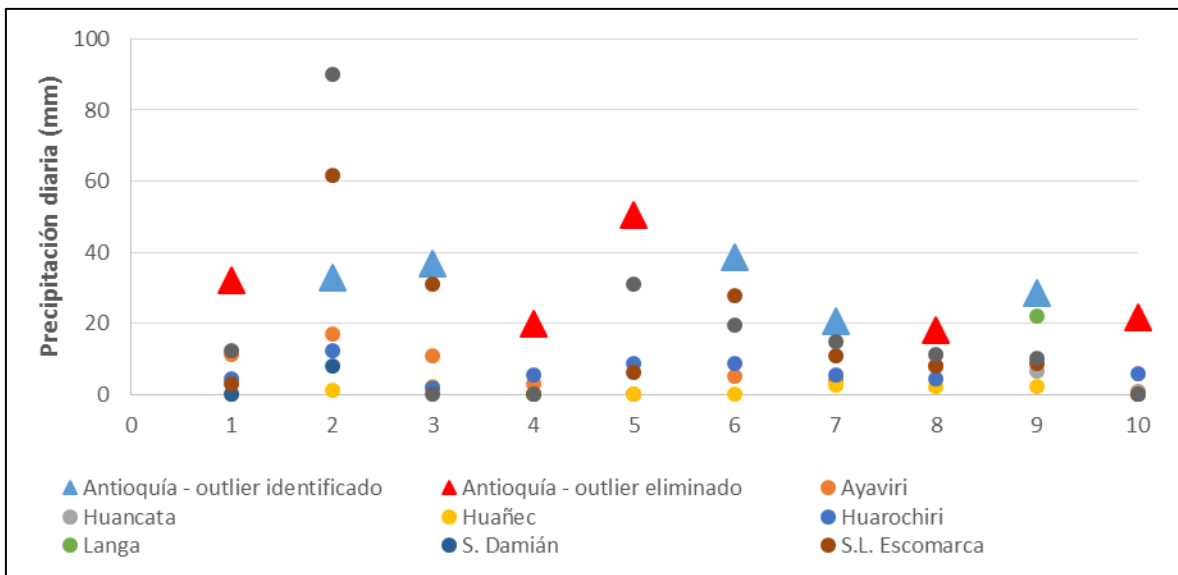


Figura 25: Outliers identificados y eliminados en la estación pluviométrica Antioquia
Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

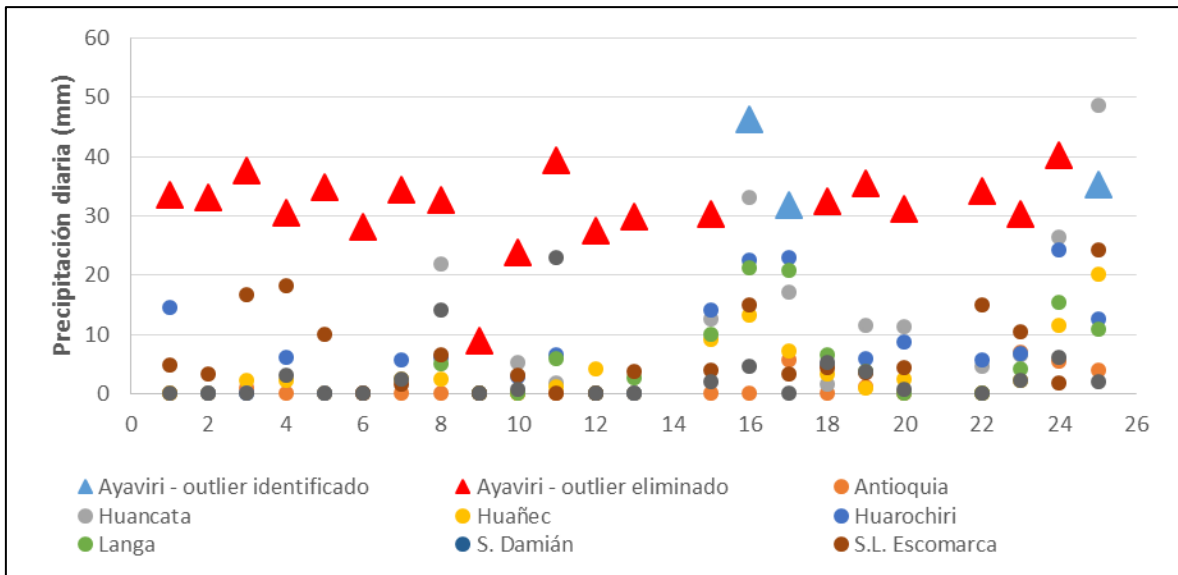


Figura 26: Outliers identificados y eliminados en la estación pluviométrica Ayaviri

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

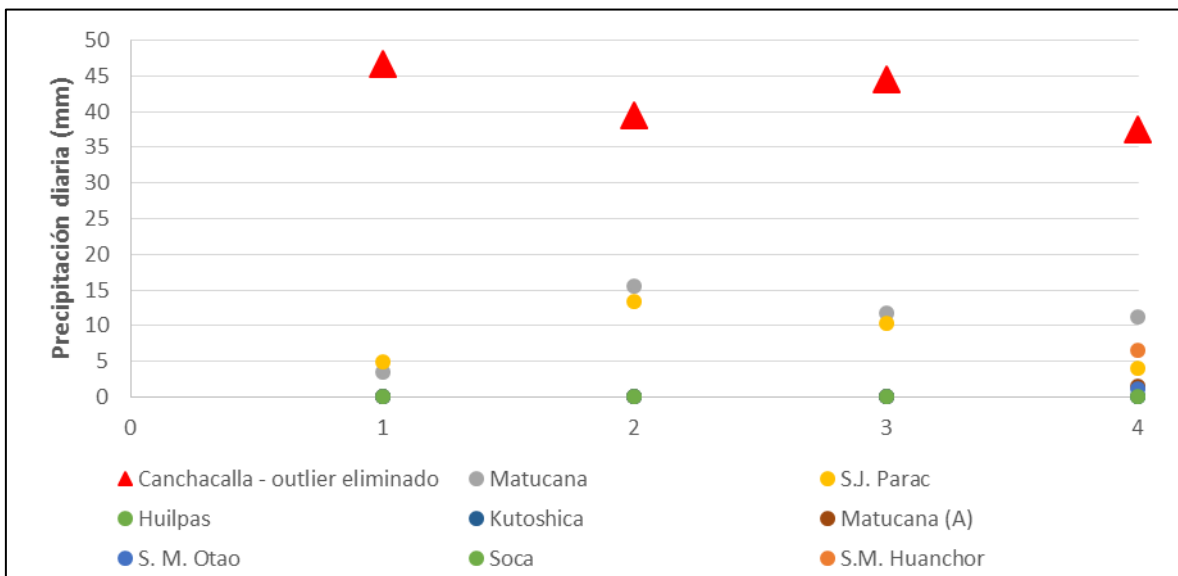


Figura 27: Outliers identificados y eliminados en la estación pluviométrica

Canchacalla

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

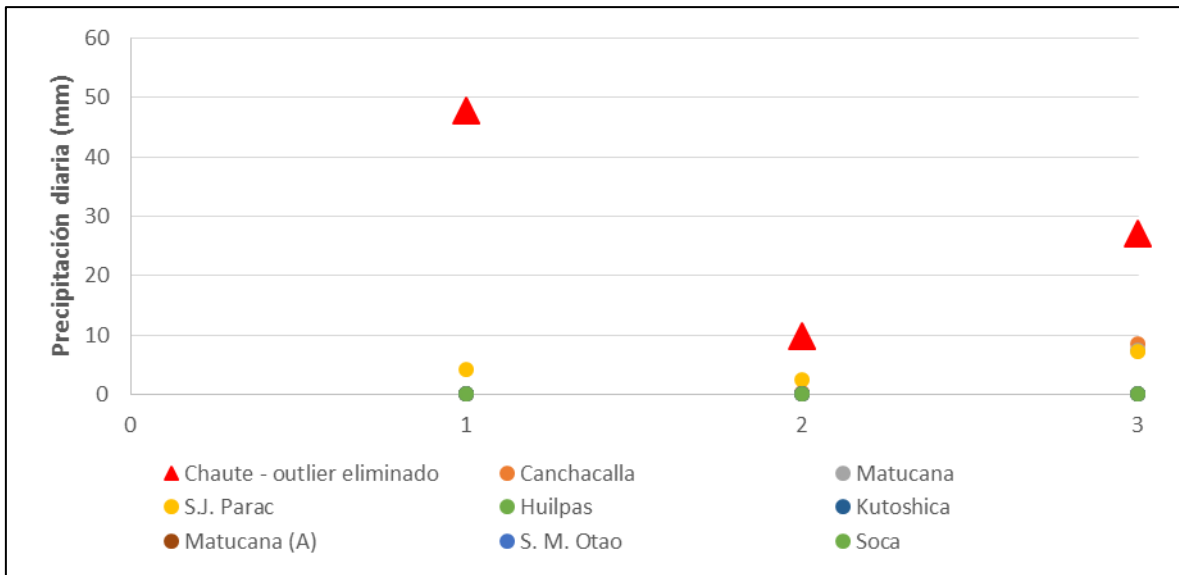


Figura 28: Outliers identificados y eliminados en la estación pluviométrica Chaute
Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

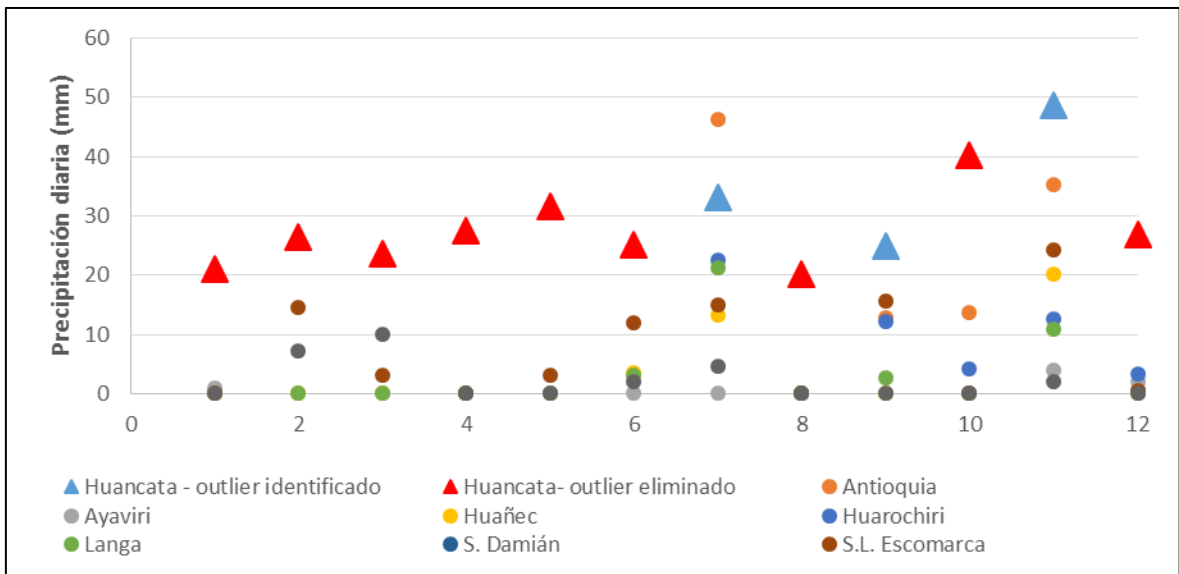


Figura 29: Outliers identificados y eliminados en la estación pluviométrica Huancata
Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

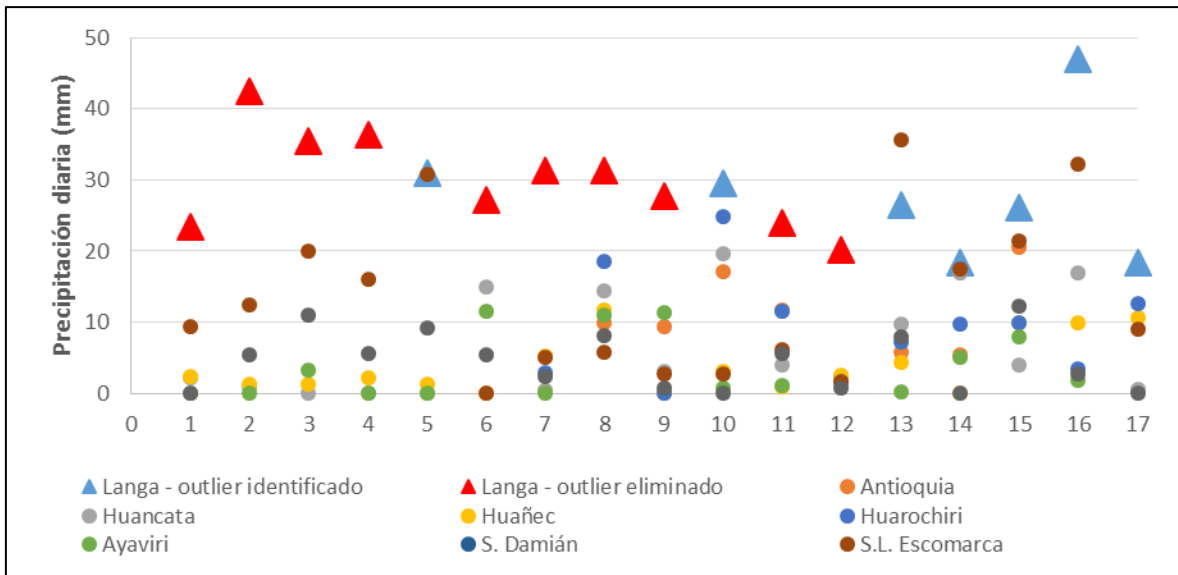


Figura 30: *Outliers* identificados y eliminados en la estación pluviométrica Langa
Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

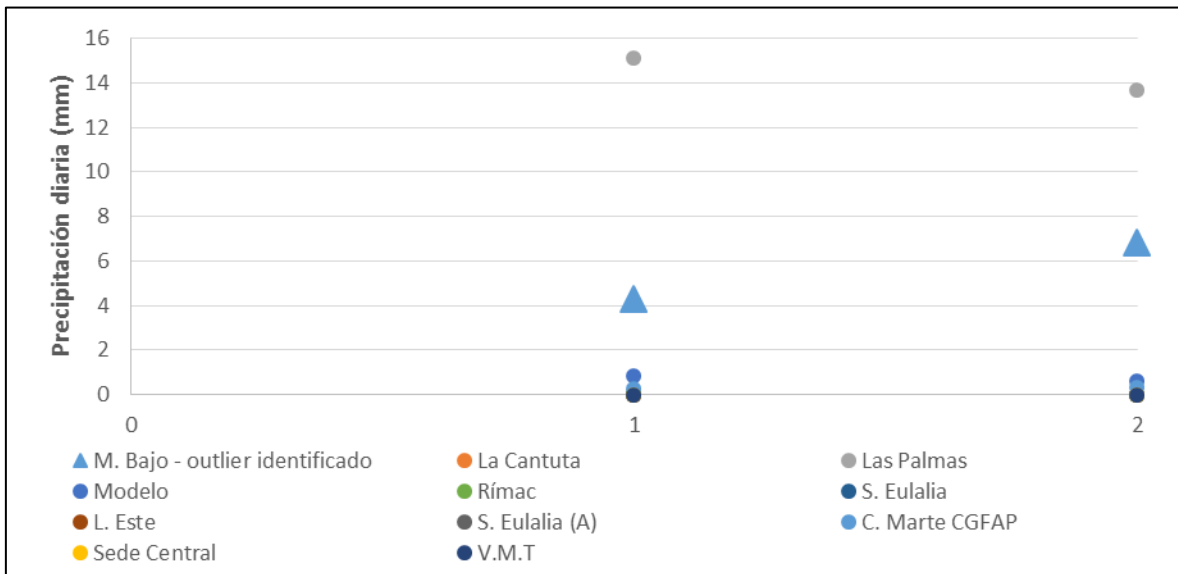


Figura 31: *Outliers* identificados y eliminados en la estación Manchay Bajo
Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

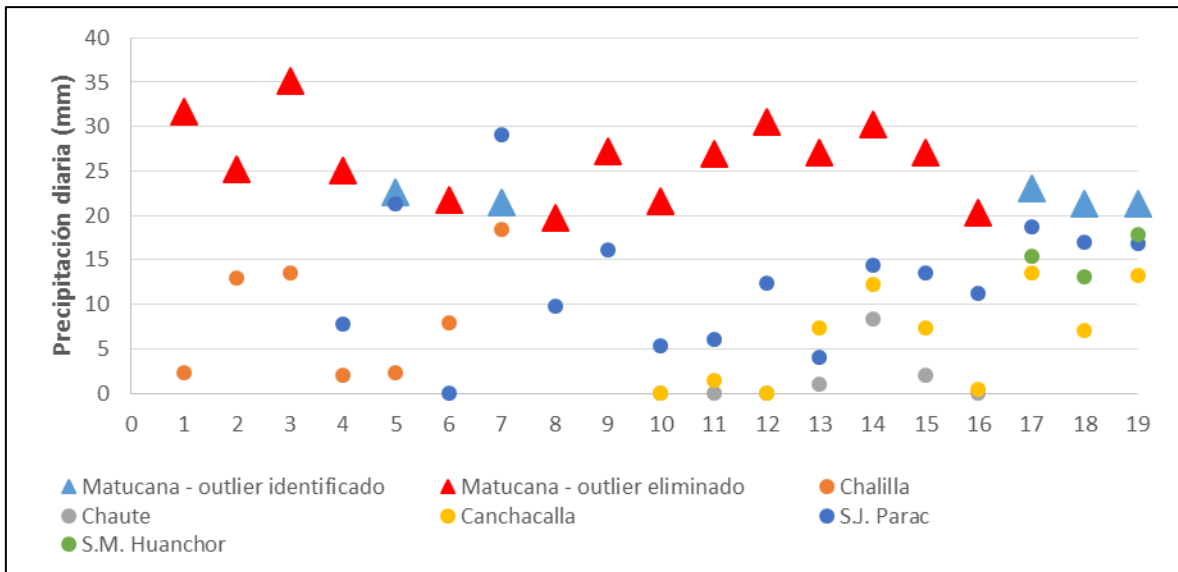


Figura 32: Outliers identificados y eliminados en la estación pluviométrica Matucana
Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

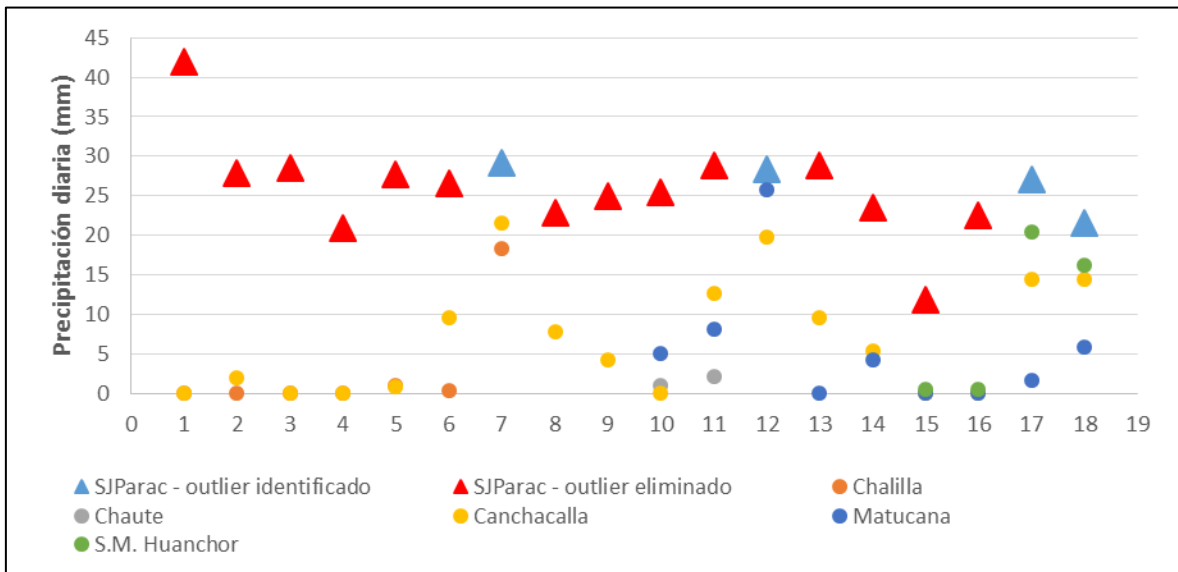


Figura 33: Outliers identificados y eliminados en la estación San José de Parac
Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

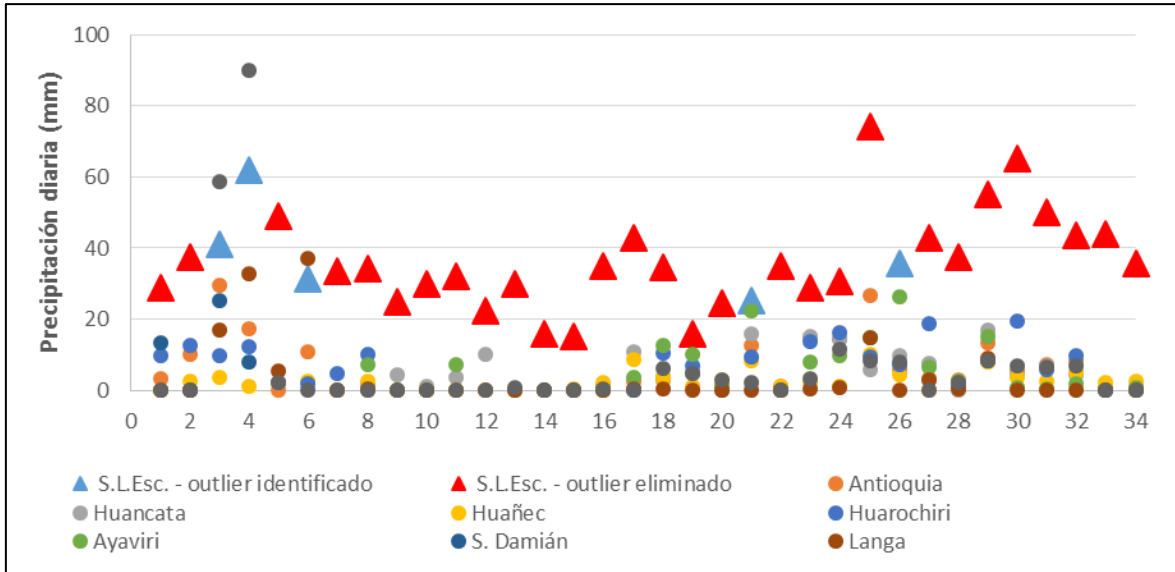


Figura 34: Outliers identificados y eliminados en la estación San Lázaro de Escomarca

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

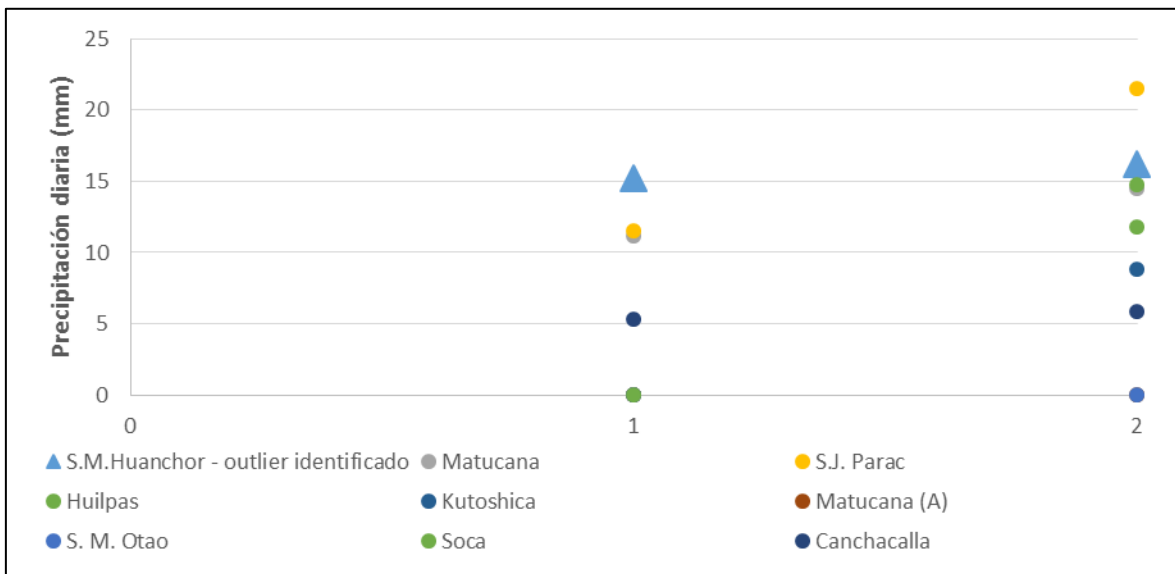


Figura 35: Outliers identificados y eliminados en la estación San Mateo de Huanchor

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

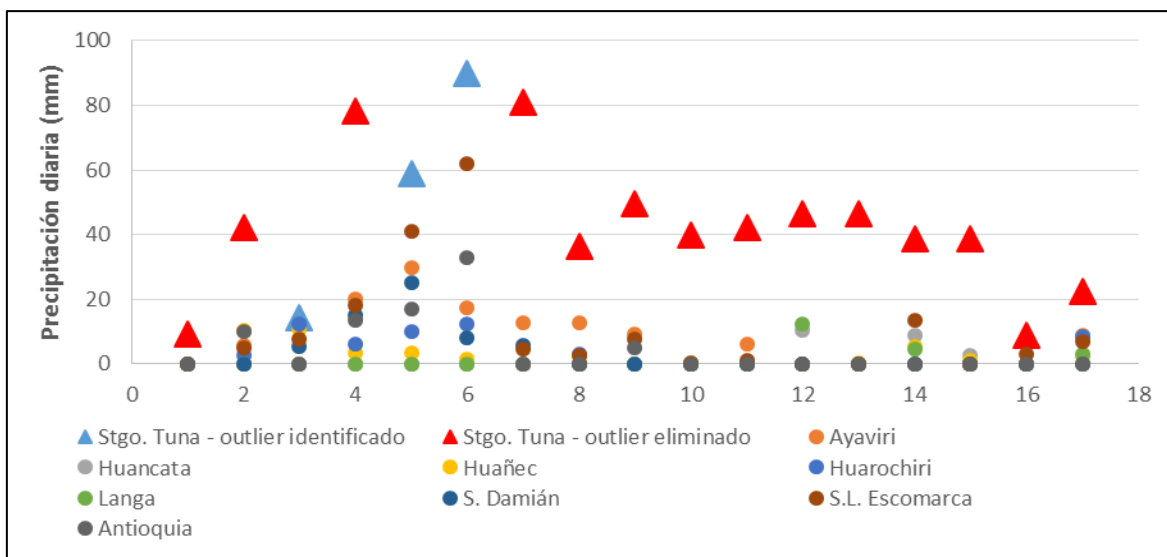


Figura 36: Outliers identificados y eliminados en la estación Santiago de Tuna
Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron las pruebas t de Student y F de Fisher para los registros de precipitación, para lo cual se completaron y extendieron los registros diarios mediante el método del inverso de la distancia y regresión lineal, de modo que se tuvo la totalidad de datos diarios para el periodo comprendido entre el 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

En la Figura 37 y el Cuadro 27 se muestran los resultados de los análisis de consistencia realizados. Se puede observar que todas las estaciones presentan registros pluviométricos inconsistentes. Por ello, se aplicará la corrección de saltos en el primer periodo para las estaciones Canchacalla, Chaute, Huancata, Langa, Matucana, Pantanos de Villa, San José de Parac, San Lázaro de Escomarca, San Mateo de Huanchor y Santiago de Tuna, mientras que la corrección en el segundo periodo se dio en Antioquía, Ayaviri y Manchay Bajo. La corrección respectiva se presenta en la Figura 38 y el Cuadro 28.

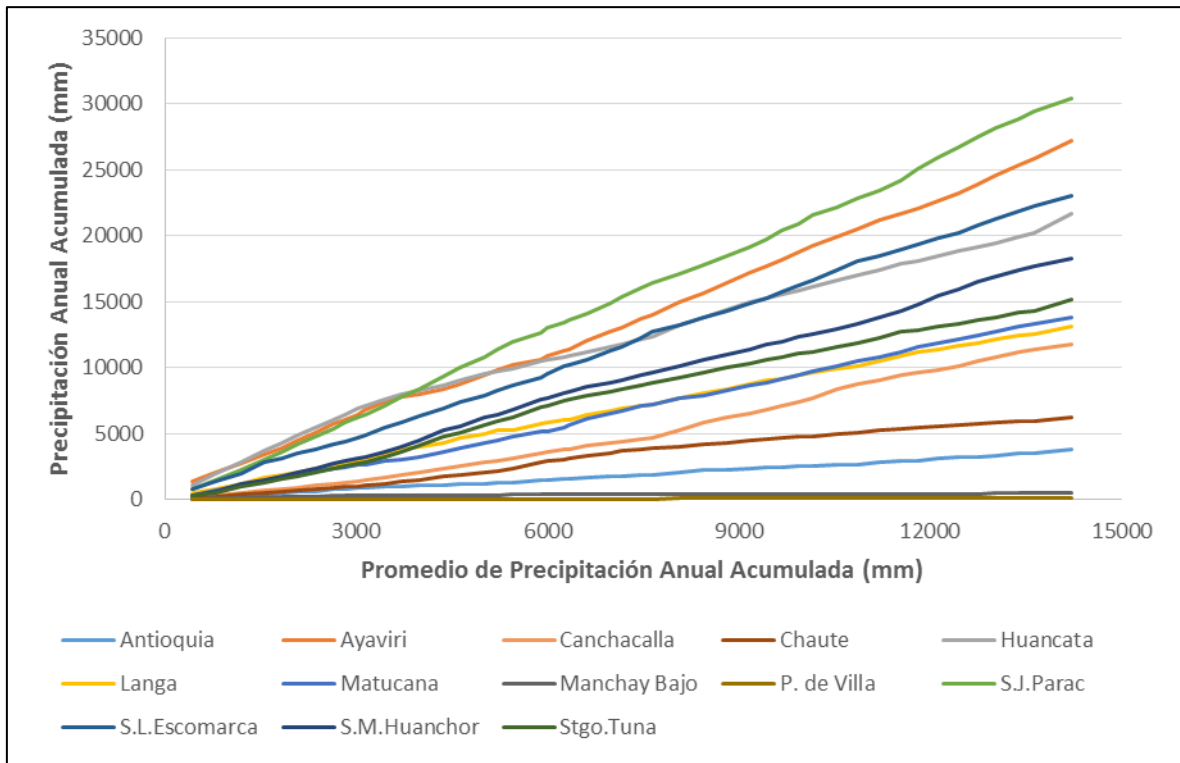


Figura 37: Análisis de doble masa de las estaciones pluviométricas
Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 27: Resultados del análisis de consistencia

Estación	P1	P2	N1	N2	x1	x2	s1	s2	t	t (tabla)	F	F (tabla)	Resultado
Antioquía	70 - 11	12 - 17	42	6	73.2	116.9	44.2	78.5	2.0	2.0	3.2	2.4	Inconsistente
Ayaviri	70 - 15	16 - 17	46	2	551.5	898.5	207.3	545.6	2.0	2.0	6.9	4.1	Inconsistente
Canchacalla	70 - 86	87 - 17	17	31	165.4	289.7	73.3	150.8	3.1	2.0	4.2	2.2	Inconsistente
Chaute	70 - 71	72 - 17	2	46	104.1	131.4	0.2	77.5	0.5	2.0	> 251.5	251.5	Inconsistente
Huancata	70 - 73	74 - 17	4	44	930.3	408.0	110.9	217.7	4.6	2.0	3.9	8.6	Inconsistente
Langa	70 - 74	75 - 17	5	43	375.2	262.1	97.8	115.6	2.1	2.0	1.4	5.7	Inconsistente
Matucana	70 - 76	77 - 17	7	41	308.8	282.9	49.3	102.3	0.6	2.0	4.3	3.8	Inconsistente
M. Bajo	70 - 77	78 - 17	8	40	36.5	4.1	15.4	2.5	12.2	2.0	36.6	2.3	Inconsistente
P. Villa	70 - 74	75 - 17	5	43	1.3	2.4	0.1	3.1	0.8	2.0	> 5.7	5.7	Inconsistente
S. J. Parac	70 - 74	75 - 17	5	43	729.6	621.5	48.2	167.0	1.4	2.0	12.0	5.7	Inconsistente
S. L. Escomarca	70 - 72	73 - 17	3	45	665.7	467.1	76.4	155.8	2.1	2.0	4.2	19.5	Inconsistente
S. M. Huanchor	70 - 71	72 - 17	2	46	316.8	384.1	0.1	156.0	0.6	2.0	> 251.5	251.5	Inconsistente
Stgo. Tuna	70 - 71	72 - 17	2	46	267.1	317.0	3.7	171.1	0.4	2.0	> 251.5	251.5	Inconsistente

Nota: P = periodo de tiempo, N = número de datos, x = promedio, s = desviación estándar, t = estadístico t de Student calculado, t (tabla) = estadístico t de Student de tabla, F = estadístico F de Fisher calculado, F (tabla) = estadístico F de Fisher de tabla.

Fuente: Elaboración propia

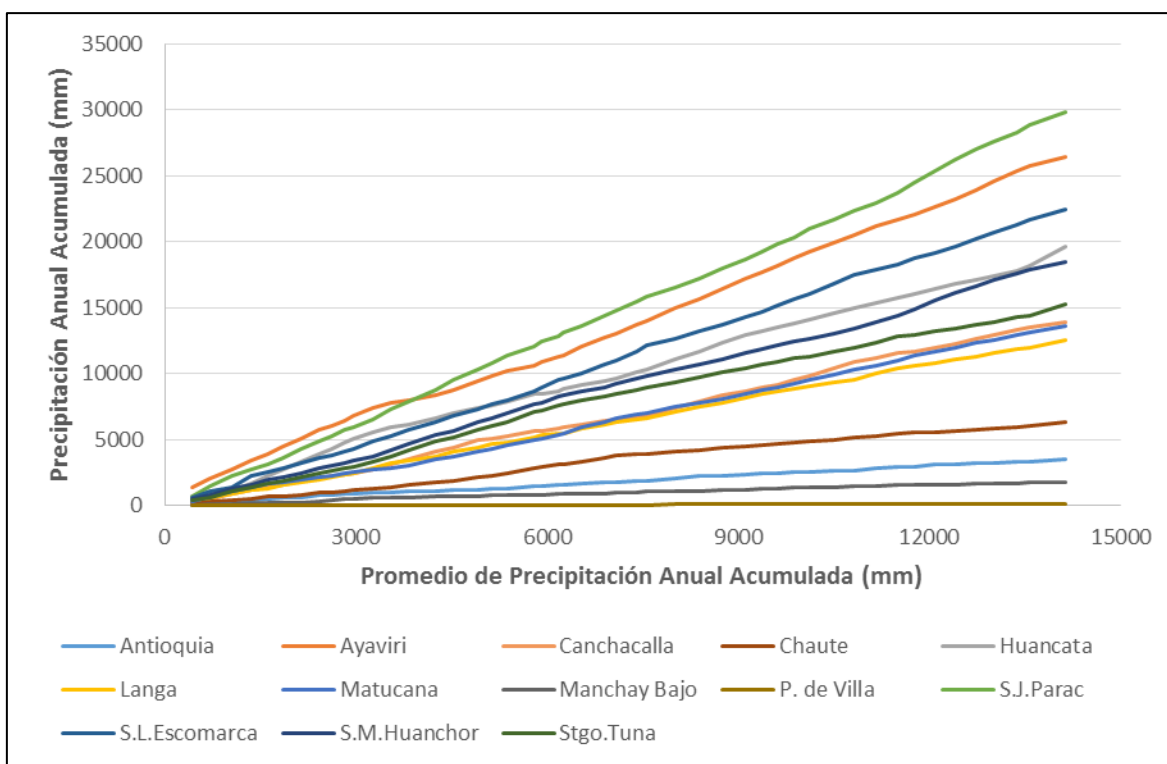


Figura 38: Análisis de doble masa de las estaciones pluviométricas corregidas
Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 28: Resultados del análisis de consistencia con datos corregidos

Estación	P1	P2	N1	N2	x1	x2	s1	s2	t	t (tabla)	F	F (tabla)	Resultado
Antioquía	70 - 11	12 - 17	42	6	73.2	73.2	44.2	44.2	0.0	2.0	1.0	2.4	Consistente
Ayaviri	70 - 15	16 - 17	46	2	551.5	551.5	207.3	207.3	0.0	2.0	1.0	4.1	Consistente
Canchacalla	70 - 86	87 - 17	17	31	289.7	289.7	150.8	150.8	0.0	2.0	1.0	2.2	Consistente
Chaute	70 - 71	72 - 17	2	46	131.4	131.4	77.5	77.5	0.0	2.0	1.0	251.5	Consistente
Huancata	70 - 73	74 - 17	4	44	408.0	408.0	217.7	217.7	0.0	2.0	1.0	8.6	Consistente
Langa	70 - 74	75 - 17	5	43	262.1	262.1	115.6	115.6	0.0	2.0	1.0	5.7	Consistente
Matucana	70 - 76	77 - 17	7	41	282.9	282.9	102.3	102.3	0.0	2.0	1.0	3.8	Consistente
M. Bajo	70 - 77	78 - 17	8	40	36.5	36.5	15.4	15.4	0.0	2.0	1.0	2.3	Consistente
P. Villa	70 - 74	75 - 17	5	43	2.4	2.4	3.1	3.1	0.0	2.0	1.0	5.7	Consistente
S. J. Parac	70 - 74	75 - 17	5	43	621.5	621.5	167.0	167.0	0.0	2.0	1.0	5.7	Consistente
S. L. Escomarca	70 - 72	73 - 17	3	45	467.1	467.1	155.8	155.8	0.0	2.0	1.0	19.5	Consistente
S. M. Huanchor	70 - 71	72 - 17	2	46	384.1	384.1	156.0	156.0	0.0	2.0	1.0	251.5	Consistente
Stgo. Tuna	70 - 71	72 - 17	2	46	317.0	317.0	171.1	171.1	0.0	2.0	1.0	251.5	Consistente

Nota: P = periodo de tiempo, N = número de datos, x = promedio, s = desviación estándar, t = estadístico t de Student calculado, t (tabla) = estadístico t de Student de tabla, F = estadístico F de Fisher calculado, F (tabla) = estadístico F de Fisher de tabla.

Fuente: Elaboración propia

4.2. INFORMACIÓN ESPACIAL

La Figura 39 muestra los mapas obtenidos a partir del modelo de elevación digital. En el mapa de celdas acumuladas, se aprecia el aumento progresivo del área de captación desde la parte alta a la baja. Respecto al mapa de pendiente, se observa que en la parte baja predominan las zonas con pendiente cercana a 0, mientras que la parte media y alta tienen zonas con mayor pendiente, sin embargo, las regiones con pendientes elevadas son pocas. Este mismo patrón se observa también para el mapa de velocidad de flujo en ladera.

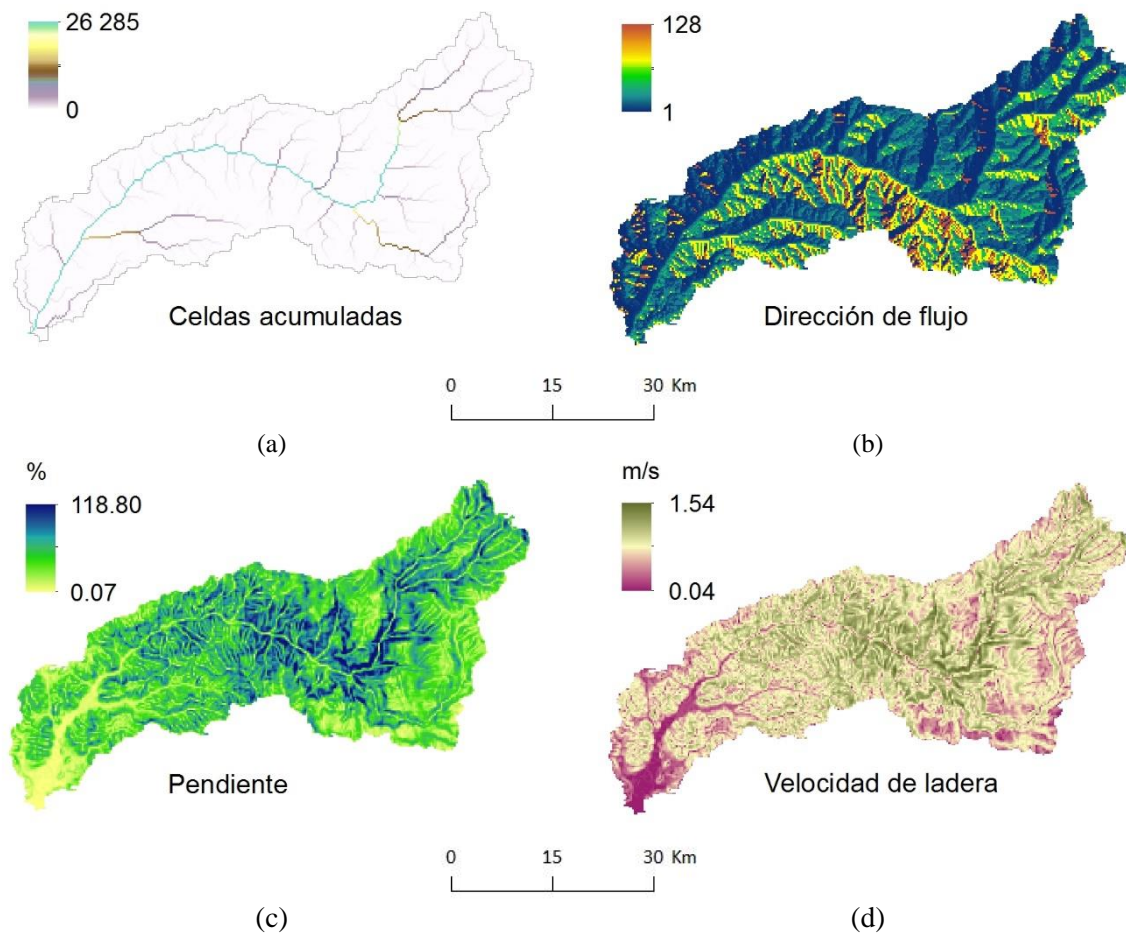


Figura 39: Variabilidad espacial de celdas acumuladas (a), dirección de flujo (b), pendiente (c) y velocidad de flujo en ladera (d).

Fuente: Elaborado con base en un MED de 30 x 30 m de píxel obtenido de LP DAAC (2017)

En las Figura 40 a y b se aprecian los mapas de profundidad de raíces y agua disponible en la capa superior del suelo, respectivamente. En el mapa de disponibilidad de agua, los valores de 15 y 50 mm/m predominan en la cuenca. El valor de 15 mm/m ocupa parte de la zona baja y media, lo cual se debe a los valores bajos de profundidad de raíces. Asimismo, la disponibilidad de agua aumenta a 50 mm/m al aumentar también la profundidad de raíces.

Las Figura 40 c y d muestran el almacenamiento por pendiente y cobertura vegetal, respectivamente. El almacenamiento por pendiente es mayor en la zona baja, debido a la pendiente cercana a 0. Por otro lado, los valores de almacenamiento por cobertura vegetal que predominan son 0, 6 y 5 mm correspondientes al desierto costero, pajonal andino y matorral arbustivo, respectivamente.

Las Figura 40 e y f muestran los mapas de almacenamiento por capilar y superficial, respectivamente. Se observa que el almacenamiento capilar es mayor en la parte alta que la baja, debido a la presencia de pajonal andino y matorral arbustivo, lo cual influye en una mayor profundidad de raíces y disponibilidad de agua en la capa superior del suelo. Respecto al almacenamiento superficial, esta tendencia se mantiene, sin embargo, en la parte baja se tienen valores elevados, debido a la presencia de zonas de agricultura.

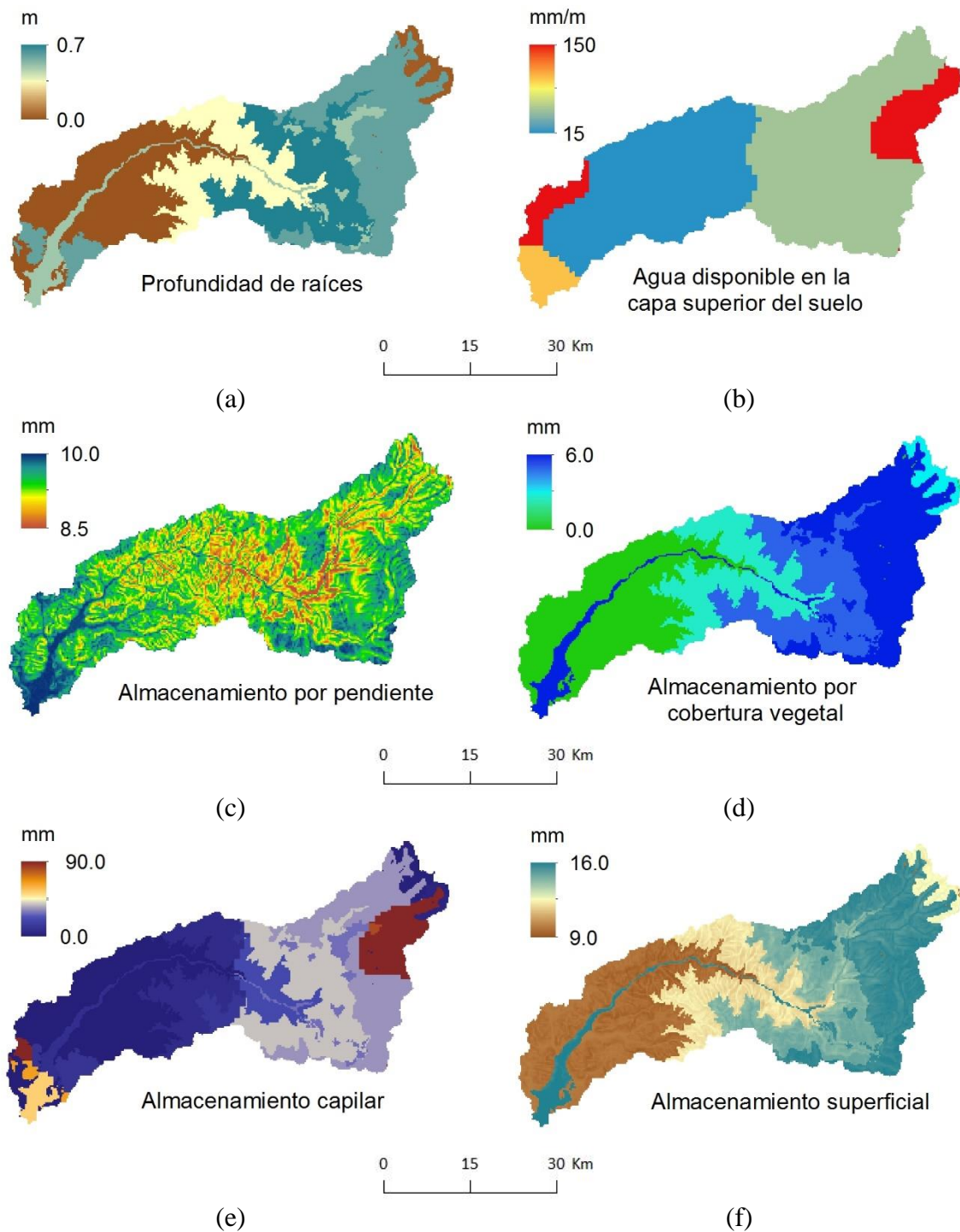


Figura 40: Variabilidad espacial de profundidad de raíces (a), agua disponible en la capa superior (b) y almacenamiento por pendiente (c), cubierta (d), capilar (e) y superficial (f)

Fuente: Elaborado con base en Ramírez (2012) y HWSD (2012)

En la Figura 41a se puede apreciar el mapa de almacenamiento estático, el cual mantiene la tendencia en la que la parte alta retiene más agua que la baja. Los mapas de conductividad hidráulica del suelo y acuífero se muestran en las Figura 41 b y c. La conductividad del

suelo es superior en la zona alta que la baja, lo cual puede deberse a la cual cubierta vegetal que predomina en cada una. Por otra parte, esta misma tendencia se observa en el mapa de conductividad hidráulica del acuífero, en el que se observa una zona de transición entre la zona alta y baja que tiene el menor valor de K_p , pero que aumenta aguas abajo.

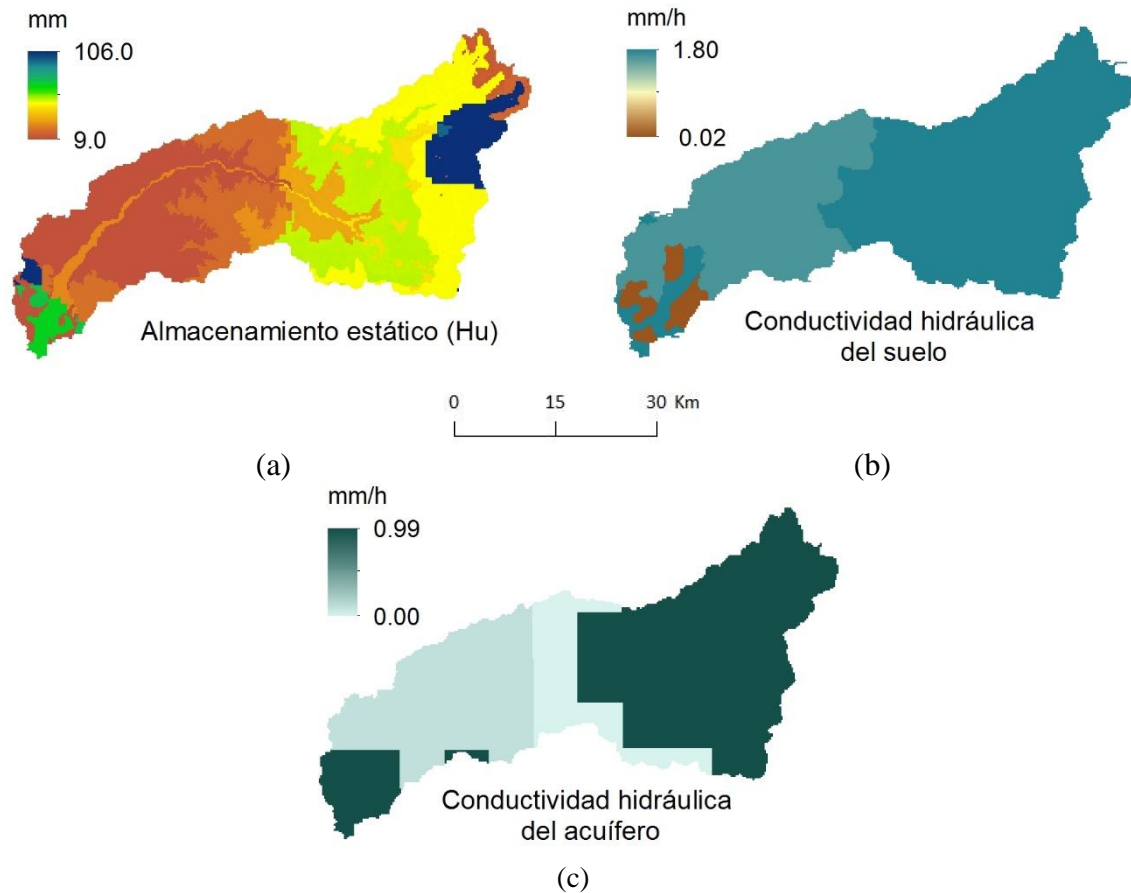


Figura 41: Variabilidad espacial de almacenamiento estático (a) y conductividad hidráulica del suelo (b) y acuífero (c).

Fuente: Elaborado con base en Fetter (1994) y Gleeson et al. (2011, 2014)

4.3. CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN

4.3.1 CALIBRACIÓN

La calibración automática de los parámetros del modelo se muestra en la Figura 43, en la que se observan zonas con valores dispersos que, conforme la calibración avanza, tienden a agruparse e incrementar el NSE. Los valores definitivos de los parámetros del modelo y las condiciones iniciales de humedad se muestran en los Cuadro 29 y Cuadro 31, respectivamente.

Según Francés *et al.* (2014), FC_1 y FC_2 deben ser cercanos a uno, pero al ser ligeramente menores, disminuyen las pérdidas de agua por retención y evapotranspiración, respectivamente. Asimismo, Francés *et al.* (2014) indican que FC_3 debe ser cercano a 0.2, sin embargo, al ser menor, disminuye los valores de conductividad hidráulica del suelo. Por otro lado, FC_4 puede estar entre 0.01 y 10 (Francés *et al.* 2014), sin embargo, al ser menor hace que el agua discurra lentamente por las laderas, de modo que no se incrementen los picos.

Respecto a FC_5 , que debe ser cercano a 0.2 (Francés *et al.* 2014), al ser menor reduce la percolación, es decir, dispone más agua para interflujo y reduce la disponibilidad para el flujo base. Por otra parte, Francés *et al.* (2014) indican que FC_6 y FC_8 pueden estar entre 0.001 y 100000, por lo tanto, al ser mayores que uno aumentan la conductividad hidráulica horizontal del suelo y acuífero, respectivamente. En lo concerniente a FC_9 , Francés *et al.* (2014) indican que si es cercano a 1, los factores geomorfológicos se asumieron correctamente, por lo tanto, los factores asumidos en el presente trabajo son correctos.

Respecto al factor de interpolación de lluvia, se usó en la ecuación de interpolación de cota y precipitación observada, y al ser mayor a cero incrementa la precipitación. Asimismo, el exponente de infiltración al tanque estático, p_1 , al ser mayor a cero reduce la capacidad del tanque de almacenamiento estático y aumenta el agua disponible para la infiltración, lo cual incrementa el interflujo y flujo base. El número de estaciones a interpolar se eligió en base al mejor resultado en términos de índices de eficiencia.

En la Figura 42 se aprecia el hidrograma de los caudales observados y simulados para el periodo de calibración. Respecto al valor de los índices de eficiencia de Nash, Ev y RSR , se muestran también en el Figura 42 y, según Moriasi *et al.* (2007), y Donigian y Imhoff (2002), citados por Ramos (2013), los resultados pertenecen a la categoría de muy bueno.

Cuadro 29: Parámetros del modelo TETIS calibrados en la estación Manchay

Factor corrector	Parámetro del modelo	Valor
FC-1	Almacenamiento estático	0.9419
FC-2	Evapotranspiración	0.9993
FC-3	Infiltración	0.0524
FC-4	Escorrentía directa	0.00008
FC-5	Percolación	0.0015
FC-6	Interflujo	2453.071289
FC-7	Pérdidas subterráneas	0.00
FC-8	Flujo base	434.430542
FC-9	Velocidad en los cauces	1.0000
β	Factor de interpolación de lluvia	0.0005
p1	Exponente de infiltración al tanque estático	2.9
EST	Número de estaciones interpoladas	3

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 30: Condiciones iniciales de humedad del periodo de calibración de la estación Manchay

Estado inicial	Descripción	Valor
H-1	Almacenamiento estático (%)	0.0002
H-2	Agua en superficie (mm)	0.0008
H-3	Almacenamiento gravitacional (mm)	0.0011
H-4	Nivel del acuífero (mm)	0.0007
H-5	Cauce a sección llena (%)	0.2001
H-6	Intercepción por la vegetación (%)	0.0003

Fuente: Elaboración propia

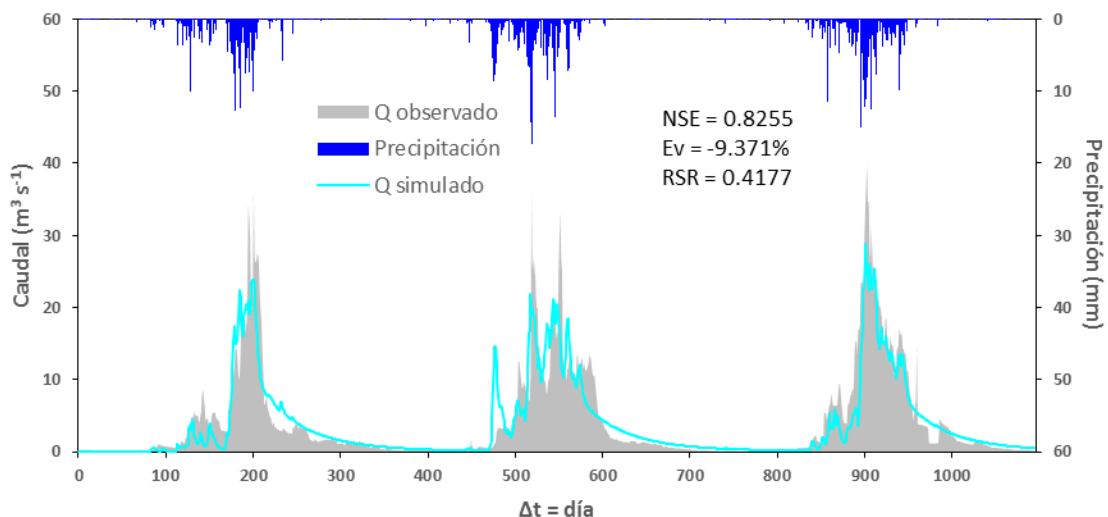


Figura 42: Hidrograma del caudal observado y simulado de la calibración a escala diaria en la estación Manchay (altitud: 229 m.s.n.m.).

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1974 al 31 de agosto de 1977.

Fuente: Elaboración propia

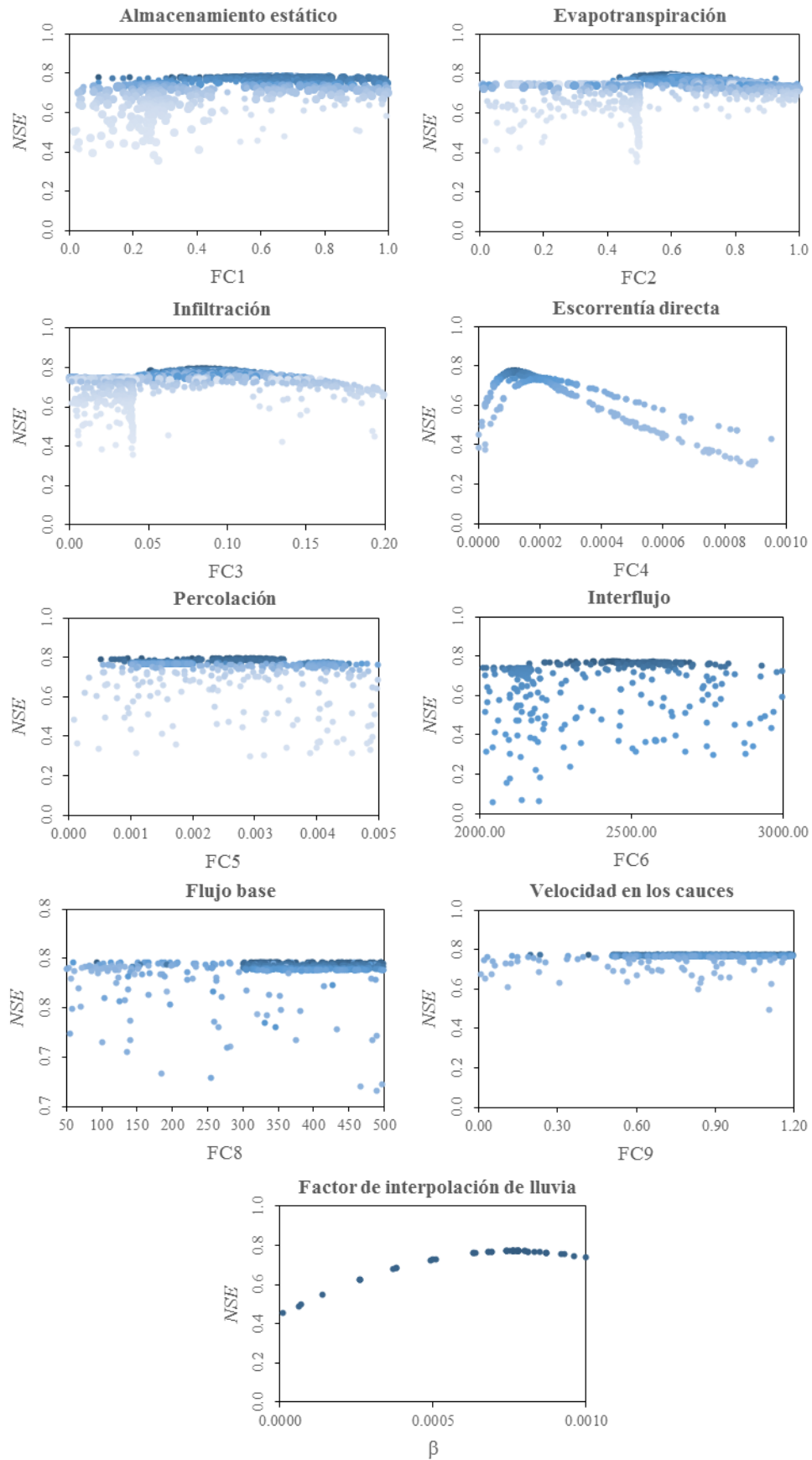


Figura 43: Calibración automática de los parámetros del modelo TETIS

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 VALIDACIÓN

En la Figura 42 se muestra el hidrograma de los caudales observados y simulados del periodo de validación, cuyos índices de eficiencia están en el Cuadro 33, los cuales, según Moriasi *et al.* (2007), y Donigian y Imhoff (2002), citados por Ramos (2013), pertenecen a la categoría de muy bueno. Los valores de condiciones iniciales de humedad se muestran en el Cuadro 31.

Cuadro 31: Condiciones iniciales de humedad del periodo de validación de la estación

Manchay

Estado inicial	Descripción	Valor
H-1	Almacenamiento estático (%)	0.0001
H-2	Agua en superficie (mm)	0.0013
H-3	Almacenamiento gravitacional (mm)	0.0107
H-4	Nivel del acuífero (mm)	0.0012
H-5	Cauce a sección llena (%)	0.3002
H-6	Intercepción por la vegetación (%)	0.0001

Fuente: Elaboración propia

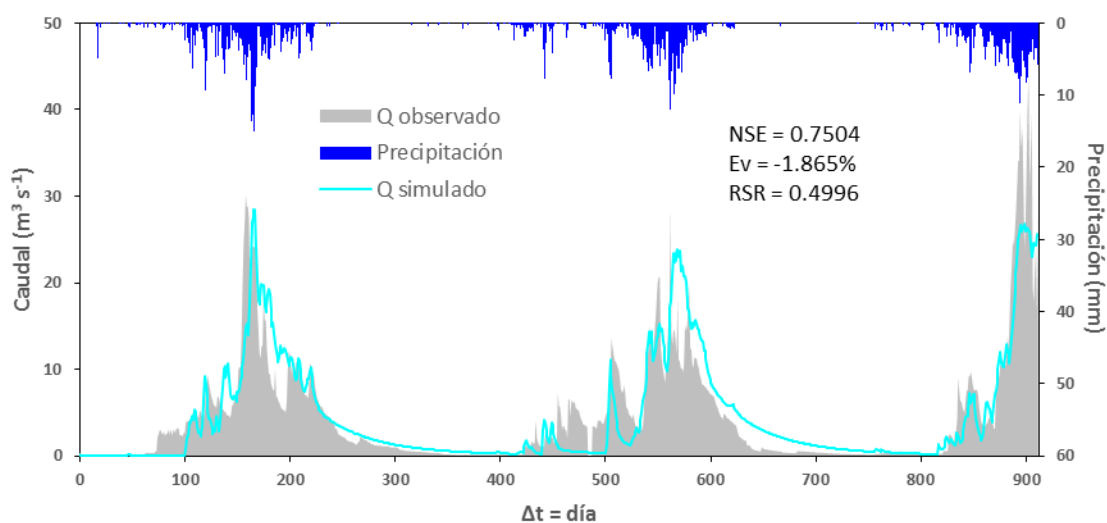


Figura 44: Hidrograma del caudal observado y simulado de la validación a escala diaria en la estación Manchay (altitud: 229 m.s.n.m.).

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1981 al 29 de febrero de 1984.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 32: Estadísticos de la calibración con datos diarios en la estación Manchay.**Periodo de calibración: 01 de septiembre de 1974 al 31 de agosto de 1977.**

Estadísticos	Septiembre 1974 - Agosto 1977
	$\Delta t = \text{día}$
Caudal máximo observado ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	39.860
Caudal máximo simulado ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	28.781
Nro. De datos	1096
Volumen observado (Hm^3)	394.758
Volumen simulado (Hm^3)	357.766
Error en el volumen (%)	-9.371
NSE	0.8255
RMSE ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	2.776
RSR	0.4177
Área acumulada (km^2)	1275.062

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 33: Estadísticos de la validación con datos diarios en la estación Manchay.**Periodo de validación: 01 de septiembre de 1981 al 29 de febrero de 1984.**

Estadísticos	Septiembre 1981 - Febrero 1984
	$\Delta t = \text{día}$
Caudal máximo observado ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	43.850
Caudal máximo simulado ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	28.499
Nro. De datos	912
Volumen observado (Hm^3)	358.927
Volumen simulado (Hm^3)	352.235
Error en el volumen (%)	-1.865
NSE	0.7504
RMSE ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	3.325
RSR	0.4996
Área acumulada (km^2)	1275.062

Fuente: Elaboración propia

4.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO TETIS

La Figura 45 muestra la influencia de los parámetros del modelo sobre el caudal promedio simulado. Los más influyentes son el factor de interpolación de lluvia (β) y el de evapotranspiración (FC_2), los cuales tienen efectos opuestos, ya que el factor β incrementa el agua proveniente por lluvias, lo cual aumenta el caudal, mientras que FC_2 al aumentar, disminuye el agua disponible para la generación de caudal, y viceversa.

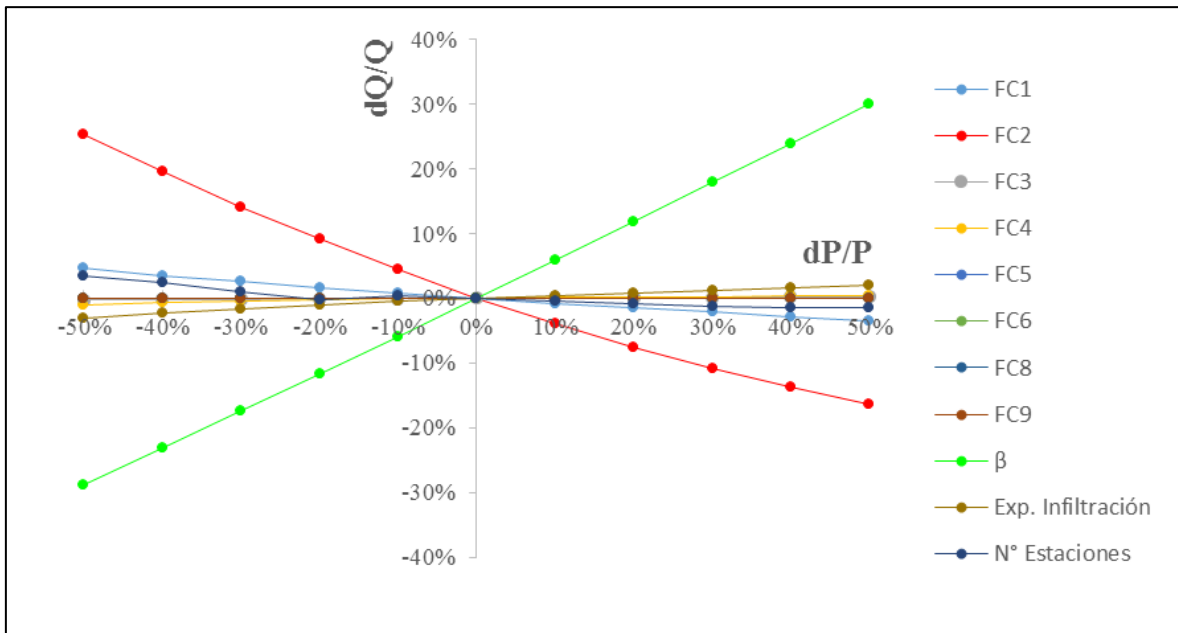


Figura 45: Variación porcentual del caudal promedio respecto a la variación de los parámetros del modelo.

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

4.5. SIMULACIÓN DE CAUDALES DIARIOS EN LA ZONA DE ESTUDIO

La Figura 46 muestra los diagramas circulares de los flujos componentes de la escorrentía total para tres zonas de la cuenca, en los que se observa que la escorrentía directa es la mayor aportante con porcentajes que ascienden al 50.6% en San Damián y 50.4% en Antapucro y Manchay, seguido por el interflujo con un 41.4% en San Damián y 41.2% para Antapucro y Manchay. Finalmente, el flujo base ocupa un 8.0 por ciento en la subcuenca San Damián y 8.4 por ciento en las subcuencas Antapucro y Manchay. En el Cuadro 34 se presenta el balance hídrico de cada una de las subcuencas en evaluación.

Los resultados de las simulaciones realizadas en las estaciones San Damián, Antapucro y Manchay se muestran desde la Figura 47 a la Figura 52, en las que se aprecian los diagramas de precipitación, caudal y evaporación, así como, los flujos que conforman la escorrentía total y los tres tipos de almacenamiento (estático, gravitacional y del acuífero).

En la subcuenca San Damián, el caudal máximo en el periodo de simulación se registra el 13 de marzo de 1972 y asciende a 17.6 m³/s, mientras que para las subcuencas Antapucro y Manchay, sus caudales máximos simulados ascienden a 45.7 m³/s y 47.0 m³/s, los cuales se dieron el 15 de enero de 1970.

Asimismo, dado que el mayor aportante de la escorrentía total proviene de la escorrentía directa, ello indica que la cuenca de Lurín reacciona rápidamente a la presencia de lluvias, lo cual explica los abruptos incrementos de caudal (picos) y sus rápidos descensos.

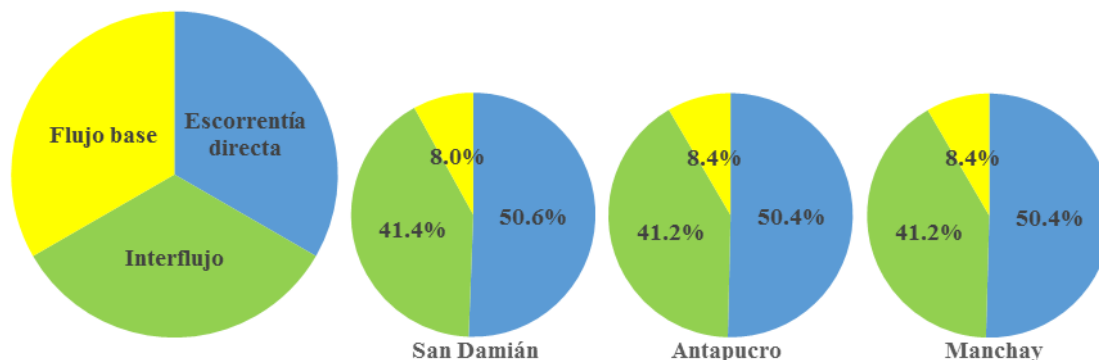


Figura 46: Porcentajes de la composición de la escorrentía total en la parte alta (San Damián), media (Antapucro) y baja (Manchay) de la cuenca del río Lurín.

Periodo de análisis 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 34: Componentes del balance hídrico en la unidad hidrográfica del río Lurín

	San Damián	Antapucro	Manchay
Cubierta vegetal:			
Lluvia [mm]:	28136.5	17969.5	14832.8
Evaporación desde interceptación [mm]:	8183.1	7102.3	5805.5
Suelo (almacenamiento estático):			
Lluvia directa [mm]:	19953.7	10867.0	9027.1
Evapotranspiración [mm]:	9866.6	5255.1	4551.3
Agua en superficie:			
Excedente [mm]:	10087.0	5611.9	4475.8
Escorrentía directa [mm]:	5628.0	3170.6	2535.4
Almacenamiento gravitacional:			
Infiltración [mm]:	4451.7	2433.8	1934.4
Interflujo [mm]:	4344.2	2377.1	1889.5
Acuífero:			
Percolación [mm]:	107.5	56.6	44.9
Flujo base [mm]:	826.9	475.4	377.2
Pérdidas subterráneas [mm]:	0.0	0.0	0.0
Caudal de salida de la cuenca [mm]:	10078.4	5603.1	4468.8

Fuente: Elaboración propia

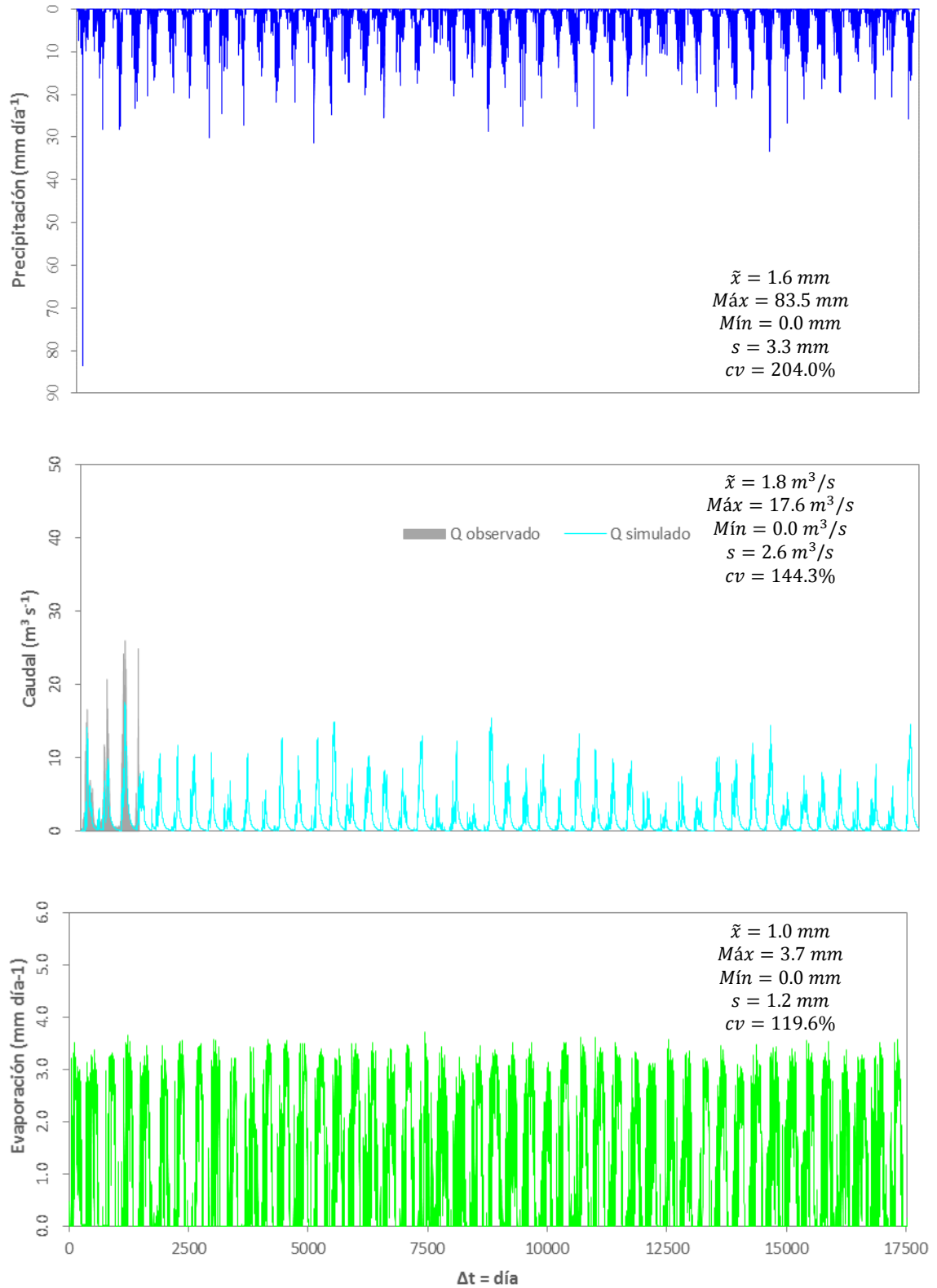


Figura 47: Variación temporal de la precipitación, caudal y evaporación en el área colectora de la estación San Damián (altitud: 2842 m.s.n.m.)

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017

Fuente: Elaboración propia

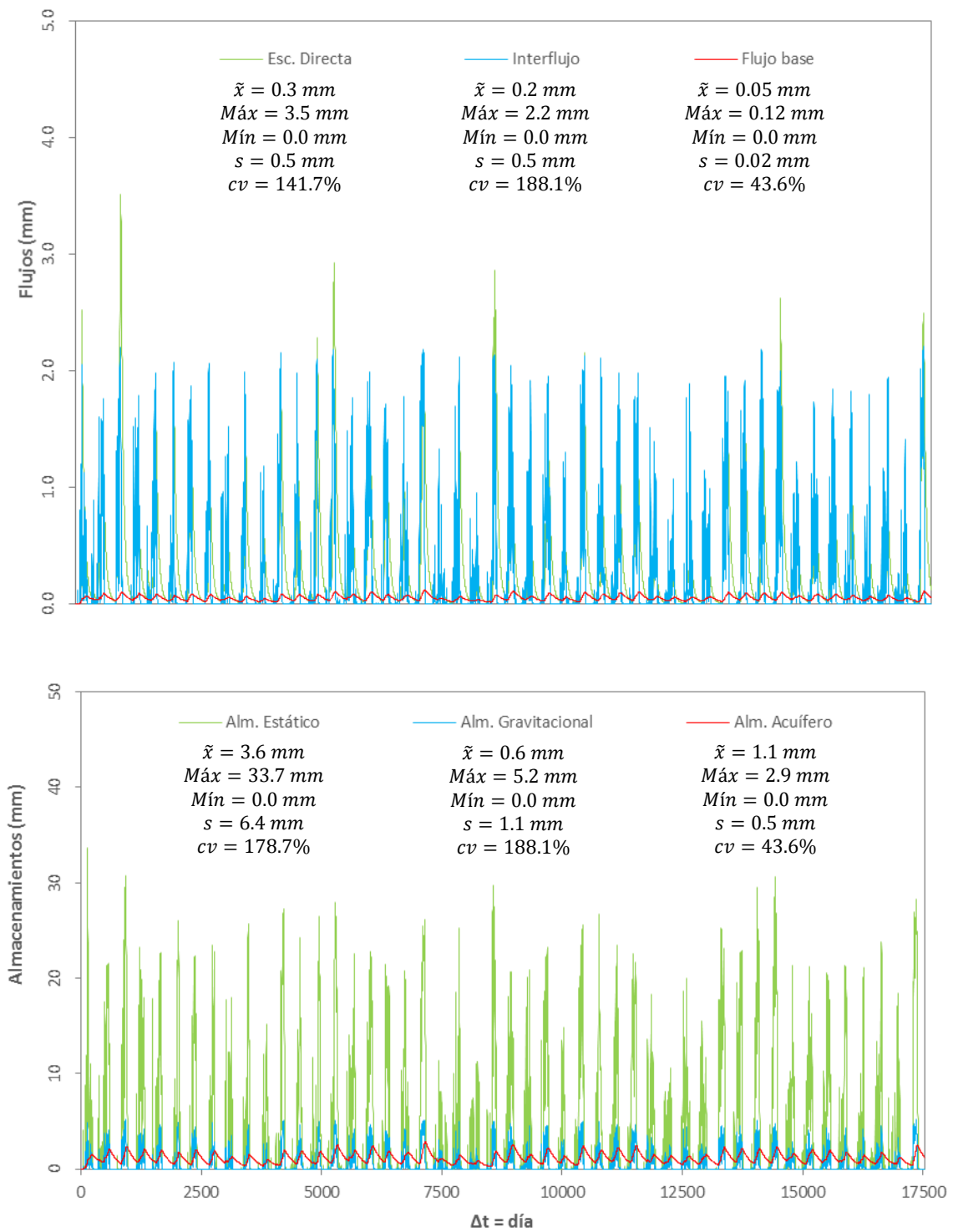


Figura 48: Variación temporal de los flujos horizontales y almacenamientos en el área colectora de la estación San Damián (altitud: 2842 m.s.n.m.)

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017

Fuente: Elaboración propia

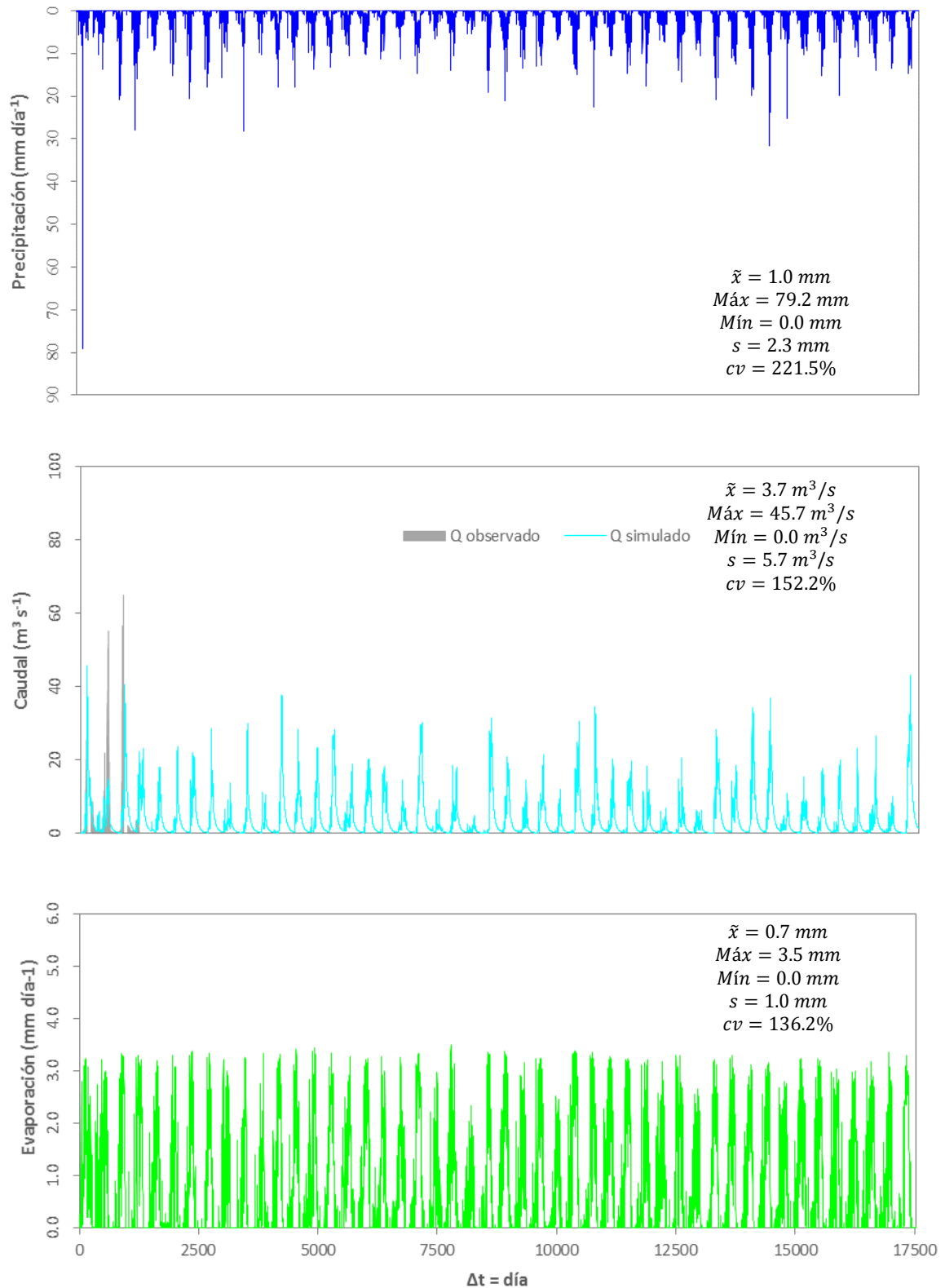


Figura 49: Variación temporal de la precipitación, caudal y evaporación en el área colectora de la estación Antapucro (altitud: 1026 m.s.n.m.).

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017

Fuente: Elaboración propia

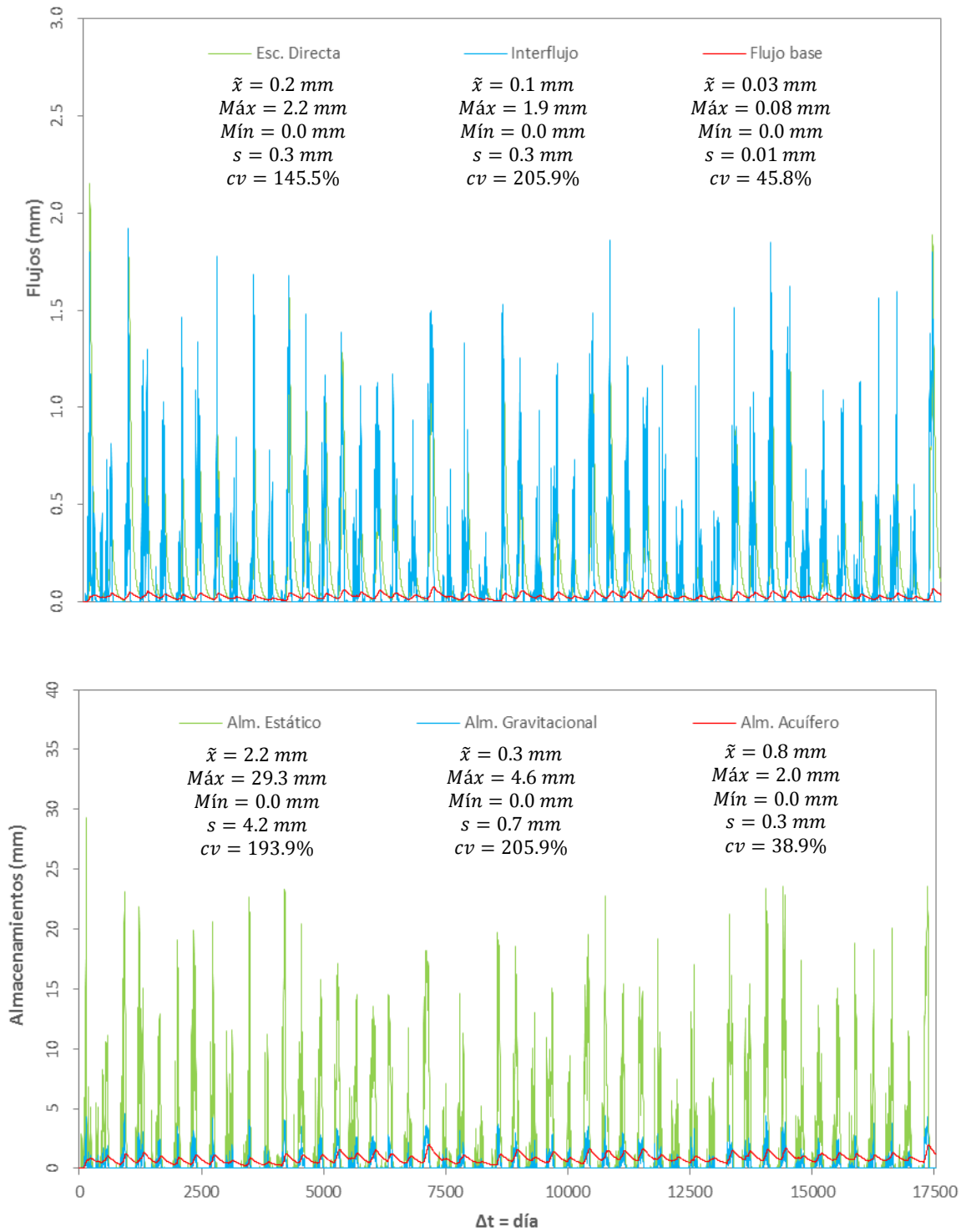


Figura 50: Variación temporal de los flujos horizontales y almacenamientos en el área colectora de la estación Antapucro (altitud: 1026 m.s.n.m.).

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017

Fuente: Elaboración propia

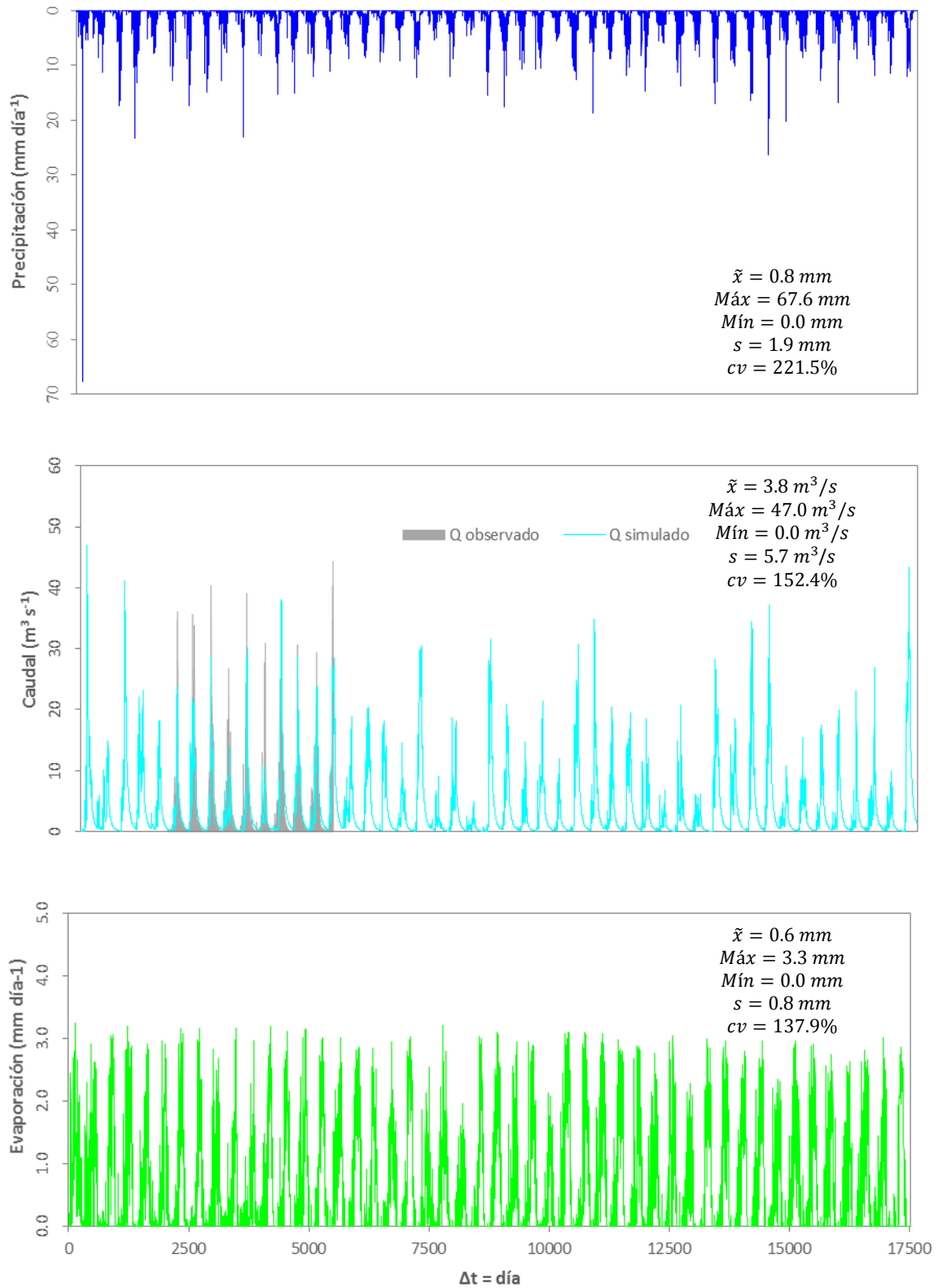


Figura 51: Variación temporal de la precipitación, caudal y evaporación en el área colectora de la estación Manchay (altitud: 229 m.s.n.m.).

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017

Fuente: Elaboración propia

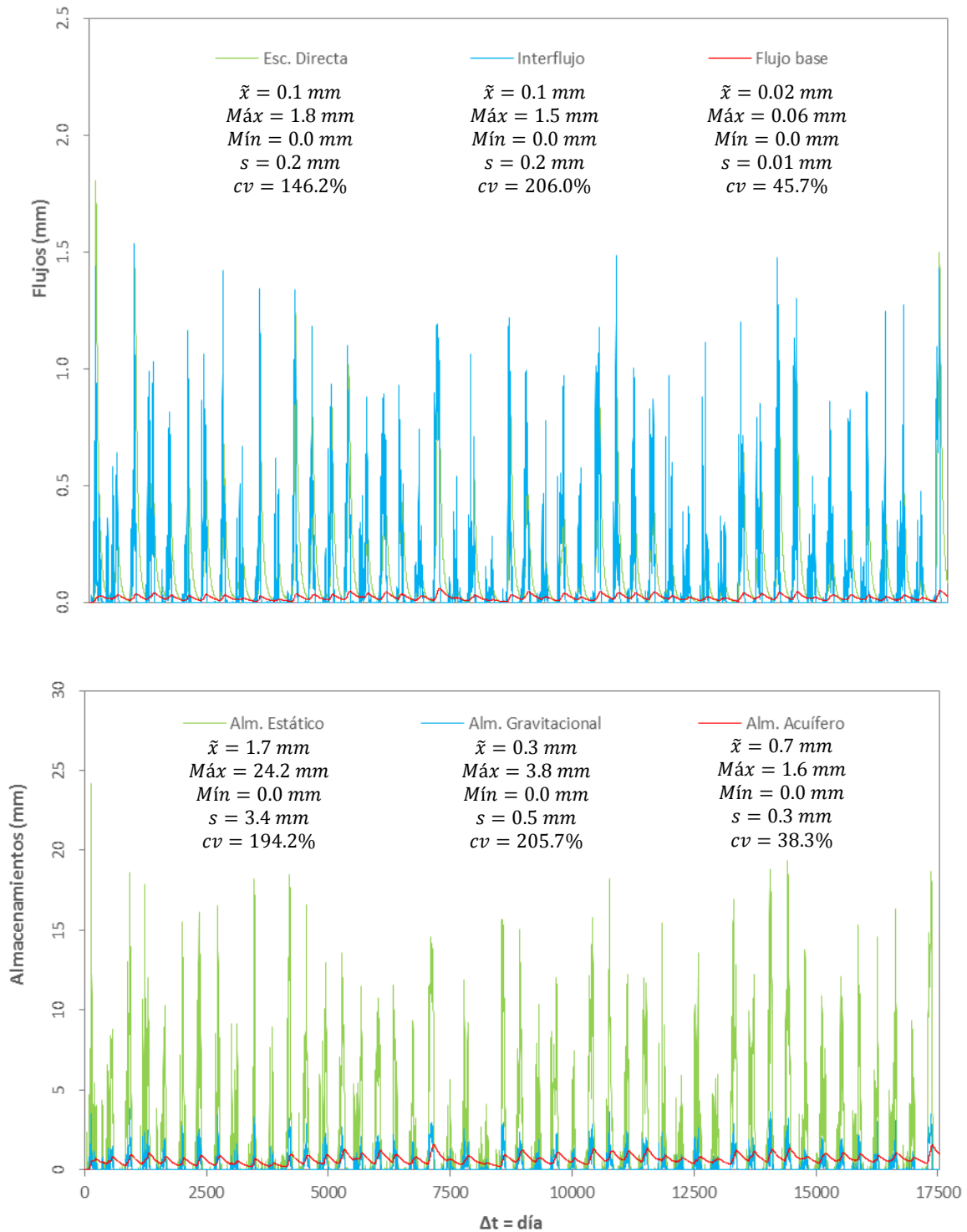


Figura 52: Variación temporal de los flujos horizontales y almacenamientos en el área colectora de la estación Manchay (altitud: 229 m.s.n.m.).

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017

Fuente: Elaboración propia

La precipitación anual de cada subcuenca fue analizada mediante el *Standardized Precipitation Index*, a fin de determinar en base a la magnitud de la precipitación si cada uno de los años hidrológicos que conforman el periodo de simulación fue extremadamente seco, severamente seco, moderadamente seco, normal, moderadamente húmedo, muy húmedo o extremadamente húmedo. Los resultados de dicho análisis se presentan en la Figura 53, así como en el Cuadro 35.

En la subcuenca San Damián, se observa que el año 1984 es el único que es clasificado como muy húmedo, es decir, su SPI es superior a 1.5, pero menor a 2.0, teniendo un valor de 1.65. En dicho año, la precipitación alcanzó un valor de 828.3 mm. Por otro lado, se tiene que los años 1980, 1990 y 1992 están en la categoría de extremadamente seco, teniendo valores de SPI de -2.28, -2.05 y -2.18, mientras que la precipitación alcanzó valores iguales a 318.7, 340.2 y 326.2, respectivamente, es decir, en promedio se obtuvo 328.3 mm. En lo concerniente a las demás categorías, se encontró 8, 30, 5 y 1 años hidrológicos en las categorías de moderadamente húmedo, normal, moderadamente seco y severamente seco con precipitaciones anuales promedio de 762.5, 590.7, 426.8 y 367.8 mm, respectivamente.

En lo concerniente a la subcuenca Antapucro, los años 1989, 1998 y 2017 están clasificados como muy húmedos, cuya precipitación anual asciende en promedio a 573.6 mm. Por otra parte, los años hidrológicos 1980 y 1992 se encuentran en la categoría de extremadamente seco, cuyo promedio de precipitación anual es igual a 160.1 mm. En relación a las categorías de moderadamente húmedo, normal, moderadamente seco y extremadamente seco, se encontraron un total de 3, 33, 5 y 2 años hidrológicos que en promedio tuvieron precipitaciones anuales de 497.4, 388.0, 245.7 y 201.5 mm, respectivamente.

Por otra parte, en la subcuenca Manchay, los años 1989, 1998 y 2017 se encuentran en la categoría de muy húmedo, teniendo en promedio una precipitación anual de 473.8 mm, mientras que en la categoría extremadamente seco, están los años 1980 y 1992 con una precipitación anual que en promedio es igual a 131.1 mm. En relación a la categoría moderadamente húmeda, normal, moderadamente seco y extremadamente seco, para cada una se halló un total de 3, 33, 5 y 2 años hidrológicos que en promedio tuvieron precipitaciones anuales de 413.8, 320.1, 203.1 y 164.7 mm, correspondientemente.

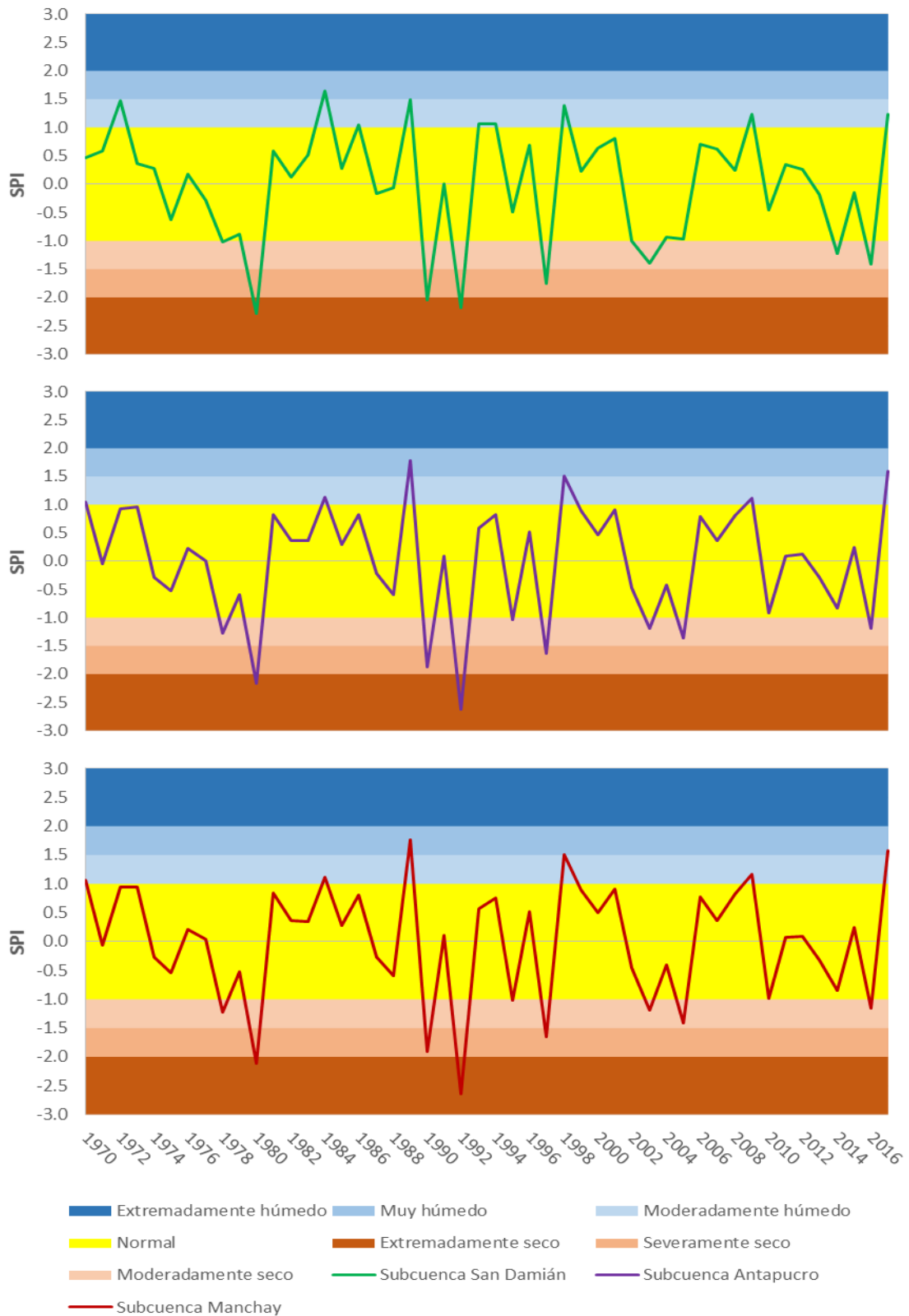


Figura 53: Valores de SPI de las subcuencas San Damián (panel superior), Antapucro (panel medio) y Manchay (panel inferior).

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 35: Años secos y húmedos según subcuenca de análisis

Año	Subcuenca San Damián		Subcuenca Antapucro		Subcuenca Manchay	
	SPI	Clasificación	SPI	Clasificación	SPI	Clasificación
1970	0.46	Normal	1.04	Moderadamente húmedo	1.07	Moderadamente húmedo
1971	0.59	Normal	-0.04	Normal	-0.06	Normal
1972	1.47	Moderadamente húmedo	0.93	Normal	0.95	Normal
1973	0.37	Normal	0.96	Normal	0.94	Normal
1974	0.27	Normal	-0.29	Normal	-0.27	Normal
1975	-0.63	Normal	-0.53	Normal	-0.54	Normal
1976	0.18	Normal	0.22	Normal	0.20	Normal
1977	-0.28	Normal	0.00	Normal	0.03	Normal
1978	-1.02	Moderadamente seco	-1.27	Moderadamente seco	-1.22	Moderadamente seco
1979	-0.88	Normal	-0.60	Normal	-0.53	Normal
1980	-2.28	Extremadamente seco	-2.16	Extremadamente seco	-2.11	Extremadamente seco
1981	0.59	Normal	0.83	Normal	0.84	Normal
1982	0.13	Normal	0.37	Normal	0.36	Normal
1983	0.51	Normal	0.37	Normal	0.35	Normal
1984	1.65	Muy húmedo	1.13	Moderadamente húmedo	1.12	Moderadamente húmedo
1985	0.28	Normal	0.29	Normal	0.27	Normal
1986	1.05	Moderadamente húmedo	0.83	Normal	0.81	Normal
1987	-0.17	Normal	-0.22	Normal	-0.27	Normal
1988	-0.06	Normal	-0.59	Normal	-0.59	Normal
1989	1.49	Moderadamente húmedo	1.78	Muy húmedo	1.77	Muy húmedo
1990	-2.05	Extremadamente seco	-1.88	Severamente seco	-1.90	Severamente seco
1991	0.00	Normal	0.09	Normal	0.10	Normal
1992	-2.18	Extremadamente seco	-2.62	Extremadamente seco	-2.65	Extremadamente seco
1993	1.06	Moderadamente húmedo	0.59	Normal	0.57	Normal
1994	1.06	Moderadamente húmedo	0.82	Normal	0.76	Normal
1995	-0.49	Normal	-1.03	Moderadamente seco	-1.02	Moderadamente seco
1996	0.68	Normal	0.52	Normal	0.52	Normal
1997	-1.75	Severamente seco	-1.64	Severamente seco	-1.65	Severamente seco
1998	1.39	Moderadamente húmedo	1.50	Muy húmedo	1.51	Muy húmedo
1999	0.23	Normal	0.89	Normal	0.89	Normal
2000	0.64	Normal	0.47	Normal	0.50	Normal
2001	0.81	Normal	0.90	Normal	0.90	Normal
2002	-1.00	Moderadamente seco	-0.48	Normal	-0.45	Normal
2003	-1.40	Moderadamente seco	-1.20	Moderadamente seco	-1.19	Moderadamente seco
2004	-0.93	Normal	-0.43	Normal	-0.40	Normal
2005	-0.97	Normal	-1.37	Moderadamente seco	-1.41	Moderadamente seco
2006	0.70	Normal	0.79	Normal	0.78	Normal
2007	0.61	Normal	0.37	Normal	0.37	Normal
2008	0.25	Normal	0.80	Normal	0.82	Normal
2009	1.24	Moderadamente húmedo	1.11	Moderadamente húmedo	1.16	Moderadamente húmedo
2010	-0.45	Normal	-0.91	Normal	-0.98	Normal
2011	0.35	Normal	0.09	Normal	0.08	Normal
2012	0.26	Normal	0.12	Normal	0.09	Normal
2013	-0.18	Normal	-0.29	Normal	-0.32	Normal
2014	-1.23	Moderadamente seco	-0.84	Normal	-0.85	Normal
2015	-0.15	Normal	0.24	Normal	0.25	Normal
2016	-1.41	Moderadamente seco	-1.20	Moderadamente seco	-1.16	Moderadamente seco
2017	1.23	Moderadamente húmedo	1.59	Muy húmedo	1.57	Muy húmedo

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 54 puede apreciarse los mapas de isoyetas de los años hidrológicos 1992, 1996 y 1998 que se encuentran en la categoría extremadamente seco, normal y muy húmedo, respectivamente.

En 1992, la precipitación se concentra principalmente en la parte alta, variando entre los 80 mm a 260 mm. En la parte media, la precipitación oscila entre los 40 mm a 60 mm, es decir, es casi 70% menos a comparación de la parte alta. Por otra parte, en la parte baja de la cuenca del río Lurín, la precipitación es menor a los 40 mm. El caudal promedio diario simulado es 0.54 m³/s para la subcuenca San Damián, mientras que ascendió a 0.70 m³/s para las subcuencas Antapucro y Manchay, por lo que se incrementó en solo un 29.6%, a pesar que el área de captación de las subcuencas Antapucro y Manchay es un 276% y 375%, respectivamente, respecto a San Damián, por ende, durante años hidrológicos extremadamente secos, el caudal del río Lurín proviene principalmente de la parte alta de la cuenca.

Durante 1996, en la parte alta, la precipitación oscila entre 280 mm y 480 mm, mientras que en la parte media varía entre 200 mm y 280 mm. Respecto a la parte baja, la precipitación va desde 80 mm a 200 mm. En lo concerniente al caudal promedio diario simulado, este asciende a 2.2 m³/s en la subcuenca San Damián y 3.8 m³/s en las subcuencas Antapucro y Manchay. De ello, se entiende que en un año hidrológico normal, el caudal aumenta desde la parte alta hacia la baja en aproximadamente un 70%.

Finalmente, en 1998, en la parte alta, la precipitación se encontró entre 400 mm y 500 mm, mientras que en la parte media, esta osciló de 300 mm a 400 mm. En la parte baja, la precipitación varió de 100 mm a 300 mm. Respecto al caudal promedio diario simulado, este es igual a 2.7 m³/s en la subcuenca San Damián y 6.0 m³/s en las subcuencas Antapucro y Manchay, por lo que se produce un aumento de caudal en 122%.

A partir de lo expuesto, en lo concerniente a caudal, el mayor aporte proviene de la parte alta de la cuenca del río Lurín, ya que es en ella en la cual se producen las mayores cantidades de precipitación, tomando un mayor protagonismo durante años hidrológicos extremadamente secos. Si bien en años hidrológicos normales y húmedos, la parte media y baja de la cuenca pueden realizar un mayor aporte de precipitación para la generación de escorrentía en la cuenca, la precipitación proveniente de la parte alta es relevante también durante los años pertenecientes a las categorías en mención.

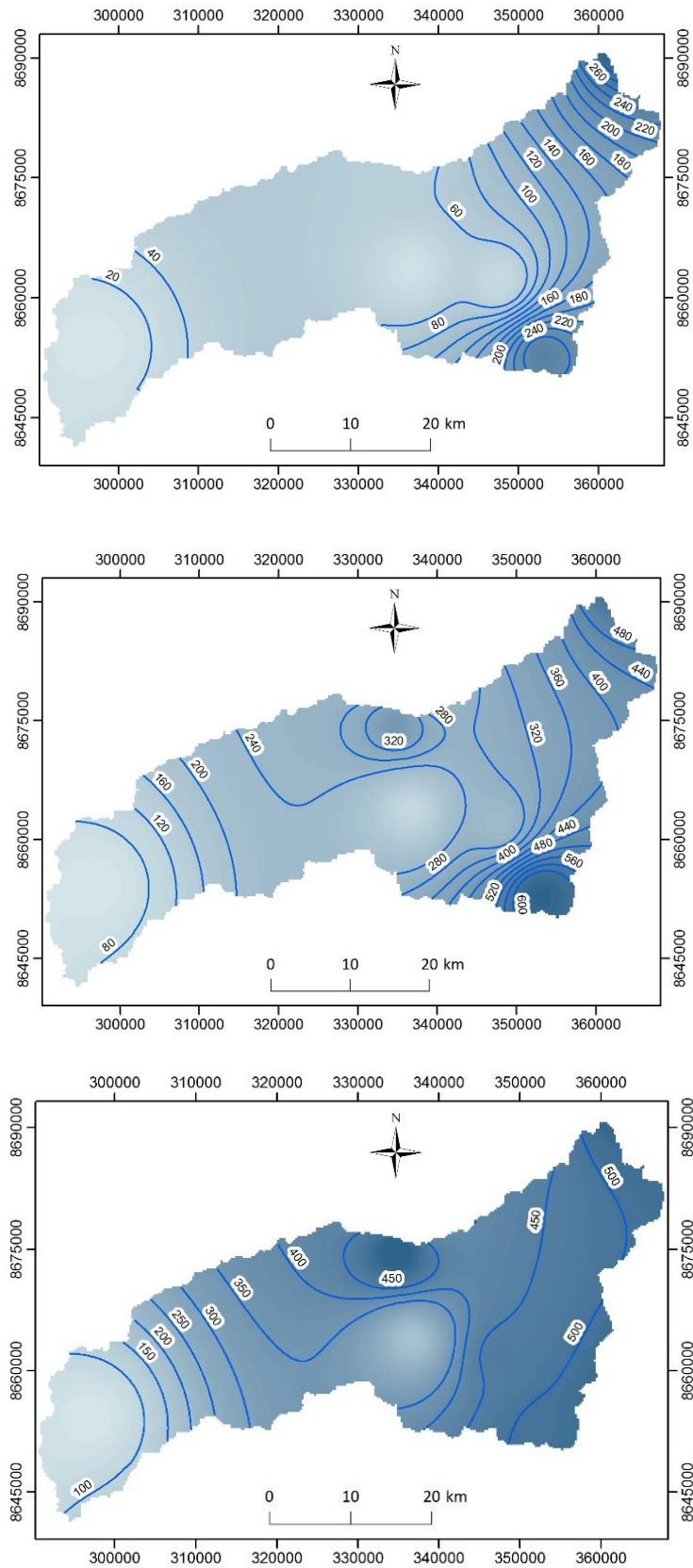


Figura 54: Mapa de isoyetas en época seca (panel superior), normal (panel medio) y húmeda (panel inferior)

Fuente: Elaboración propia

A fin de demostrar la utilidad del modelo Tetis, en la Figura 55 se puede apreciar una microcuenca ubicada en la parte alta de la cuenca del río Lurín, mientras que en la Figura 56 se puede apreciar el hidrograma de los caudales simulados en dicha microcuenca, cuyos valores se presentan también en el Cuadro 36.

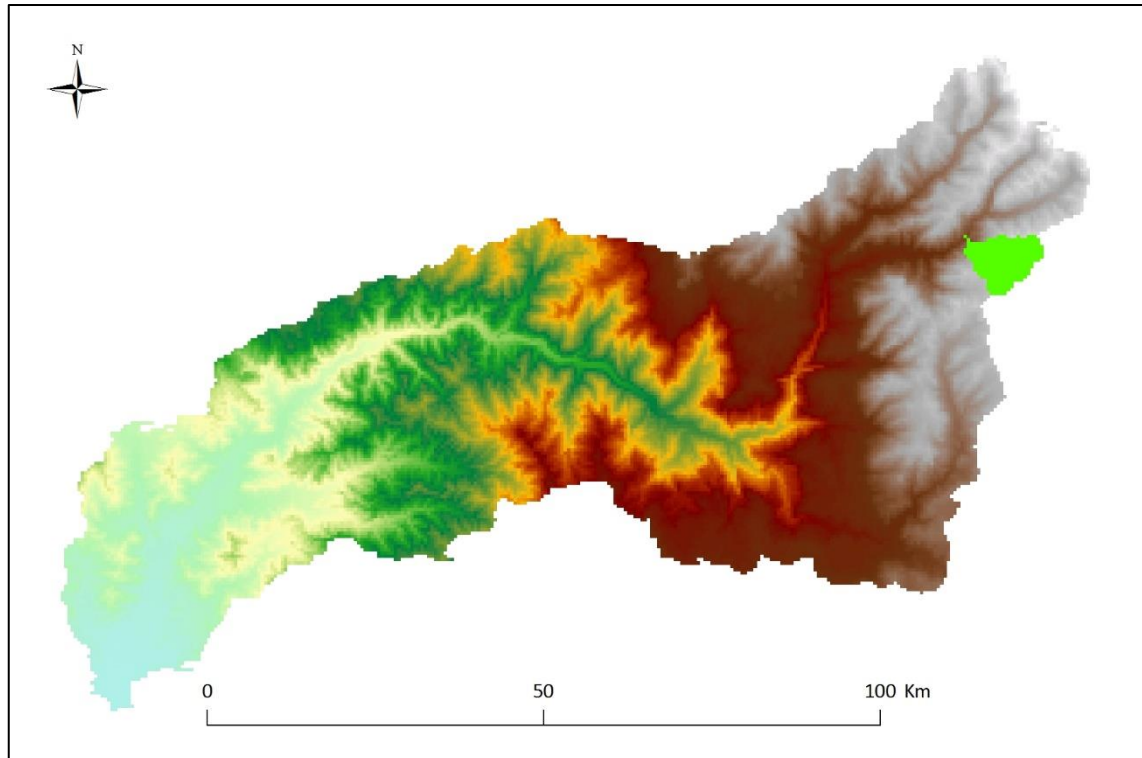


Figura 55: Microcuenca ubicada en la parte alta de la cuenca del río Lurín

Fuente: Elaboración propia

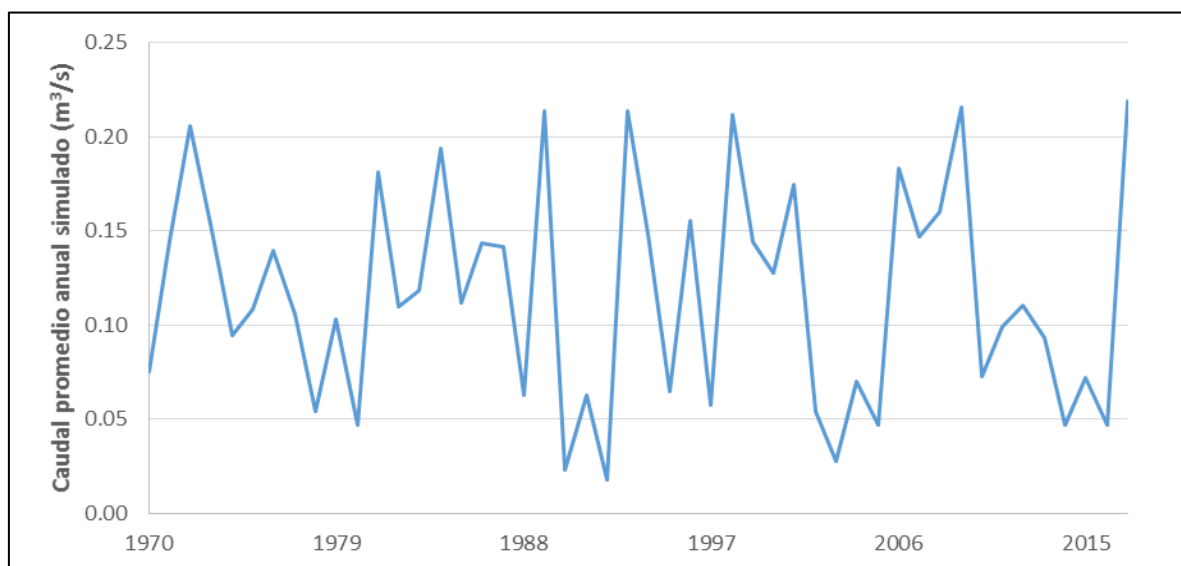


Figura 56: Hidrograma de la microcuenca de análisis (altitud: 3910 m.s.n.m.)

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 36: Caudales promedios simulados en la microcuenca de análisis

Año hidrológico	Caudal promedio anual (m ³ /s)
1970	0.08
1971	0.14
1972	0.21
1973	0.15
1974	0.09
1975	0.11
1976	0.14
1977	0.11
1978	0.05
1979	0.10
1980	0.05
1981	0.18
1982	0.11
1983	0.12
1984	0.19
1985	0.11
1986	0.14
1987	0.14
1988	0.06
1989	0.21
1990	0.02
1991	0.06
1992	0.02
1993	0.21
1994	0.15
1995	0.06
1996	0.16
1997	0.06
1998	0.21
1999	0.14
2000	0.13
2001	0.17
2002	0.05
2003	0.03
2004	0.07
2005	0.05
2006	0.18
2007	0.15
2008	0.16
2009	0.22
2010	0.07
2011	0.10
2012	0.11
2013	0.09
2014	0.05
2015	0.07
2016	0.05
2017	0.22

Fuente: Elaboración propia

4.6. ANÁLISIS DE TENDENCIA

En el Cuadro 37 pueden apreciarse los resultados de los análisis de tendencia realizados para los caudales simulados mínimos, promedio y máximos mensuales de las subcuencas San Damián, Antapucro y Manchay para cuatro periodos de análisis que se dividen en los siguientes intervalos de tiempo: 1970 - 1981, 1982 - 1993, 1994 - 2005 y 2006 - 2017. Cabe destacar que los años analizados son años hidrológicos que van desde el 01 de septiembre del año calendario precedente al 31 de agosto del año calendario en cuestión.

Como puede observarse, en las tres subcuencas de análisis predomina la tendencia decreciente del caudal simulado mínimo, promedio y máximo mensual en los cuatro periodos de análisis, lo cual se aprecia también durante los todos los meses del año. Finalmente, en lo concerniente a las tendencias significativas, estas son escasas y no se distingue un patrón temporal en ninguna de las subcuencas analizadas.

4.7. CAUDALES DE RETORNO MÁXIMOS ANUALES

En el Cuadro 38 y la Figura 57 se presenta las tres funciones que mejor se ajustaron como función de distribución de probabilidad, de las cuales la que mejor se ajustó para la subcuenca San Damián es la función Loglogística (3-Parámetros), mientras que para las subcuencas Antapucro y Manchay es la Lognormal (3-Parámetros).

Es importante destacar que para el ajuste a una función de probabilidad se probaron diversas funciones tales como la función Normal, Weibull, entre otras, sin embargo, los mejores ajustes se obtuvieron con las funciones señaladas en el Cuadro 38, las cuales también han sido aplicadas en otros estudios como el presentado por Bhuyan y Borah (2009) aplicados a caudales máximos anuales del río Kopili, ubicado en Assam, República de la India, o Aguilera (2007) para la estimación de funciones de distribución de probabilidad para caudales máximos en la región del Maule, Chile.

Los parámetros que se indican en el Cuadro 39 son los que se requieren para representar adecuadamente las funciones presentadas en el Cuadro 38. El Cuadro 40 muestran los caudales máximos anuales para distintos periodos de retorno que se calcularon solo para la función de probabilidad que mejor se ajustó. Se obtuvo que para un $T = 10$ años, el caudal máximo anual para la subcuenca San Damián, Antapucro y Manchay asciende a $13.9 \text{ m}^3/\text{s}$, $35.1 \text{ m}^3/\text{s}$ y $35.4 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondientemente.

Para valores de T entre 20 y 50 años, el caudal máximo anual para la subcuenca San Damián oscila entre $15.4 \text{ m}^3/\text{s}$ y $17.6 \text{ m}^3/\text{s}$, es decir, la variación del caudal entre ambos periodos de retorno solo es de $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Por otra parte, en Antapucro, el rango en mención va de $39.7 \text{ m}^3/\text{s}$ y $45.3 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que para Manchay, los valores oscilan de $40.2 \text{ m}^3/\text{s}$ y $46.0 \text{ m}^3/\text{s}$. Por ende, la variación del caudal máximo anual de retorno asciende a $5.6 \text{ m}^3/\text{s}$ y $5.8 \text{ m}^3/\text{s}$ para Antapucro y Manchay, respectivamente. Respecto a un $T = 100$ años, se tienen valores de $19.2 \text{ m}^3/\text{s}$, $49.3 \text{ m}^3/\text{s}$ y $50.2 \text{ m}^3/\text{s}$ para San Damián, Antapucro y Manchay, respectivamente.

Cabe señalar que los valores calculados se realizaron con los caudales medios diarios simulados, por lo cual no debe confundirse con el caudal máximo anual instantáneo, el cual puede ser estimado mediante los valores expuestos en el presente estudio mediante la aplicación de coeficientes o técnicas estadísticas que permitan su aproximación, un ejemplar de dicho procedimiento puede revisarse en el manual del Ministerio de Obras Públicas de la Dirección General de Aguas de la República de Chile (1995).

Cuadro 38: Distribuciones de probabilidad ordenadas según mejor ajuste

Estación	San Damián			Antapucro			Manchay		
	Logística Generalizada	Gamma (3-Parámetros)	Loglogística (3-Parámetros)	Logística	Logística Generalizada	Lognormal (3-Parámetros)	Logística Generalizada	Gamma (3-Parámetros)	Lognormal (3-Parámetros)
DMAS	0.063	0.064	0.062	0.076	0.049	0.061	0.052	0.063	0.064
DMENOS	0.066	0.062	0.054	0.077	0.077	0.071	0.078	0.077	0.072
DN	0.066	0.064	0.062	0.077	0.077	0.071	0.078	0.077	0.072
Valor-P	0.984	0.989	0.993	0.938	0.939	0.967	0.929	0.941	0.965

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 39: Parámetros de funciones de distribución de probabilidad

Estación	San Damián			Antapucro			Manchay		
	Logística Generalizada	Gamma (3-Parámetros)	Loglogística (3-Parámetros)	Logística	Logística Generalizada	Lognormal (3-Parámetros)	Logística Generalizada	Gamma (3-Parámetros)	Lognormal (3-Parámetros)
Media	--	--	--	21.7141	--	22.2539	--	--	22.3606
Desv.estándar	--	--	--	9.98969	--	9.69498	--	--	9.86945
Localización	7.58114	--	--	--	7.03327	--	5.83594	--	--
Mediana	--	--	35.1721	--	--	--	--	--	--
Forma	1.92301	32.0733	0.0527733	--	4.91655	--	5.50277	8.67095	--
Escala	2.22824	1.7564	--	--	7.40495	--	7.57863	0.297585	--
Umbral inferior	--	-8.60411	-25.6379	--	--	-23.8822	--	-6.78516	-22.2735

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 40: Caudales máximos anuales según periodos de retorno (m³/s)

Estación	Distribución de probabilidad	Periodo de retorno (años)					
		10	20	30	40	50	100
San Damián	Loglogística (3-Parámetros)	13.9	15.4	16.4	17.0	17.6	19.2
Antapucro	Lognormal (3-Parámetros)	35.1	39.7	42.2	44.0	45.3	49.3
Manchay	Lognormal (3-Parámetros)	35.4	40.2	42.8	44.6	46.0	50.2

Fuente: Elaboración propia

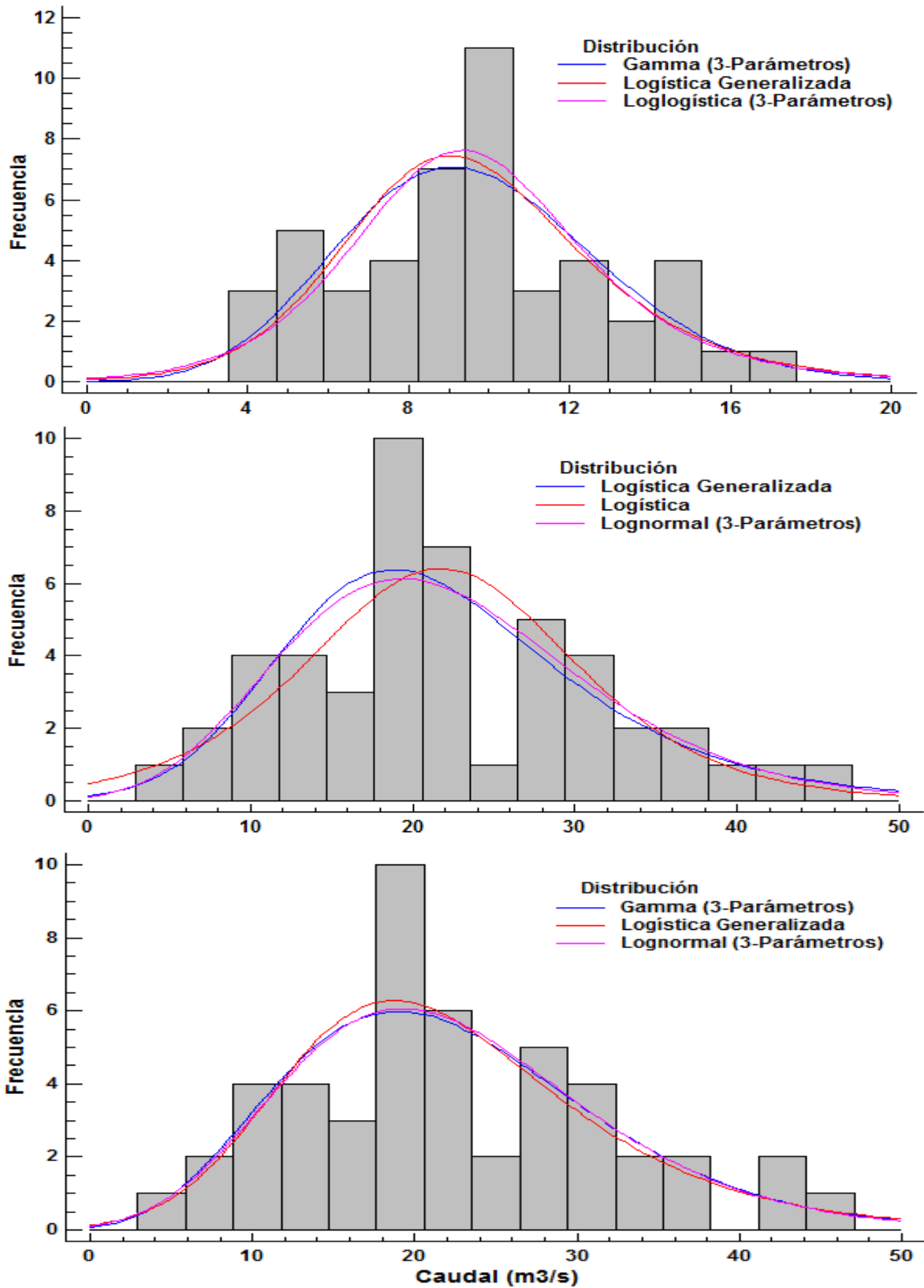


Figura 57: Ajuste de distribución de probabilidad de caudales máximos anuales de las subcuencas San Damián (panel superior), Antapucro (panel medio) y Manchay (panel medio).

Fuente: Elaboración propia

4.8. DISPONIBILIDAD HÍDRICA

Las curvas de duración para las tres subcuencas de análisis se muestran en la Figura 58. A partir de estas, se calculó el percentil 75 (P75), a fin de determinar la disponibilidad hídrica en cada subcuenca, el cual se presenta en la Figura 59.

Se observó un incremento del caudal P75 a partir de diciembre y llega a su máximo valor en marzo. Luego, entre abril y agosto, el caudal desciende ya pasado el periodo de lluvias. Por último, de septiembre a noviembre, el caudal es casi nulo.

En la subcuenca San Damián, para el periodo de 1970 al 2017, de diciembre a marzo, el caudal P75 varía de $0.17 \text{ m}^3/\text{s}$ a $3.20 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = 3.03 \text{ m}^3/\text{s}$), mientras que de 1970 a 1981, la variación fue de $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ a $4.78 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = 4.72 \text{ m}^3/\text{s}$), en cambio, de 1994 al 2005, el caudal P75 se encontró en el rango de $0.27 \text{ m}^3/\text{s}$ a $2.23 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = 1.96 \text{ m}^3/\text{s}$).

En lo concerniente a los meses comprendidos entre abril y agosto, de 1970 al 2017, el caudal P75 osciló de $1.66 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.14 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = -1.52 \text{ m}^3/\text{s}$). Durante estos meses para el periodo de 1970 a 1981, osciló de $2.25 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.19 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = -2.05 \text{ m}^3/\text{s}$), en cambio, de 1994 al 2005, la variación es de $0.85 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = -0.77 \text{ m}^3/\text{s}$).

Entre los meses de septiembre a noviembre de 1970 al 2017, el caudal P75 está entre $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = -0.02 \text{ m}^3/\text{s}$). En cambio, de 1970 a 1981, la variación fue de $0.11 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = -0.04 \text{ m}^3/\text{s}$), mientras que de 1994 al 2005, el caudal P75 se encontró en el rango de $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = 0.04 \text{ m}^3/\text{s}$).

En la subcuenca Antapucro, para el periodo de 1970 al 2017, de diciembre a marzo, el caudal P75 varía de $0.30 \text{ m}^3/\text{s}$ a $6.22 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = 5.92 \text{ m}^3/\text{s}$), mientras que de 1970 a 1981, la variación fue de $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ a $9.52 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = 9.37 \text{ m}^3/\text{s}$), en cambio, de 1994 al 2005, el caudal P75 se encontró en el rango de $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ a $4.25 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = 3.80 \text{ m}^3/\text{s}$).

En lo concerniente a los meses comprendidos entre abril y agosto, de 1970 al 2017, el caudal P75 osciló de $3.38 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.32 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = -3.06 \text{ m}^3/\text{s}$). Durante estos meses para el periodo de 1970 a 1981, osciló de $4.71 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.48 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = -4.23 \text{ m}^3/\text{s}$), en cambio, de 1994 al 2005, la variación es de $1.75 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = -1.55 \text{ m}^3/\text{s}$).

Entre los meses de septiembre a noviembre de 1970 al 2017, el caudal P75 está entre $0.19 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.16 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = -0.03 \text{ m}^3/\text{s}$). En cambio, de 1970 a 1981, la variación fue de $0.24 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.14 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = -0.10 \text{ m}^3/\text{s}$), mientras que de 1994 al 2005, el caudal P75 se encontró en el rango de $0.16 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.18 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = 0.02 \text{ m}^3/\text{s}$).

En la subcuenca Manchay, para el periodo de 1970 al 2017, de diciembre a marzo, el caudal P75 varía de $0.30 \text{ m}^3/\text{s}$ a $6.23 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = 5.93 \text{ m}^3/\text{s}$), mientras que de 1970 a 1981, la variación fue de $0.18 \text{ m}^3/\text{s}$ a $9.65 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = 9.47 \text{ m}^3/\text{s}$), en cambio, de 1994 al 2005, el caudal P75 se encontró en el rango de $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ a $4.26 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = 3.81 \text{ m}^3/\text{s}$).

En lo concerniente a los meses comprendidos entre abril y agosto, de 1970 al 2017, el caudal P75 osciló de $3.40 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.33 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = -3.07 \text{ m}^3/\text{s}$). Durante estos meses para el periodo de 1970 a 1981, osciló de $4.79 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.48 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = -4.31 \text{ m}^3/\text{s}$), en cambio, de 1994 al 2005, la variación es de $1.75 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = -1.55 \text{ m}^3/\text{s}$).

Entre los meses de septiembre a noviembre de 1970 al 2017, el caudal P75 está entre $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.17 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = -0.03 \text{ m}^3/\text{s}$). En cambio, de 1970 a 1981, la variación fue de $0.30 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = -0.15 \text{ m}^3/\text{s}$), mientras que de 1994 al 2005, el caudal P75 se encontró en el rango de $0.16 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.19 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta Q_{P75} = 0.03 \text{ m}^3/\text{s}$).

Como se observó para la parte alta, en el periodo de 1970 al 2017, el caudal P75 se incrementó de diciembre a marzo en casi $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Sin embargo, entre los años comprendidos entre 1970 y 1981, en los cuales se registraron elevados valores de precipitación y caudal, dicho incremento ascendió aproximadamente en $4.7 \text{ m}^3/\text{s}$. Por otra parte, el incremento más bajo se obtuvo de 1994 al 2005, con un valor de casi $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Por lo que para la parte alta, en los meses de diciembre a marzo (época de lluvias), el caudal P75 puede incrementarse en $3 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo, si la precipitación se eleva o disminuye, el caudal P75 puede variar en aproximadamente 50% o -33.3%, respectivamente.

La variación del caudal P75 en la parte media y baja en la cuenca de Lurín es similar, por lo que se tratarán como una sola. En el periodo de 1970 al 2017, el caudal P75 se incrementó de diciembre a marzo en casi $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Sin embargo, entre los años comprendidos entre 1970 y 1981, dicho incremento ascendió aproximadamente en $9.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Por otra parte, el incremento más bajo se obtuvo de 1994 al 2005, con un valor de casi $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Por lo que para la parte baja y media, en los meses de diciembre a marzo (época de lluvias), el caudal P75 puede incrementarse en $6 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo, si la precipitación se eleva o disminuye, el caudal P75 puede variar en aproximadamente 60% o -36.6%, respectivamente.

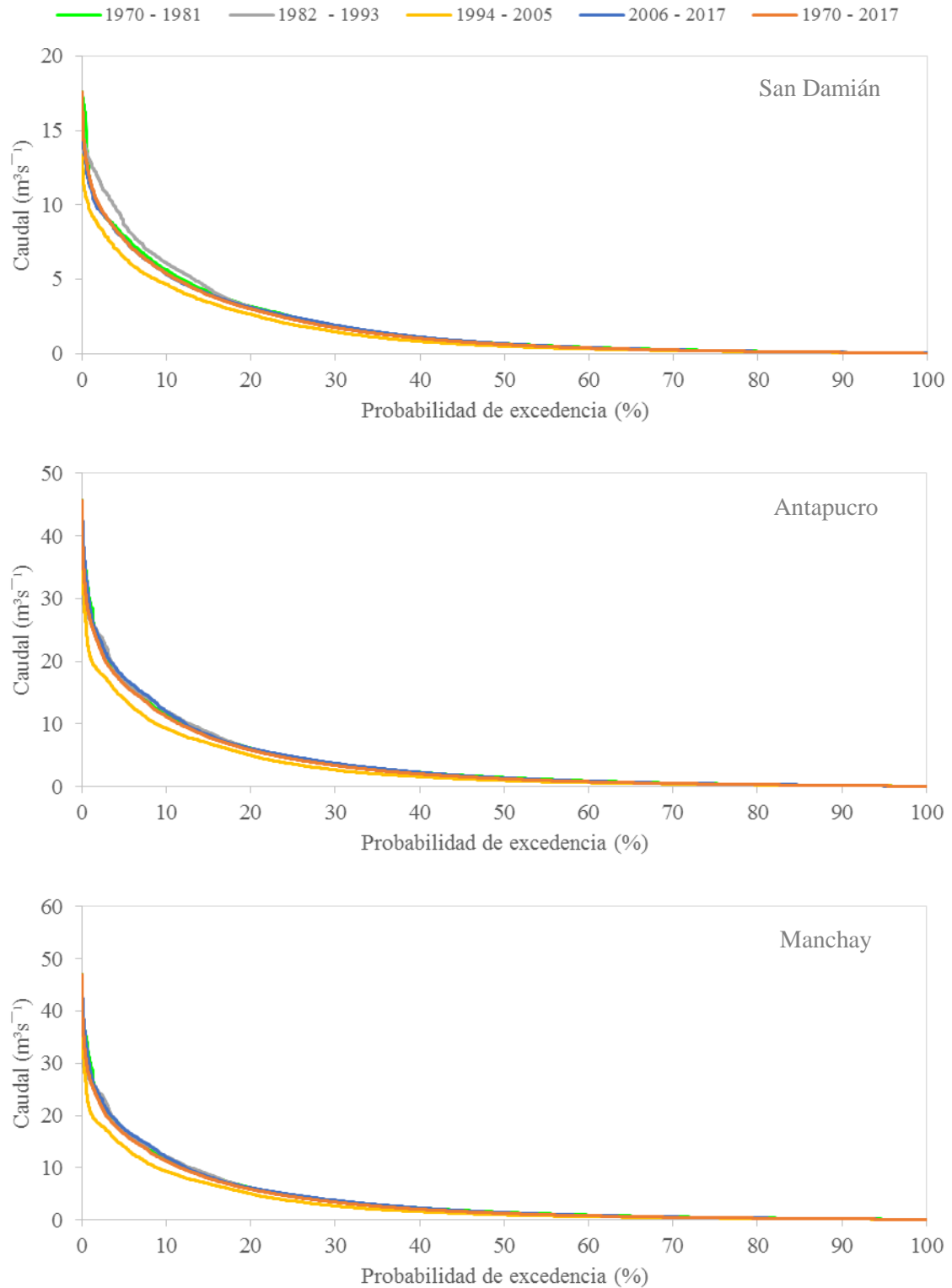


Figura 58: Variación del caudal simulado según la probabilidad de excedencia de las estaciones San Damián (panel superior), Antapucro (panel medio) y Manchay (panel inferior).

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

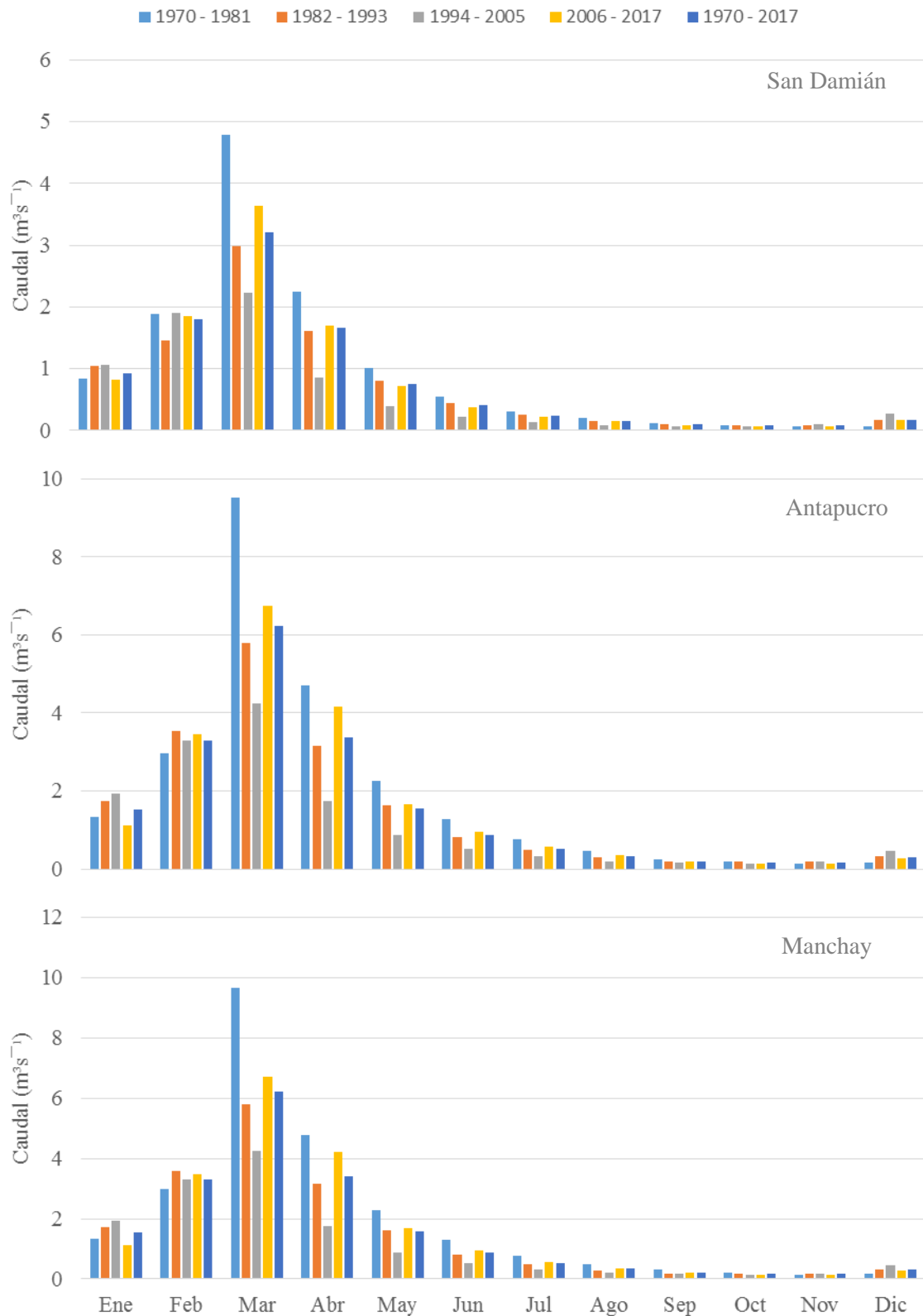


Figura 59: Persistencia de caudales al 75% en las estaciones San Damián (panel superior), Antapucro (panel medio) y Manchay (panel inferior).

Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.

Fuente: Elaboración propia

4.9. BALANCE HÍDRICO

Se realizó el balance hídrico en las subcuencas Antapucro y Manchay, pero no en San Damián, ya que no se tiene registro de usuarios de agua que cuenten con tomas en las márgenes del río Lurín. Asimismo, los resultados fueron comparados con el estudio elaborado por ANA (2004) que aplicó el modelo determinístico - estocástico de Lutz Scholz para simular caudales medios mensuales en el periodo de 1964 al 2002, mientras que el estudio actual evaluó caudales diarios de 1970 al 2017.

En la subcuenca Antapucro, considerando los resultados obtenidos en el presente estudio, se observa que los volúmenes correspondientes a los caudales P75 máximo y mínimo son 16.66 Hm^3 y 0.41 Hm^3 en marzo y noviembre, respectivamente, teniendo a nivel anual un volumen de agua que asciende a 48.32 Hm^3 , mientras que según los resultados obtenidos por la ANA (2004), dicho volumen es de 83.27 Hm^3 . En base a lo indicado, se aprecia que el volumen anual obtenido en el presente estudio es 41.97% menos respecto al volumen calculado por la ANA.

En términos de demanda hídrica agraria, en enero, febrero y marzo se registran los mayores volúmenes demandados que ascienden a 1.94 Hm^3 , 2.11 Hm^3 y 2.33 Hm^3 , respectivamente, mientras que en agosto la demanda alcanza su valor más bajo que es de 0.02 Hm^3 . Se observa que la demanda hídrica agraria aumenta de 0.02 Hm^3 a 2.33 Hm^3 a partir de agosto hasta alcanzar su máximo valor en marzo, para luego ir en descenso hasta el mes de agosto. A nivel anual la demanda hídrica agraria en la subcuenca Antapucro es igual a 9.42 Hm^3 .

En lo concerniente a oferta hídrica, los valores mayores se dan en febrero, marzo y abril con 5.85 Hm^3 , 14.33 Hm^3 y 7.53 Hm^3 , correspondientemente, mientras que su valor más bajo se da en diciembre con 0.09 Hm^3 . Se puede afirmar que de diciembre a marzo existe una tendencia creciente, mientras de marzo a diciembre, la oferta hídrica tiende a decrecer. A nivel anual, la oferta hídrica es igual a 38.90 Hm^3 , en cambio, según los resultados de la ANA (2004), dicho valor es igual a 73.85 Hm^3 . Por lo expuesto, el volumen anual obtenido en el presente estudio es 47.32% menos respecto al volumen calculado por la ANA.

Respecto a la demanda hídrica agraria localizada aguas abajo de la subcuenca Antapucro, se aprecia que en enero, febrero y marzo se registran los mayores valores de demanda hídrica que ascienden a 6.89 Hm^3 , 8.65 Hm^3 y 8.75 Hm^3 , respectivamente, mientras que en agosto alcanza su valor mínimo de 0.08 Hm^3 , teniendo un valor anual de 35.43 Hm^3 . Se

observa que la demanda hídrica agraria aumenta de agosto hasta alcanzar su máximo valor en marzo, para luego ir en descenso hasta el mes de agosto.

En relación al excedente y déficit hídrico en la subcuenca Antapucro, se presenta déficit hídrico en noviembre, diciembre, enero y febrero con valores de -0.19 Hm^3 , -2.37 Hm^3 , -4.73 Hm^3 y -2.80 Hm^3 , respectivamente, es decir, en enero alcanza su valor más bajo. En cambio, en lo referente a excedente hídrico, se sigue una tendencia decreciente de marzo a octubre, teniendo su máximo y mínimo valor en marzo y octubre con 5.58 Hm^3 y 0.17 Hm^3 , correspondientemente. A nivel anual, el resultado es un excedente hídrico igual a 3.47 Hm^3 , en cambio, los resultados obtenidos por la ANA (2004) indican que dicho valor asciende a 38.42 Hm^3 y que no se presenta déficit hídrico en ningún mes.

En la subcuenca Manchay, considerando los resultados obtenidos en el presente estudio, se observa que los volúmenes correspondientes a los caudales P75 máximo y mínimo son 16.67 Hm^3 y 0.43 Hm^3 en marzo y noviembre, respectivamente, teniendo a nivel anual un volumen de agua que asciende a 48.61 Hm^3 , mientras que según los resultados obtenidos por la ANA (2004), dicho volumen es de 89.14 Hm^3 . En base a lo indicado, se aprecia que el volumen anual obtenido en el presente estudio es 45.46% menos respecto al volumen calculado por la ANA.

En términos de demanda hídrica agraria, en enero, febrero y marzo se registran los mayores volúmenes demandados que ascienden a 3.22 Hm^3 , 3.37 Hm^3 y 3.80 Hm^3 , respectivamente, mientras que en agosto la demanda alcanza su valor más bajo que es de 0.04 Hm^3 . Se observa que la demanda hídrica agraria aumenta de 0.04 Hm^3 a 3.80 Hm^3 a partir de agosto hasta alcanzar su máximo valor en marzo, para luego ir en descenso hasta el mes de agosto. A nivel anual la demanda hídrica agraria en la subcuenca Manchay es igual a 15.55 Hm^3 .

En lo concerniente a oferta hídrica, los valores mayores se dan en febrero, marzo y abril con 4.61 Hm^3 , 12.87 Hm^3 y 6.82 Hm^3 , correspondientemente, mientras que su valor más bajo se da en diciembre con -0.40 Hm^3 . Se puede afirmar que de diciembre a marzo existe una tendencia creciente, mientras de marzo a diciembre, la oferta hídrica tiende a decrecer. A nivel anual, la oferta hídrica es igual a 33.06 Hm^3 , en cambio, según los resultados de la ANA (2004), dicho valor es igual a 73.60 Hm^3 . Por lo expuesto, el volumen anual obtenido en el presente estudio es 55.08% menos respecto al volumen calculado por la ANA.

Respecto a la demanda hídrica agraria localizada aguas abajo de la subcuenca Manchay, se aprecia que en enero, febrero y marzo se registran los mayores valores de demanda hídrica que ascienden a 5.61 Hm³, 7.39 Hm³ y 7.28 Hm³, respectivamente, mientras que en agosto alcanza su valor mínimo de 0.06 Hm³, teniendo un valor anual de 29.31 Hm³. Se observa que la demanda hídrica agraria aumenta desde agosto hasta alcanzar su máximo valor en febrero, para luego ir en descenso hasta el mes de agosto.

En relación al excedente y déficit hídrico en la subcuenca Manchay, se presenta déficit hídrico en noviembre, diciembre, enero y febrero con valores de -0.17 Hm³, -2.37 Hm³, -4.69 Hm³ y -2.77 Hm³, respectivamente, es decir, en enero alcanza su valor más bajo. En cambio, en lo referente a excedente hídrico, se sigue una tendencia decreciente de marzo a octubre, teniendo su máximo y mínimo valor en marzo y octubre con 5.60 Hm³ y 0.17 Hm³, correspondientemente. A nivel anual, el resultado es un excedente hídrico igual a 3.76 Hm³, en cambio, los resultados obtenidos por la ANA (2004) indican que dicho valor asciende a 44.29 Hm³ y que presenta déficit hídrico de julio a octubre.

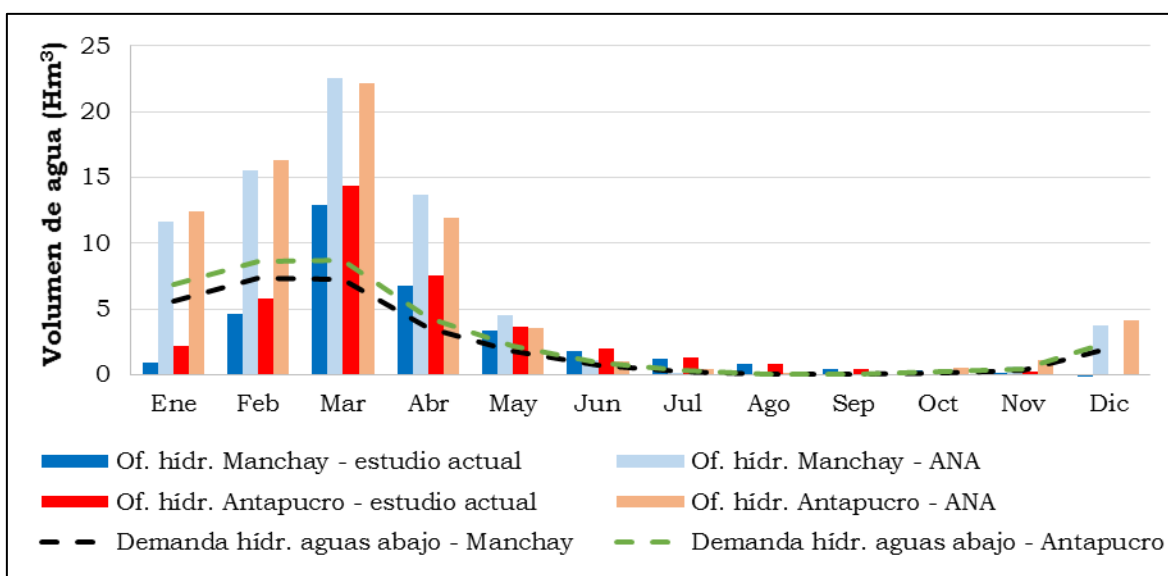


Figura 60: Balance hídrico en las subcuencas de Antapucro y Manchay según el estudio actual (periodo: 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017) y de ANA (ex-INRENA) (periodo: 01 de enero de 1964 al 31 de diciembre de 2002)

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 41: Balance hídrico de las estaciones Antapucro y Manchay

Subcuenca	Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Antapucro	Caudal percentil 75 - estudio actual (Q _{75%}) (m ³ /s)	1.53	3.29	6.22	3.38	1.55	0.87	0.52	0.32	0.19	0.17	0.16	0.30	1.54
	Volumen percentil 75 - estudio actual (Q _{75%}) (Hm ³)	4.10	7.96	16.66	8.76	4.16	2.26	1.40	0.85	0.50	0.46	0.41	0.81	48.32
	Demanda hídrica agraria (Hm ³)	1.94	2.11	2.33	1.23	0.46	0.25	0.10	0.02	0.04	0.07	0.15	0.72	9.42
	Oferta hídrica - estudio actual (Hm ³)	2.16	5.85	14.33	7.53	3.70	2.00	1.30	0.83	0.47	0.39	0.26	0.09	38.90
	Demanda hídrica agraria - aguas abajo (Hm ³)	6.89	8.65	8.75	4.37	2.21	0.95	0.30	0.08	0.10	0.22	0.45	2.46	35.43
	Excedente hídrico - estudio actual (Hm ³)	-4.73	-2.80	5.58	3.16	1.49	1.05	1.00	0.75	0.37	0.17	-0.19	-2.37	3.47
	Caudal percentil 75 MINAG-INRENA (Q _{75%}) (m ³ /s)	5.35	7.61	9.13	5.08	1.51	0.48	0.19	0.06	0.09	0.21	0.50	1.83	2.67
	Volumen percentil 75 MINAG-INRENA (Q _{75%}) (Hm ³)	14.32	18.41	24.46	13.16	4.04	1.24	0.50	0.15	0.22	0.57	1.30	4.90	83.27
	Demanda hídrica agraria (Hm ³)	1.94	2.11	2.33	1.23	0.46	0.25	0.10	0.02	0.04	0.07	0.15	0.72	9.42
	Oferta hídrica MINAG-INRENA (Hm ³)	12.38	16.30	22.13	11.93	3.58	0.98	0.40	0.13	0.19	0.50	1.15	4.18	73.85
	Demanda hídrica agraria - aguas abajo (Hm ³)	6.89	8.65	8.75	4.37	2.21	0.95	0.30	0.08	0.10	0.22	0.45	2.46	35.43
	Excedente hídrico MINAG-INRENA (Hm ³)	5.49	7.65	13.38	7.56	1.37	0.03	0.10	0.05	0.09	0.28	0.70	1.72	38.42
Manchay	Caudal percentil 75 - estudio actual (Q _{75%}) (m ³ /s)	1.55	3.30	6.23	3.40	1.57	0.88	0.52	0.33	0.20	0.17	0.17	0.30	1.55
	Volumen percentil 75 - estudio actual (Q _{75%}) (Hm ³)	4.14	7.98	16.67	8.82	4.20	2.27	1.40	0.89	0.53	0.46	0.43	0.81	48.61
	Demanda hídrica agraria (Hm ³)	3.22	3.37	3.80	2.00	0.86	0.45	0.17	0.04	0.06	0.12	0.26	1.21	15.55
	Oferta hídrica - estudio actual (Hm ³)	0.92	4.61	12.87	6.82	3.34	1.82	1.24	0.85	0.47	0.35	0.17	-0.40	33.06
	Demanda hídrica agraria - aguas abajo (Hm ³)	5.61	7.39	7.28	3.60	1.82	0.76	0.23	0.06	0.08	0.17	0.34	1.97	29.31
	Excedente hídrico - estudio actual (Hm ³)	-4.69	-2.77	5.60	3.22	1.53	1.06	1.00	0.79	0.39	0.17	-0.17	-2.37	3.76
	Caudal percentil 75 MINAG-INRENA (Q _{75%}) (m ³ /s)	5.54	7.81	9.86	6.04	2.03	0.59	0.11	0.02	0.02	0.06	0.34	1.84	2.86
	Volumen percentil 75 MINAG-INRENA (Q _{75%}) (Hm ³)	14.84	18.90	26.40	15.66	5.43	1.53	0.30	0.04	0.06	0.16	0.89	4.93	89.14
	Demanda hídrica agraria (Hm ³)	3.22	3.37	3.80	2.00	0.86	0.45	0.17	0.04	0.06	0.12	0.26	1.21	15.55
	Oferta hídrica MINAG-INRENA (Hm ³)	11.62	15.53	22.59	13.66	4.58	1.08	0.13	0.00	0.00	0.05	0.63	3.72	73.60
	Demanda hídrica agraria - aguas abajo (Hm ³)	5.61	7.39	7.28	3.60	1.82	0.76	0.23	0.06	0.08	0.17	0.34	1.97	29.31
	Excedente hídrico MINAG-INRENA (Hm ³)	6.01	8.15	15.32	10.06	2.76	0.32	-0.10	-0.06	-0.08	-0.13	0.28	1.75	44.29

Fuente: Elaboración propia

V. CONCLUSIONES

- En la cuenca del río Lurín, la precipitación, evapotranspiración y caudal a nivel promedio anual varían de la parte baja a la alta de [8 – 1174 mm], [1005 – 1230 mm] y [5.4 – 3.6 m³/s], respectivamente. Asimismo, las coberturas predominantes son el desierto costero y el pajonal andino. Además de ello, características como la conductividad hidráulica del suelo y del acuífero, así como el almacenamiento estático tienen valores de [0.02 – 1.8 mm/h], [0.001 – 0.99 mm/h] y [9.1 – 106.0 mm], respectivamente, los cuales son mayores en la parte alta, es decir, en ella se produce el mayor almacenamiento de agua en los estratos superficiales y profundos del suelo de la cuenca, debido a la cobertura vegetal y las características del suelo presentes en la parte alta.
- Mediante el método de análisis de doble masa, fueron corregidos los registros pluviométricos de las estaciones meteorológicas Antioquia, Ayaviri, Canchacalla, Chaute, Huancata, Langa, Matucana, Manchay Bajo, Pantanos de Villa, San José de Parac, San Lázaro de Escomarca, San Mateo de Huanchor y Santiago de Tuna en el periodo comprendido entre 01 de septiembre de 1969 al 31 de agosto de 2017.
- La calibración y validación temporal realizadas en la estación Manchay brindaron resultados muy buenos, según la clasificación expuesta por Moriasi et al. (2007) y Donigian y Imhoff (2002), con un índice de Nash, Ev y RSR de [0.8255, -9.371%, 0.4177] para calibración y [0.7504, -1.865% y 0.4996] para validación, correspondientemente.
- De la parametrización, se consideraron los factores correctores de almacenamiento estático (FC1), evapotranspiración (FC2), infiltración (FC3), escorrentía directa (FC4), percolación (FC5), interflujo (FC6), flujo base (FC8), así como el factor de interpolación de lluvia (β), exponente de infiltración al tanque estático y el número de estaciones interpoladas. De los mencionados, se observó mediante un análisis de sensibilidad que los más influyentes son la evapotranspiración (FC2) y el factor de interpolación de lluvia (β).

- Respecto a la oferta hídrica, se observa que la escorrentía directa es la mayor aportante con porcentajes que ascienden a 50.6% en San Damián y 50.4% en Antapucro y Manchay, seguido por el interflujo con un 41.4% en San Damián y 41.2% para Antapucro y Manchay. Finalmente, el flujo base ocupa un 8.0 por ciento en San Damián y 8.4 por ciento para las zonas de Antapucro y Manchay.
- El río Lurín mostró una tendencia decreciente predominante de su caudal medio diario en todos los meses durante los años 1970 al 2017.
- Para distintos periodos de retorno (T), se determinó que, para la subcuenca San Damián, la función de probabilidad con mejor ajuste para caudal medio diario máximo anual es la Loglogística (3-Parámetros), mientras que para las subcuencas Antapucro y Manchay fue la función Lognormal (3-Parámetros). Para un T = 100 años, en las subcuencas San Damián, Antapucro y Manchay, se tiene que el caudal medio diario máximo anual es igual a 19.2 m³/s, 49.3 m³/s y 50.2 m³/s, respectivamente.
- En lo concerniente a balance hídrico, se observa que existe déficit hídrico en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, debido al incremento de la demanda agraria en dichos meses, la cual fue la única demanda hídrica considerada para efectos del presente estudio.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar estudios sobre conductividad hidráulica del suelo y acuífero, profundidades de raíces, capacidad de almacenamiento de agua disponible en la capa superior del suelo e intercepción de lluvia por cobertura vegetal, a nivel de cuenca, de modo que sirvan como información de entrada para futuras modelaciones hidrológicas ya que las estimaciones que pueden realizarse a partir de fuentes internacionales podrían introducir errores en el modelo.
2. Se sugiere que el proceso de control de calidad expuesto en el presente estudio se aplique en investigaciones similares y se incorporen nuevos métodos que contribuyan a su mejora. Asimismo, se sugiere también que se realicen investigaciones que desarrollen un *software* especializado que haga este proceso de modo eficiente en términos de tiempo.
3. A partir de los resultados de la presente investigación, pueden desarrollarse investigaciones que evalúen los cambios que se producirán en la cuenca de Lurín por efecto del cambio climático, es decir, se podría determinar si habrá más tendencias significativas de incremento o decremento del caudal en los próximos 50 años, si las funciones de probabilidad por estación variarán o no, si las magnitudes de los caudales aumentarán o disminuirán significativamente para determinados periodos de retorno y si la disponibilidad de agua para fines de riego o energéticos se modificarán o no en el tiempo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera Navarro, MA. 2007. Estimación de funciones de distribución de probabilidad, para caudales máximos, en la región de Maule. Talca, Chile, Universidad de Talca. p. 8-17
- Álvarez, T; Hubert, Villaverde; RA. 2015. Balance hídrico futuro en la cuenca del río Lurín a través de la modelación hidrológica ante el cambio climático. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. p. 2-3.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua, Perú). 2014. Registros mensuales de volúmenes de agua programados y captados en fuente natural.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo, Perú) 2013. Programa de Desarrollo Territorial y Generación de Empleo en la Cuenca del río Lurín, Lima. Evaluación final. p. 3-6.
- Bhuyan, A; Borah, M. 2009. Best fitting probability distributions for annual maximum discharge data of the river Kopili, Assam. *Journal of Applied and Natural Science* 1(1):50-52.
- Brys, G; Hubert, M; Struyf, A. 2003. A Comparison of Some New Measures of Skewness. *In* Dutter, R; Filzmoser, P; Gather, U; Rousseeuw, PJ (eds). *Development in Robust Statistics*. Heidelberg, Alemania, Springer-Verlag Berlin. p. 98-113.
- Brys, G; Hubert, M; Struyf, A. 2004. A Robust Measure of Skewness. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 13(4):996-1017.
- Büyükkaracıgan, N. 2014. Determining the Best Fitting Distributions for Minimum Flows of Streams in Gediz Basin. *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering* 8(6):417-422.
- Carling, K. 2000. Resistant outlier rules and the non-Gaussian case. *Computational Statistics & Data Analysis* 33(3):249-258.

- Caro Camargo, CA. 2015. Modelación hidrológica distribuida basada en esquemas de volúmenes finitos. Barcelona, España, Universidad Politécnica de Catalunya. p. 26-29.
- Chen, X; Chen, YD; Xu, CY. 2007. A distributed monthly hydrological model for integrating spatial variations of basin topography and rainfall. *Hydrological Processes* 21(2):242-252
- Dahmen, ER; Hall, MJ. 1990. *Screening of Hydrological Data: Tests for Stationarity and Relative Consistency*. Wageningen, Países Bajos, ILRI. 58 p.
- Dávila Ordoñez, MV. 2011. Modelación Distribuida con “TETIS” dentro del marco del Proyecto Comparación de Modelos Distribuidos del NWS de EEUU aplicado en la “Región de Oklahoma”. Tesis Mg. Valencia, España, UPV. 127 p.
- Donigian Junior, AS; Imhoff, JC. 2009. *Evaluation and Performance Assessment of Watershed Models*. Mountain View, Estados Unidos de América, AQUA TERRA Consultants. 30 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization, Italy); IIASA (International for Applied Systems Analysis, Austria); ISRIC (International Soil Reference and Information Centre, Netherlands); ISSCAS (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, China); JRC (Joint Research Centre, Brussels). 2012. *Harmonized World Soil Database (version 1.2)*. FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria.
- Fetter, CW. 1994. *Applied Hydrogeology*. 4 ed. Upper Saddle River, Estados Unidos de América, Prentice-Hall. 598 p.
- Francés García, F; Vélez Upegui, J; Múnera, JC; Medici, C; Bussi, G. 2014. Descripción del Modelo Conceptual Distribuido de Simulación Hidrológica TETIS v.8. Valencia, España, UPV. 86 p.
- FFL (Fundación Futuro Latinoamericano, Ecuador). 2015. *Cuenca Interregional Chillón-Rímac y Lurín*. Quito, Ecuador, Roble Rojo. p. 7-9.
- Garba, H; Ismail, A; Tsoho, U. 2013. Fitting Probability Distribution Functions To Discharge Variability Of Kaduna River. *International Journal of Modern Engineering Research* 3(5):2848-2852.
- Githui, FW; Opere, A; Bauwens, W. s. f. *Statistical And Trend Analysis Of Rainfall And River Discharge: Yala River Basin, Kenya*. s. n. t.

- Gleeson, T; Moosdorf, N; Hartmann, J; van Beek, LPH. 2014. A glimpse beneath earth's surface: GLobal HYdrogeology MaPS (GLHYMPS) of permeability and porosity. Medford, Massachusetts, Estados Unidos de América, CUAHSI. s. esc. Color.
- Gleeson, T; Smith, L; Moosdorf, N; Hartmann, J; Dürr, HH; Manning, AH; van Beek, LPH; Jellinek, AM. 2011. Global distribution of permeability. s. l., Wiley. s. esc. Color.
- Hanson, LS; Vogel, R. 2012. The Probability Distribution of Daily Rainfall in the United States. World Environmental and Water Resources Congress: Ahupua'A (1, 2008, Honolulu, Hawaii, Estados Unidos de América). Honolulu, Estados Unidos de América, ASCE. s. p.
- Hubert, M; Vandervieren, E. 2008. An Adjusted Boxplot for Skewed Distributions. Computational Statistics & Data Analysis 52(12):5186-5201.
- Lin, GF; Chen, LH. 2006. Identification of homogeneous regions for regional frequency analysis using the self-organizing map. Journal of Hydrology 324:1-9.
- Maffei, M. 2012. Desempeño de la ecuación de Hargreaves en la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) en una zona de páramo en Trujillo, Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ) 29(3):378-394.
- McCuen, RH. 2003. Modeling Hydrologic Change: Statistical Methods. Nueva York, Estados Unidos de América, Lewis Publishers. 434 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú). 2015. Mapa Nacional de Cobertura Vegetal. Lima, Perú, MINAM.
- MINAG (Ministerio de Agricultura, Perú) e INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, Perú). 2004. Estudio hidrológico de la cuenca del río Lurín. Informe final.
- MINAG (Ministerio de Agricultura, Perú) e INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, Perú). 2008. Proyecto "Obras de Control y Medición de Agua por Bloques de Riego en el Valle Lurín". Lima, Perú, MINAG. 30 p.
- Ministerio de Obras Públicas Dirección General de Aguas. 1995. Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica. Santiago de Chile, Chile, Centro de Información de Recursos Hídricos. p. 52-54.

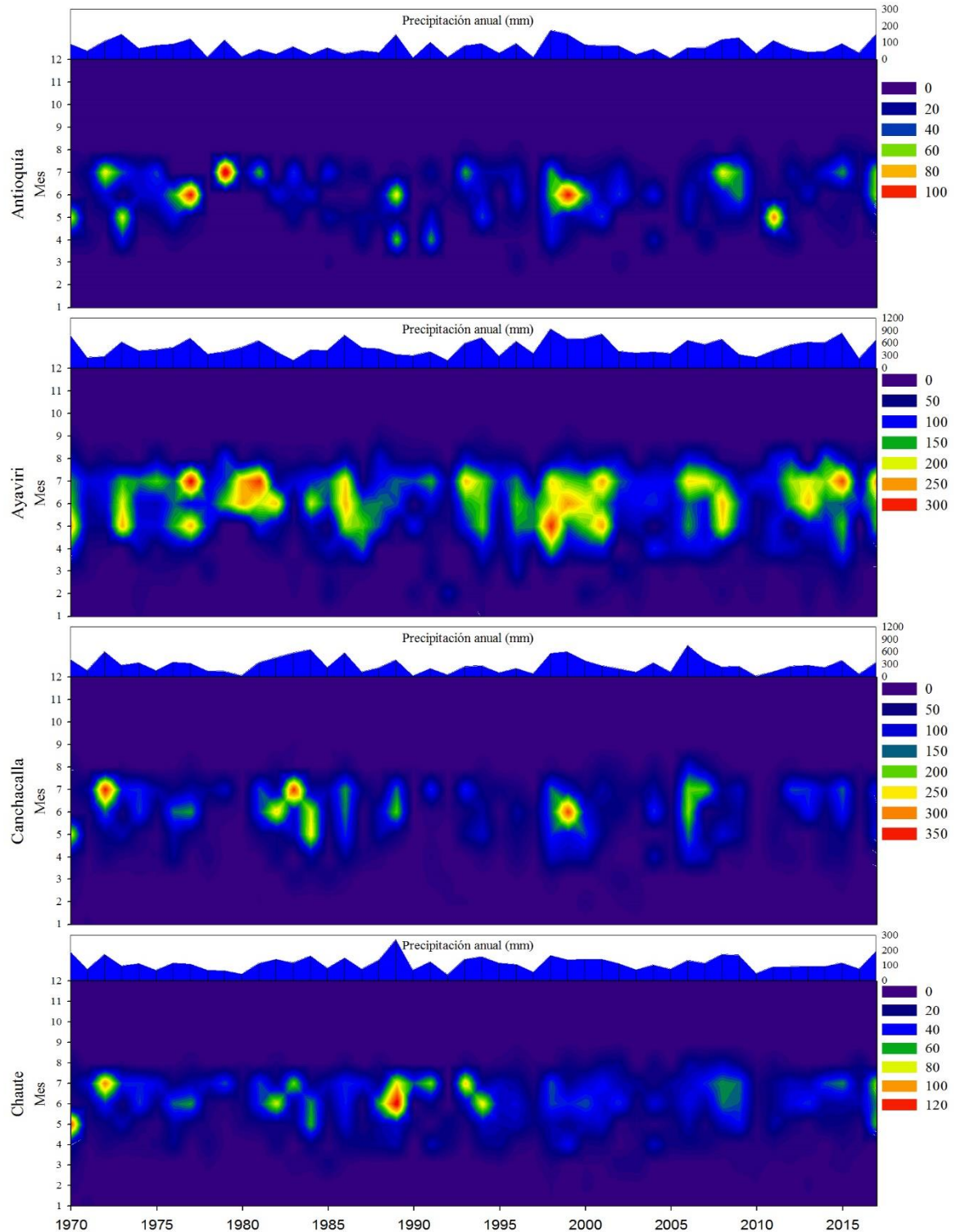
- MINAG (Ministerio de Agricultura, Perú); INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales- Intendencia de Recursos Hídricos, Perú). 2008. Proyecto “Obras de Control y Medición de Agua por Bloques de Riego en el Valle Lurín”: Estudio de Preinversión a nivel de Perfil. Lima, Perú. (66 p.) Informe v-2.
- Moriasi, DN; Arnold, JG; Van Liew, MW; Bingner, RL; Harmel, RD; Veith, TL. 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers 50(3):885-900.
- Mirzaei, S; Raouf, M; Ghasemi, A; Esmali, A; Etaati, H; Moradnezhadi, M; Mirzaei, Y. 2014. Determination of A Some Simple Methods for Outlier Detection in Maximum Daily Rainfall (Case Study: Baliglichay Watershed Basin – Ardebil Province – Iran). Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences 3(3):110-117.
- Nourani, V; Roughani, A, M; Gebremichael, M. 2011. Topmodel for capability for rainfall-runoff modeling of the ammameh watershed at different time scales using different terrain algorithms
- Orozco Medina, I. 2014. Modelación Parsimoniosa y Espacialmente Distribuida de los Procesos de Acumulación y Fusión de Nieve. Tesis Dr. Valencia, España, UPV. 241 p.
- Pagador Moya, CJ; Avalos Sanguinetti, O; Mondragón Santa Cruz, E; Romero Hernández, C; Ancco Carita, C; Bernabé Orellano, MA; Pineda Quispe, WJ; Alanoca Vilca, G; Collantes Mondragón, N. 2010. Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac. Informe Final. Lima, Perú, MINAG. 225 p.
- Palomino Zamora, H. 2015. Efecto del cambio climático en la hidrología de la cuenca Chancay - Huaral. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. p. 67-68.
- PROFODUA (Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua, Perú). 2006. Propuesta de Asignaciones de Agua en la Cuenca Alta del río Lurín. Informe final. s. l. 117 p. Informe final versión 2.
- Ramírez Solano, LM. 2012. Análisis de la Implementación de un Modelo Hidrológico Distribuido con Información Estándar en España. Tesis Mg. Valencia, España, UPV. 257, ix p.

- Ramos Fernández, L. 2013. Estudio de la Utilidad de la Lluvia Estimada de Satélite en la Modelación Hidrológica Distribuida. Tesis Dra. Valencia, España, UPV. 215 p.
- Risco, E. 2013. Modelo hidrológico distribuido para la generación de escurrimiento mensual en cuencas andinas del Perú.
- Sahin, S.; Kerem Cigizoglu, H. Homogeneity analysis of Turkish meteorological data set. *Hydrological Processes* 24(8):981-992.
- Seely, RJ; Munyakazi, L.; Haury, J; Simmerman, H; Heath Rushing, W; Curry, TF. 2003. Demonstrating the Consistency of Small Data Sets: Application of the Weisberg t-test for Outliers. *BioPharm International* 16(5):36-58.
- Searcy, JK; Hardison, CH; Langbein, WB. 1960. *Manual of Hydrology: Part 1. General Surface-Water Techniques*. Washington, Estados Unidos de América, U.S. Government Printing Office. 66 p.
- Serinaldi, F; Kilsby, CG. 2014. Rainfall extremes: Toward reconciliations after the battle of distributions. *Water Resources Research* 50(1):336-352.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Perú). 2016, Vulnerabilidad Climática De Los Recursos Hídricos En Las Cuencas De Los Ríos Chillón, Rímac, Lurín Y Parte Alta Del Mantaro / Resumen Ejecutivo, Lima, Perú, Ediciones SENAMHI. p. 16-17.
- Sudheer, KP; Chaubey, I; Garg, V; Migliaccio, KW. 2007. Impact of time-scale of the calibration objective function on the performance of watershed models. Florida, Estados Unidos de América, *Hydrological Processes*. p. 1-10.
- Stapel, E. c2004-2014. *Box-and-Whisker Plots: Quartiles, Boxes and Whiskers* (en línea, curso). s. l. Consultado 25 dic. 2016. Disponible en <http://www.purplemath.com/modules/boxwhisk.htm>.
- Tapia Alvarado, AP. 2016. Balance hídrico usando un modelo hidrológico distribuido en la Unidad Hidrográfica río Pindo, provincias de Loja y El Oro, Ecuador. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. p. 39-43.
- Teng, F; Wenrui, H; Cai, Y; Zheng, C; Zou, S. 2017. Application of Hydrological Model PRMS to simulate daily rainfall runoff in Zamask-Yingluouxia Subbasin of the Heihe River Basin.

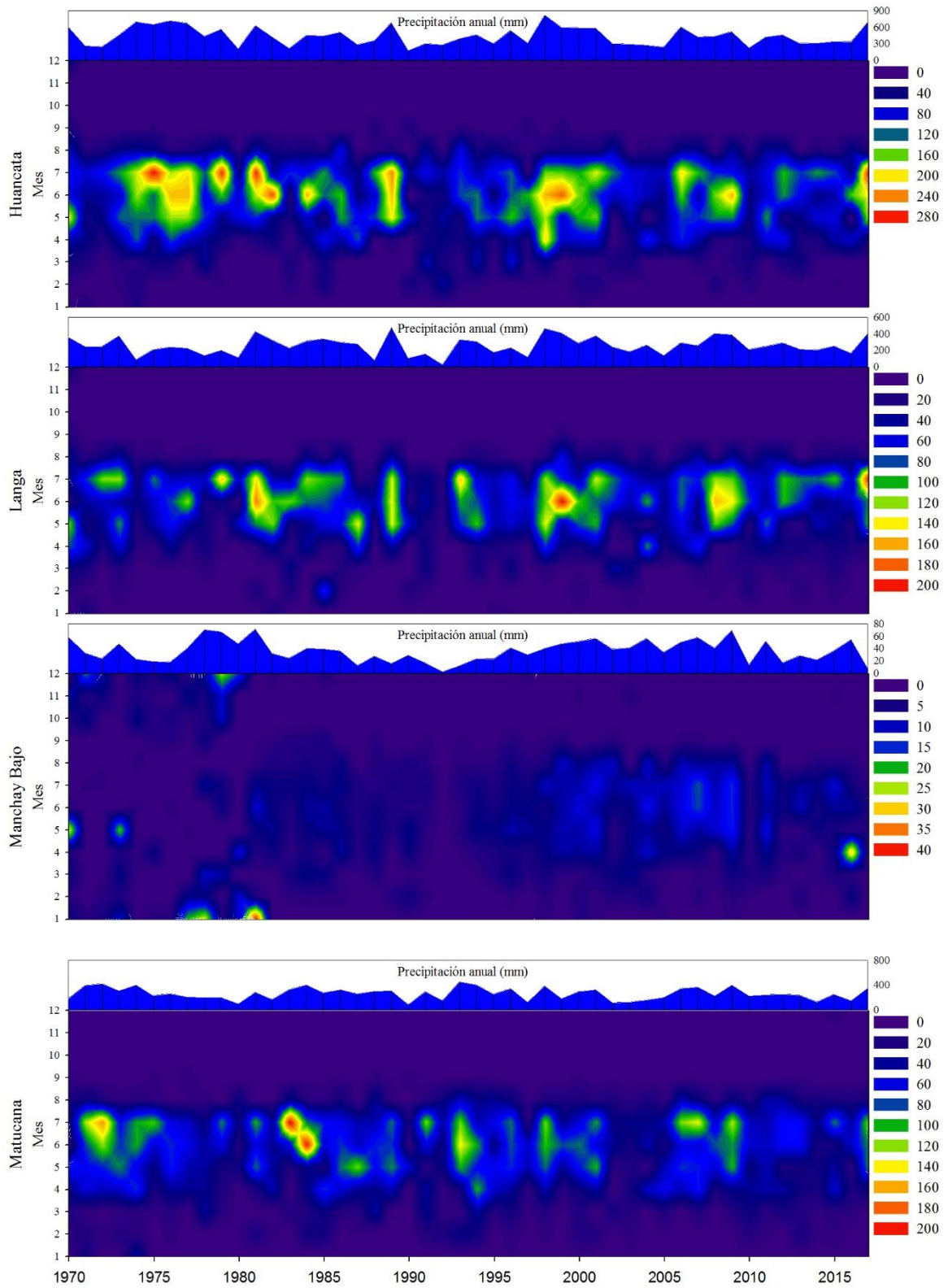
- Triviño Pérez, A; Ortiz Rojas, S. 2004. Metodología para la modelación distribuida de la escorrentía superficial y la delimitación de zonas inundables en ramblas y ríos-rambla mediterráneos. San Vicente del Raspeig, España, Universidad de Alicante. p. 68-70.
- Verbist, K; Robertson, AW; Cornelis, WM; Gabriels, D. 2010. Seasonal predictability of daily rainfall characteristics in central-northern Chile for dry-land management. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 49(9):1938-1955.
- Wijngaard, JB; Klein Tank, AMG; Können, GP. 2003. Homogeneity of 20th Century European Daily Temperature and Precipitation Series. *International Journal of Climatology* 23(6):679-692.
- Zea Mamani, R. 2015. Determinación experimental de las necesidades hídricas del bofedal en puna seca y húmeda en el departamento de Puno. Puno, Perú, Universidad Nacional del Altiplano. p. 90-120.

VIII. ANEXOS

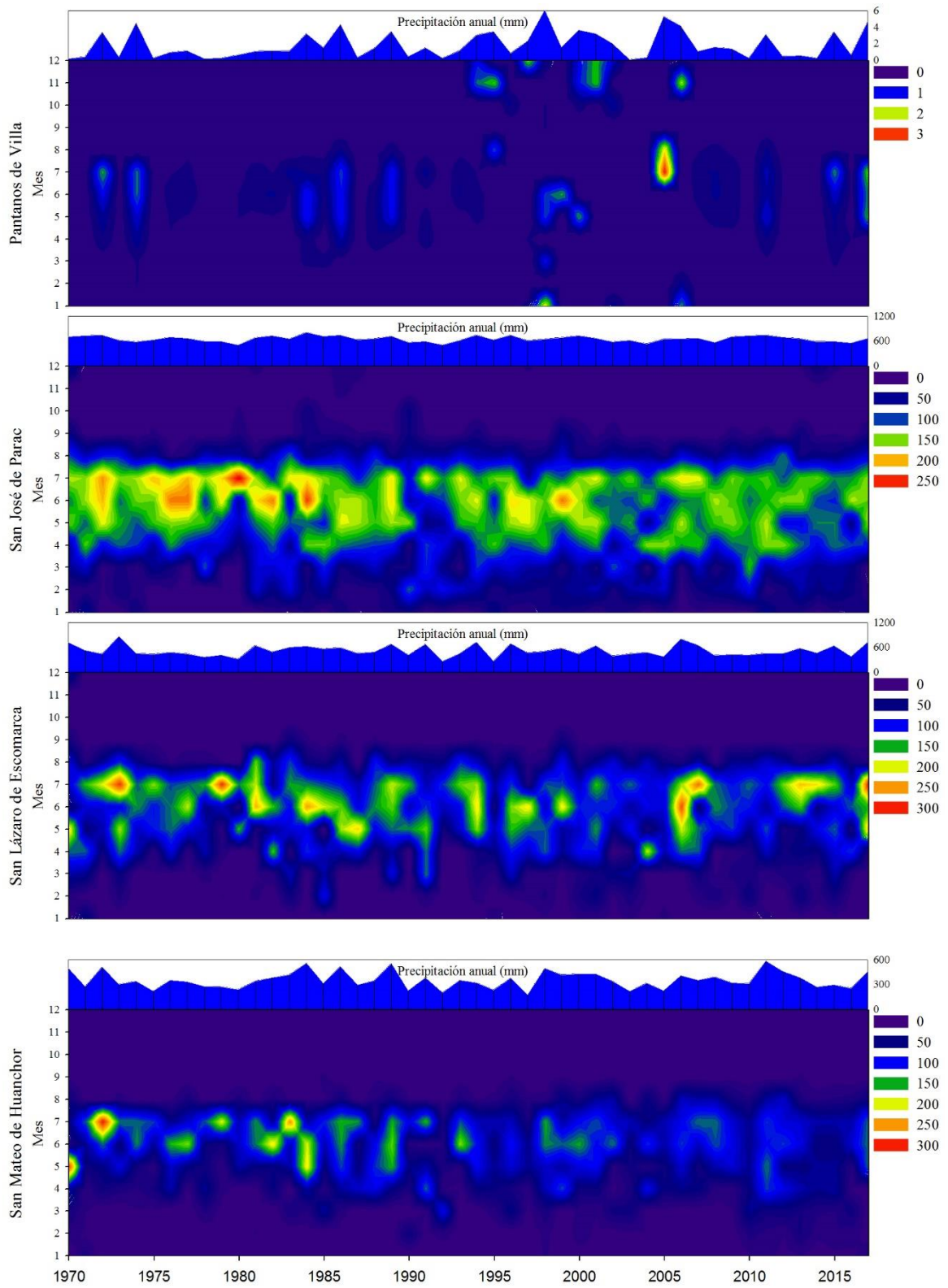
Anexo 1: Variación temporal de la precipitación a escala mensual en las estaciones Antioquía, Ayaviri, Canchacalla, Chaute, Huancata, Langa, Manchay Bajo, Matucana, Pantanos de Villa, San José de Parac, San Lázaro de Escomarca, San Mateo de Huanchor y Santiago de Tuna. Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 a 31 de agosto de 2017.



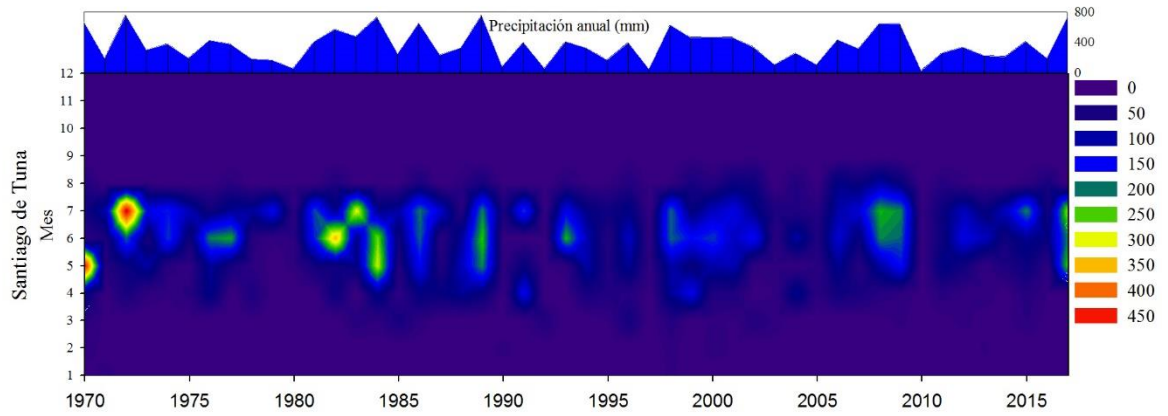
Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI



Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI



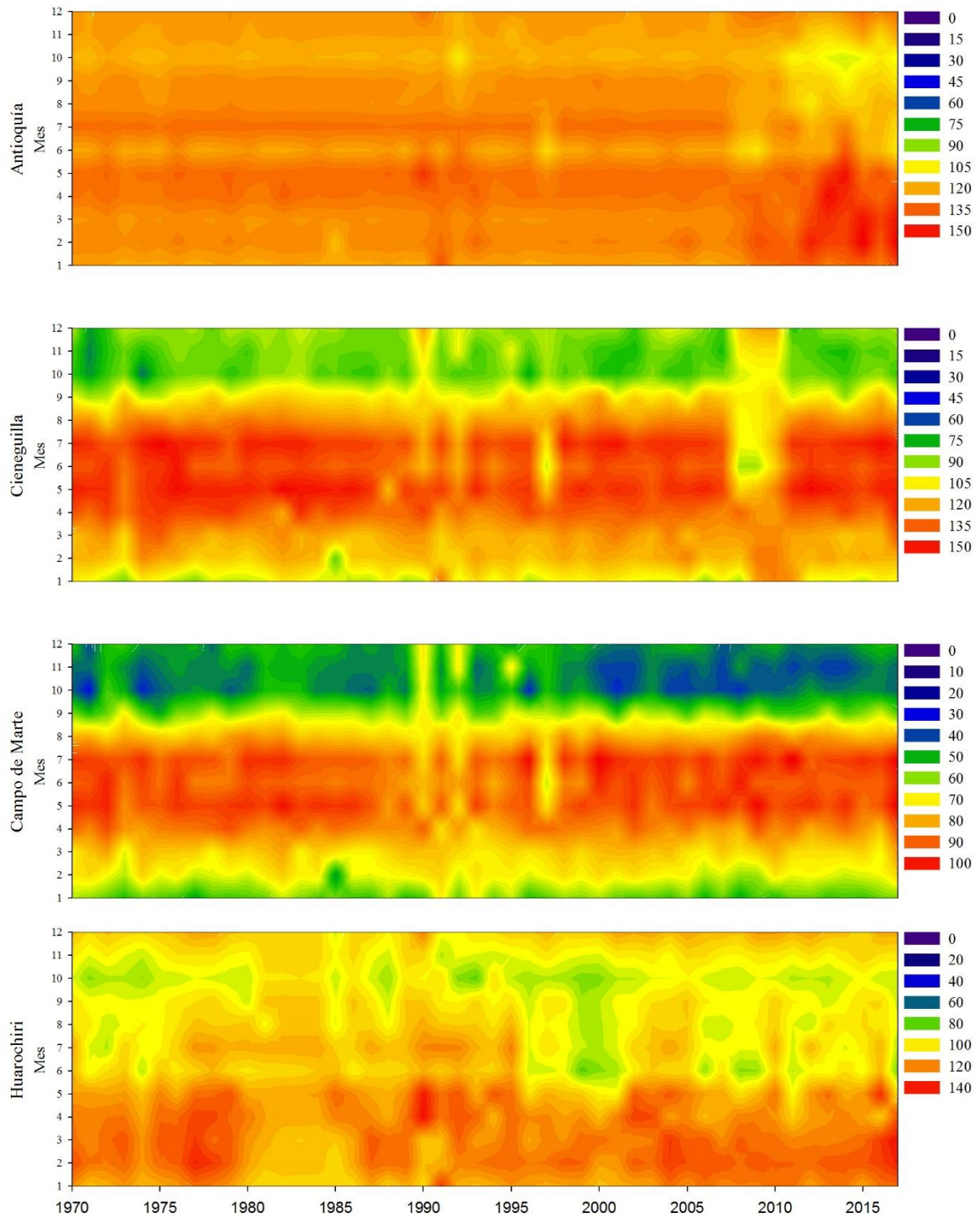
Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI



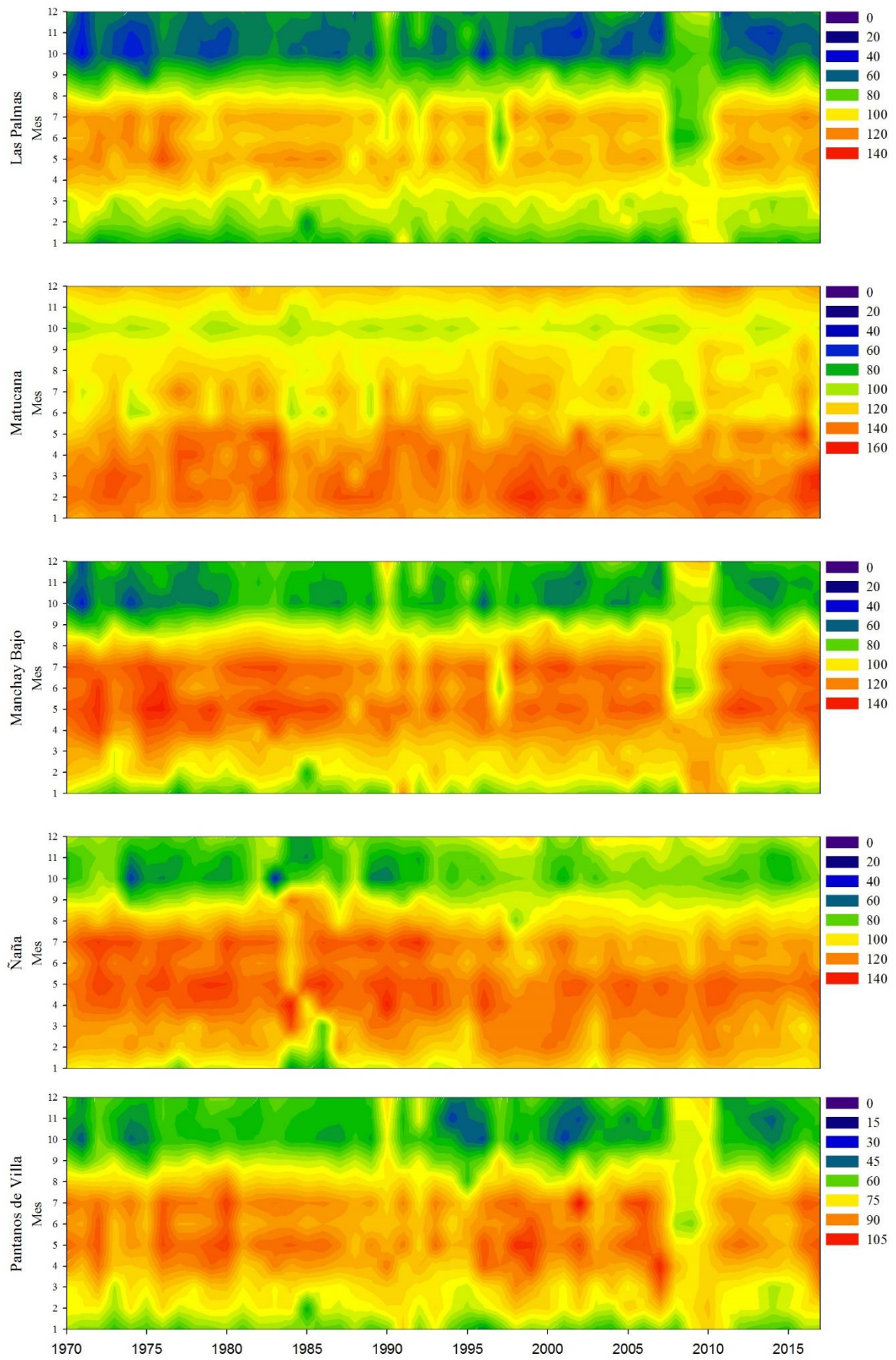
Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Anexo 2: Variación temporal de la evapotranspiración a escala mensual en las estaciones Antioquía, Cieneguilla, Campo de Marte, Huarochiri, Las Palmas, Matucana, Manchay Bajo, Ñaña, Pantanos de Villa, San Lázaro de Escomarca, San Mateo de Otao, Santiago de Tuna y Von Humboldt.

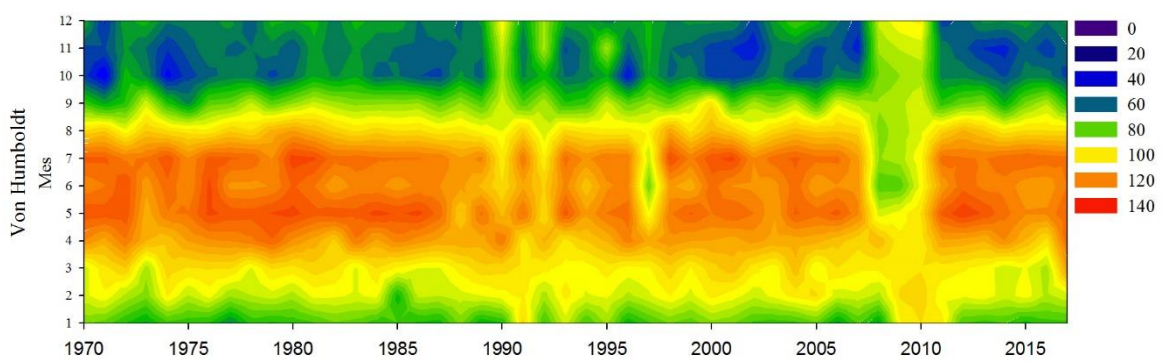
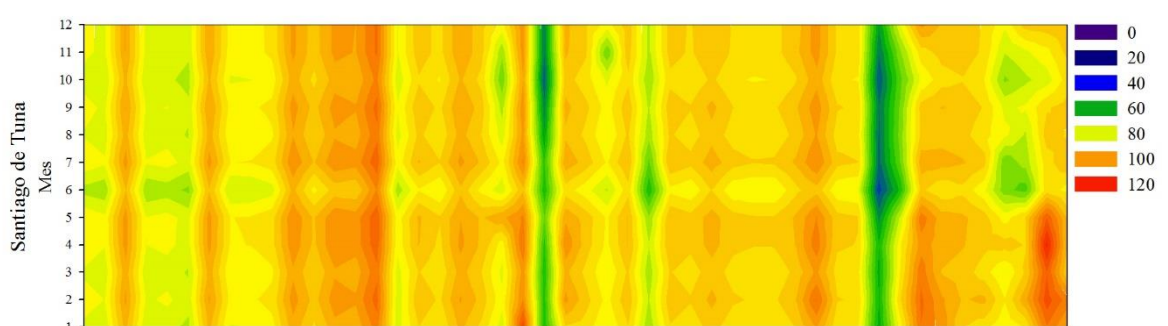
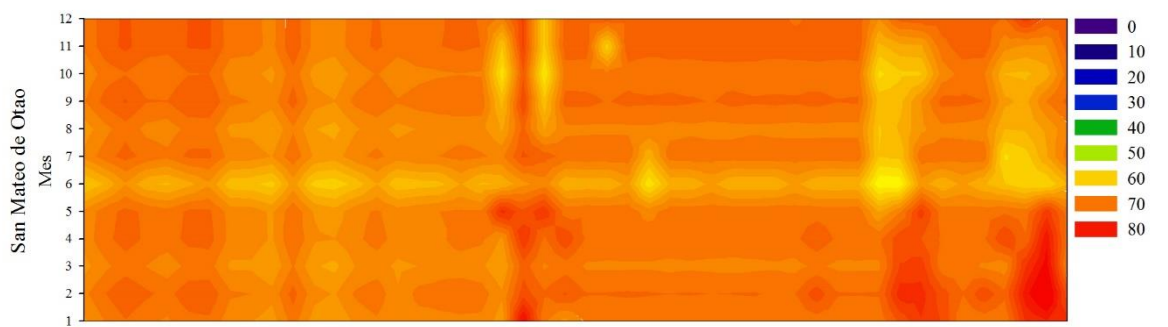
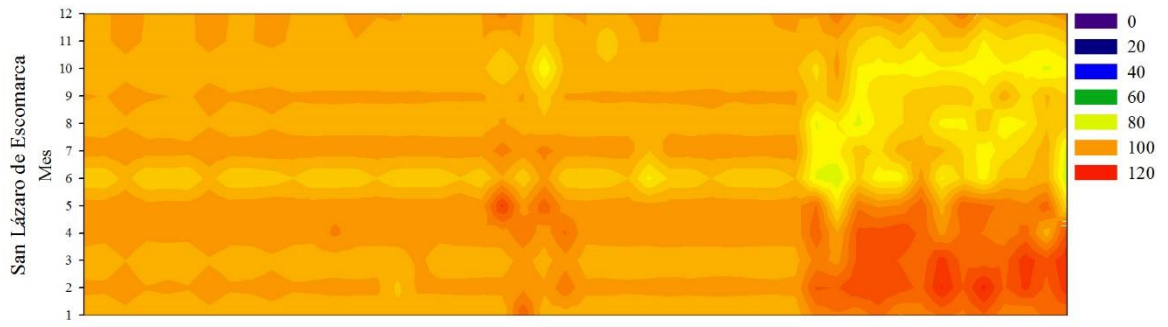
Periodo de análisis: 01 de septiembre de 1969 a 31 de agosto de 2017.



Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI



Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI



Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Anexo 3: Registros de precipitación

Precipitación mensual de la estación Antioquía (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
1970	0.0	0.0	0.0	12.1	66.5	1.5	7.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	91.0
1971	3.8	0.0	0.0	11.0	6.2	9.9	18.1	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	50.3
1972	0.0	0.1	0.0	1.3	8.9	27.9	69.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	108.0
1973	0.2	0.0	0.0	32.1	67.2	7.2	39.6	3.8	0.1	0.0	0.0	0.0	150.2
1974	2.6	0.0	0.1	3.1	7.5	25.4	24.5	1.3	0.0	0.2	0.0	0.8	65.5
1975	0.0	0.0	0.0	2.3	13.9	28.4	38.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.2
1976	0.0	0.8	0.0	9.0	29.5	50.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.3
1977	0.0	0.0	0.0	4.1	11.3	103.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	122.6
1978	0.0	0.0	3.3	2.0	3.2	2.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2
1979	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	115.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	116.6
1980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6
1981	0.0	1.0	0.7	0.0	0.0	3.9	52.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.3
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	29.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.1
1983	0.0	0.0	0.0	0.0	19.3	19.6	37.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	76.0
1984	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.4
1985	0.0	1.3	5.5	2.0	22.1	2.2	32.9	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	69.2
1986	0.0	0.0	1.0	0.5	13.9	3.7	10.7	0.9	1.2	0.0	0.0	0.0	31.9
1987	0.0	0.0	0.0	18.6	18.0	0.2	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.1
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	16.3	19.9	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	39.5
1989	0.0	0.0	0.0	55.9	13.5	69.9	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	148.6
1990	0.0	1.3	0.0	0.0	0.1	0.0	4.5	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	7.3
1991	0.0	0.0	0.4	49.2	26.2	4.0	20.6	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	102.0
1992	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	9.2	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8
1993	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	18.6	50.5	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	81.8
1994	0.0	0.0	1.7	3.9	39.3	24.3	20.9	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	94.0
1995	0.1	0.0	0.0	3.6	8.8	0.4	20.6	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	35.7
1996	0.3	0.4	11.3	3.8	15.0	31.6	24.9	7.3	0.0	0.0	0.1	0.0	94.6
1997	0.0	0.0	0.1	0.1	5.8	6.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	12.4
1998	0.0	0.4	4.9	30.3	36.4	52.9	49.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	175.1
1999	0.0	0.0	0.0	13.1	18.7	102.1	13.9	1.7	2.8	0.0	0.0	0.0	152.3
2000	0.0	3.3	0.5	1.2	23.1	48.6	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.2
2001	0.0	0.0	0.0	4.4	37.3	19.4	14.7	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	79.1
2002	0.0	0.0	8.6	0.0	1.9	37.6	26.7	5.1	0.1	0.0	0.0	0.1	80.1
2003	0.0	1.6	1.2	1.8	2.8	12.7	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0
2004	0.0	0.0	0.0	23.5	0.0	31.9	4.4	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	61.7
2005	0.0	0.0	0.0	1.8	1.2	2.4	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8
2006	0.0	0.0	0.0	1.1	23.6	26.1	14.9	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	68.7
2007	0.0	0.1	0.5	17.2	4.7	12.2	24.0	8.3	0.0	0.0	0.0	0.1	66.9
2008	0.0	0.6	0.0	2.3	17.4	29.3	68.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	118.7
2009	0.0	0.1	1.4	0.9	17.6	47.6	47.4	13.8	0.0	0.0	0.0	0.1	128.7
2010	0.0	1.1	1.4	0.5	6.1	10.4	12.2	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3
2011	0.2	0.0	0.2	12.1	87.1	8.1	1.8	1.8	0.0	0.0	1.4	0.1	112.5
2012	0.0	0.0	1.4	18.1	8.2	9.9	21.6	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	67.1
2013	0.0	2.5	0.9	0.8	0.5	25.7	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.7
2014	0.0	0.2	0.2	2.1	9.4	3.3	29.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.0
2015	0.0	1.2	0.0	6.7	12.7	9.0	48.9	14.9	0.0	0.0	0.0	0.0	93.3
2016	0.0	0.0	0.0	3.0	2.0	12.6	10.0	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	38.2
2017	0.0	0.0	0.0	4.3	22.3	62.6	60.5	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	153.1
Promedio	0.1	0.3	0.9	7.5	15.6	22.7	23.3	2.4	0.2	0.0	0.0	0.0	73.2
Máximo	3.8	3.3	11.3	55.9	87.1	103.0	115.5	14.9	3.3	0.2	1.4	0.8	175.1
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Precipitación mensual de la estación Ayaviri (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Annual
1970	0.0	0.4	32.2	118.6	234.7	162.2	140.0	65.4	23.1	0.0	0.0	3.0	779.5
1971	0.0	0.0	19.2	22.0	50.2	55.1	83.6	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	248.2
1972	0.0	0.0	0.0	18.4	48.9	81.8	91.4	38.5	0.0	0.0	1.3	0.0	280.4
1973	5.3	2.4	0.0	5.8	238.0	200.1	155.3	14.7	6.2	0.0	0.0	2.8	630.6
1974	10.8	17.7	10.3	67.7	84.0	74.5	136.8	8.7	5.4	0.0	0.0	2.6	418.3
1975	0.0	2.5	22.6	25.8	83.5	67.6	165.8	60.8	7.6	0.0	0.0	6.4	442.5
1976	3.3	5.4	19.1	57.6	150.2	122.6	124.1	11.2	0.0	0.3	0.0	0.0	493.7
1977	0.1	0.0	0.0	59.4	235.4	88.3	318.5	21.1	0.0	0.0	0.0	0.0	722.9
1978	0.0	0.0	39.8	13.0	94.1	93.6	77.3	16.7	0.0	0.0	0.0	0.0	334.6
1979	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	169.2	112.9	108.4	0.0	0.0	0.0	0.0	394.1
1980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	240.7	236.4	19.2	0.5	0.0	0.0	0.0	496.7
1981	0.0	3.9	0.0	18.6	107.0	189.3	288.9	53.0	0.0	0.0	0.0	0.0	660.7
1982	4.0	0.0	0.0	38.4	60.2	225.5	51.8	24.0	0.0	0.0	0.0	0.6	404.5
1983	0.0	12.8	18.9	2.2	22.5	24.3	79.3	18.2	1.4	0.0	0.0	0.0	179.6
1984	0.0	0.0	0.0	42.9	67.0	194.5	103.8	32.6	0.4	0.0	0.0	0.0	441.1
1985	0.0	41.4	28.9	72.0	26.9	110.5	127.4	16.8	0.0	0.0	0.0	0.0	423.9
1986	0.0	11.6	14.3	57.1	186.5	233.6	219.0	63.9	8.4	0.0	0.0	0.1	794.4
1987	0.0	1.6	15.6	128.2	166.2	128.3	31.4	13.8	0.0	0.6	0.0	0.0	485.7
1988	0.0	0.0	6.9	2.4	117.8	133.7	97.5	83.1	25.7	0.0	0.0	1.4	468.4
1989	0.0	0.9	0.0	7.8	24.2	117.1	126.9	35.8	12.7	0.0	0.0	0.0	325.4
1990	0.0	33.7	0.0	0.0	98.4	18.7	115.6	29.3	8.2	0.0	0.0	0.8	304.8
1991	9.1	4.0	45.2	33.9	30.6	79.8	153.2	35.4	2.6	0.0	0.0	0.0	393.7
1992	0.0	68.5	0.0	0.0	27.3	30.5	51.7	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	182.9
1993	0.0	14.4	4.4	15.2	99.0	140.4	227.9	81.2	10.1	0.0	0.0	0.0	592.6
1994	11.8	11.7	45.3	89.2	172.5	164.4	171.0	45.3	22.1	0.0	0.0	0.0	733.3
1995	0.0	0.0	5.3	42.3	34.6	53.0	96.5	49.0	2.7	0.0	0.0	0.0	283.4
1996	5.0	6.6	74.2	76.0	140.1	163.8	138.8	39.6	1.1	0.0	0.0	0.0	645.2
1997	1.0	4.7	0.0	32.7	135.8	127.3	46.3	1.6	0.3	0.0	0.0	3.5	353.2
1998	3.6	0.5	29.8	169.0	294.3	188.7	213.6	46.2	0.8	0.0	0.0	0.3	946.8
1999	0.0	0.0	0.2	67.5	122.6	245.9	166.0	73.2	23.2	0.0	0.0	0.0	698.6
2000	0.0	46.2	5.0	86.6	166.0	207.6	150.2	42.3	8.1	0.0	0.0	0.0	712.0
2001	0.0	21.9	7.4	98.9	240.9	149.3	238.9	60.5	2.0	0.0	0.0	0.0	819.8
2002	4.4	8.2	57.4	0.5	53.5	81.4	125.2	71.0	3.9	0.0	0.0	0.0	405.4
2003	10.7	26.4	31.0	29.3	67.9	95.2	91.5	7.7	0.4	0.0	0.0	0.0	360.1
2004	0.0	3.7	4.5	106.2	25.3	108.7	92.8	48.8	0.0	0.0	0.0	0.0	390.0
2005	0.8	3.4	17.7	69.9	66.5	66.6	94.7	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	353.5
2006	0.0	1.6	0.0	85.7	144.2	126.9	216.6	91.9	0.0	0.0	0.0	0.0	666.8
2007	4.8	6.0	18.0	89.3	81.6	92.8	203.8	75.1	0.0	0.0	0.0	0.0	571.4
2008	0.0	24.5	7.8	53.9	212.7	232.3	146.8	19.8	0.0	0.0	0.0	0.0	697.9
2009	0.0	4.6	16.0	14.9	93.4	118.8	60.3	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	321.3
2010	0.0	20.0	18.0	47.1	33.0	32.5	93.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	255.7
2011	0.0	0.0	4.5	80.5	89.2	62.1	95.8	88.6	0.0	0.0	0.0	0.0	420.8
2012	0.0	0.0	18.0	72.5	29.1	146.7	183.2	108.8	0.0	0.0	0.0	0.0	558.2
2013	13.5	31.3	23.3	44.8	87.9	228.5	197.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	627.1
2014	0.0	0.0	26.5	53.8	90.0	123.4	178.0	134.1	6.2	0.0	0.0	0.0	612.1
2015	7.4	31.6	51.3	125.8	159.7	119.1	281.1	72.3	0.0	0.0	0.0	1.2	849.3
2016	0.0	11.7	12.1	31.7	0.0	96.4	53.2	26.0	0.0	0.0	0.0	0.0	231.1
2017	0.0	3.4	0.0	55.4	160.4	163.6	253.3	44.1	4.3	0.0	0.0	0.0	684.6
Promedio	2.0	10.3	15.6	50.6	103.2	128.7	143.9	43.3	3.9	0.0	0.0	0.5	502.0
Máximo	13.5	68.5	74.2	169.0	294.3	245.9	318.5	134.1	25.7	0.6	1.3	6.4	946.8
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.7	31.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	179.6

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Precipitación mensual de la estación Canchacalla (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Annual
1970	0.0	12.6	24.0	53.3	233.5	16.3	39.3	28.1	4.5	0.0	0.0	0.0	411.7
1971	13.6	4.2	5.6	6.5	20.5	29.8	67.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	150.2
1972	0.0	1.5	2.7	40.9	57.6	148.3	351.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	602.2
1973	0.0	8.8	2.1	21.6	78.4	33.9	117.4	13.6	0.0	0.0	0.0	0.0	275.8
1974	8.1	6.4	8.7	18.2	31.9	133.6	126.4	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	335.5
1975	0.0	0.0	3.8	20.6	8.8	37.4	74.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	144.9
1976	0.0	0.0	0.0	65.7	75.5	152.1	49.5	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	349.9
1977	0.0	0.0	0.0	7.0	42.5	168.8	74.8	26.1	3.4	0.0	0.0	0.0	322.6
1978	0.0	0.0	11.4	27.9	17.3	21.1	60.6	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	139.8
1979	0.0	3.0	1.8	6.4	4.8	14.4	92.3	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	126.7
1980	0.0	0.0	0.0	0.6	6.8	8.1	7.3	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	25.5
1981	0.0	11.1	2.9	7.0	43.6	131.2	139.4	6.1	1.5	0.0	0.0	0.0	342.8
1982	0.0	0.0	2.9	50.5	50.7	252.8	64.1	28.9	2.5	0.0	1.9	3.3	457.6
1983	0.0	3.1	38.5	2.7	78.9	90.3	337.7	9.6	11.2	0.0	0.0	0.0	571.9
1984	0.0	2.2	22.3	72.3	244.2	228.6	71.3	8.1	3.0	0.0	0.0	0.0	652.0
1985	0.0	2.7	39.9	11.3	28.9	46.6	72.6	6.4	8.5	0.0	0.0	2.7	219.6
1986	0.0	2.0	17.2	65.7	128.2	157.4	168.5	38.0	0.0	0.0	1.0	0.0	578.0
1987	0.0	0.0	0.5	29.6	16.4	12.1	53.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	112.3
1988	0.0	0.0	2.1	18.5	76.2	86.3	26.1	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	214.2
1989	0.0	0.0	0.0	0.0	45.1	197.2	152.9	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	405.1
1990	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.7	3.2	7.6	4.0	0.0	0.0	0.0	17.2
1991	0.0	1.0	14.3	21.4	11.9	20.8	126.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	195.5
1992	0.0	11.7	12.2	0.0	0.0	11.8	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.3
1993	0.0	11.8	0.0	4.6	63.7	40.4	123.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	243.8
1994	0.0	1.5	4.3	26.7	91.4	70.4	49.4	21.2	0.0	0.0	0.0	0.0	264.8
1995	0.0	0.0	0.9	7.1	26.0	8.7	44.4	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	92.4
1996	0.0	0.2	9.4	33.9	49.0	73.4	32.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	198.1
1997	0.2	0.3	0.0	7.8	22.7	36.9	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	75.0
1998	6.4	5.3	23.0	90.3	123.7	143.4	149.8	20.1	0.0	0.0	0.0	0.0	562.0
1999	0.0	0.0	0.0	74.2	102.8	327.3	96.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	601.1
2000	0.0	22.1	0.0	78.4	132.0	101.9	39.6	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	388.4
2001	0.0	0.0	12.0	19.5	60.4	53.3	75.1	40.3	3.8	0.0	0.0	0.0	264.5
2002	0.0	12.2	30.7	3.9	12.1	57.2	45.7	27.6	2.3	0.0	0.0	0.0	191.7
2003	3.3	19.8	13.0	3.5	9.7	11.9	46.9	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	110.2
2004	0.0	0.0	0.0	84.1	12.6	129.8	74.8	35.3	0.0	0.0	0.0	0.0	336.7
2005	1.7	3.6	0.0	24.5	25.8	38.0	20.5	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	116.3
2006	0.0	0.0	0.0	98.2	154.3	209.8	201.4	101.3	0.0	0.0	0.0	0.0	764.9
2007	0.0	0.0	2.5	85.8	51.7	28.3	191.2	52.5	0.0	0.0	0.0	0.0	412.0
2008	0.0	3.1	0.0	11.3	99.9	48.3	59.4	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	236.1
2009	0.0	0.0	6.4	15.0	68.4	68.0	88.9	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	253.1
2010	0.0	1.6	1.7	1.4	1.2	4.1	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.7
2011	0.0	0.0	0.0	23.7	36.8	28.5	23.4	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	121.3
2012	0.0	0.0	7.1	27.7	11.5	47.3	135.7	19.7	0.0	0.0	0.0	0.0	248.9
2013	0.9	5.7	1.5	7.7	7.9	118.2	129.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	271.5
2014	0.0	6.9	8.1	38.7	38.6	44.5	80.3	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	222.7
2015	0.0	6.8	14.7	40.5	56.5	120.6	147.1	7.0	0.0	0.0	0.8	0.3	394.4
2016	0.9	1.7	1.7	2.0	4.1	19.7	19.4	12.3	0.0	0.0	0.0	0.0	61.8
2017	0.0	0.0	0.0	17.4	110.4	92.9	122.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	343.4
Promedio	0.7	3.6	7.3	28.7	55.8	81.7	89.4	12.4	1.0	0.0	0.1	0.1	280.9
Máximo	13.6	22.1	39.9	98.2	244.2	327.3	351.3	101.3	11.2	0.0	2.3	3.3	764.9
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.7

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Precipitación mensual de la estación Chaute (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
1970	0.0	5.8	10.6	24.1	111.6	7.1	17.8	12.5	1.8	0.0	0.0	0.0	191.2
1971	6.6	2.0	2.8	3.1	10.0	14.6	33.2	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	73.5
1972	0.0	0.4	0.7	11.5	16.2	42.7	102.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	173.8
1973	0.0	2.8	0.7	7.4	28.1	12.1	41.9	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	97.6
1974	2.6	2.0	2.7	5.7	10.2	45.1	42.5	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	111.4
1975	0.0	0.0	1.7	9.6	4.1	18.0	35.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	69.2
1976	0.0	0.0	0.0	21.7	24.8	50.8	16.1	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	115.5
1977	0.0	0.0	0.0	2.1	14.2	57.8	25.2	8.5	1.0	0.0	0.0	0.0	108.9
1978	0.0	0.0	5.3	13.7	8.2	10.1	30.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	67.9
1979	0.0	1.5	0.8	3.0	2.3	7.0	48.5	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	65.0
1980	0.0	0.0	0.0	0.9	11.1	13.4	12.4	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	42.3
1981	0.0	3.4	0.9	2.2	14.4	43.7	46.7	2.0	0.4	0.0	0.0	0.0	113.6
1982	0.0	0.0	0.8	15.4	15.3	78.6	19.6	8.7	0.7	0.0	0.5	0.9	140.5
1983	0.0	0.5	7.7	0.5	16.3	18.5	69.9	1.8	2.2	0.0	0.0	0.0	117.4
1984	0.0	0.5	5.4	18.2	61.7	57.1	17.8	1.9	0.7	0.0	0.0	0.0	163.1
1985	0.0	0.9	15.0	4.3	10.7	17.4	27.7	2.3	3.1	0.0	0.0	0.9	82.3
1986	0.0	0.4	4.4	16.9	33.2	41.0	43.8	9.7	0.0	0.0	0.2	0.0	149.6
1987	0.0	0.0	0.3	20.1	10.9	8.0	36.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	75.8
1988	0.0	0.0	1.1	20.5	24.1	62.2	19.4	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	136.4
1989	0.0	0.0	0.0	26.3	32.0	128.1	85.2	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	273.8
1990	0.0	1.5	0.7	0.0	14.1	5.8	48.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.3
1991	0.0	0.0	0.0	28.9	4.3	20.5	71.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	125.0
1992	0.0	0.0	0.0	16.2	20.5	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.3
1993	0.0	0.0	0.3	2.6	8.5	29.4	89.7	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	140.9
1994	0.0	0.0	2.1	19.4	30.3	83.6	21.1	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	159.7
1995	0.0	0.1	4.5	22.3	24.6	30.3	28.8	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	116.0
1996	0.1	2.0	0.3	7.6	27.1	33.3	23.5	10.0	3.6	0.0	0.0	0.0	107.3
1997	0.3	0.0	2.0	4.5	17.1	16.7	9.3	4.3	0.3	0.0	0.0	1.4	56.0
1998	3.7	4.5	8.9	23.2	25.4	46.4	48.8	4.1	0.9	0.0	0.0	0.0	166.0
1999	0.0	0.0	1.1	38.7	19.3	40.8	19.9	15.2	3.2	0.0	0.0	0.0	138.1
2000	1.2	5.6	4.0	12.0	28.3	48.3	31.5	9.4	0.0	0.0	0.7	0.0	140.8
2001	1.1	2.4	3.5	13.1	31.4	31.9	38.9	18.7	0.3	0.0	0.0	0.0	141.3
2002	0.0	1.5	11.1	1.7	5.3	43.4	26.1	20.0	3.4	0.0	0.0	0.0	112.4
2003	0.0	2.5	11.5	7.9	10.9	13.0	22.4	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	70.5
2004	0.0	2.6	1.3	30.8	6.1	35.2	13.9	13.6	0.0	0.0	0.0	0.0	103.5
2005	1.2	0.4	1.3	13.3	11.9	21.1	24.3	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	76.1
2006	0.0	0.0	0.0	16.6	25.9	36.8	30.1	23.7	0.8	0.0	0.0	0.0	133.9
2007	0.0	1.2	0.7	14.8	10.6	24.0	42.2	20.2	0.7	0.0	0.0	0.0	114.4
2008	0.0	0.7	2.3	6.8	28.7	52.3	56.3	26.8	0.0	0.0	0.0	0.0	174.0
2009	1.4	1.6	5.5	6.7	38.8	47.6	51.0	16.5	0.4	0.0	0.0	0.0	169.5
2010	0.0	3.9	5.4	5.2	6.4	10.4	11.1	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	46.9
2011	0.6	0.0	2.8	9.8	25.6	20.1	21.2	10.1	0.0	0.0	1.3	0.0	91.4
2012	0.0	0.0	4.1	4.4	13.3	35.4	29.6	4.1	1.2	0.0	0.0	0.0	91.9
2013	0.9	5.7	1.6	7.8	5.3	42.9	26.7	0.9	1.8	0.0	0.0	0.0	93.7
2014	0.0	0.0	3.5	0.9	17.6	22.2	46.2	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	92.9
2015	0.0	0.8	6.4	9.1	16.4	24.3	55.2	4.5	0.0	0.0	0.6	0.0	117.3
2016	0.0	2.4	1.8	5.8	7.3	25.4	19.0	15.9	0.0	0.0	0.0	0.0	77.7
2017	0.0	0.0	0.0	1.1	65.5	55.0	72.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	194.4
Promedio	0.4	1.2	3.1	11.6	21.0	33.9	36.5	6.7	0.5	0.0	0.1	0.1	115.2
Máximo	6.6	5.8	15.0	38.7	111.6	128.1	102.3	26.8	3.6	0.0	2.2	1.4	273.8
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.3

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Precipitación mensual de la estación Huancata (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Annual
1970	1.9	8.0	31.2	62.8	189.8	83.3	98.1	69.6	25.2	0.2	0.1	35.0	605.3
1971	16.9	2.0	21.6	45.3	35.4	50.5	75.3	15.8	0.5	0.0	0.0	0.8	264.1
1972	0.1	1.3	1.2	20.5	46.1	53.6	94.4	25.6	0.0	0.0	1.4	0.0	244.2
1973	1.8	11.5	16.4	55.1	115.4	74.9	133.1	46.0	2.5	0.0	0.0	1.0	457.7
1974	17.3	25.5	12.2	114.1	122.2	168.9	180.5	51.9	3.9	3.2	0.0	2.1	701.6
1975	0.0	2.0	36.5	31.8	123.9	116.8	282.1	44.8	9.6	0.6	0.0	4.4	652.5
1976	2.6	5.4	28.4	111.2	170.8	214.5	172.0	15.1	0.1	0.2	0.0	0.0	720.2
1977	0.1	0.0	2.2	69.2	169.0	216.4	197.8	21.6	0.6	0.0	0.0	0.0	676.9
1978	0.2	0.0	54.4	50.6	101.1	79.3	112.3	37.4	0.0	0.0	0.0	0.0	435.4
1979	0.1	9.5	0.8	32.5	46.8	148.3	267.0	61.5	0.0	0.0	0.1	0.0	566.7
1980	0.0	2.4	1.3	6.6	83.0	73.4	35.1	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	207.1
1981	0.0	0.0	0.0	22.0	101.4	177.0	269.2	62.8	0.0	0.0	0.0	0.0	632.3
1982	0.0	0.0	0.0	38.4	46.4	256.4	54.1	30.2	0.0	0.0	0.0	0.0	425.5
1983	0.0	17.4	25.7	3.0	28.6	12.1	99.6	26.3	2.0	0.0	0.0	0.0	214.8
1984	0.0	0.0	0.0	41.3	74.5	219.2	89.4	32.2	0.4	0.0	0.0	0.0	456.9
1985	0.0	33.0	36.1	86.6	18.4	116.8	132.2	18.4	0.0	0.0	0.0	0.0	441.5
1986	0.0	1.7	0.0	59.4	136.5	147.8	67.9	86.1	0.0	0.0	0.0	11.2	510.7
1987	0.0	0.0	1.9	111.4	88.2	38.6	43.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	283.1
1988	0.0	0.0	0.0	1.6	105.8	75.3	143.9	11.0	19.6	0.0	0.0	0.0	357.2
1989	0.0	0.0	0.0	20.5	193.8	214.5	235.0	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	685.2
1990	0.0	28.0	0.0	0.0	77.6	0.0	48.2	0.0	20.6	0.0	0.0	0.0	174.3
1991	0.0	14.3	61.8	32.7	25.2	30.9	86.8	52.5	0.0	0.0	0.0	0.0	304.3
1992	0.0	58.8	26.4	42.0	55.8	34.8	58.6	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	282.2
1993	0.0	14.4	9.8	30.8	29.7	110.9	102.5	83.4	10.4	0.0	0.0	0.0	391.9
1994	2.3	10.4	63.4	48.1	125.0	123.7	58.0	29.9	6.2	0.0	0.0	0.2	467.3
1995	0.5	6.6	5.0	22.2	99.5	32.4	92.1	42.6	0.0	0.0	0.0	0.0	300.8
1996	0.2	3.8	79.7	52.1	146.1	115.2	117.7	21.3	7.4	0.1	0.0	0.8	544.3
1997	2.8	8.8	12.0	17.2	99.4	140.9	5.4	6.9	17.8	0.0	0.0	1.4	312.6
1998	2.1	6.0	40.1	203.6	174.7	217.5	158.8	23.6	0.0	0.1	0.0	0.0	826.3
1999	0.1	1.1	0.8	70.3	76.3	249.3	154.6	28.5	14.9	1.7	0.2	0.0	597.5
2000	8.1	22.0	11.0	77.0	139.4	161.9	138.1	29.7	1.9	0.2	0.2	0.1	589.2
2001	0.4	22.5	7.3	80.2	158.3	105.7	183.4	25.2	1.6	0.2	0.3	0.2	584.9
2002	1.1	6.2	24.7	0.9	6.8	70.3	123.3	61.5	6.3	0.9	0.1	0.0	302.0
2003	0.0	1.7	30.9	30.9	60.7	84.3	80.5	2.7	0.1	0.0	0.0	0.0	291.9
2004	0.0	9.2	1.1	99.7	5.5	66.3	71.0	18.3	0.0	0.5	0.0	0.0	271.5
2005	1.0	3.1	5.6	53.5	49.3	44.8	65.1	16.8	0.0	0.0	0.0	0.0	239.1
2006	0.2	0.0	0.2	98.3	106.1	154.9	200.1	49.3	0.1	0.1	0.0	0.3	609.5
2007	0.1	0.5	17.7	59.6	101.6	57.2	140.4	50.9	0.1	0.0	0.0	0.0	428.1
2008	0.0	23.1	2.9	18.1	127.7	162.1	96.6	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	436.1
2009	0.0	2.7	16.7	14.9	128.0	216.9	88.9	55.6	0.1	0.0	0.0	0.0	523.7
2010	0.0	15.5	32.2	30.5	34.0	40.7	55.8	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	221.5
2011	0.0	2.9	0.0	83.1	133.3	73.1	79.5	53.5	0.0	0.0	0.1	0.1	425.5
2012	0.1	0.4	27.1	85.6	24.5	130.6	142.6	51.7	0.0	0.0	0.0	0.0	462.7
2013	0.2	5.3	34.8	23.1	45.7	85.9	104.4	3.6	0.4	0.0	0.0	0.6	303.8
2014	0.0	0.0	6.4	23.9	78.0	47.4	133.3	19.7	0.5	0.0	0.0	0.1	309.3
2015	0.0	9.1	0.3	59.5	81.8	57.8	110.4	13.0	0.0	0.0	0.0	7.6	339.5
2016	0.5	5.5	2.3	73.0	8.1	151.8	45.7	46.0	0.0	0.0	0.2	0.0	333.1
2017	0.0	0.4	0.0	33.6	172.4	195.7	278.9	19.1	2.3	0.0	0.0	0.0	702.5
Promedio	1.3	8.4	16.5	51.0	91.0	114.6	120.9	31.5	3.2	0.2	0.1	1.4	439.9
Máximo	17.3	58.8	79.7	203.6	193.8	256.4	282.1	86.1	25.2	3.2	1.4	35.0	826.3
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	174.3

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Precipitación mensual de la estación Langa (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Annual
1970	0.5	9.9	26.9	81.0	114.4	13.7	36.4	35.6	11.6	0.2	0.1	26.5	356.8
1971	22.1	2.4	21.8	54.5	21.3	38.7	72.4	8.6	0.0	0.0	0.0	0.5	242.3
1972	0.2	0.6	0.3	18.8	35.1	49.8	116.4	25.2	0.0	0.0	1.4	0.0	247.7
1973	0.6	8.9	15.6	57.6	93.8	40.2	119.5	40.7	0.0	0.0	0.0	0.0	377.0
1974	1.3	0.3	0.2	11.5	12.9	28.8	23.8	7.3	0.0	0.6	0.0	0.2	86.9
1975	0.0	0.1	2.9	6.8	44.3	52.1	88.9	10.4	3.1	0.2	0.0	0.0	208.9
1976	0.1	0.9	3.9	39.5	66.4	76.7	47.3	3.6	0.0	0.1	0.0	0.0	238.5
1977	0.1	0.0	1.0	7.7	39.8	118.0	50.5	7.7	0.4	0.0	0.0	0.0	225.1
1978	0.2	0.4	8.9	24.8	24.6	18.2	49.6	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	136.1
1979	0.1	3.7	0.5	6.4	5.2	29.1	151.5	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	199.9
1980	0.0	1.7	0.9	0.0	53.3	2.0	49.3	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	111.7
1981	0.0	16.6	0.0	12.0	91.2	169.8	141.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	430.6
1982	19.7	0.0	0.0	38.5	115.1	105.9	43.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	325.4
1983	0.0	17.0	30.9	6.9	19.7	113.4	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	228.0
1984	0.0	0.0	0.0	41.2	33.8	86.0	118.0	32.1	0.0	0.0	0.0	0.0	311.1
1985	0.0	72.9	0.0	12.6	59.3	82.1	104.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	340.8
1986	0.0	10.0	15.0	9.7	67.0	61.0	94.3	39.2	0.3	0.1	0.0	2.3	298.7
1987	0.0	1.5	8.2	74.5	133.2	49.7	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	278.1
1988	0.0	0.0	3.0	2.5	10.5	40.2	19.7	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	81.4
1989	0.0	0.0	0.0	44.6	131.2	134.8	129.2	39.7	0.0	0.0	0.0	0.0	479.5
1990	0.0	15.1	0.0	0.0	52.6	9.7	24.0	1.5	1.5	0.0	0.0	0.0	104.3
1991	0.0	5.6	27.0	25.7	20.3	42.7	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	154.6
1992	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	7.3	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.0
1993	0.0	0.0	0.0	2.1	72.1	97.0	149.4	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	329.9
1994	0.0	1.3	22.9	22.3	106.4	79.4	56.3	18.1	1.6	0.0	0.0	0.0	308.3
1995	7.3	0.0	3.1	18.9	44.8	42.1	46.6	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	173.7
1996	5.0	1.5	26.0	14.1	53.4	63.4	63.9	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	231.8
1997	0.0	0.0	0.0	4.3	40.4	53.6	18.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.5	117.4
1998	4.0	0.9	10.9	74.0	132.4	111.1	120.3	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	466.8
1999	0.0	0.2	1.5	28.2	42.3	201.2	70.0	60.3	8.7	0.0	0.0	0.0	412.4
2000	2.1	11.0	3.5	22.7	81.5	105.8	41.3	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	286.4
2001	1.5	0.0	0.0	41.5	100.3	83.2	128.4	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	376.8
2002	0.0	1.0	42.7	0.0	11.4	71.7	87.0	26.2	1.1	0.0	0.0	0.0	241.1
2003	3.7	8.8	32.0	5.4	26.3	44.8	55.5	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	184.6
2004	0.0	0.7	0.7	92.4	9.2	98.9	38.1	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	263.5
2005	1.2	0.0	3.0	21.5	37.0	33.5	39.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	135.9
2006	0.0	0.1	0.0	41.9	62.4	85.6	82.5	19.8	0.0	0.0	0.0	0.0	292.3
2007	0.3	1.7	14.5	70.6	27.5	33.6	68.5	41.9	0.0	0.0	0.0	0.0	258.6
2008	0.0	6.6	2.9	6.9	110.9	152.7	121.0	5.2	0.0	0.0	0.0	0.3	406.5
2009	0.0	0.3	11.0	9.0	82.2	135.2	110.9	40.8	0.0	0.0	0.0	0.0	389.4
2010	0.0	16.7	13.1	23.2	10.2	75.0	57.9	13.6	0.0	0.0	0.0	0.0	209.7
2011	0.4	1.1	4.4	35.1	83.8	37.5	48.3	36.1	0.0	0.0	1.5	0.0	248.2
2012	0.0	0.0	12.9	20.8	19.6	101.5	105.1	32.3	0.0	0.0	0.0	0.0	292.2
2013	0.0	12.3	2.6	24.7	8.4	73.8	88.4	0.7	1.6	0.0	0.0	0.0	212.5
2014	0.5	1.4	6.9	16.3	45.8	29.4	85.3	16.8	1.4	0.0	0.0	0.0	203.8
2015	1.8	7.7	18.6	25.1	37.0	38.4	106.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	252.6
2016	0.0	2.2	4.1	17.7	16.2	50.6	50.7	22.7	0.0	0.0	0.0	0.0	164.1
2017	0.0	0.0	0.0	10.1	101.0	90.6	199.2	6.8	1.6	0.0	0.0	0.0	409.3
Promedio	1.5	5.1	8.4	25.5	54.5	70.0	75.2	15.7	0.7	0.0	0.1	0.7	257.4
Máximo	22.1	72.9	42.7	92.4	133.2	201.2	199.2	60.3	11.6	0.6	1.5	26.5	479.5
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	2.0	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.0

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Precipitación mensual de la estación Matucana (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Annual
1970	0.5	10.8	14.3	32.8	70.9	5.3	21.2	17.4	5.4	0.0	0.0	0.0	178.7
1971	23.3	15.6	5.8	57.5	61.7	77.8	124.3	29.4	0.0	0.0	0.0	0.0	395.2
1972	0.0	7.4	1.3	48.2	71.1	118.9	162.1	15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	424.5
1973	1.6	13.8	5.5	53.0	90.4	73.2	64.5	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	308.3
1974	43.5	10.7	9.6	73.1	58.2	98.1	97.3	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	402.5
1975	0.4	0.5	4.2	19.4	30.4	53.7	107.7	8.1	5.6	0.7	0.0	0.0	230.8
1976	1.3	6.9	12.3	39.8	69.7	72.8	57.6	0.5	0.5	0.9	0.0	0.0	262.3
1977	1.1	0.0	0.0	35.9	45.2	61.2	51.8	3.7	8.1	0.0	0.0	0.0	207.0
1978	3.4	0.8	39.3	35.9	39.9	40.9	28.8	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	196.5
1979	2.1	0.0	10.7	17.3	20.7	59.2	89.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	199.8
1980	0.0	4.4	1.2	0.0	24.5	11.8	28.6	25.6	0.0	0.0	0.0	0.0	96.2
1981	0.0	19.4	0.0	18.8	85.1	59.6	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	282.9
1982	0.0	5.8	2.1	46.4	38.6	34.7	39.7	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	169.8
1983	0.0	0.0	14.2	1.2	13.1	60.9	202.8	35.6	0.0	0.0	0.0	0.0	327.7
1984	0.0	24.9	15.3	32.7	34.1	196.8	86.5	10.5	1.0	1.8	0.0	0.0	403.5
1985	0.0	20.5	29.3	73.4	17.9	55.7	67.7	8.7	2.2	0.0	0.0	1.6	277.0
1986	2.7	1.7	10.8	53.5	88.2	74.2	60.7	22.8	4.9	0.0	0.0	4.1	323.6
1987	0.0	3.7	10.6	37.1	113.0	48.5	45.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	259.9
1988	0.2	0.0	42.3	32.7	64.7	70.6	44.8	36.8	6.1	0.0	0.0	0.0	298.2
1989	0.0	0.9	0.0	47.5	91.4	73.9	86.9	5.0	2.9	0.0	0.0	0.0	308.5
1990	0.0	0.0	0.0	0.0	52.2	4.9	19.7	1.9	6.1	0.3	0.0	0.6	85.7
1991	0.0	13.4	36.4	43.0	12.7	60.6	116.4	11.7	2.1	0.0	0.0	0.0	296.3
1992	0.0	17.9	4.4	4.4	29.2	25.0	41.0	26.6	0.0	0.0	0.0	0.0	148.5
1993	0.0	32.0	4.4	21.9	98.8	135.4	113.3	50.4	0.0	0.0	0.0	0.0	456.2
1994	0.0	24.0	40.0	98.9	64.9	95.3	45.6	33.2	2.6	0.0	0.0	0.0	404.5
1995	0.5	0.3	12.4	51.6	62.6	31.5	61.5	35.9	0.0	0.0	0.0	0.0	256.3
1996	4.5	8.9	22.8	39.8	72.5	80.6	87.9	27.2	0.0	0.0	0.0	0.0	344.2
1997	0.0	0.0	4.7	7.2	45.9	50.7	9.4	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	121.8
1998	0.0	6.8	13.3	46.1	85.5	104.0	114.7	15.9	0.0	0.0	0.0	2.3	388.6
1999	1.4	0.0	0.0	12.8	36.9	78.9	35.0	15.7	0.0	0.0	0.0	0.0	180.7
2000	3.3	15.9	16.0	25.0	68.6	87.5	56.4	18.2	4.7	0.0	0.0	0.0	295.6
2001	0.0	14.8	0.0	43.3	101.1	56.4	95.4	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	323.9
2002	0.0	0.9	20.2	1.1	8.7	36.2	30.1	15.8	3.0	0.0	0.0	0.0	115.9
2003	2.7	8.5	11.5	22.1	16.7	23.7	33.1	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	126.3
2004	0.0	0.0	0.4	51.1	6.0	44.2	34.3	18.5	0.0	2.1	0.0	0.9	157.6
2005	0.0	4.3	15.3	63.1	47.4	19.9	42.9	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	199.0
2006	0.0	0.0	0.0	46.9	73.9	59.8	118.0	46.4	0.0	0.0	0.0	0.0	344.9
2007	0.0	2.1	14.9	68.3	69.4	55.2	131.0	27.4	0.0	0.0	0.0	0.0	368.4
2008	1.6	2.9	0.0	19.4	54.5	81.0	52.1	10.3	0.2	0.0	0.0	0.0	222.0
2009	3.1	3.0	12.5	34.4	99.5	93.3	123.2	30.5	0.0	0.0	0.0	0.0	399.5
2010	0.0	12.8	27.0	37.2	26.4	54.6	48.8	15.1	0.0	1.5	0.0	0.0	223.5
2011	0.0	5.7	9.8	42.9	46.9	49.7	44.1	43.4	0.0	0.0	0.2	0.0	242.6
2012	1.8	0.0	19.7	40.0	17.1	65.9	67.2	41.5	0.0	0.0	0.0	0.0	253.1
2013	3.2	20.5	13.2	24.6	21.8	65.7	63.5	20.7	4.1	0.0	0.0	0.5	237.8
2014	0.7	5.1	6.9	19.5	24.5	19.3	32.6	18.4	0.0	0.0	0.0	1.7	128.8
2015	2.1	7.9	10.3	54.4	40.6	23.4	88.4	17.6	0.0	0.0	0.0	9.1	253.7
2016	1.2	1.8	8.7	18.2	8.5	51.2	41.4	15.3	0.0	0.0	0.0	0.0	146.3
2017	2.2	0.0	0.0	26.6	91.9	93.2	115.1	19.8	1.3	0.0	0.0	0.0	350.1
Promedio	2.3	7.4	11.5	35.8	52.4	62.4	71.5	17.8	1.3	0.2	0.1	0.5	263.0
Máximo	43.5	32.0	42.3	98.9	113.0	196.8	202.8	50.4	8.1	2.1	2.5	9.1	456.2
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	4.9	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.7

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Precipitación mensual de la estación Manchay Bajo (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
1970	5.9	2.1	5.3	3.2	26.4	2.3	0.0	0.0	0.3	3.9	8.7	1.5	59.4
1971	2.5	0.2	0.8	0.0	1.1	0.0	1.3	0.0	0.5	6.7	2.7	17.1	32.8
1972	4.0	1.8	0.7	0.0	0.0	0.2	1.2	1.0	0.4	0.6	5.3	8.3	23.7
1973	10.3	3.5	6.4	3.1	21.6	0.9	0.2	0.0	0.0	0.8	0.8	0.2	47.8
1974	0.9	0.0	1.0	1.2	0.0	1.4	0.0	1.6	0.5	6.9	3.2	5.9	22.6
1975	2.5	0.5	0.0	5.6	0.3	0.0	0.3	0.0	1.9	2.5	1.7	3.7	18.9
1976	2.0	0.4	0.0	0.0	0.3	1.6	0.0	0.0	2.4	3.7	0.5	7.1	18.0
1977	20.4	6.6	0.2	0.9	1.3	0.0	0.0	0.0	0.6	1.7	7.1	1.7	40.3
1978	26.0	6.1	10.2	0.0	0.0	0.0	7.7	0.0	5.1	3.1	4.1	8.2	70.5
1979	3.1	0.0	8.8	0.0	0.0	5.2	5.2	0.0	0.0	10.3	10.8	23.8	67.2
1980	10.7	10.7	0.0	11.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6	47.8
1981	39.3	3.0	0.7	3.0	5.9	10.8	7.1	1.3	0.8	0.0	0.0	0.0	71.7
1982	0.0	0.0	0.7	5.1	7.3	5.6	5.6	3.5	1.7	0.0	0.8	1.7	32.1
1983	0.0	1.6	4.3	1.6	2.5	3.3	5.6	2.9	2.7	0.0	0.0	0.0	24.4
1984	0.0	1.8	6.8	4.4	6.0	7.8	6.2	4.3	2.8	0.0	0.0	0.0	40.0
1985	0.0	1.7	6.2	0.9	7.5	8.3	4.7	3.3	4.1	0.0	0.0	2.8	39.4
1986	0.0	1.8	1.0	7.9	6.9	5.1	6.8	5.7	0.0	0.0	0.9	0.0	36.1
1987	0.0	0.0	0.6	2.7	3.0	2.9	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.4
1988	0.0	0.0	3.3	6.4	5.9	5.3	2.1	2.9	2.1	0.0	0.0	0.0	27.9
1989	0.0	3.0	0.0	0.2	3.1	3.1	4.2	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	15.8
1990	0.8	4.8	0.8	5.5	7.2	2.9	3.7	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0
1991	0.0	1.5	0.5	1.3	2.2	2.8	4.1	2.4	1.5	0.0	0.5	0.0	16.8
1992	0.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	2.2
1993	0.0	0.0	0.0	1.2	2.5	1.7	3.7	1.8	1.2	0.0	0.0	0.0	12.1
1994	0.0	0.0	1.2	2.6	6.8	5.8	5.0	1.5	0.5	0.0	0.0	0.0	23.4
1995	0.0	0.0	3.0	3.6	6.1	4.2	3.1	1.8	0.6	0.0	0.0	0.6	22.9
1996	0.8	1.4	6.1	4.4	8.5	6.5	5.9	5.1	2.5	0.0	0.0	0.0	41.2
1997	0.7	0.0	2.5	3.5	7.5	6.2	4.7	2.0	0.7	0.0	0.0	1.9	29.7
1998	1.6	2.2	4.5	6.3	6.5	5.0	9.6	3.2	1.4	0.0	0.0	0.0	40.3
1999	0.0	0.0	1.5	8.4	9.0	8.2	8.1	10.1	2.7	0.0	0.0	0.0	47.9
2000	2.4	3.0	1.6	7.6	8.7	11.5	9.0	6.5	0.0	0.0	1.6	0.0	51.7
2001	1.5	1.2	3.6	8.4	11.9	8.2	12.4	8.7	0.8	0.0	0.0	0.0	56.7
2002	0.0	2.9	5.5	2.9	2.0	5.5	7.7	10.0	2.5	0.0	0.0	0.0	39.1
2003	0.0	2.7	7.2	6.4	6.5	6.0	9.6	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	41.2
2004	0.0	4.8	2.4	10.5	7.5	12.6	9.1	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.8
2005	1.3	0.7	1.3	6.4	5.1	7.2	9.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0
2006	0.0	0.0	0.0	6.4	10.5	11.9	10.9	9.2	1.6	0.0	0.0	0.0	50.4
2007	0.0	2.4	1.7	5.2	8.2	15.6	16.2	7.4	1.7	0.0	0.0	0.0	58.3
2008	0.0	0.5	1.6	1.4	10.6	9.9	9.0	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	40.8
2009	1.8	2.3	5.1	8.4	13.9	14.6	14.6	7.9	1.2	0.0	0.0	0.0	69.9
2010	0.0	1.1	3.2	2.1	1.9	2.3	2.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3
2011	1.0	0.0	4.0	7.7	12.1	8.1	9.8	8.8	0.0	0.0	0.8	0.0	52.3
2012	0.0	0.0	1.3	2.6	1.2	5.4	5.3	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0	17.0
2013	0.7	3.4	0.6	3.9	1.5	9.6	7.9	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	28.7
2014	0.0	0.0	1.8	0.6	5.3	4.5	6.8	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	21.7
2015	0.0	0.6	3.4	5.5	3.8	7.8	11.1	2.8	0.0	0.0	1.5	0.0	36.4
2016	0.0	5.8	2.1	29.7	2.0	7.9	4.5	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	54.4
2017	0.0	0.0	0.0	0.3	2.2	3.5	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6
Promedio	2.9	1.8	2.6	4.4	5.6	5.4	5.6	3.1	1.0	0.8	1.1	2.1	36.4
Máximo	39.3	10.7	10.2	29.7	26.4	15.6	16.2	10.1	5.1	10.3	10.8	23.8	71.7
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Precipitación mensual de la estación Pantanos de Villa (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
1970	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1971	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
1972	0.0	0.0	0.1	0.4	0.5	0.9	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4
1973	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
1974	0.2	0.2	0.2	0.5	0.8	1.2	1.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	4.5
1975	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
1976	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
1977	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
1978	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1979	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
1980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
1981	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
1982	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
1983	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	1.1
1984	0.0	0.1	0.2	0.3	1.0	1.0	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	3.2
1985	0.0	0.0	0.3	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	1.5
1986	0.0	0.1	0.1	0.6	1.0	1.0	1.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3
1987	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
1988	0.0	0.0	0.1	0.3	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	1.5
1989	0.0	0.2	0.0	0.2	0.9	0.9	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5
1990	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
1991	0.0	0.1	0.0	0.3	0.3	0.1	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	1.5
1992	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
1993	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
1994	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	1.3	0.9	3.0
1995	0.2	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	1.1	0.0	0.0	1.6	0.1	3.5
1996	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1	0.8
1997	0.3	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	2.3
1998	2.1	0.1	0.9	0.0	1.1	1.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.4	6.1
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.9	3.6
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.6	1.6	3.2
2002	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.6	0.1	0.7	2.0
2003	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2004	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
2005	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	3.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3
2006	1.3	0.5	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.3	4.2
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
2008	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.4	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6
2009	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
2011	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	0.6	0.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
2012	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
2013	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
2015	0.0	0.0	0.3	0.4	0.4	0.7	1.3	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	3.5
2016	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	1.4	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8
Promedio	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	1.8
Máximo	2.1	0.5	0.9	0.6	1.6	1.5	3.0	2.1	0.2	0.6	1.9	1.7	6.1
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Precipitación mensual de la estación San José de Parac (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Annual
1970	0.2	11.5	43.5	47.2	141.8	110.9	154.9	96.8	36.8	0.3	0.2	58.0	702.1
1971	48.3	16.4	65.3	135.9	103.7	151.8	148.8	55.9	2.6	0.0	0.0	3.1	731.8
1972	0.4	8.7	6.1	76.6	168.5	193.3	206.1	82.3	0.0	0.0	3.8	0.0	745.8
1973	3.4	30.1	25.0	103.9	123.1	106.1	144.5	81.9	4.6	0.0	0.0	1.8	624.4
1974	30.4	15.5	8.8	91.0	99.3	142.6	152.2	37.5	1.8	1.9	0.0	1.0	582.0
1975	0.4	2.0	43.5	48.6	133.0	140.7	190.6	50.1	12.6	1.4	0.0	2.9	625.8
1976	2.8	9.2	29.4	119.2	147.2	216.7	158.2	9.9	0.5	0.8	0.0	0.0	693.9
1977	0.8	0.0	1.7	81.5	141.0	217.9	193.3	21.8	6.0	0.0	0.0	0.0	664.0
1978	3.1	0.7	100.2	64.1	130.5	86.7	150.4	60.1	0.0	0.0	0.0	0.0	595.9
1979	1.9	9.1	10.0	68.6	91.1	173.6	181.7	51.3	0.0	0.0	0.2	0.0	587.7
1980	0.1	7.2	4.7	31.0	60.5	49.2	264.6	50.4	19.9	11.9	1.5	0.0	500.9
1981	2.8	66.6	69.1	68.1	110.1	179.5	150.4	20.7	0.0	0.0	0.0	16.5	683.8
1982	13.9	35.7	68.5	101.9	140.9	214.4	88.6	60.9	0.0	0.0	2.4	1.0	728.2
1983	8.8	71.5	81.4	41.2	99.7	61.0	172.4	104.8	6.1	6.2	0.0	0.0	653.2
1984	21.3	28.3	17.4	140.3	102.7	238.7	174.3	32.9	24.9	28.9	0.0	3.8	813.5
1985	3.1	50.6	87.1	142.6	80.3	124.1	144.6	49.7	18.7	7.5	0.0	6.3	714.6
1986	27.5	13.3	27.7	110.9	165.0	153.6	128.0	64.7	18.5	0.0	17.5	15.9	742.6
1987	8.5	15.1	42.2	99.3	154.6	156.9	82.8	40.2	10.1	0.0	4.6	19.8	634.1
1988	17.7	17.8	62.5	91.7	129.8	123.5	120.2	84.2	11.4	0.0	0.0	1.0	659.9
1989	21.8	34.0	27.8	85.0	153.3	175.7	175.8	27.8	8.3	5.7	0.0	2.2	717.3
1990	29.4	103.4	27.2	18.1	146.4	54.8	71.2	48.5	31.1	35.1	0.6	3.4	569.3
1991	4.4	58.7	89.7	94.0	35.6	71.7	174.4	46.8	8.9	2.4	1.4	0.0	588.0
1992	13.9	78.4	39.8	72.4	46.0	91.5	113.7	44.6	2.8	0.2	0.0	2.8	506.0
1993	0.0	63.7	11.8	31.3	125.2	141.7	164.6	67.5	7.8	0.0	0.8	0.0	614.3
1994	10.2	50.6	91.4	102.3	130.6	164.6	113.2	48.6	25.0	3.0	2.3	6.6	748.5
1995	39.4	20.5	58.6	133.1	108.3	77.8	141.4	44.8	4.1	1.0	0.0	2.3	631.2
1996	14.1	34.3	68.0	91.3	154.1	178.7	142.7	55.5	2.8	0.6	0.8	1.6	744.4
1997	10.7	31.6	50.8	102.6	164.9	163.4	47.4	26.5	1.6	0.0	0.0	13.1	612.3
1998	29.1	27.1	49.8	126.2	118.8	136.7	123.3	34.3	0.0	2.8	1.0	0.4	649.5
1999	27.8	40.2	19.6	64.3	107.9	218.5	101.6	63.3	39.9	1.7	0.0	1.7	686.5
2000	23.6	47.3	51.9	93.8	154.5	156.7	147.4	23.2	21.5	0.0	2.7	10.4	733.0
2001	8.5	54.2	26.6	119.6	158.6	97.7	166.2	29.2	5.6	0.0	0.6	0.9	667.7
2002	24.7	25.3	99.1	39.7	102.4	105.0	112.4	48.9	17.3	4.5	0.6	0.0	579.9
2003	18.5	50.3	63.9	83.1	122.3	92.7	140.8	40.7	2.2	0.0	0.0	0.0	614.5
2004	2.0	56.1	10.8	150.0	37.4	130.7	88.4	44.8	6.7	6.7	0.0	2.0	535.6
2005	16.3	63.6	81.1	149.0	100.3	71.7	143.3	23.9	0.7	0.0	0.0	0.3	650.2
2006	2.3	6.3	11.2	118.9	155.5	107.6	176.2	70.0	0.9	4.3	0.0	2.2	655.4
2007	9.5	30.9	63.9	130.5	103.7	112.3	168.3	47.9	1.5	0.0	0.0	1.8	670.3
2008	2.9	42.4	19.6	69.4	133.6	154.8	101.0	32.3	0.3	0.0	0.0	6.0	562.3
2009	3.9	49.8	41.7	106.5	146.9	136.2	142.0	56.5	15.0	0.0	2.2	6.5	707.3
2010	5.1	77.5	128.9	111.7	119.6	105.0	125.6	44.1	6.8	2.4	0.0	2.9	729.6
2011	44.8	13.3	41.0	148.8	156.1	126.2	134.9	67.6	14.9	0.0	0.0	1.5	749.1
2012	20.7	24.1	67.4	146.8	74.0	146.2	98.9	109.9	2.4	0.0	2.2	0.0	692.7
2013	21.7	53.2	57.4	105.4	74.1	147.9	133.8	28.0	28.7	1.3	1.2	9.1	661.8
2014	5.4	36.7	42.6	76.0	111.0	93.6	141.4	36.1	6.7	0.0	5.0	31.1	585.6
2015	17.7	45.1	49.4	109.6	111.2	86.2	111.7	32.2	9.8	6.1	0.0	13.7	592.6
2016	21.5	33.2	38.8	93.8	35.5	155.1	114.6	50.8	2.0	4.3	0.0	0.5	550.0
2017	26.7	11.0	2.4	87.6	152.9	140.8	150.3	68.2	23.3	0.2	0.0	0.8	664.2
Promedio	14.0	34.8	46.4	94.3	118.0	135.1	141.1	50.4	9.9	2.9	1.1	5.3	653.2
Máximo	48.3	103.4	128.9	150.0	168.5	238.7	264.6	109.9	39.9	35.1	17.5	58.0	813.5
Mínimo	0.0	0.0	1.7	18.1	35.5	49.2	47.4	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	500.9

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Precipitación mensual de la estación San Lázaro de Escobarca (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Annual
1970	4.0	16.3	64.0	126.6	214.4	32.3	81.3	83.2	28.2	0.5	0.3	67.3	718.3
1971	50.1	4.5	54.3	122.6	42.4	81.8	155.1	17.6	0.0	0.0	0.0	1.2	529.4
1972	0.4	0.6	0.6	37.1	66.4	82.0	198.8	55.3	0.0	0.0	3.1	0.0	444.3
1973	1.1	23.1	43.0	129.4	183.2	88.9	286.8	109.7	0.0	0.0	0.0	0.1	865.3
1974	0.2	0.4	0.0	67.9	74.4	139.9	124.9	48.2	0.0	4.0	0.0	0.3	460.2
1975	0.0	0.3	7.3	12.3	100.2	99.2	178.1	27.4	7.6	0.5	0.0	0.0	432.8
1976	0.0	0.3	8.2	87.5	129.1	130.6	115.3	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	480.4
1977	0.0	0.0	2.9	11.3	90.0	189.6	127.5	20.7	0.0	0.0	0.0	0.0	442.1
1978	0.0	0.0	17.0	68.4	65.6	47.2	146.4	19.1	0.0	0.0	0.0	0.0	363.7
1979	0.0	10.7	0.0	16.1	12.1	73.9	287.5	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	410.2
1980	0.1	5.2	2.9	0.0	155.9	14.8	138.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	317.1
1981	0.0	12.9	9.1	9.5	21.9	234.8	191.2	169.7	0.0	0.0	0.0	0.0	649.1
1982	0.0	0.0	18.5	162.8	58.0	156.2	43.8	54.7	0.0	0.0	0.0	0.0	494.0
1983	0.0	38.4	71.4	16.8	81.3	94.8	144.6	114.9	36.9	0.0	0.0	0.0	599.2
1984	0.0	0.0	0.0	108.6	89.3	242.3	135.4	39.4	12.0	0.0	0.0	0.0	627.1
1985	0.0	94.4	61.5	72.3	0.0	193.2	117.6	30.2	0.0	0.0	0.0	0.0	569.1
1986	0.0	0.0	0.0	66.6	185.5	168.2	100.4	62.4	14.9	0.0	0.0	0.0	598.0
1987	0.0	0.0	0.0	91.6	219.5	83.1	64.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	458.6
1988	0.0	0.0	0.0	23.7	89.2	139.7	123.0	99.8	11.4	0.0	0.0	0.0	486.7
1989	0.0	0.0	92.2	57.7	128.7	168.7	191.1	43.7	0.0	0.0	0.0	0.0	682.2
1990	0.0	0.0	0.0	0.1	134.7	69.2	152.4	61.4	0.8	0.0	0.0	0.0	418.6
1991	0.0	22.5	131.7	129.2	169.5	112.1	66.1	48.4	0.0	0.0	0.0	0.0	679.6
1992	0.0	0.0	0.0	0.0	32.5	70.1	111.4	44.8	1.6	0.6	0.0	0.0	261.0
1993	0.0	0.0	0.0	0.0	79.5	93.2	168.8	106.1	0.0	0.0	0.0	0.0	447.5
1994	0.0	15.4	27.9	34.9	178.3	211.8	182.9	70.2	10.4	0.0	0.0	0.0	731.6
1995	19.8	0.3	15.1	46.2	69.2	27.9	56.9	23.8	5.0	0.0	0.0	0.0	264.1
1996	0.0	10.5	76.3	103.1	154.6	176.5	112.0	55.0	1.5	0.0	0.0	1.0	690.5
1997	0.2	14.2	11.4	73.0	122.7	209.0	23.0	13.0	2.0	0.0	0.0	0.3	468.7
1998	9.0	22.0	17.0	123.2	121.4	72.1	120.1	24.4	0.0	0.3	0.0	0.0	509.5
1999	0.9	2.5	7.2	54.0	57.5	207.9	115.2	91.5	35.0	0.0	2.4	8.3	582.4
2000	11.4	30.8	22.1	98.8	76.1	101.3	71.0	25.3	6.5	0.0	0.0	0.4	443.7
2001	13.3	44.9	34.3	99.6	142.7	101.2	155.4	51.2	0.5	0.0	0.0	0.0	643.1
2002	3.6	8.4	49.0	0.0	45.6	103.5	96.6	80.7	3.4	0.0	2.3	0.5	393.6
2003	13.8	27.2	57.2	19.5	100.1	58.1	126.3	36.9	3.6	0.0	0.0	0.0	442.7
2004	0.0	9.8	3.0	191.5	27.0	90.4	87.8	71.2	0.0	1.0	0.0	0.0	481.7
2005	13.4	7.1	9.1	66.8	62.6	85.1	91.8	36.7	0.0	0.0	0.0	0.0	372.7
2006	0.0	0.0	4.1	129.2	193.9	275.9	180.8	24.8	0.0	0.0	0.0	0.0	808.6
2007	0.0	17.1	36.5	121.1	128.0	30.9	261.8	63.6	0.0	0.0	0.0	0.0	659.0
2008	0.0	26.9	8.6	3.5	91.7	140.4	127.8	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	406.7
2009	0.0	9.2	23.3	15.7	111.0	112.9	98.6	52.7	4.1	0.0	0.0	0.7	428.2
2010	0.0	40.7	26.4	20.9	49.7	101.7	127.2	50.4	0.6	0.0	0.0	0.0	417.6
2011	13.5	3.1	12.5	74.6	119.8	55.3	96.8	76.4	3.2	0.0	0.0	0.0	455.2
2012	1.4	4.9	23.0	37.1	27.0	122.6	173.4	58.0	0.0	0.0	0.0	0.0	447.4
2013	6.1	41.7	21.0	47.2	42.0	162.1	227.2	26.7	5.1	0.0	0.0	0.7	579.8
2014	0.0	13.1	9.6	41.5	91.1	43.6	212.7	40.8	4.2	0.0	0.0	6.0	462.6
2015	6.6	35.4	66.6	83.9	122.9	80.8	167.3	72.7	0.0	0.0	0.0	3.0	639.2
2016	2.1	6.1	13.1	108.5	24.1	121.7	69.0	28.7	0.0	0.0	0.0	0.0	373.3
2017	1.2	2.4	0.0	22.5	226.9	155.4	300.3	18.5	5.3	0.0	0.0	0.0	732.5
Promedio	3.6	13.0	24.1	63.2	100.2	117.8	140.3	49.5	4.2	0.1	0.2	1.9	518.1
Máximo	50.1	94.4	131.7	191.5	226.9	275.9	300.3	169.7	36.9	4.0	3.1	67.3	865.3
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	261.0

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Precipitación mensual de la estación San Mateo de Huanchor (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Annual
1970	0.0	15.4	29.3	65.0	284.2	19.0	47.9	34.3	5.5	0.0	0.0	0.0	500.6
1971	24.9	7.7	10.3	12.0	37.5	54.1	122.6	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	274.7
1972	0.0	1.3	2.3	34.9	49.2	126.7	300.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	514.5
1973	0.0	9.7	2.3	23.9	86.3	37.3	128.9	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	303.4
1974	8.2	6.6	8.9	18.7	32.7	136.2	128.9	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	342.4
1975	0.0	0.0	5.8	31.1	13.3	56.5	112.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	219.1
1976	0.0	0.0	0.0	66.0	75.9	152.8	49.8	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	351.6
1977	0.0	0.0	0.0	7.3	44.1	174.7	77.5	27.1	3.5	0.0	0.0	0.0	334.0
1978	0.0	0.0	22.6	55.3	34.4	41.9	120.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	277.1
1979	0.0	6.4	3.9	13.8	10.4	31.2	198.6	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	272.7
1980	0.0	0.0	0.0	5.4	63.9	76.0	68.6	25.1	0.0	0.0	0.0	0.0	239.0
1981	0.0	11.2	3.0	7.1	43.9	132.1	139.7	6.1	1.5	0.0	0.0	0.0	344.6
1982	0.0	0.0	2.4	42.3	42.5	211.6	53.7	24.2	2.1	0.0	1.6	2.8	383.2
1983	0.0	2.3	28.4	2.0	58.2	66.6	248.2	7.1	8.3	0.0	0.0	0.0	420.9
1984	0.0	1.9	19.3	62.4	211.0	195.5	61.7	7.0	2.6	0.0	0.0	0.0	561.5
1985	0.0	3.9	57.6	16.3	41.6	67.2	104.6	9.2	12.3	0.0	0.0	4.0	316.6
1986	0.0	1.8	15.5	59.2	115.5	141.8	151.8	34.3	0.0	0.0	0.9	0.0	520.8
1987	0.0	0.0	1.4	77.6	42.9	31.6	140.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	294.3
1988	0.0	0.0	5.2	89.7	109.3	90.8	27.8	19.5	7.5	0.0	0.0	0.0	349.9
1989	0.0	7.8	0.0	47.0	149.7	169.3	149.4	34.9	0.0	0.0	0.0	0.0	558.0
1990	2.2	37.8	2.2	23.7	47.2	18.2	86.2	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	226.6
1991	0.0	4.8	10.1	125.7	62.7	12.0	154.5	9.0	3.5	0.0	1.1	0.0	383.5
1992	0.0	16.6	92.7	10.7	24.4	18.3	27.9	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	201.9
1993	0.0	0.0	0.0	6.3	19.4	177.7	119.0	23.9	4.8	0.0	0.0	0.0	351.2
1994	0.0	0.0	2.5	45.8	95.1	97.4	70.4	8.7	2.2	0.0	0.0	0.0	322.0
1995	0.0	0.0	16.2	42.9	52.2	39.7	67.8	13.6	1.2	0.0	0.0	1.2	234.8
1996	1.2	3.9	48.6	29.2	82.4	100.2	71.1	30.7	11.2	0.0	0.0	0.0	378.5
1997	1.2	0.0	6.6	14.2	52.6	51.0	28.9	13.4	1.2	0.0	0.0	4.7	173.8
1998	11.5	13.8	27.6	70.3	76.9	138.2	146.8	12.8	3.0	0.0	0.0	0.0	500.9
1999	0.0	0.0	3.6	116.3	59.2	122.5	60.9	47.4	10.0	0.0	0.0	0.0	419.9
2000	4.0	17.3	12.2	37.3	85.7	145.4	95.2	29.3	0.0	0.0	2.3	0.0	428.7
2001	3.5	7.3	11.1	40.6	95.5	96.3	118.1	57.4	1.2	0.0	0.0	0.0	431.1
2002	0.0	5.1	34.2	5.7	16.3	129.8	79.2	61.6	10.6	0.0	0.0	0.0	342.4
2003	0.0	8.1	35.9	25.1	34.0	39.9	68.8	0.0	0.0	0.0	7.1	0.0	218.8
2004	0.0	8.8	4.3	93.5	19.7	107.0	43.2	42.6	0.0	0.0	0.0	0.0	319.1
2005	3.9	1.5	4.0	41.0	36.7	63.6	66.9	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	225.9
2006	0.0	0.0	0.0	50.8	78.9	111.7	91.5	72.3	2.8	0.0	0.0	0.0	408.0
2007	0.0	4.1	2.4	45.1	33.3	74.4	128.5	61.6	2.4	0.0	0.0	0.0	351.8
2008	0.0	1.6	5.5	15.5	66.1	118.5	126.9	61.5	0.0	0.0	0.0	0.0	395.6
2009	1.9	2.7	9.9	14.1	81.5	88.4	79.2	32.9	6.5	0.0	0.3	4.4	321.9
2010	8.8	23.9	53.3	44.4	54.1	50.4	51.8	22.1	0.9	2.2	0.0	0.1	311.8
2011	18.9	16.4	33.2	114.0	130.4	98.2	111.1	59.1	2.9	0.3	0.3	4.3	589.0
2012	4.6	10.7	36.8	89.0	43.6	111.5	82.6	77.7	1.7	0.8	0.0	0.3	459.3
2013	10.1	31.2	30.7	65.0	42.9	87.0	79.1	21.9	11.7	0.7	0.9	3.6	384.8
2014	0.9	13.9	21.0	50.7	53.2	40.6	63.2	16.1	0.2	0.0	1.0	9.2	270.0
2015	7.5	18.3	19.8	60.5	53.2	40.3	62.2	21.6	5.2	0.5	0.9	6.9	296.9
2016	7.3	15.1	35.7	8.0	18.5	78.5	65.7	24.1	1.4	0.3	0.2	0.0	254.7
2017	17.4	4.1	0.0	3.7	129.7	133.2	127.4	38.5	5.9	0.0	0.0	0.7	460.6
Promedio	2.9	7.1	16.2	42.2	66.5	91.7	100.1	23.9	2.8	0.1	0.4	1.1	355.1
Máximo	24.9	37.8	92.7	125.7	284.2	211.6	300.0	77.7	12.3	2.2	7.1	11.3	589.0
Mínimo	0.0	0.0	0.0	2.0	10.4	12.0	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	173.8

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Precipitación mensual de la estación Santiago de Tuna (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Annual
1970	0.0	17.9	23.8	68.5	456.4	15.8	50.6	29.6	0.4	0.0	0.0	0.0	663.0
1971	15.6	3.7	7.1	5.9	25.0	38.4	95.7	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	193.9
1972	0.0	0.3	0.2	43.4	60.5	184.3	473.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	762.4
1973	0.0	2.6	0.1	17.2	94.3	40.1	136.3	11.3	0.0	0.0	0.0	0.0	301.8
1974	7.2	3.1	6.5	10.9	25.0	170.8	158.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	381.9
1975	0.0	0.0	2.8	23.7	10.0	52.3	103.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	192.5
1976	0.0	0.0	0.0	80.2	88.4	202.4	53.7	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	428.7
1977	0.0	0.0	0.0	2.5	45.0	220.3	87.4	23.3	0.2	0.0	0.0	0.0	378.6
1978	0.0	0.0	9.5	38.4	18.3	24.7	89.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	180.5
1979	0.0	2.8	0.8	4.0	2.4	10.9	143.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	167.1
1980	0.0	0.0	0.0	0.5	13.4	17.1	18.8	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.8
1981	0.0	5.2	2.8	4.0	49.6	162.8	179.7	5.9	0.5	0.0	0.0	0.0	410.5
1982	0.0	0.0	2.5	59.9	54.8	346.5	76.9	32.7	0.1	0.0	1.0	1.4	575.9
1983	0.0	0.5	27.3	0.1	67.9	75.2	300.4	4.3	5.9	0.0	0.0	0.0	481.4
1984	0.0	0.4	18.1	84.0	289.2	259.0	79.0	4.4	0.2	0.0	0.0	0.0	734.1
1985	0.0	1.5	46.3	14.5	29.6	52.5	92.9	4.6	6.6	0.0	0.0	0.4	248.7
1986	0.0	0.1	19.1	69.9	145.4	186.9	197.8	38.0	0.0	0.0	0.1	0.0	657.1
1987	0.0	0.0	0.1	64.5	31.2	21.6	118.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	236.1
1988	0.0	0.0	1.0	85.5	106.7	86.8	25.6	16.2	4.9	0.0	0.0	0.0	326.5
1989	0.0	5.6	0.0	66.5	206.4	235.1	202.2	44.3	0.0	0.0	0.0	0.0	760.0
1990	0.1	14.1	0.1	5.5	16.0	6.0	42.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	84.4
1991	0.0	2.2	10.0	142.9	65.0	7.3	169.8	4.9	0.6	0.0	0.1	0.0	402.6
1992	0.0	3.2	32.4	0.7	6.4	3.9	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	55.2
1993	0.0	0.0	0.0	4.2	16.4	225.0	138.6	24.5	2.1	0.0	0.0	0.0	410.9
1994	0.0	0.0	0.3	48.4	97.1	101.6	72.1	7.1	1.4	0.0	0.0	0.0	328.1
1995	0.0	0.0	9.3	32.3	36.0	28.1	54.6	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	169.3
1996	0.1	2.4	49.5	28.4	87.6	114.1	77.9	29.0	9.4	0.0	0.0	0.0	398.5
1997	0.0	0.0	0.9	3.0	14.1	14.4	7.4	3.5	0.0	0.0	0.0	0.6	43.8
1998	12.9	14.9	29.7	87.0	95.7	189.7	189.2	11.5	1.2	0.0	0.0	0.0	631.9
1999	0.0	0.0	2.1	138.3	60.9	147.3	64.9	43.5	8.1	0.0	0.0	0.0	465.2
2000	0.9	17.3	13.0	35.4	97.0	172.0	109.3	26.9	0.0	0.0	0.1	0.0	472.0
2001	1.9	7.4	8.2	38.5	104.5	112.2	132.8	59.8	0.1	0.0	0.0	0.0	465.4
2002	0.0	0.9	30.7	1.6	15.8	145.7	80.0	55.1	8.1	0.0	0.0	0.0	337.9
2003	0.0	2.7	16.7	10.3	16.1	20.5	36.1	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	104.3
2004	0.0	2.6	1.2	85.5	10.3	96.4	33.2	31.1	0.0	0.0	0.0	0.0	260.2
2005	1.3	0.3	1.4	21.0	19.4	36.6	25.9	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	108.8
2006	0.0	0.0	0.0	54.0	83.4	122.7	98.4	77.0	0.8	0.0	0.0	0.0	436.3
2007	0.0	1.0	0.2	44.1	25.8	61.8	123.2	59.6	0.2	0.0	0.0	0.0	316.0
2008	0.0	1.7	6.5	25.9	94.6	202.5	224.1	97.0	0.0	0.0	0.0	0.0	652.2
2009	2.9	3.5	12.3	19.5	149.3	188.7	204.7	61.9	0.6	0.0	0.0	0.0	643.3
2010	0.0	2.3	2.4	2.8	3.7	6.3	6.8	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.3
2011	1.1	0.0	5.7	25.7	75.1	60.8	62.3	25.7	0.0	0.0	3.6	0.0	260.2
2012	0.0	0.0	13.8	12.4	52.0	134.7	109.4	13.1	3.8	0.0	0.0	0.0	339.1
2013	1.5	11.8	3.7	16.9	12.7	109.9	63.7	1.7	4.3	0.0	0.0	0.0	226.2
2014	0.0	0.0	5.8	1.4	38.0	51.3	111.4	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	211.4
2015	0.0	1.4	20.8	28.7	59.2	85.0	203.7	14.1	0.0	0.0	1.2	0.0	414.1
2016	0.0	4.9	2.7	9.5	18.3	63.8	48.4	41.8	0.0	0.0	0.0	0.0	189.4
2017	0.0	0.0	0.0	3.6	249.3	207.4	276.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	737.1
Promedio	0.9	2.9	9.3	34.8	71.6	106.6	113.7	19.5	1.2	0.0	0.2	0.1	361.0
Máximo	15.6	17.9	49.5	142.9	456.4	346.5	473.8	97.0	9.4	0.0	3.6	1.4	762.4
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.1	2.4	3.9	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.3

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Anexo 4: Registros de evapotranspiración

Evapotranspiración mensual de la estación Antioquía (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
1970	120.6	125.7	122.0	129.8	131.5	118.8	131.1	123.7	123.4	116.3	120.2	122.3	1485.5
1971	119.6	125.9	122.8	128.2	130.7	118.9	130.5	123.7	121.5	114.3	119.7	119.1	1474.8
1972	120.0	126.1	125.3	131.2	132.4	125.3	131.2	123.4	123.8	119.7	122.5	122.9	1503.8
1973	117.8	123.7	120.7	127.8	128.0	117.9	129.8	123.6	125.1	117.3	120.3	121.9	1474.0
1974	119.2	126.2	123.6	127.6	129.8	119.6	131.0	123.3	122.5	114.8	119.3	120.6	1477.5
1975	118.4	124.3	122.6	128.2	129.4	118.0	128.7	122.3	120.5	115.5	119.7	120.4	1468.2
1976	119.9	127.1	124.6	130.5	132.8	125.5	132.1	124.0	124.6	117.9	122.3	122.2	1503.6
1977	117.7	124.8	123.6	129.7	131.3	118.7	131.0	124.1	124.0	117.6	120.8	121.8	1485.1
1978	119.4	125.3	122.3	130.2	131.3	118.7	130.9	123.7	125.5	117.5	121.0	120.5	1486.3
1979	120.1	126.8	124.8	132.1	132.8	120.0	130.8	126.1	124.8	117.5	122.3	123.5	1501.7
1980	118.0	123.6	122.0	128.1	130.4	122.5	130.5	124.2	123.2	115.9	118.9	120.7	1477.8
1981	118.4	124.8	122.6	127.4	129.8	118.3	130.3	123.5	124.1	117.2	120.6	121.1	1478.1
1982	120.0	125.8	123.5	133.1	131.5	118.4	130.6	123.9	124.5	117.2	120.3	120.5	1489.4
1983	119.7	125.5	122.0	130.3	131.3	119.3	130.8	123.3	124.0	117.9	121.1	121.9	1487.2
1984	119.0	125.9	123.4	128.8	132.0	122.8	130.5	123.8	124.2	116.5	120.5	121.3	1488.5
1985	119.4	114.1	122.7	130.0	131.6	118.6	130.4	123.4	124.1	116.8	120.2	121.5	1472.8
1986	118.6	125.2	123.9	129.3	132.0	119.2	130.4	123.6	124.3	116.1	120.1	120.2	1482.8
1987	118.3	125.0	122.4	128.1	130.8	119.2	130.2	122.9	123.3	115.8	120.1	120.7	1476.9
1988	120.3	125.4	123.0	128.9	132.5	122.1	129.1	123.3	124.1	117.6	120.3	120.2	1486.7
1989	118.0	125.7	123.9	128.7	130.5	117.6	129.9	122.6	123.1	116.3	120.5	121.1	1477.9
1990	118.6	126.1	123.7	130.2	142.5	125.7	130.5	123.6	122.0	114.6	120.3	129.5	1507.4
1991	135.7	129.9	128.4	131.7	130.5	118.2	130.3	124.0	123.1	117.1	120.2	121.1	1510.2
1992	119.2	124.6	123.0	128.5	135.1	129.1	129.5	119.5	117.0	104.0	115.6	115.5	1460.6
1993	121.3	131.1	126.4	132.9	131.4	119.3	130.7	123.6	122.3	116.6	119.5	121.3	1496.3
1994	119.2	125.6	122.4	127.7	129.2	117.2	129.5	123.2	122.8	116.9	120.5	121.6	1475.7
1995	120.9	125.8	123.1	128.5	130.6	118.9	130.6	122.9	125.1	118.1	114.8	120.7	1480.0
1996	118.1	124.8	122.5	130.1	130.7	122.9	130.2	123.0	123.4	114.6	120.0	121.2	1481.5
1997	119.2	125.5	122.7	128.8	124.8	107.7	119.3	122.6	124.3	118.1	121.8	121.8	1456.7
1998	120.1	126.4	123.9	129.5	130.3	118.5	131.9	125.4	123.4	116.5	120.3	120.8	1487.0
1999	119.7	125.5	122.9	129.2	131.3	118.0	130.3	123.4	125.0	117.4	120.2	121.2	1484.2
2000	120.5	126.5	123.8	128.9	130.3	123.5	131.5	124.8	126.9	115.5	119.2	121.0	1492.4
2001	120.2	126.1	124.7	128.8	131.2	119.1	132.1	124.1	123.1	115.5	119.0	121.1	1484.9
2002	119.5	125.5	123.4	129.6	130.8	119.2	130.1	122.9	124.9	116.3	118.5	119.4	1480.2
2003	119.1	125.8	122.6	129.0	129.3	119.0	131.0	123.9	123.9	117.4	120.5	121.5	1482.9
2004	119.1	126.6	124.5	128.7	131.1	123.6	131.1	124.4	124.8	115.7	120.6	122.5	1492.6
2005	121.5	131.7	123.6	131.3	130.9	118.6	130.8	124.1	122.9	115.8	119.4	122.1	1492.7
2006	117.7	125.4	123.6	128.1	131.5	119.2	130.8	124.3	125.8	117.1	119.9	120.4	1483.9
2007	119.7	125.8	123.3	127.6	130.3	119.1	129.6	124.1	125.0	117.0	118.7	119.4	1479.8
2008	121.3	128.6	126.7	132.2	126.0	109.4	119.5	117.7	120.9	114.8	121.2	126.7	1464.8
2009	130.1	137.1	133.0	132.7	126.7	105.5	117.2	117.6	118.1	114.5	120.5	129.5	1482.5
2010	131.3	134.1	130.6	128.3	131.7	118.6	125.1	119.0	121.2	112.3	118.3	127.4	1497.9
2011	133.4	131.4	126.8	131.0	133.2	120.2	127.4	112.0	111.5	101.4	121.2	124.1	1473.5
2012	134.4	146.6	138.7	133.4	130.1	117.7	115.9	104.4	110.8	103.8	110.4	120.5	1466.6
2013	126.7	139.9	144.3	150.9	141.4	117.0	119.4	114.2	109.6	98.4	107.6	120.2	1489.7
2014	130.5	139.5	138.7	144.4	149.5	135.3	126.2	109.7	101.3	95.5	112.2	124.5	1507.3
2015	132.9	153.5	149.8	136.0	129.6	116.9	113.2	110.3	109.1	99.0	120.6	130.4	1501.4
2016	126.4	135.1	139.4	131.5	135.9	113.9	115.9	116.9	110.9	104.9	108.4	125.2	1464.2
2017	140.3	153.6	149.9	140.0	127.2	104.6	107.0	114.1	105.4	99.0	119.7	130.2	1491.1
Promedio	122.1	128.6	126.4	130.8	131.6	119.1	127.9	121.5	121.2	113.8	119.2	122.2	1484.3
Máximo	140.3	153.6	149.9	150.9	149.5	135.3	132.1	126.1	126.9	119.7	122.5	130.4	1510.2
Mínimo	117.7	114.1	120.7	127.4	124.8	104.6	107.0	104.4	101.3	95.5	107.6	115.5	1456.7

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Evapotranspiración mensual de la estación Cieneguilla (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
1970	104.1	114.1	112.6	137.4	147.7	135.0	145.7	122.3	100.4	79.3	82.1	94.0	1374.8
1971	100.4	116.8	118.8	130.1	144.5	135.8	143.4	123.7	91.3	69.5	67.5	70.6	1312.5
1972	93.4	113.1	123.9	140.3	144.4	142.6	134.9	109.0	93.6	79.6	77.2	79.3	1331.3
1973	85.7	105.2	107.8	127.6	126.8	129.1	135.9	123.9	112.8	87.1	84.9	93.8	1320.6
1974	103.0	125.3	131.4	138.9	140.5	140.4	147.4	128.3	94.0	65.0	76.8	91.2	1382.3
1975	99.0	119.2	135.1	141.6	145.1	141.3	152.5	126.3	94.3	79.4	82.4	89.6	1405.9
1976	91.9	117.9	123.1	137.8	150.7	148.4	147.0	120.0	103.4	84.6	89.6	89.2	1403.5
1977	87.3	108.6	122.0	137.6	146.8	133.0	145.1	124.7	104.1	86.8	85.3	91.3	1372.7
1978	97.1	111.6	114.1	140.0	146.4	133.1	144.2	122.0	112.5	86.1	86.3	83.4	1376.8
1979	93.3	111.3	119.5	141.3	145.3	131.7	134.3	127.3	100.4	78.3	86.2	92.9	1361.9
1980	94.7	107.4	117.7	133.4	146.4	140.0	147.1	130.2	105.3	82.7	80.5	90.8	1376.3
1981	96.7	113.9	120.8	128.9	142.6	134.7	145.3	125.9	110.2	89.8	90.0	93.0	1392.0
1982	105.3	119.3	125.2	118.2	151.9	135.0	146.8	127.9	112.1	89.9	87.7	89.2	1408.5
1983	103.3	117.1	116.4	144.0	149.8	139.1	147.0	123.7	108.8	93.2	91.9	96.7	1431.0
1984	96.3	115.8	120.8	131.7	149.2	135.7	140.9	122.9	106.2	82.4	86.2	90.3	1378.5
1985	98.5	84.6	116.6	138.2	147.1	131.7	140.7	120.8	106.1	84.1	84.5	91.4	1344.2
1986	94.1	111.8	112.7	134.6	149.1	134.8	140.6	121.6	107.2	80.3	83.9	84.6	1355.2
1987	92.8	110.8	113.5	131.2	142.5	133.7	139.5	117.9	101.3	78.8	84.1	87.0	1333.2
1988	103.5	113.0	118.7	132.1	114.7	132.0	133.5	119.9	107.1	88.5	84.9	84.3	1332.3
1989	91.1	114.4	123.3	131.1	141.2	125.9	138.0	116.3	100.6	81.5	86.0	89.2	1338.6
1990	94.5	116.9	122.3	139.7	135.4	115.1	117.7	111.3	108.4	100.4	106.3	118.4	1386.3
1991	128.5	109.1	109.8	121.1	141.1	129.5	140.0	123.7	100.4	86.2	84.5	89.4	1363.4
1992	97.5	108.9	118.2	129.9	126.0	115.7	118.5	106.9	101.8	80.7	100.0	99.5	1303.4
1993	108.6	120.4	114.6	122.9	146.0	135.1	142.0	122.0	96.3	83.1	80.3	90.2	1361.6
1994	97.8	114.0	115.1	125.6	133.8	123.6	135.6	119.4	98.7	84.9	86.3	91.9	1326.6
1995	106.9	115.3	118.9	129.9	140.5	133.2	140.6	117.8	112.4	91.2	99.0	87.4	1393.1
1996	91.7	109.7	115.7	138.7	142.3	136.3	139.6	118.5	102.1	72.3	83.2	89.9	1340.0
1997	97.7	113.7	116.7	131.7	112.2	94.7	105.0	116.4	107.2	91.3	93.3	93.3	1273.3
1998	102.5	118.4	123.5	135.5	139.9	131.1	148.5	131.5	102.2	83.0	84.9	87.7	1388.8
1999	100.3	113.8	117.7	133.9	145.7	128.3	140.0	120.8	110.9	87.7	84.2	89.9	1373.2
2000	104.5	119.2	122.6	132.5	139.9	139.8	146.4	128.2	121.2	77.4	79.0	89.0	1399.7
2001	103.2	116.9	127.8	131.8	144.7	134.4	149.9	124.3	100.2	77.0	77.6	89.3	1377.1
2002	99.0	113.6	120.6	136.4	142.7	134.8	139.0	117.9	110.4	81.5	75.3	80.0	1351.2
2003	96.9	116.4	116.0	132.6	134.5	133.4	143.6	123.3	104.5	87.8	86.3	91.8	1367.2
2004	96.8	119.4	126.5	130.9	144.2	140.2	144.5	126.1	110.0	78.6	86.6	98.4	1402.2
2005	102.5	126.2	114.6	132.8	143.2	131.3	142.7	124.7	99.1	79.1	80.2	95.0	1371.4
2006	89.5	112.9	121.7	128.0	146.6	134.6	142.7	125.5	115.1	86.2	83.0	85.8	1371.5
2007	100.3	115.3	119.9	125.1	139.9	134.4	136.3	124.7	110.9	85.6	76.2	80.3	1348.9
2008	91.6	112.1	120.8	131.4	108.3	91.4	101.1	100.1	102.8	96.6	103.2	110.4	1269.7
2009	120.9	128.4	123.7	122.5	113.8	91.6	102.0	102.8	103.2	100.1	106.3	118.2	1333.4
2010	126.2	127.6	124.9	120.3	124.9	109.5	116.0	109.5	110.6	100.4	106.8	119.1	1395.6
2011	123.0	118.2	119.8	132.9	145.6	131.3	142.7	123.2	97.5	84.7	85.7	79.7	1384.2
2012	99.0	115.3	118.8	132.1	151.6	141.3	141.4	129.3	103.1	86.5	82.4	82.4	1383.3
2013	97.4	120.0	116.7	130.5	148.3	137.3	141.1	125.3	105.4	83.7	77.6	90.1	1373.4
2014	100.0	114.2	111.6	138.6	143.8	138.3	144.9	120.4	90.2	79.6	76.4	90.0	1348.1
2015	94.0	117.8	115.0	130.2	138.5	132.7	145.6	122.9	104.9	86.4	84.0	91.2	1363.1
2016	101.9	115.8	114.0	128.3	146.5	139.8	151.3	128.0	116.3	89.1	82.1	89.1	1402.2
2017	99.4	116.0	136.1	146.9	147.8	141.1	144.9	123.6	98.6	79.7	85.9	91.4	1411.6
Promedio	100.1	114.9	119.5	132.7	140.4	131.1	138.6	121.3	104.5	84.3	85.7	91.3	1364.5
Máximo	128.5	128.4	136.1	146.9	151.9	148.4	152.5	131.5	121.2	100.4	106.8	119.1	1431.0
Mínimo	85.7	84.6	107.8	118.2	108.3	91.4	101.1	100.1	90.2	65.0	67.5	70.6	1269.7

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Evapotranspiración mensual de la estación Campo de Marte (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Annual
1970	62.0	69.4	68.9	88.3	96.7	89.0	95.1	76.8	58.2	41.8	43.3	53.0	842.4
1971	59.5	72.1	74.5	83.0	94.8	90.0	93.9	78.5	51.3	34.2	42.8	39.8	814.7
1972	55.7	67.3	79.7	91.6	97.4	97.8	91.5	71.9	56.6	54.2	50.5	52.1	866.3
1973	50.9	62.0	64.8	81.3	82.5	85.2	90.8	78.6	68.7	48.5	45.9	53.2	812.4
1974	57.0	73.3	77.6	79.6	90.4	92.5	95.9	76.2	55.6	36.1	40.7	46.5	821.4
1975	55.0	66.0	74.7	84.1	90.0	86.5	86.9	73.5	48.1	41.3	44.3	47.3	797.8
1976	53.2	69.5	74.4	85.1	95.2	94.9	92.4	71.9	58.2	44.2	47.4	47.1	833.4
1977	46.8	62.9	74.2	85.7	93.0	84.3	91.6	76.3	59.3	46.4	44.5	49.2	814.2
1978	54.4	65.1	67.9	87.5	92.5	84.3	90.8	74.0	65.8	45.8	45.2	42.9	816.5
1979	53.1	66.9	74.3	91.1	94.4	85.6	85.5	80.5	58.1	41.1	46.7	52.1	829.6
1980	54.5	64.0	73.0	85.0	95.5	91.7	96.1	83.2	62.3	44.8	42.3	50.6	842.9
1981	56.3	69.5	75.8	81.6	92.7	88.5	94.9	79.9	66.4	50.7	50.1	52.6	858.8
1982	63.4	74.0	79.4	84.1	100.4	88.8	96.2	81.6	68.1	50.8	48.4	49.5	884.8
1983	58.3	68.1	68.2	88.6	93.0	86.9	90.9	74.0	61.7	50.6	48.9	52.5	841.7
1984	55.1	69.7	74.3	82.2	96.0	86.8	89.5	76.0	62.2	44.2	46.5	49.7	832.2
1985	56.8	46.2	71.0	87.3	94.3	84.3	89.3	74.3	62.1	45.6	45.1	50.6	806.9
1986	53.4	66.6	68.2	84.5	95.9	86.7	89.2	74.9	63.0	42.5	44.7	45.2	814.8
1987	52.4	65.8	68.3	82.7	90.7	86.0	88.4	72.1	58.3	41.4	44.9	47.1	798.1
1988	60.8	67.5	72.7	82.5	80.6	83.9	83.6	73.6	63.2	49.0	45.5	45.0	808.0
1989	51.0	68.7	76.3	81.8	89.7	79.7	87.2	70.8	57.8	43.4	46.3	48.8	801.6
1990	53.7	70.6	75.5	88.5	73.4	76.5	71.7	68.0	69.8	67.3	69.7	70.6	855.4
1991	69.3	73.3	75.5	71.4	89.6	82.5	88.8	76.6	57.7	47.2	45.1	49.0	826.0
1992	56.0	64.3	72.3	80.8	71.1	79.7	70.6	67.7	69.3	54.8	69.2	68.4	824.3
1993	67.8	70.9	69.5	70.9	93.5	87.0	90.3	75.3	54.4	44.8	41.9	49.7	816.0
1994	56.3	68.3	69.9	77.4	83.8	77.9	85.3	73.3	56.3	46.1	46.5	51.0	792.1
1995	63.4	69.3	72.9	80.8	89.0	85.5	89.0	72.0	67.4	51.1	69.1	47.4	857.0
1996	51.5	65.0	70.4	87.8	90.5	92.3	101.2	79.8	62.7	36.2	46.8	53.1	837.4
1997	55.1	68.1	72.3	87.5	70.1	62.8	69.6	70.9	63.0	51.2	52.1	52.1	774.8
1998	60.0	71.8	76.5	85.2	88.7	83.8	95.4	82.7	59.1	44.6	45.4	47.6	841.0
1999	58.3	68.2	71.9	83.9	93.2	81.6	88.7	74.4	65.9	48.4	44.9	49.4	828.8
2000	61.5	72.4	75.8	82.9	90.2	97.1	102.6	82.8	63.9	42.7	39.5	45.5	856.9
2001	56.0	68.3	77.3	80.3	89.7	90.3	96.1	78.2	52.1	36.5	38.9	43.1	806.9
2002	54.0	72.1	76.7	89.1	95.3	94.9	93.2	75.7	65.4	40.6	39.2	42.8	839.0
2003	55.9	68.8	74.5	84.1	84.5	88.2	92.1	75.0	61.3	46.3	45.6	46.7	823.0
2004	52.7	67.4	76.1	80.7	91.9	93.6	94.8	77.9	61.1	38.3	41.4	48.8	824.8
2005	59.0	68.7	70.3	85.4	93.1	83.0	90.2	76.7	53.7	39.2	40.0	50.6	809.9
2006	49.0	61.9	68.4	78.5	92.9	93.4	95.9	74.6	63.5	40.6	43.7	47.3	809.7
2007	56.9	65.4	75.1	80.0	97.0	90.1	88.3	75.9	60.8	39.4	38.4	41.1	808.5
2008	47.4	60.0	70.4	76.5	90.6	98.5	95.4	80.1	53.8	37.0	46.9	43.0	799.5
2009	54.9	60.4	73.2	90.0	101.2	88.4	99.8	85.7	61.4	42.1	40.5	47.3	844.7
2010	51.0	70.3	78.6	82.4	90.8	89.3	93.1	84.5	53.7	41.3	42.3	49.5	826.9
2011	56.4	65.9	71.9	86.0	93.9	88.0	103.6	77.2	53.3	42.9	38.6	43.4	821.1
2012	56.3	67.7	70.8	77.9	96.1	90.9	89.3	82.8	55.1	47.3	41.1	44.7	820.1
2013	52.3	66.1	71.6	81.7	90.5	87.9	92.4	80.4	64.2	43.8	37.8	44.8	813.6
2014	53.7	63.4	71.7	86.5	96.5	89.4	92.9	78.1	54.8	44.3	37.9	44.7	813.8
2015	52.8	65.0	73.3	81.4	86.1	89.4	95.8	74.8	58.4	46.0	42.0	48.9	813.9
2016	56.5	66.6	67.0	74.6	90.5	87.9	93.8	76.9	64.5	44.6	45.3	51.2	819.6
2017	58.0	72.8	81.7	91.6	103.5	97.7	102.4	78.3	55.4	42.5	41.9	49.8	875.6
Promedio	55.9	67.2	73.1	83.4	91.1	87.5	91.3	76.6	60.2	44.7	45.5	48.9	825.4
Máximo	69.3	74.0	81.7	91.6	103.5	98.5	103.6	85.7	69.8	67.3	69.7	70.6	884.8
Mínimo	46.8	46.2	64.8	70.9	70.1	62.8	69.6	67.7	48.1	34.2	37.8	39.8	774.8

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Evapotranspiración mensual de la estación Huarochiri (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Annual
1970	116.4	129.5	121.5	120.2	113.0	108.2	111.0	99.1	99.1	92.1	97.6	106.5	1314.2
1971	105.4	121.0	116.7	117.4	113.5	92.6	91.3	97.4	93.9	82.6	92.1	99.5	1223.6
1972	109.1	119.8	123.0	119.9	111.6	99.7	87.1	89.2	94.9	86.9	96.9	105.4	1243.4
1973	114.8	124.1	127.0	120.5	113.8	104.3	102.8	92.9	92.5	87.2	92.3	101.9	1274.1
1974	106.8	114.5	115.0	110.3	105.6	87.2	94.5	96.3	92.9	83.6	88.4	100.4	1195.7
1975	110.2	122.8	126.3	123.5	118.3	104.4	95.4	94.9	94.7	89.7	95.1	103.8	1279.0
1976	113.1	125.2	124.8	123.4	109.6	97.8	103.4	99.7	98.2	89.2	99.9	105.6	1289.8
1977	121.7	136.8	132.6	130.2	122.5	102.2	114.4	105.3	99.9	92.2	99.5	112.1	1369.3
1978	118.6	132.4	122.9	129.8	123.1	108.0	113.6	103.8	103.2	90.9	100.1	111.1	1357.6
1979	113.7	125.0	125.7	123.3	127.4	101.0	109.2	103.7	96.4	89.2	95.9	104.9	1315.5
1980	104.4	112.5	113.9	119.5	111.2	98.3	109.6	105.6	89.8	88.7	94.1	103.4	1251.0
1981	99.5	105.5	109.7	112.2	110.4	100.7	110.9	94.2	105.3	99.3	102.2	102.6	1252.5
1982	101.8	106.8	104.9	110.4	112.0	100.8	111.2	105.4	105.7	99.4	101.9	102.1	1262.3
1983	101.6	106.6	103.6	110.8	111.8	101.6	111.3	104.8	105.3	100.0	102.6	103.3	1263.3
1984	100.9	106.9	104.9	109.5	112.4	104.5	111.0	105.2	105.4	98.6	102.1	102.8	1264.3
1985	101.3	99.9	104.2	118.2	123.1	106.5	103.4	91.7	92.5	89.2	94.9	90.7	1215.6
1986	100.4	111.1	111.2	119.4	116.8	95.9	103.7	102.8	105.5	98.3	101.7	101.8	1268.6
1987	111.7	124.1	126.6	116.5	111.3	101.6	111.2	102.5	98.5	90.7	93.6	102.2	1290.6
1988	102.1	121.6	122.1	109.6	109.2	101.7	106.3	92.9	89.3	83.8	90.4	95.5	1224.5
1989	110.1	123.4	122.3	120.4	115.9	102.6	107.6	104.2	104.5	98.5	102.1	102.6	1314.0
1990	100.6	107.1	105.1	141.3	138.5	108.7	116.8	110.0	104.4	95.2	101.6	117.5	1346.9
1991	131.8	108.6	106.6	120.6	121.6	102.8	118.3	104.6	96.4	99.3	87.0	93.8	1291.3
1992	109.5	118.0	125.0	127.8	127.3	108.7	117.6	103.7	95.8	82.1	93.4	93.7	1302.4
1993	106.3	120.0	113.6	123.3	110.3	103.8	108.9	104.3	101.5	78.2	91.5	99.9	1261.7
1994	109.6	122.5	115.2	108.5	126.2	102.6	106.1	98.8	94.7	99.0	89.9	99.7	1272.9
1995	115.7	123.0	123.4	123.9	122.5	111.5	118.4	108.6	99.3	87.9	92.1	103.3	1329.7
1996	112.3	119.8	111.0	116.4	99.5	89.6	91.5	92.0	88.6	85.1	93.9	102.2	1201.8
1997	109.9	120.6	117.9	117.2	109.3	90.1	99.9	95.9	98.6	87.3	98.9	107.5	1253.1
1998	111.4	126.0	115.3	112.2	106.0	93.1	94.9	93.1	98.5	85.4	93.9	101.9	1231.8
1999	112.2	124.3	122.4	116.3	104.0	78.2	88.6	87.1	84.9	81.6	92.2	103.4	1195.3
2000	105.9	112.5	122.1	106.5	96.1	82.8	86.7	87.0	87.8	82.2	91.0	102.7	1163.2
2001	109.5	114.1	118.6	118.4	94.7	85.7	91.6	91.6	93.8	87.5	97.4	111.5	1214.3
2002	111.7	125.9	117.3	131.0	125.1	96.7	102.8	94.5	94.5	87.7	96.7	109.0	1292.9
2003	111.3	122.9	119.2	128.8	119.6	104.3	105.0	103.9	99.8	91.8	98.7	111.3	1316.6
2004	122.4	132.0	132.7	113.3	126.4	99.9	112.1	101.5	101.2	91.9	93.8	105.4	1332.5
2005	114.7	127.7	124.7	117.4	119.2	101.5	104.6	103.9	105.0	95.5	101.2	111.8	1327.2
2006	123.0	127.2	126.2	106.9	112.1	84.4	93.9	89.6	97.0	90.6	100.5	106.8	1258.3
2007	116.4	127.9	116.3	110.9	111.2	98.9	92.5	90.3	94.3	89.0	95.9	107.1	1250.8
2008	119.7	123.3	125.2	118.2	99.9	82.8	92.8	92.9	95.1	88.3	95.5	104.7	1238.4
2009	118.4	126.8	121.1	119.4	107.5	83.6	93.3	96.7	94.9	92.1	98.8	113.9	1266.5
2010	123.5	124.2	121.7	115.0	120.8	102.2	109.7	102.6	102.9	91.3	98.1	113.5	1325.5
2011	122.6	124.2	117.3	102.9	94.0	87.4	90.7	92.0	96.4	86.7	95.4	107.7	1217.3
2012	112.2	122.7	118.8	112.5	114.0	94.0	108.0	87.7	95.4	88.0	99.9	112.4	1265.7
2013	119.4	126.6	117.9	115.3	121.7	92.3	96.8	101.9	89.4	86.9	94.5	106.6	1269.4
2014	120.3	126.7	119.8	117.8	110.2	99.7	91.3	97.4	94.5	90.0	98.9	105.4	1272.0
2015	110.8	127.1	122.6	112.4	113.9	92.0	97.3	100.4	99.9	93.9	103.5	99.9	1273.7
2016	120.9	130.4	132.2	104.2	135.2	106.8	108.5	98.3	100.6	89.0	99.2	110.6	1335.7
2017	122.5	137.4	141.3	127.6	98.2	79.6	86.4	93.5	90.2	88.2	98.3	110.0	1273.3
Promedio	112.2	121.2	119.4	117.7	114.1	97.6	102.8	98.2	97.1	90.0	96.6	104.8	1271.9
Máximo	131.8	137.4	141.3	141.3	138.5	111.5	118.4	110.0	105.7	100.0	103.5	117.5	1369.3
Mínimo	99.5	99.9	103.6	102.9	94.0	78.2	86.4	87.0	84.9	78.2	87.0	90.7	1163.2

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Evapotranspiración mensual de la estación Las Palmas (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Annual
1970	78.4	87.0	86.2	108.2	117.6	107.7	115.7	95.0	74.5	55.9	57.9	68.7	1052.8
1971	77.7	92.5	95.0	105.0	114.2	107.6	112.1	88.8	65.8	46.4	50.0	51.4	1006.4
1972	63.0	83.3	98.8	106.5	118.6	117.2	114.1	83.8	67.8	60.5	62.4	62.4	1038.5
1973	66.5	81.8	83.7	108.6	103.7	114.7	111.1	96.6	81.1	54.9	55.6	64.3	1022.6
1974	70.7	82.0	89.1	101.2	114.1	118.2	119.3	95.7	71.5	48.7	51.5	58.7	1020.6
1975	72.2	87.9	94.4	101.0	114.8	104.7	108.6	93.3	58.7	52.4	53.6	60.0	1001.5
1976	68.5	83.5	89.9	104.8	129.0	121.3	117.8	93.4	78.3	61.8	65.6	65.2	1079.2
1977	64.4	80.0	92.5	108.7	117.6	107.6	115.8	96.4	78.5	59.0	60.1	64.0	1044.7
1978	65.7	85.5	90.2	100.9	106.9	99.5	107.1	87.9	74.6	56.6	56.5	57.2	988.5
1979	69.2	87.4	94.3	110.1	108.3	98.2	98.9	93.4	70.1	51.7	58.0	63.7	1003.4
1980	66.0	76.4	85.6	98.6	109.7	105.2	110.3	96.4	74.6	55.8	53.4	62.1	994.0
1981	68.1	82.3	88.7	95.1	106.9	101.6	109.2	93.1	79.1	62.1	61.8	64.4	1012.4
1982	75.8	87.3	92.9	90.5	115.4	102.3	111.0	95.2	81.1	62.4	60.1	61.3	1035.3
1983	74.5	85.9	85.8	109.2	114.2	106.5	111.8	92.2	78.7	65.7	64.1	68.2	1056.8
1984	70.9	87.8	92.7	102.0	117.6	106.5	110.2	94.6	79.2	58.6	61.4	65.1	1046.5
1985	72.9	63.0	89.0	107.7	115.7	103.4	109.9	92.7	79.1	60.1	59.9	66.1	1019.5
1986	68.9	84.2	86.6	104.6	117.4	106.2	109.9	93.4	80.2	56.6	59.4	59.9	1027.3
1987	67.8	83.3	86.2	101.7	111.6	105.3	108.9	90.2	74.9	55.3	59.6	62.1	1007.0
1988	77.3	85.3	90.9	102.3	91.0	103.3	103.6	91.9	80.1	63.9	60.2	59.7	1009.6
1989	66.3	86.6	94.9	101.5	110.5	98.3	107.6	88.8	74.2	57.7	61.2	64.1	1011.5
1990	69.3	88.8	94.1	109.1	103.8	90.9	90.8	85.7	83.6	77.5	82.0	90.9	1066.4
1991	98.2	85.8	87.0	93.0	110.3	101.5	109.4	95.3	74.1	61.9	59.9	64.3	1040.6
1992	72.0	81.6	90.4	100.3	96.5	91.9	91.0	82.3	78.7	61.4	77.3	76.8	1000.3
1993	83.6	92.4	88.4	94.2	114.7	106.5	111.2	93.8	70.4	59.2	56.2	65.0	1035.6
1994	72.3	86.2	87.7	96.5	103.8	96.2	105.4	91.5	72.5	60.7	61.5	66.5	1000.8
1995	80.4	87.3	91.0	100.4	109.8	104.8	109.9	90.1	84.9	66.4	76.6	62.4	1063.9
1996	66.8	82.4	88.2	108.2	111.4	107.0	109.0	90.6	75.6	49.5	58.7	64.7	1012.2
1997	72.2	85.9	89.1	101.9	86.3	73.1	81.0	88.9	80.1	66.4	67.7	67.7	960.5
1998	75.2	88.6	93.6	103.6	107.5	101.2	115.0	100.6	74.4	58.0	59.2	61.7	1038.6
1999	73.1	84.4	88.3	102.0	112.2	98.5	107.3	91.0	81.9	62.1	58.5	63.5	1022.7
2000	77.0	89.4	92.9	101.1	107.6	108.5	113.3	97.8	91.2	53.2	54.2	62.9	1049.1
2001	75.6	87.2	97.1	100.2	111.4	103.9	116.1	94.1	72.6	52.7	52.8	63.0	1026.7
2002	71.7	84.0	90.5	103.8	109.4	103.9	106.1	88.2	81.1	56.4	50.6	54.7	1000.3
2003	70.0	86.7	86.8	100.7	102.4	102.9	110.4	93.1	76.2	62.1	60.3	65.1	1016.7
2004	70.3	89.6	96.4	99.7	111.4	108.9	111.7	96.0	81.4	54.3	60.8	71.8	1052.3
2005	75.0	94.7	85.7	100.8	110.1	101.1	109.6	94.4	71.5	54.5	55.0	67.9	1020.3
2006	63.6	83.5	91.7	96.8	113.0	104.0	109.6	95.1	85.5	60.7	57.4	59.9	1020.9
2007	72.8	85.4	89.9	93.9	106.8	103.5	103.7	94.1	81.6	60.0	51.4	54.9	997.9
2008	64.7	81.9	90.0	98.6	81.7	68.6	75.8	75.0	77.1	72.5	77.3	82.5	945.7
2009	90.6	96.2	93.1	91.9	86.0	69.3	77.1	77.7	78.0	75.7	80.3	88.8	1004.7
2010	95.1	96.4	94.3	91.0	94.3	84.2	87.9	83.0	84.0	76.4	81.2	90.1	1057.9
2011	92.5	87.9	90.4	101.3	112.4	101.4	109.8	93.2	70.2	60.1	60.6	54.7	1034.7
2012	72.0	85.8	89.3	100.5	117.6	109.6	108.7	98.6	75.1	61.1	57.0	57.0	1032.4
2013	70.5	89.4	87.4	99.1	114.5	106.5	108.2	95.2	77.2	58.8	52.7	63.7	1023.3
2014	72.6	84.5	83.1	105.7	110.3	106.9	111.3	90.3	65.0	55.1	51.5	63.3	999.7
2015	67.4	87.8	85.8	98.6	105.8	102.2	112.0	92.7	76.6	60.8	58.3	64.5	1012.7
2016	74.8	86.5	85.4	97.4	113.3	108.5	117.7	97.7	87.0	63.9	57.0	63.1	1052.2
2017	72.7	86.8	104.9	114.0	114.7	110.3	112.2	94.0	71.4	55.4	60.3	65.2	1061.8
Promedio	73.3	85.8	90.4	101.5	109.0	102.3	107.2	91.9	76.7	59.6	60.6	65.1	1023.5
Máximo	98.2	96.4	104.9	114.0	129.0	121.3	119.3	100.6	91.2	77.5	82.0	90.9	1079.2
Mínimo	63.0	63.0	83.1	90.5	81.7	68.6	75.8	75.0	58.7	46.4	50.0	51.4	945.7

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Evapotranspiración mensual de la estación Matucana (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
1970	129.6	140.4	133.0	129.2	115.6	113.4	122.1	111.6	107.5	97.4	103.5	117.6	1420.9
1971	123.9	137.0	134.1	133.1	118.2	106.9	102.5	109.8	109.9	97.9	107.5	120.0	1400.9
1972	133.1	143.6	141.1	127.4	128.3	116.1	107.7	113.7	111.6	101.6	110.9	121.7	1456.8
1973	131.2	144.8	147.9	139.2	130.8	123.0	121.1	116.0	110.8	102.8	108.5	125.3	1501.4
1974	138.6	137.8	142.9	129.5	118.0	97.2	102.6	112.4	110.7	98.2	107.4	118.0	1413.4
1975	123.5	137.9	139.2	134.0	129.1	100.0	112.5	108.8	108.5	99.5	108.7	119.9	1421.6
1976	125.7	128.5	126.6	129.1	125.7	113.8	122.4	112.7	109.8	101.0	111.0	123.5	1429.9
1977	129.3	143.6	144.1	145.5	140.1	118.5	136.2	118.7	113.2	106.9	112.7	123.9	1532.8
1978	127.2	144.3	131.6	145.5	137.8	122.6	126.8	118.6	111.0	102.3	110.2	121.4	1499.3
1979	123.3	137.0	135.9	137.3	138.0	109.2	110.7	117.4	107.4	96.6	105.7	116.1	1434.4
1980	125.9	137.8	135.7	126.9	139.5	125.7	129.1	115.7	109.5	97.7	105.2	114.4	1463.1
1981	123.0	129.0	139.3	139.6	134.1	120.2	117.4	117.7	109.3	100.3	115.0	127.2	1472.3
1982	134.8	146.8	141.3	127.8	146.0	118.5	131.6	121.7	109.5	101.7	118.5	114.2	1512.3
1983	129.6	146.0	144.6	150.0	146.9	120.2	120.6	112.7	108.6	101.0	118.7	119.9	1518.9
1984	120.7	127.6	125.0	128.4	116.4	97.3	101.1	111.8	105.5	95.9	101.6	118.4	1349.7
1985	126.2	132.0	131.4	133.6	121.1	106.9	113.2	103.7	106.5	102.2	104.1	113.5	1394.5
1986	122.5	140.9	138.4	123.2	123.2	98.4	114.7	106.7	111.0	100.2	112.9	120.1	1412.2
1987	128.2	146.5	142.6	133.9	122.6	118.2	125.4	116.1	111.9	103.4	108.0	120.1	1476.9
1988	130.9	144.8	122.8	133.6	116.5	117.0	117.5	105.2	107.3	100.7	109.3	119.0	1424.5
1989	127.7	145.2	141.9	129.4	120.0	99.1	99.6	109.5	110.6	97.5	111.1	119.7	1411.2
1990	126.6	138.2	141.7	142.4	137.7	127.2	129.9	117.2	109.5	100.5	108.4	123.4	1502.7
1991	133.1	131.5	128.6	130.2	140.6	116.0	109.1	112.8	107.2	99.8	107.4	115.1	1431.5
1992	123.7	132.0	134.9	137.0	136.6	127.8	124.3	113.9	107.8	98.1	106.9	116.4	1459.5
1993	126.8	134.1	139.2	144.5	127.6	108.2	122.9	109.7	108.5	101.3	108.6	117.3	1448.8
1994	121.9	127.3	127.5	125.2	129.2	109.4	121.5	111.6	106.5	98.5	110.0	119.7	1408.4
1995	125.5	142.1	139.4	135.3	132.5	117.2	120.4	113.6	112.5	100.9	106.4	119.8	1465.6
1996	125.9	134.2	136.6	132.7	114.8	116.1	109.7	110.7	109.6	104.8	110.3	120.7	1426.2
1997	129.8	142.4	138.2	137.2	117.3	117.4	128.1	122.1	118.6	103.7	114.1	128.0	1497.0
1998	134.8	152.2	143.1	135.8	132.5	120.3	120.9	120.4	114.5	103.1	111.2	123.9	1512.7
1999	142.8	154.8	146.8	142.5	130.9	114.4	125.2	119.0	113.1	105.7	114.4	127.7	1537.2
2000	133.3	146.6	139.8	137.4	125.4	119.6	127.6	118.7	114.8	102.3	106.2	125.3	1497.1
2001	137.4	143.3	145.2	135.3	115.5	111.9	113.1	116.4	112.5	102.6	112.8	127.3	1473.6
2002	131.1	150.3	133.4	139.9	143.1	108.7	112.9	108.2	109.4	102.2	109.3	126.1	1474.4
2003	128.2	120.4	129.2	137.4	122.8	110.0	116.3	113.1	107.7	98.5	106.2	120.8	1410.4
2004	132.6	144.3	145.4	117.4	131.4	109.7	122.5	114.8	113.8	103.0	105.7	120.1	1460.8
2005	127.3	140.0	133.6	117.3	125.1	110.7	115.4	113.9	113.7	103.4	111.0	122.4	1433.8
2006	131.5	142.8	140.7	119.9	124.2	98.9	107.0	105.1	109.9	99.5	109.9	118.5	1407.8
2007	128.3	140.6	131.5	120.8	124.6	112.7	106.5	100.8	107.0	98.0	107.4	117.2	1395.4
2008	131.2	137.5	137.8	130.2	103.7	96.4	102.9	102.3	105.5	98.5	107.1	116.6	1369.7
2009	134.7	139.8	132.2	129.8	113.2	95.0	103.7	106.4	108.5	104.0	112.8	128.0	1408.1
2010	141.9	145.7	134.1	130.7	133.0	115.0	121.4	117.0	119.8	103.6	114.3	130.1	1506.6
2011	136.2	146.4	142.3	119.9	122.4	114.9	119.7	105.6	115.4	106.7	116.9	133.8	1480.1
2012	138.8	147.0	135.1	126.4	135.1	109.1	118.5	105.1	113.9	105.6	114.6	130.5	1479.6
2013	134.0	138.0	127.3	127.6	136.1	105.3	115.4	116.6	104.9	99.3	106.2	118.5	1428.8
2014	129.8	136.0	131.4	127.7	128.3	111.6	107.8	118.4	107.3	99.9	108.9	117.8	1424.9
2015	126.1	140.3	133.3	121.6	133.8	107.0	114.1	112.1	108.6	103.0	112.1	116.9	1429.0
2016	139.2	151.7	150.0	126.6	150.6	126.8	130.8	117.9	124.7	108.7	112.8	124.4	1564.0
2017	134.2	150.4	156.8	133.4	111.8	99.6	112.0	112.2	106.9	102.8	114.2	128.8	1463.1
Promedio	130.0	140.5	137.4	132.1	128.1	112.1	117.0	112.8	110.5	101.3	109.9	121.4	1453.0
Máximo	142.8	154.8	156.8	150.0	150.6	127.8	136.2	122.1	124.7	108.7	118.7	133.8	1564.0
Mínimo	120.7	120.4	122.8	117.3	103.7	95.0	99.6	100.8	104.9	95.9	101.6	113.5	1349.7

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Evapotranspiración mensual de la estación Manchay Bajo (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
1970	91.3	107.4	110.3	117.7	126.4	119.7	128.7	105.0	81.9	60.0	62.7	78.5	1189.5
1971	84.7	104.0	109.7	124.2	128.8	121.4	127.0	108.3	72.4	49.8	56.9	54.7	1141.9
1972	80.0	99.2	114.5	131.5	134.3	133.4	122.3	94.4	73.9	68.5	67.4	71.0	1190.2
1973	73.7	91.4	91.7	113.0	118.8	117.4	123.0	105.8	91.0	64.4	64.1	78.1	1132.4
1974	81.7	102.2	99.3	110.7	123.6	122.1	126.4	103.7	79.0	52.7	60.9	64.8	1127.2
1975	80.1	104.7	117.5	127.5	136.5	128.7	130.7	108.4	72.0	61.5	65.8	70.6	1204.0
1976	80.7	106.8	114.0	125.7	137.4	134.7	126.1	97.5	82.0	59.7	71.0	68.6	1204.2
1977	65.2	87.2	105.0	120.5	127.5	116.0	122.2	102.0	80.8	64.3	60.3	68.1	1119.3
1978	81.9	93.8	98.3	125.6	127.0	109.8	118.0	99.9	86.9	63.3	63.3	61.9	1129.6
1979	75.6	97.7	102.4	124.9	133.3	112.9	115.5	105.9	86.0	59.6	66.3	69.7	1150.0
1980	80.4	89.9	98.9	114.6	121.2	118.1	124.7	106.8	89.6	67.8	65.1	72.0	1149.1
1981	73.5	98.5	104.6	112.1	125.6	119.2	128.2	109.7	93.7	74.2	74.0	76.9	1190.3
1982	89.2	102.5	108.6	107.1	134.4	119.1	129.4	111.3	95.4	74.1	71.5	73.0	1215.5
1983	87.4	100.4	100.2	126.7	132.4	123.3	129.6	107.5	92.2	77.5	75.7	80.4	1233.4
1984	80.1	98.5	103.8	113.9	130.9	118.7	122.9	105.8	89.2	66.7	69.9	73.8	1174.2
1985	82.2	69.9	99.7	120.2	128.8	115.2	122.6	103.8	89.1	68.3	68.2	74.9	1143.0
1986	78.0	94.6	99.3	116.8	130.7	118.2	122.5	104.5	90.2	64.5	67.7	68.3	1155.4
1987	76.7	93.7	96.8	113.7	124.4	117.3	121.6	101.0	84.5	63.2	67.9	70.6	1131.4
1988	87.1	95.8	101.8	114.3	103.2	115.1	115.7	102.9	90.2	72.5	68.6	68.1	1135.2
1989	75.1	97.2	106.2	113.4	123.2	109.6	120.0	99.5	83.8	65.7	69.6	72.8	1136.0
1990	78.3	99.6	105.2	121.6	120.9	104.2	104.1	98.1	95.0	87.6	92.9	104.5	1212.2
1991	114.3	96.9	98.4	107.2	123.0	113.1	122.0	106.6	83.6	70.3	68.2	72.9	1176.5
1992	81.2	91.8	101.3	112.1	111.7	104.8	104.6	93.8	88.7	67.6	87.0	86.4	1131.0
1993	95.5	106.4	101.4	108.8	127.8	118.5	123.9	104.9	79.6	67.3	64.2	73.8	1172.1
1994	81.5	96.8	98.3	108.0	115.9	107.4	117.7	102.5	81.9	69.0	69.9	75.4	1124.3
1995	90.3	98.0	102.0	112.2	122.6	116.7	122.6	100.9	95.3	75.2	86.0	71.0	1192.9
1996	75.6	92.7	98.9	120.7	124.2	119.2	121.5	101.5	85.3	56.8	67.0	73.5	1136.9
1997	81.5	96.5	99.9	113.9	98.6	82.7	91.7	99.6	90.2	75.2	76.7	76.7	1083.2
1998	86.1	101.0	106.4	117.6	121.9	114.7	130.2	114.2	85.4	67.2	68.6	71.3	1184.6
1999	84.0	96.6	100.8	116.0	127.4	112.0	122.0	103.8	93.8	71.8	67.9	73.4	1169.5
2000	88.0	101.8	105.6	114.7	121.9	122.7	128.2	110.9	103.7	61.8	62.9	72.6	1194.7
2001	86.7	99.6	110.5	114.0	126.5	117.8	131.6	107.2	83.5	61.4	61.6	72.8	1173.3
2002	82.7	96.4	103.6	118.4	124.6	118.2	121.0	101.0	93.3	65.7	59.3	63.9	1148.2
2003	80.7	99.2	99.2	114.8	116.7	116.9	125.5	106.2	87.6	71.9	70.0	75.2	1163.8
2004	80.5	102.0	109.3	113.2	126.0	123.0	126.3	108.9	92.9	62.9	70.3	82.7	1198.2
2005	87.0	109.6	98.8	115.9	125.1	114.8	124.6	107.6	82.3	63.4	64.1	78.4	1171.6
2006	73.5	95.7	104.7	110.3	128.4	118.0	124.5	108.4	97.9	70.2	66.8	69.5	1167.8
2007	84.0	98.0	102.9	107.5	121.9	117.8	118.4	107.6	93.8	69.7	60.2	64.1	1145.9
2008	75.5	94.9	103.8	113.6	95.4	79.3	88.0	87.4	89.7	84.1	90.0	96.9	1098.7
2009	107.1	114.0	110.1	108.4	100.4	79.8	88.8	89.9	90.0	87.4	93.0	104.3	1173.2
2010	112.1	113.3	111.0	106.3	110.7	97.8	102.2	96.2	97.1	87.6	93.4	105.1	1232.8
2011	109.1	101.7	103.7	115.2	127.4	115.0	124.6	106.1	80.8	69.4	70.4	63.7	1187.2
2012	82.7	98.0	102.7	114.4	133.2	124.1	123.3	112.1	86.2	70.6	66.2	66.2	1179.8
2013	81.4	103.9	99.8	113.2	130.0	120.8	123.1	108.6	88.6	68.1	61.5	73.7	1172.7
2014	83.7	97.3	95.4	120.6	125.7	121.6	126.7	103.4	75.4	64.3	60.4	73.5	1148.1
2015	77.8	100.5	98.2	112.5	120.5	116.2	127.3	105.8	88.1	70.5	67.9	74.7	1160.0
2016	85.5	98.5	97.3	110.6	128.5	122.7	133.0	110.8	99.1	73.6	66.0	72.7	1198.3
2017	83.1	98.7	118.6	128.7	129.5	124.3	126.7	106.5	81.8	64.0	69.6	74.9	1206.6
Promedio	84.0	98.6	103.6	115.9	123.6	115.3	120.9	104.0	87.4	68.2	69.6	74.6	1165.7
Máximo	114.3	114.0	118.6	131.5	137.4	134.7	133.0	114.2	103.7	87.6	93.4	105.1	1233.4
Mínimo	65.2	69.9	91.7	106.3	95.4	79.3	88.0	87.4	72.0	49.8	56.9	54.7	1083.2

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Evapotranspiración mensual de la estación Ñaña (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Annual
1970	97.4	113.7	114.3	113.8	119.9	109.4	118.7	105.2	90.2	70.9	70.9	90.1	1214.5
1971	93.3	109.6	113.9	123.1	122.5	118.1	128.0	111.7	88.7	75.9	76.4	82.3	1243.4
1972	96.4	109.3	113.7	124.7	132.1	128.1	132.7	103.4	90.4	86.3	80.8	86.0	1283.8
1973	93.8	108.7	111.4	126.8	127.8	119.3	129.2	111.7	98.9	80.7	80.4	82.9	1271.6
1974	95.5	115.3	110.1	118.0	122.2	123.5	129.6	109.5	75.3	52.8	63.1	76.8	1191.9
1975	90.4	107.7	115.5	125.7	128.4	118.6	122.1	102.3	77.5	65.5	69.6	77.1	1200.5
1976	89.0	112.8	109.4	118.7	132.3	127.6	125.1	101.9	84.4	63.1	69.2	72.8	1206.3
1977	77.2	101.4	111.8	127.0	123.9	119.2	127.7	106.8	84.4	68.2	66.1	79.8	1193.6
1978	92.8	107.2	103.3	127.5	131.4	115.9	123.4	100.3	91.3	70.0	73.6	75.6	1212.3
1979	88.7	109.1	114.0	126.5	133.5	117.6	116.7	106.2	88.6	65.3	73.0	85.8	1225.0
1980	89.2	106.3	112.7	126.0	132.2	125.5	130.5	111.7	89.5	65.9	65.8	83.8	1239.2
1981	93.1	111.9	115.5	122.6	121.1	118.3	125.4	106.2	86.6	71.4	73.0	77.6	1222.9
1982	93.3	112.0	109.0	117.1	123.4	115.3	125.9	108.3	100.9	86.0	85.6	86.6	1263.5
1983	95.9	105.7	104.2	122.7	126.4	116.6	124.6	109.0	93.0	49.9	83.6	92.6	1224.3
1984	63.6	88.9	128.8	138.4	101.9	99.6	104.7	99.4	118.7	74.4	66.4	67.2	1151.9
1985	73.5	93.4	103.0	95.6	131.0	115.7	119.5	118.2	114.3	77.8	63.4	66.3	1171.5
1986	65.5	77.7	75.6	124.5	134.3	121.4	128.5	114.5	105.8	86.3	71.9	72.8	1178.8
1987	86.1	114.6	107.4	120.3	125.5	119.1	125.9	94.8	88.8	72.0	72.6	90.5	1217.6
1988	94.0	102.2	108.1	123.1	120.4	117.8	124.6	109.3	102.5	89.0	87.7	83.1	1261.9
1989	88.3	108.6	121.3	118.6	129.1	117.5	130.6	108.8	93.4	62.0	69.6	79.5	1227.3
1990	88.0	113.9	120.5	137.5	130.8	123.3	123.5	105.1	91.1	60.5	66.2	79.0	1239.4
1991	98.6	114.4	116.0	120.7	125.6	118.4	130.8	111.5	81.6	69.1	70.2	82.1	1239.0
1992	96.5	105.8	111.7	124.8	124.9	122.2	133.9	106.9	98.3	68.9	67.5	82.8	1244.2
1993	87.7	101.0	112.3	128.6	129.1	112.5	119.7	106.1	90.8	81.6	80.8	87.0	1237.4
1994	90.9	102.1	109.2	120.0	118.0	114.5	118.6	99.7	85.4	72.7	76.5	87.2	1194.8
1995	98.3	98.0	99.1	113.6	118.1	106.5	114.5	103.6	84.9	80.1	76.0	89.4	1181.9
1996	98.0	114.1	118.3	131.5	127.4	115.8	114.6	95.6	89.2	75.0	81.5	94.1	1255.1
1997	106.1	119.4	116.8	121.9	120.2	108.5	122.4	103.0	90.8	81.5	88.3	100.1	1279.0
1998	103.8	115.8	119.0	119.4	109.3	104.5	100.4	81.9	91.4	83.5	87.8	94.2	1210.9
1999	103.9	117.9	117.1	116.7	118.7	98.0	108.7	93.4	90.1	84.3	86.2	105.1	1240.0
2000	106.7	121.6	119.1	117.2	116.4	113.2	115.7	100.4	88.7	77.0	77.6	79.7	1233.2
2001	102.5	118.6	123.4	123.0	125.4	118.1	123.4	101.9	96.0	67.3	74.6	88.2	1262.4
2002	100.1	109.2	115.2	120.6	128.3	108.9	111.3	100.2	95.6	81.1	77.4	78.9	1226.8
2003	88.4	101.5	100.2	111.4	119.4	106.9	109.6	101.8	94.1	74.7	81.4	99.7	1189.0
2004	105.4	118.5	119.2	121.4	124.3	117.3	113.9	101.2	92.7	81.5	88.7	95.3	1279.4
2005	95.9	112.6	116.8	124.7	128.7	109.1	107.0	97.0	92.6	83.3	85.2	96.2	1249.2
2006	98.3	115.7	118.0	120.3	121.4	106.1	112.4	99.5	87.6	80.0	83.7	97.0	1240.0
2007	104.7	117.0	117.7	122.4	126.4	108.6	110.0	96.7	91.8	81.2	90.6	95.5	1262.5
2008	104.1	115.8	117.7	123.9	122.3	112.1	108.0	95.7	88.6	81.5	85.1	87.2	1241.9
2009	96.9	108.2	113.4	116.7	119.3	101.6	101.2	97.2	88.8	82.0	82.8	94.4	1202.4
2010	105.5	118.5	120.0	124.5	125.7	113.1	115.7	103.8	89.1	78.6	87.9	99.6	1282.2
2011	107.4	115.5	111.2	123.7	128.1	116.6	108.6	96.4	88.2	74.8	86.7	94.2	1251.5
2012	102.6	109.8	113.2	116.2	123.5	109.4	116.5	101.5	86.9	73.5	78.7	86.7	1218.3
2013	98.9	108.7	107.0	113.0	123.3	111.4	117.2	105.0	92.0	77.6	78.0	86.9	1219.1
2014	99.0	108.7	112.8	116.2	122.7	111.1	110.2	99.1	86.6	72.2	67.7	84.4	1190.7
2015	96.3	107.1	103.8	107.4	120.0	110.7	113.3	101.2	89.6	68.7	70.8	88.9	1177.8
2016	95.4	103.4	97.5	112.2	122.4	118.9	114.0	98.1	93.0	77.3	82.2	93.4	1207.8
2017	103.0	106.7	111.1	123.5	128.3	106.4	110.0	103.1	93.6	83.7	86.5	88.2	1244.2
Promedio	94.6	109.1	112.1	121.1	124.3	114.3	118.7	103.0	91.5	74.7	77.3	86.3	1227.1
Máximo	107.4	121.6	128.8	138.4	134.3	128.1	133.9	118.2	118.7	89.0	90.6	105.1	1283.8
Mínimo	63.6	77.7	75.6	95.6	101.9	98.0	100.4	81.9	75.3	49.9	63.1	66.3	1151.9

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Evapotranspiración mensual de la estación Pantanos de Villa (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Annual
1970	65.2	71.5	70.5	86.2	92.7	84.9	91.4	76.6	62.8	49.5	51.3	58.8	861.3
1971	61.3	71.4	72.7	79.6	88.5	83.2	87.8	75.7	55.7	42.3	49.3	47.1	814.7
1972	61.9	71.6	81.0	90.9	95.6	94.7	90.8	74.7	63.2	60.7	58.3	59.6	903.1
1973	54.8	63.6	65.2	78.1	79.0	79.4	85.2	75.5	68.7	52.9	51.5	57.0	810.9
1974	59.9	72.8	75.5	77.6	85.8	85.7	90.0	74.5	59.4	44.1	48.1	52.5	826.0
1975	56.8	65.5	71.4	78.9	83.2	79.0	81.0	70.5	52.2	46.7	49.4	51.7	786.3
1976	61.6	75.7	79.1	88.6	96.9	95.5	94.6	77.1	66.3	54.2	57.4	57.1	904.0
1977	54.4	67.9	76.3	86.1	91.9	83.3	90.8	78.0	65.0	54.1	53.2	56.9	858.0
1978	60.8	69.9	71.6	87.9	91.9	83.6	90.5	76.5	70.5	53.9	54.0	52.1	863.2
1979	61.1	73.0	78.5	92.9	95.5	86.5	88.2	83.6	65.8	51.2	56.4	60.9	893.5
1980	63.6	72.2	79.2	89.8	98.7	94.3	99.2	87.7	70.8	55.5	54.0	60.9	926.0
1981	57.5	67.8	71.9	76.8	85.0	80.3	86.6	75.0	65.6	53.3	53.5	55.3	828.7
1982	63.8	72.3	75.9	79.1	92.2	81.9	89.1	77.6	67.9	54.3	53.0	53.9	861.0
1983	63.3	71.8	71.4	88.4	92.0	85.5	90.3	76.0	66.6	57.1	56.2	59.2	877.8
1984	60.5	72.8	76.0	82.9	94.0	85.5	88.7	77.3	66.7	51.7	54.1	56.7	866.9
1985	61.0	51.6	72.3	85.7	91.3	81.7	87.3	74.9	65.7	52.0	52.2	56.5	832.0
1986	58.6	69.7	71.5	84.0	93.1	84.2	87.7	75.8	66.8	49.9	52.2	52.6	845.9
1987	57.2	68.3	69.9	81.4	88.1	82.8	86.3	72.8	62.4	48.5	51.8	53.6	823.0
1988	64.2	70.1	73.6	82.0	79.1	82.0	82.9	74.4	66.6	54.8	52.5	52.2	834.3
1989	56.3	70.8	76.3	81.2	87.5	77.9	85.5	72.0	62.1	50.2	53.0	55.0	827.7
1990	60.2	74.6	78.1	89.3	81.6	78.7	76.7	72.8	73.5	69.9	72.9	76.1	904.6
1991	76.2	74.6	76.1	76.0	88.8	81.5	88.1	77.8	63.0	54.1	52.9	56.0	865.1
1992	60.8	67.9	73.8	81.1	76.4	79.2	74.5	70.1	70.2	56.3	69.7	69.1	849.1
1993	70.7	75.3	73.0	75.8	91.5	84.7	89.0	76.4	60.1	51.9	50.1	56.3	854.7
1994	59.1	69.0	69.7	76.1	81.0	74.9	82.2	72.3	59.6	51.2	40.0	46.2	781.4
1995	53.4	65.1	67.6	76.2	82.0	82.9	75.5	55.7	55.8	43.3	44.8	45.5	747.8
1996	47.5	68.4	74.4	93.8	95.9	86.6	86.8	74.0	60.0	41.3	45.9	52.9	827.5
1997	57.4	72.8	76.7	90.0	87.6	86.0	91.9	76.0	75.8	59.4	59.5	61.2	894.4
1998	66.6	78.9	87.2	88.3	101.1	88.6	93.8	79.8	63.5	49.9	52.8	53.1	903.5
1999	61.9	75.1	82.5	96.8	99.9	95.8	87.0	75.5	64.9	54.9	53.0	60.9	908.2
2000	64.1	76.0	75.7	82.9	89.3	87.5	87.1	68.1	61.9	47.5	48.5	54.5	843.2
2001	57.4	70.0	70.4	80.9	90.5	85.6	86.7	70.0	54.0	40.3	43.8	48.9	798.6
2002	59.8	76.4	80.3	88.6	97.2	86.5	105.5	75.8	69.6	45.8	41.4	47.1	874.0
2003	55.3	68.0	70.3	86.2	83.1	79.0	80.1	69.4	59.1	53.3	48.0	55.7	807.6
2004	53.1	66.8	78.9	83.3	88.5	82.9	81.7	78.0	67.9	48.4	53.4	61.6	844.3
2005	63.6	76.9	71.3	82.0	95.1	84.4	96.2	75.2	64.9	51.2	47.1	57.6	865.6
2006	57.0	73.6	76.7	87.3	96.2	94.6	98.0	78.5	71.3	49.3	53.7	59.5	895.8
2007	63.6	80.3	93.8	102.5	88.4	84.9	86.1	78.7	69.9	53.9	47.9	50.5	900.5
2008	56.1	68.7	74.2	80.7	72.7	63.5	68.8	67.1	69.2	66.3	69.3	71.2	827.8
2009	71.6	74.9	73.4	73.4	72.1	61.5	68.2	66.8	68.5	66.4	69.3	72.3	838.4
2010	77.1	79.1	77.0	76.9	78.2	73.2	75.8	72.6	74.4	70.2	73.3	76.6	904.5
2011	72.1	70.3	72.5	80.6	88.4	79.9	86.6	74.7	59.0	52.5	53.1	48.3	838.0
2012	60.0	70.0	71.7	80.2	92.2	85.9	85.9	78.6	62.5	52.4	49.9	49.9	839.1
2013	57.8	69.9	69.5	77.8	88.4	81.9	84.0	75.0	62.9	50.1	46.0	53.6	816.7
2014	57.2	65.3	64.6	79.5	82.5	79.3	83.1	69.0	54.3	46.0	43.6	51.4	775.8
2015	54.8	68.8	67.2	76.1	80.9	77.6	85.1	71.8	61.4	50.3	49.1	53.1	796.0
2016	64.2	73.1	71.9	80.6	92.0	88.2	95.6	80.8	73.5	57.0	51.8	56.1	884.8
2017	63.7	74.4	87.4	94.4	95.0	90.7	93.1	79.4	63.1	51.0	55.0	58.5	905.7
Promedio	61.0	71.1	74.7	83.7	88.7	83.3	86.8	74.7	64.7	52.5	53.1	56.5	850.8
Máximo	77.1	80.3	93.8	102.5	101.1	95.8	105.5	87.7	75.8	70.2	73.3	76.6	926.0
Mínimo	47.5	51.6	64.6	73.4	72.1	61.5	68.2	55.7	52.2	40.3	40.0	45.5	747.8

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Evapotranspiración mensual de la estación San Lázaro de Escomarca (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
1970	93.6	96.9	93.9	97.9	98.2	88.5	98.1	94.2	96.4	92.6	95.7	96.2	1142.3
1971	93.1	96.7	93.8	97.2	97.8	88.5	97.7	94.0	95.8	92.0	95.4	95.3	1137.4
1972	94.6	98.2	95.9	99.3	99.6	93.5	99.3	95.4	97.7	94.6	97.5	97.5	1163.2
1973	92.7	96.2	93.4	97.1	97.2	88.3	97.6	94.0	96.6	92.6	95.5	95.8	1137.0
1974	93.1	96.9	94.0	97.2	97.6	88.7	97.9	94.0	96.1	92.2	95.4	95.6	1138.7
1975	92.7	96.3	93.6	97.1	97.3	88.2	97.2	93.6	95.4	92.1	95.3	95.4	1134.2
1976	94.6	98.4	95.6	99.1	99.6	93.5	99.5	95.4	97.9	94.1	97.3	97.3	1162.4
1977	92.8	96.6	94.1	97.6	98.0	88.5	97.9	94.2	96.4	92.8	95.7	95.9	1140.4
1978	93.3	96.8	93.9	97.9	98.1	88.6	98.0	94.2	96.9	92.9	95.9	95.8	1142.3
1979	94.1	97.8	95.1	98.9	99.1	89.5	98.7	95.4	97.4	93.5	96.8	97.1	1153.2
1980	93.1	96.5	93.9	97.5	98.0	91.8	98.0	94.4	96.5	92.6	95.5	95.9	1143.9
1981	93.2	96.8	94.1	97.4	97.9	88.6	98.0	94.3	96.7	92.9	95.9	96.0	1141.7
1982	93.5	97.0	94.3	100.9	98.3	88.7	98.1	94.4	96.7	92.9	95.8	95.9	1146.4
1983	93.4	97.0	94.0	98.0	98.2	88.9	98.1	94.3	96.6	93.1	96.0	96.2	1143.7
1984	93.3	97.0	94.3	97.7	98.4	91.9	98.0	94.3	96.7	92.7	95.9	96.0	1146.2
1985	93.4	91.2	94.1	97.9	98.3	88.7	98.0	94.3	96.7	92.8	95.8	96.1	1137.2
1986	93.2	96.9	96.8	97.8	98.4	88.9	98.0	94.3	96.7	92.7	95.8	95.8	1145.1
1987	93.2	96.8	94.4	97.0	98.1	89.0	98.0	94.1	96.5	92.6	95.8	95.9	1141.4
1988	93.6	96.9	94.2	97.7	100.0	91.7	97.7	94.2	96.5	93.0	95.8	95.8	1147.1
1989	93.1	97.0	94.4	97.7	98.1	88.5	97.9	94.1	96.4	92.7	95.9	96.0	1141.6
1990	93.2	97.1	94.3	98.0	112.9	95.7	101.6	96.3	94.4	88.2	92.9	101.4	1166.2
1991	107.7	99.2	97.4	103.2	98.0	88.6	98.0	94.4	96.4	92.9	95.8	96.0	1167.7
1992	93.3	96.8	94.2	97.6	106.6	97.6	101.4	92.8	89.8	80.6	88.6	88.7	1127.9
1993	94.3	102.8	98.5	104.5	98.2	88.9	98.1	94.3	96.3	92.8	95.6	96.0	1160.3
1994	93.3	97.0	94.0	97.4	97.8	88.4	97.8	94.2	96.4	92.8	95.9	96.1	1141.2
1995	93.7	97.0	94.2	97.6	98.3	88.8	98.3	94.1	96.7	93.1	87.9	95.9	1135.6
1996	93.1	96.8	94.1	98.0	98.1	91.9	98.0	94.2	96.5	92.3	95.8	96.0	1144.7
1997	93.3	97.0	94.1	97.7	97.0	83.1	92.0	94.1	96.7	93.1	96.2	96.2	1130.4
1998	93.5	97.1	94.4	97.8	98.0	88.7	98.3	94.7	96.5	92.8	95.8	95.9	1143.6
1999	93.4	97.0	94.1	97.8	98.2	88.6	98.0	94.3	96.9	92.9	95.8	96.0	1143.0
2000	93.6	97.2	94.3	97.7	98.0	92.0	98.3	94.6	97.3	92.5	95.6	96.0	1147.0
2001	93.6	97.1	94.5	97.7	98.2	88.8	98.4	94.4	96.4	92.5	95.5	96.0	1143.2
2002	93.4	97.0	94.3	97.9	98.1	88.9	98.0	94.1	96.8	92.7	95.4	95.6	1142.1
2003	93.3	96.9	94.1	97.7	97.8	88.8	98.1	94.4	96.6	93.0	95.9	96.1	1142.6
2004	93.3	97.2	94.5	97.6	98.2	92.0	98.2	94.5	96.8	92.6	95.9	96.3	1147.1
2005	101.3	108.5	101.7	106.9	104.3	79.4	81.3	79.4	89.4	86.6	94.0	96.2	1129.2
2006	103.3	107.8	98.7	96.1	85.6	76.3	83.1	84.2	94.5	97.4	95.6	102.6	1125.1
2007	101.2	111.4	109.2	109.4	103.2	89.1	90.1	78.7	81.8	83.6	89.3	95.6	1142.3
2008	105.7	112.0	109.2	109.9	99.2	81.6	87.0	85.2	87.2	82.9	85.6	96.9	1142.2
2009	99.3	109.7	107.8	111.6	100.7	81.7	93.7	87.5	87.6	83.0	90.1	99.7	1152.1
2010	101.2	107.1	105.2	107.0	106.9	97.4	93.7	90.8	90.4	81.5	85.4	92.2	1158.9
2011	104.6	116.3	113.8	98.8	94.0	83.4	92.7	82.7	90.7	83.7	91.1	95.5	1147.4
2012	102.7	108.2	106.4	104.9	107.0	88.6	87.9	82.5	90.8	82.9	90.8	102.7	1155.2
2013	107.5	117.0	106.2	103.8	105.0	82.4	81.6	91.0	85.6	81.3	83.7	93.0	1138.1
2014	101.0	107.7	106.8	101.6	103.1	92.0	85.7	81.3	94.4	83.4	87.8	96.3	1141.2
2015	99.6	113.1	114.4	105.4	100.7	92.0	89.7	83.7	86.1	82.6	85.7	93.6	1146.8
2016	105.3	106.9	109.1	94.0	106.2	94.5	94.2	91.4	92.7	79.2	85.6	95.6	1154.7
2017	104.1	114.3	116.0	109.8	86.3	75.6	78.0	88.9	88.1	82.0	88.9	98.6	1130.5
Promedio	96.3	100.8	98.2	99.9	99.2	88.7	95.3	91.9	94.4	90.0	93.6	96.2	1144.4
Máximo	107.7	117.0	116.0	111.6	112.9	97.6	101.6	96.3	97.9	97.4	97.5	102.7	1167.7
Mínimo	92.7	91.2	93.4	94.0	85.6	75.6	78.0	78.7	81.8	79.2	83.7	88.7	1125.1

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Evapotranspiración mensual de la estación San Mateo de Otao (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Annual
1970	65.5	67.4	65.2	66.8	66.4	59.7	66.5	64.9	67.8	66.2	68.4	68.0	792.8
1971	68.0	69.9	67.4	69.4	69.0	62.1	69.0	67.3	70.7	69.0	71.0	71.1	823.8
1972	69.8	71.8	69.0	70.8	70.6	65.8	70.8	69.2	72.2	69.9	72.4	72.4	844.8
1973	68.5	70.4	67.9	69.7	69.6	62.5	69.3	67.4	70.1	68.6	71.0	70.7	825.8
1974	67.6	69.3	66.9	69.1	68.7	61.6	68.5	66.9	70.0	68.4	70.6	70.4	818.0
1975	69.3	71.3	68.6	70.6	70.3	63.3	70.5	68.6	72.0	69.9	72.1	72.0	838.5
1976	69.6	71.4	68.8	70.7	70.3	65.6	70.4	68.9	71.8	70.0	72.3	72.3	842.1
1977	66.7	68.3	65.6	67.4	67.2	60.6	67.2	65.5	68.5	66.7	69.0	68.8	801.5
1978	66.1	68.0	65.6	67.1	67.0	60.4	67.0	65.4	68.0	66.5	68.8	68.9	798.8
1979	64.9	66.7	64.1	65.7	65.6	59.3	66.0	63.9	67.0	65.4	67.4	67.2	783.2
1980	68.9	70.9	68.1	70.0	69.6	65.0	69.6	67.7	70.9	69.3	71.7	71.4	833.0
1981	65.0	66.8	64.3	66.3	65.9	59.3	65.8	64.1	66.9	65.2	67.5	67.4	784.5
1982	64.0	65.9	63.4	66.0	64.9	58.7	65.0	63.4	66.1	64.5	66.8	66.8	775.4
1983	66.5	68.4	66.1	67.5	67.3	60.7	67.4	65.8	68.6	66.8	69.2	69.0	803.4
1984	67.7	69.4	66.9	68.9	68.3	64.0	68.6	66.8	69.7	68.1	70.4	70.2	818.9
1985	66.1	66.2	65.5	67.1	66.8	60.4	67.0	65.4	68.2	66.6	68.9	68.7	796.9
1986	67.0	68.8	66.0	68.0	67.5	61.0	67.8	66.1	68.9	67.5	69.7	69.7	808.0
1987	67.3	69.0	66.9	67.6	68.0	61.4	68.0	66.5	69.4	67.8	69.9	69.8	811.5
1988	67.5	69.5	67.0	68.9	68.3	64.2	68.8	66.9	69.4	68.0	70.5	70.5	819.4
1989	67.5	69.0	66.4	68.5	68.1	61.6	68.3	66.6	69.5	67.8	70.0	69.9	813.2
1990	64.8	66.4	63.9	65.6	76.8	62.4	67.5	63.7	61.3	56.6	60.0	67.2	776.1
1991	80.8	73.2	71.1	75.8	72.4	65.4	72.5	70.5	73.9	71.9	74.4	74.3	876.1
1992	68.3	70.3	67.6	69.6	75.6	67.1	71.0	63.8	60.5	56.0	59.4	59.7	789.0
1993	65.3	72.2	69.0	73.7	69.1	62.3	69.2	67.5	70.7	68.8	71.3	70.9	830.0
1994	68.3	70.1	67.7	69.8	69.5	62.7	69.4	67.6	70.7	68.7	71.1	70.9	826.4
1995	68.0	70.1	67.6	69.6	69.4	62.3	69.4	67.6	69.9	68.5	58.8	71.0	812.3
1996	68.5	70.3	67.7	69.3	69.2	64.6	69.3	67.6	70.5	69.2	71.2	71.0	828.4
1997	68.3	70.2	67.7	69.5	67.0	56.4	62.5	67.7	70.4	68.5	70.8	70.8	809.8
1998	68.1	70.0	67.4	69.4	69.3	62.4	69.0	67.2	70.5	68.8	71.1	71.0	824.3
1999	68.2	70.2	67.6	69.5	69.1	62.5	69.3	67.5	70.2	68.6	71.1	71.0	824.8
2000	68.1	70.0	67.5	69.5	69.3	64.5	69.1	67.3	69.9	69.0	71.3	71.0	826.3
2001	68.1	70.0	67.3	69.5	69.1	62.3	68.9	67.4	70.6	69.0	71.4	71.0	824.7
2002	68.3	70.2	67.5	69.4	69.2	62.3	69.3	67.6	70.3	68.9	71.4	71.3	825.6
2003	68.3	69.8	67.7	69.5	69.5	62.3	69.1	67.4	70.5	68.6	71.1	70.9	824.7
2004	68.3	70.0	67.3	69.6	69.1	64.5	69.1	67.4	70.3	68.9	71.1	69.6	825.2
2005	69.0	73.3	68.4	71.4	69.2	62.4	69.2	67.4	70.6	68.9	71.3	70.8	831.9
2006	68.6	70.2	67.5	69.7	69.0	62.3	69.2	67.4	70.1	68.7	71.2	71.1	824.9
2007	68.2	70.1	67.6	69.8	69.3	62.3	69.4	67.4	70.2	68.7	71.4	71.3	825.7
2008	68.5	70.2	67.5	69.6	63.8	54.2	60.1	59.8	61.2	57.4	61.4	65.9	759.6
2009	72.5	77.1	74.1	73.4	67.8	54.4	60.6	62.3	61.4	59.6	63.4	70.8	797.5
2010	75.8	76.8	75.0	72.0	74.9	65.0	69.4	65.4	66.0	59.8	63.6	71.3	835.1
2011	73.8	73.0	68.8	69.6	69.1	62.2	69.2	67.4	70.7	66.8	69.3	71.2	831.1
2012	68.3	70.1	68.8	69.7	68.9	64.5	69.2	67.2	70.5	68.7	71.2	71.2	828.2
2013	68.6	73.5	67.7	69.6	69.0	62.2	69.3	66.8	70.0	68.2	71.4	70.8	827.2
2014	68.2	70.5	66.7	74.1	69.7	60.1	57.7	62.0	64.5	61.9	66.6	69.8	791.8
2015	76.1	79.3	75.9	70.3	68.8	58.1	59.1	62.4	63.5	61.5	65.7	75.1	815.7
2016	77.9	83.8	81.2	79.5	75.1	58.1	63.8	64.4	68.1	63.1	65.9	71.1	852.0
2017	76.6	73.0	67.3	69.0	69.0	62.1	69.1	67.4	70.7	68.9	71.1	70.9	835.1
Promedio	68.9	70.7	67.9	69.7	69.1	61.9	67.7	66.3	68.8	66.8	69.1	70.2	816.9
Máximo	80.8	83.8	81.2	79.5	76.8	67.1	72.5	70.5	73.9	71.9	74.4	75.1	876.1
Mínimo	64.0	65.9	63.4	65.6	63.8	54.2	57.7	59.8	60.5	56.0	58.8	59.7	759.6

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Evapotranspiración mensual de la estación Santiago de Tuna (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
1970	79.1	82.0	79.4	82.7	82.9	74.6	82.9	79.7	81.6	78.4	81.0	81.4	965.6
1971	77.0	79.9	77.5	80.3	80.7	73.1	80.7	77.7	79.2	76.1	78.9	78.8	939.9
1972	93.2	96.7	94.4	97.8	98.0	92.0	97.8	93.9	96.3	93.2	96.0	96.1	1145.4
1973	76.4	79.3	76.9	80.0	80.0	72.7	80.3	77.4	79.5	76.3	78.7	79.0	936.6
1974	77.7	80.8	78.4	81.0	81.4	73.9	81.6	78.4	80.2	76.9	79.6	79.8	949.8
1975	74.9	77.7	75.5	78.3	78.5	71.1	78.4	75.5	77.0	74.4	76.9	77.0	915.2
1976	92.9	96.6	93.8	97.3	97.7	91.7	97.6	93.7	96.1	92.5	95.6	95.6	1141.2
1977	79.6	82.8	80.6	83.7	83.9	75.8	83.9	80.7	82.7	79.6	82.1	82.3	977.7
1978	80.3	83.3	80.8	84.1	84.3	76.2	84.2	81.0	83.3	79.9	82.5	82.4	982.3
1979	82.3	85.5	83.1	86.5	86.6	78.2	86.3	83.4	85.2	81.9	84.7	85.0	1008.7
1980	94.5	98.0	95.3	98.9	99.4	93.1	99.4	95.7	97.9	94.0	97.0	97.4	1160.4
1981	87.2	90.6	88.0	91.1	91.5	82.9	91.6	88.2	90.4	86.9	89.8	89.9	1067.9
1982	94.7	98.2	95.4	99.6	99.4	89.7	99.2	95.5	97.9	94.1	97.0	97.1	1157.6
1983	93.2	96.7	93.7	97.7	97.9	88.6	97.8	93.9	96.4	92.9	95.8	96.0	1140.6
1984	101.9	105.9	102.8	106.6	107.3	100.2	106.9	102.9	105.5	101.3	104.7	104.9	1250.9
1985	77.7	77.2	78.3	81.5	81.7	73.8	81.5	78.4	80.5	77.3	79.8	80.0	947.8
1986	87.9	91.4	88.2	92.2	92.7	83.7	92.4	88.9	91.2	87.4	90.4	90.4	1076.9
1987	84.0	87.3	85.1	86.9	88.4	80.2	88.2	84.8	87.0	83.5	86.4	86.5	1028.3
1988	93.0	96.4	93.6	97.1	95.8	91.1	97.1	93.7	95.7	92.5	95.3	95.3	1136.7
1989	87.0	90.6	88.1	91.2	91.5	82.6	91.4	87.9	90.1	86.7	89.6	89.7	1066.3
1990	77.9	81.1	78.8	81.8	94.8	77.6	82.8	77.9	74.7	68.8	73.0	82.3	951.4
1991	111.2	100.4	97.9	103.9	100.9	91.2	100.9	97.2	99.4	95.7	98.8	98.9	1196.4
1992	60.1	62.3	60.6	62.8	67.9	60.8	63.5	56.9	53.6	48.9	52.6	52.8	702.9
1993	87.6	97.2	93.0	99.3	95.1	86.0	94.9	91.3	93.3	89.9	92.7	93.0	1113.3
1994	86.2	89.5	86.8	89.9	90.2	81.6	90.3	86.9	89.0	85.8	88.6	88.8	1053.4
1995	79.8	82.6	80.1	83.0	83.5	75.5	83.6	80.1	82.1	79.3	68.7	81.7	960.0
1996	87.7	91.2	88.6	92.2	92.3	86.5	92.2	88.7	90.9	87.0	90.2	90.5	1078.0
1997	72.8	75.6	73.4	76.2	72.4	60.7	67.2	73.4	75.4	72.7	75.0	75.0	869.9
1998	87.5	90.9	88.3	91.5	91.6	82.9	91.9	88.5	90.3	86.8	89.7	89.8	1069.8
1999	85.2	88.4	85.8	89.1	89.5	80.7	89.3	85.9	88.3	84.8	87.4	87.6	1042.1
2000	89.7	93.1	90.4	93.6	93.8	88.1	94.1	90.6	93.2	88.7	91.7	92.0	1098.9
2001	85.5	88.7	86.3	89.2	89.6	81.1	89.8	86.2	88.1	84.6	87.3	87.7	1044.1
2002	84.3	87.5	85.0	88.2	88.4	80.1	88.3	84.9	87.4	83.7	86.2	86.3	1030.3
2003	84.4	87.4	85.1	88.3	88.4	80.2	88.7	85.3	87.4	84.1	86.8	86.9	1033.0
2004	88.1	91.7	89.1	92.1	92.5	86.8	92.6	89.1	91.3	87.4	90.5	89.6	1080.8
2005	96.7	104.5	97.0	102.4	100.2	90.5	100.1	96.4	98.5	94.7	97.8	98.3	1177.0
2006	84.8	88.3	85.9	88.8	89.4	80.9	89.3	86.0	88.4	84.7	87.3	87.4	1041.1
2007	84.2	87.4	84.9	87.8	88.3	80.0	88.1	85.0	87.3	83.7	86.1	86.2	1029.1
2008	57.6	59.9	58.3	60.4	54.7	46.0	51.1	50.9	52.1	48.8	52.3	56.4	648.5
2009	81.9	87.2	83.9	82.8	76.3	60.7	67.6	69.7	68.6	66.5	70.9	79.7	895.8
2010	103.8	105.1	102.6	98.2	102.3	89.1	94.4	88.8	89.6	80.7	86.1	97.1	1137.8
2011	98.5	96.8	91.8	93.6	93.9	84.6	93.8	90.2	92.2	86.4	89.4	91.4	1102.6
2012	88.1	91.5	90.4	92.3	92.8	86.8	92.4	89.2	91.1	87.7	90.4	90.4	1083.1
2013	85.6	93.1	85.9	89.2	89.7	81.2	89.6	85.6	87.7	84.1	87.3	87.6	1046.4
2014	80.8	84.3	79.8	89.5	82.3	69.4	69.0	81.0	79.1	71.2	76.2	80.8	943.4
2015	84.6	95.0	88.7	87.8	88.1	66.2	73.6	75.5	80.7	75.1	79.2	89.9	984.3
2016	103.5	110.4	107.7	117.1	107.6	86.3	86.3	89.6	87.5	78.0	82.6	90.5	1147.1
2017	95.5	101.7	88.1	91.3	91.3	82.7	91.2	87.7	89.6	86.2	89.2	89.4	1083.8
Promedio	86.0	89.4	86.3	89.5	89.3	80.2	87.4	84.8	86.5	82.5	85.3	86.9	1034.2
Máximo	111.2	110.4	107.7	117.1	107.6	100.2	106.9	102.9	105.5	101.3	104.7	104.9	1250.9
Mínimo	57.6	59.9	58.3	60.4	54.7	46.0	51.1	50.9	52.1	48.8	52.3	52.8	648.5

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI

Evapotranspiración mensual de la estación Von Humboldt (mm)

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
1970	80.8	90.6	90.1	116.1	127.4	117.0	125.1	100.6	75.6	53.6	55.6	68.6	1101.2
1971	78.3	95.3	98.7	110.1	126.1	119.8	124.9	104.1	67.0	43.9	55.5	51.5	1075.3
1972	71.7	87.0	103.8	119.4	127.2	127.9	119.3	93.3	72.8	69.7	64.7	66.9	1123.7
1973	66.7	81.6	85.6	107.9	109.5	113.4	120.7	104.2	90.8	63.3	59.8	69.7	1073.2
1974	74.6	96.7	102.5	105.2	119.8	122.9	127.3	100.7	72.7	46.3	52.5	60.3	1081.6
1975	72.7	87.6	99.6	112.4	120.4	115.8	116.2	97.9	63.1	54.0	57.9	62.0	1059.5
1976	71.2	93.8	100.5	115.3	129.3	129.1	125.4	97.1	78.1	58.7	63.0	62.6	1124.2
1977	62.4	84.7	100.4	116.4	126.5	114.7	124.6	103.4	79.8	61.9	59.2	65.7	1099.4
1978	73.0	87.8	91.7	118.8	125.8	114.7	123.4	100.2	88.7	61.1	60.2	57.0	1102.4
1979	71.2	90.2	100.5	123.7	128.2	116.2	115.9	109.1	78.0	54.4	62.2	69.7	1119.2
1980	72.9	86.0	98.6	115.1	129.6	124.6	130.4	112.6	83.7	59.5	56.0	67.4	1136.4
1981	75.3	93.4	102.2	110.2	125.6	120.0	128.6	108.0	89.3	67.6	66.7	70.1	1157.0
1982	79.3	92.9	100.0	102.8	126.9	112.3	121.6	102.9	85.4	63.2	59.9	61.5	1108.7
1983	77.8	91.2	91.5	119.4	125.5	117.3	122.5	99.4	82.5	67.2	64.8	69.8	1128.9
1984	73.5	93.5	99.8	110.7	129.6	117.0	120.6	102.1	83.1	58.5	61.6	66.0	1115.9
1985	75.8	70.1	95.3	117.7	127.3	113.7	120.3	99.8	83.0	60.3	59.6	67.2	1090.2
1986	71.1	89.1	92.1	113.8	129.4	117.0	120.2	100.7	84.2	56.1	59.1	59.7	1092.7
1987	69.7	88.1	91.8	110.8	122.3	116.1	119.1	96.8	77.8	54.6	59.3	62.4	1068.8
1988	81.3	90.5	97.6	111.1	103.6	113.0	112.6	98.9	84.3	65.0	60.1	59.5	1077.5
1989	67.9	92.0	102.5	110.0	120.9	107.4	117.5	95.1	77.1	57.4	61.3	64.8	1073.8
1990	71.5	94.7	101.5	119.3	106.9	100.1	97.5	91.7	90.6	85.2	89.4	96.3	1144.6
1991	100.9	97.2	98.7	98.2	120.8	111.3	119.6	103.0	76.9	62.6	59.7	65.0	1113.9
1992	74.7	86.0	97.1	108.7	100.5	103.1	96.3	88.8	86.9	70.0	85.9	85.3	1083.2
1993	90.0	97.6	94.5	98.8	126.1	117.4	121.8	101.2	72.4	59.2	55.2	65.9	1100.0
1994	75.1	91.5	93.8	104.1	112.9	104.9	114.9	98.4	75.0	61.1	61.6	67.7	1060.9
1995	84.9	92.9	97.8	108.7	120.1	115.3	120.1	96.7	90.1	68.0	85.3	62.8	1142.7
1996	68.4	86.9	94.4	118.3	122.0	117.6	119.1	97.4	78.7	47.5	58.3	65.5	1074.3
1997	75.0	91.2	95.5	110.6	92.7	80.0	88.7	95.2	84.2	68.0	69.2	69.2	1019.6
1998	80.1	96.2	102.7	114.7	119.4	112.9	128.6	111.3	78.7	59.0	60.0	63.0	1126.7
1999	77.1	90.6	95.7	112.0	124.6	109.1	118.6	99.1	87.5	63.6	58.9	65.0	1101.8
2000	82.5	97.4	102.2	111.9	119.9	121.9	127.0	108.2	99.6	53.2	54.0	64.8	1142.6
2001	80.3	94.1	106.7	110.0	123.8	115.8	129.5	103.0	76.2	52.3	51.9	64.4	1108.0
2002	74.9	89.4	97.7	113.5	120.2	114.8	116.2	94.9	85.9	56.3	48.8	53.8	1066.5
2003	73.3	93.3	93.7	110.3	112.4	114.2	122.2	101.4	80.4	63.6	61.0	66.8	1092.5
2004	74.3	97.9	106.6	110.3	124.8	122.5	125.1	106.2	87.7	54.6	62.3	76.1	1148.2
2005	78.7	100.9	91.8	109.2	121.7	111.9	121.1	102.9	74.6	54.2	54.5	70.2	1091.7
2006	65.5	89.5	99.9	105.6	125.6	115.7	121.3	104.0	91.9	61.9	57.5	60.5	1099.0
2007	76.2	91.0	96.9	101.4	117.1	114.2	113.2	102.0	86.4	60.6	49.7	54.0	1062.8
2008	66.2	86.6	96.8	106.8	90.1	76.6	83.8	82.4	84.7	80.4	84.9	88.9	1028.4
2009	95.5	100.6	98.5	97.3	93.7	77.3	85.9	85.8	86.6	83.9	88.3	94.9	1088.3
2010	100.0	102.2	99.6	97.6	100.2	93.1	95.2	90.6	92.2	85.5	90.0	97.0	1143.3
2011	97.4	93.4	98.1	111.4	125.1	112.9	121.9	102.0	73.4	62.3	62.3	54.4	1114.5
2012	76.0	92.5	96.5	110.4	131.5	122.5	120.6	108.6	79.4	62.6	57.2	57.2	1115.1
2013	73.8	94.7	94.6	108.4	127.4	118.7	119.6	104.3	81.9	59.8	51.8	65.2	1100.2
2014	76.0	89.9	89.3	115.9	121.5	118.6	122.6	97.6	68.4	55.2	50.1	64.4	1069.5
2015	70.0	94.4	92.4	107.6	116.4	113.3	124.0	100.8	80.9	61.9	58.6	66.0	1086.4
2016	73.8	86.8	86.0	98.6	116.9	112.6	122.4	100.0	87.5	62.0	53.2	60.1	1060.0
2017	74.5	90.9	112.9	123.3	124.2	120.1	121.2	99.9	72.6	53.9	59.4	65.2	1118.0
Promedio	76.5	91.5	97.4	110.6	119.6	112.9	117.8	100.1	81.4	61.4	62.0	66.9	1098.2
Máximo	100.9	102.2	112.9	123.7	131.5	129.1	130.4	112.6	99.6	85.5	90.0	97.0	1157.0
Mínimo	62.4	70.1	85.6	97.3	90.1	76.6	83.8	82.4	63.1	43.9	48.8	51.5	1019.6

Fuente: Elaborado con base en información del SENAMHI