

ESCENARIOS CLIMÁTICOS Y CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA PRESENTE Y FUTURA EN LAS CUENCA DE LOS RÍOS OCOÑA Y CAMANA MAJES – DE LA REGIÓN AREQUIPA

RESUMEN EJECUTIVO

CONVENIO SENAMHI - LIBELULA

Lima - Perú
Octubre - 2017



PERSONAL DIRECTIVO

Ing. Amelia Díaz Pabló
Presidente Ejecutivo del SENAMHI

Ing. Oscar G. Felipe Obando
Director de Hidrología del
SENAMHI

Ing. Gabriela Rosas Benancio
Directora de Meteorología y Evaluación Ambiental de la Atmósfera del
SENAMHI

COORDINADORES DEL ESTUDIO

Ing. Delia Acuña Azarte
Ing. Oscar Felipe Obando

PERSONAL DE APOYO

Flavio Azursa
Sayuri Ramirez
Luis Roca
Maribel Sánchez
Eber Menacho

Lima - Perú
Octubre - 2017

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 OBJETIVO.....	11
1.1.1 <i>Objetivo general</i>	11
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	11
1.2 ALCANCE	11
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA ÁREA DE ESTUDIO	12
2.1 REGIÓN AREQUIPA.....	12
2.1.1 <i>Ubicación geográfica</i>	12
2.1.2 <i>Demografía</i>	12
2.1.3 <i>Indicadores sociales</i>	12
2.1.4 <i>Producción agrícola</i>	13
2.1.5 <i>Comercialización y destino de la producción agrícola</i>	14
2.2 CUENCA DEL RIO OCOÑA.....	14
2.2.1 <i>Ubicación geográfica</i>	14
2.2.2 <i>Producción agrícola</i>	15
2.2.3 <i>Hidrografía del río Ocoña</i>	15
2.3 CUENCA DEL RIO CAMANA - MAJES.....	16
2.3.1 <i>Ubicación geográfica</i>	16
2.3.2 <i>Producción agrícola</i>	16
2.3.3 <i>Hidrografía del río Camana</i>	16
2.3.4 <i>Infraestructura Hidráulica</i>	17
3. DATOS Y MÉTODOS.....	18
3.1 DATOS.....	18
3.1.1 <i>Datos hidroclimáticos</i>	18
3.1.2 <i>Información cartográfica</i>	20
3.2 MÉTODOS.....	21
3.2.1 <i>Fase de Campo</i>	21
3.2.2 <i>Fase de Gabinete</i>	21
3.2.2.1 <i>Etapas 1. Cálculo de parámetros morfométrico</i>	21
3.2.2.2 <i>Etapas 2. Control de calidad de datos</i>	24
3.2.2.3 <i>Etapas 3. Interpolación espacial y elaboración de cartografía climática</i>	26
3.2.2.4 <i>Etapas 4. Generación de caudales</i>	29
3.2.2.5 <i>Etapas 5. Escenarios de Cambio climático</i>	29
4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS	31
4.1 DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA DEL RÍO OCOÑA	31
4.2 DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA DEL RÍO CAMANA	32
4.3 CONCLUSIONES	34
5. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	35
5.1 CLIMATOLOGÍA DE LA PRECIPITACIÓN	35
5.1.1 <i>Climatología de la precipitación en la cuenca del río Ocoña</i>	35
5.1.2 <i>Climatología de la Precipitación en la cuenca del río Camaná Majes</i>	38
5.2 CLIMATOLOGÍA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE.....	42
5.2.1 <i>Climatología de la temperatura del aire en la cuenca del río Ocoña</i>	42
5.2.2 <i>Climatología de la Temperatura del aire en la cuenca del río Camaná Majes</i>	47
5.3 CLIMATOLOGÍA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA	51
5.3.1 <i>Climatología de la Evapotranspiración Potencial en la cuenca del río Ocoña</i>	51

5.3.2	<i>Climatología de la evapotranspiración de referencia en la cuenca del río Camana Majes</i>	53
5.4	CONCLUSIONES	56
5.4.1	<i>Respecto a la caracterización de la precipitación actual</i>	56
5.4.2	<i>Respecto a la caracterización de la Temperatura del aire</i>	56
5.4.3	<i>Respecto a la caracterización de la evapotranspiración de referencia</i>	56
6.	TENDENCIAS DEL CLIMA MEDIO	58
6.1	TENDENCIAS CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN	58
6.2	TENDENCIAS CLIMÁTICAS DE LA TEMPERATURA MÍNIMA	58
6.3	TENDENCIAS CLIMÁTICAS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA.....	58
6.4	CONCLUSIONES	65
6.4.1	<i>Tendencias del clima medio de precipitación y temperatura</i>	65
6.4.2	<i>Tendencias de indicadores de extremos climáticos de precipitación y temperatura</i>	65
7.	MODELAMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE LA OFERTA DE AGUA	66
7.1	EL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO CON SWAT	66
7.2	EL MARCO METODOLÓGICO ADOPTADO PARA LA MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA CON SWAT	67
7.3	RESULTADOS DEL MODELAMIENTO EN LA CUENCA DEL RÍO OCOÑA	67
7.3.1	<i>Simulación inicial del modelo SWAT</i>	67
7.3.2	<i>Calibración manual del modelo SWAT</i>	68
7.3.3	<i>Análisis de sensibilidad de los principales parámetros del modelo SWAT</i>	68
7.3.4	<i>Calibración semiautomática mediante el algoritmo Sequential Uncertainty Fitting (SUFI2)</i>	69
7.3.5	<i>Simulación a paso de tiempo diario</i>	70
7.3.6	<i>Simulación a paso de tiempo mensual</i>	71
7.3.7	<i>Balance hídrico de la cuenca del río Ocoña</i>	71
7.3.8	<i>Balance hídrico de la cuenca del río Ocoña</i>	72
7.4	RESULTADOS DEL MODELAMIENTO EN LA CUENCA DEL RÍO CAMANA MAJES	75
7.4.1	<i>Simulación inicial del modelo</i>	75
7.4.2	<i>Calibración manual del modelo SWAT</i>	76
7.4.3	<i>Análisis de sensibilidad de los principales parámetros del modelo SWAT</i>	76
7.4.4	<i>Calibración semiautomática mediante el algoritmo Sequential Uncertainty Fitting (SUFI2)</i>	79
7.4.5	<i>Simulación a paso de tiempo diario</i>	79
7.4.6	<i>Simulación a paso de tiempo mensual</i>	80
7.4.7	<i>Balance hídrico de la cuenca del río Camaná Majes</i>	81
7.4.8	<i>Balance hídrico de las subcuencas del río Camaná Majes</i>	81
7.5	CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA PRESENTE EN LA CUENCA DEL RÍO OCOÑA A ESCALA DE SUBCUENCAS.....	84
7.5.1	<i>Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca Pacapausa</i>	85
7.5.2	<i>Caracterización de la oferta hídrica Sub 2 - Intercuenca</i>	86
7.5.3	<i>Caracterización de la oferta hídrica Sub 3 - Subcuenca Pallancata</i>	86
7.5.4	<i>Caracterización de la oferta hídrica Sub 4 - Subcuenca Pacchichaca</i>	87
7.5.5	<i>Caracterización de la oferta hídrica Sub 5- Subcuenca Alto Cotahuasi</i>	87
7.5.6	<i>Caracterización de la oferta hídrica Sub 6 - Subcuenca De Sumana</i>	88
7.5.7	<i>Caracterización de la oferta hídrica Sub 7 – Subcuenca Pampamarca</i>	88
7.5.8	<i>Caracterización de la oferta hídrica Sub 8 - Subcuenca Mirmaca</i>	89
7.5.9	<i>Caracterización de la oferta hídrica Sub 9 - Unidad Hidrográfica 13691</i>	89
7.5.10	<i>Caracterización de la oferta hídrica Sub 10 - Subcuenca Oyolo</i>	90
7.5.11	<i>Caracterización de la oferta hídrica Sub 11 - Subcuenca Parinacochas</i>	90
7.5.12	<i>Caracterización de la oferta hídrica Sub 12 - Subcuenca Maran</i>	90
7.5.13	<i>Caracterización de la oferta hídrica Sub 13 - Intercuenca Cotahuasi</i>	91
7.5.14	<i>Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca Chichas</i>	92
7.5.15	<i>Caracterización de la oferta hídrica Sub 15 - Subcuenca Churunga</i>	92
7.5.16	<i>Caracterización de la oferta hídrica Sub 16 - Subcuenca Chalhuan</i>	93
7.5.17	<i>Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca Esbilla</i>	93

7.5.18	Caracterización de la oferta hídrica Sub 18 - Subcuenca Bajo Churunga	94
7.5.19	Caracterización de la oferta hídrica Sub 19 - Intercuenca Medio Bajo Ocoña.....	94
7.5.20	Caracterización de la oferta hídrica Sub 20 - Subcuenca Bajo Ocoña.....	95
7.6	CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA PRESENTE EN LA CUENCA DEL CAMANA MAJES A ESCALA DE SUBCUENCA	95
7.6.1	Caracterización de la oferta hídrica Sub 1 - Intercuenca Bajo Camana	96
7.6.2	Caracterización de la oferta hídrica Sub 2 - Subcuenca Molles.....	96
7.6.3	Caracterización de la oferta hídrica Sub 3 - Subcuenca Puluvinas	97
7.6.4	Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 4	97
7.6.5	Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 5	98
7.6.6	Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 6	98
7.6.7	Caracterización de la oferta hídrica Sub 7 - Subcuenca Ayo.....	99
7.6.8	Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 8	99
7.6.9	Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 9	100
7.6.10	Caracterización de la oferta hídrica Sub 10 – Subcuenca Capiza.....	100
7.6.11	Caracterización de la oferta hídrica Sub 11 - Intercuenca Colca Camana	101
7.6.12	Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 12.....	101
7.6.13	Caracterización de la oferta hídrica Llapa	102
7.6.14	Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 14.....	102
7.6.15	Caracterización de la oferta hídrica Sub 15 - Subcuenca Medio Colca	103
7.6.16	Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 16.....	103
7.6.17	Caracterización de la oferta hídrica Sub-17 Subcuenca Negrillo	104
7.6.18	Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 18.....	104
7.6.19	Caracterización de la oferta hídrica Sub 19- Intercuenca Medio Alto Colca.....	105
7.6.20	Caracterización de la oferta hídrica Sub 20 - Subcuenca El Pañe Negrillo.....	105
7.6.21	Caracterización de la oferta hídrica Sub21- Subcuenca Condoroma	106
7.6.22	Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 22.....	106
7.6.23	Caracterización de la oferta hídrica Sub 23 - Subcuenca Maquerullo.....	107
7.6.24	Caracterización de la oferta hídrica Sub 24 - Subcuenca Chalhuanca	107
7.6.25	Caracterización de la oferta hídrica Sub 25 - Subcuenca Molloco	108
7.6.26	Caracterización de la oferta hídrica Sub 26 - Subcuenca Andahua.....	108
7.6.27	Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 27.....	109
7.7	CONCLUSIONES	112
8.	ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO	114
8.1	MODELOS GLOBALES Y REGIONALES DE CAMBIO CLIMÁTICO	114
8.1.1	MODELIZACIÓN REGIONAL CON WRF PARA GENERACIÓN DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS EN LA REGIÓN AREQUIPA Y CUENCAS OCOÑA Y CAMANA-MAJES.....	115
8.1.2	MODELIZACIÓN REGIONAL CON WRF PARA GENERACIÓN DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS EN LA REGIÓN AREQUIPA Y CUENCAS OCOÑA Y CAMANA-MAJES.....	118
8.2	ESCENARIOS DE CAMBIOS EN LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA.....	118
8.2.1	Cambios proyectados de precipitación a escala temporal	119
8.2.2	Cambios proyectados de temperatura mínima a escala temporal	119
8.2.3	Cambios proyectados de temperatura máxima a escala temporal	119
8.3	ESCENARIOS DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA FUTURA	126
8.3.1	Simulación para el escenario futuro periodo 2011-2065 cuenca del río Camana.....	126
8.4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	128
8.4.1	Conclusiones.....	128
8.4.1.1	Sobre escenarios de cambios en la Precipitación.....	128
8.4.1.2	Sobre escenarios de SPI.....	128
8.4.1.3	Sobre escenarios de disponibilidad hídrica período 2011-2065.....	129
8.4.2	Recomendaciones.....	130

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Tasa de crecimiento promedio anual	12
Tabla 3-1 Red de estaciones meteorológicas	18
Tabla 3-2 red de estaciones hidrológicas	19
Tabla 3-3 Índices de extremos climáticos aplicables para el área de estudio	28
Tabla 4-1 Parametros morfometricos de la cuenca del rio Ocoña.....	32
Tabla 4-2 Parametros morfometricos de las subcuencas que conforman la cuenca del Camana	33
Tabla 5-1 Parámetros estadísticos de la precipitación de la cuenca Ocoña	35
Tabla 5-2 Climatología de la precipitación en unidades hidrográficas de la cuenca Ocoña	37
Tabla 5-3 Parámetros estadísticos de la precipitación de la cuenca Camaná-Majes	38
Tabla 5-4 Climatología de la precipitación en unidades hidrográficas de la cuenca Camaná-Majes ..	40
Tabla 5-5 Climatología de la Temperatura máxima y mínima promedio en la cuenca Ocoña	42
Tabla 5-6 Climatología de la temperatura máxima mensual y anual promedio en unidades hidrográficas de la cuenca Ocoña	45
Tabla 5-7 Climatología de la temperatura mínima promedio mensual y anual en unidades hidrográficas de la cuenca Ocoña	46
Tabla 5-8 Climatología de la Temperatura máxima y mínima promedio en la cuenca Camaná-Majes	47
Tabla 5-9 Climatología de la temperatura máxima en unidades hidrográficas - cuenca Camaná Majes	49
Tabla 5-10 Climatología de la Temperatura mínima en unidades hidrográficas - cuenca Camaná Majes	50
Tabla 5-11 Climatología de la Eto mensual y anual promedio en la cuenca Ocoña	51
Tabla 5-12 Climatología Eto en unidades hidrográficas - cuenca Ocoña	52
Tabla 5-13 Climatología de la Eto mensual y anual promedio en la cuenca Camaná-Majes.....	53
Tabla 5-14 Climatología de la Eto promedio mensual y anual en Unidades Hidrográficas de la cuenca Camaná-Majes.....	54
Tabla 7-1. Valores mínimos y máximos de los parámetros más sensibles. La letra “v” antes de cada parámetro indica que el valor será sustituido entre algún valor del rango establecido.	70
Tabla 7-2. Resumen de estadísticos del periodo de calibración y validación a partir del SUFI2	71
Tabla 7-3. Balance de masa anual del rendimiento hídrico de la cuenca. Q_{surf} , Q_{lat} , Q_{gws} y Q_{gwd} son los aportes de flujo superficial, lateral, del acuífero superficial y del acuífero profundo.....	72
Tabla 7-4. Promedio anual del balance hídrico (periodo 1981 – 2010) de la cuenca del río Ocoña	72
Tabla 7-5. Resumen de Precipitación (R), Evapotranspiración real (ET), Rendimiento hídrico (WYLD), Contribución del flujo base (FB), Flujo superficial (Q_{sup}), Flujo lateral (Q_{lat}), Flujo del acuífero superficial (Q_{gws}) y Flujo del acuífero profundo (Q_{gwd}) para cada subcuenca del modelo SWAT en la cuenca del río Ocoña correspondientes a los promedios multianuales del periodo 1981-2010.	74
Tabla 7-6. Parámetros considerados como constantes y no sujetos al análisis de incertidumbre. Parámetros correspondientes a los embalses en la cuenca Camaná Majes.....	77
Tabla 7-7. Valores de Manning recomendados para canales abiertos (excavados y naturales)	78
Tabla 7-8. Valores mínimos y máximos de los parámetros más sensibles. Valores de los parámetros del modelo SWAT calibrado. En la columna que corresponde al código del parámetro “v” (“r”) indica que el parámetro fue: sustituido por un cierto valor del rango (multiplicado por 1 + cierto valor de cambio relativo).	79

Tabla 7-9. Resumen de estadísticos del periodo de calibración y validación a partir del SUFI2	80
Tabla 7-10 Balance de masa anual del rendimiento hídrico de la cuenca. Q_{surf} , Q_{lat} , Q_{gws} y Q_{gwd} son los aportes de flujo superficial, lateral, del acuífero superficial y del acuífero profundo.	81
Tabla 7-11. Balance hídrico promedio anual (periodo 1981 – 2010) de la cuenca del río Camaná Majes	81
Tabla 7-12 Precipitación (R), Evapotranspiración real (ET), Rendimiento hídrico (WYLD), Contribución del flujo base (FB), Flujo superficial (Q_{sup}), Flujo lateral (Q_{lat}), Flujo del acuífero superficial (Q_{gws}) y Flujo del acuífero profundo (Q_{gwd}) para cada subcuenca del modelo SWAT en la cuenca del río Camaná Majes. Los valores presentados corresponden a los promedios multianuales del periodo 1981-2010.	83
Tabla 7-13. Resumen de los caudales medios mensuales (período 1981-2010) para cada subcuenca considerada en el modelo SWAT de la cuenca del Río Ocoña.	110
Tabla 7-14. Resumen de los caudales medios mensuales (período 1981-2010) para cada subcuenca considerada en el modelo SWAT de la cuenca del Río Camaná Majes. (m^3/s)	111
Tabla 8-1. Resumen de los caudales medios mensuales (período 2011-2065) para cada subcuenca considerada en el modelo SWAT de la cuenca del Río Ocoña.	126
Tabla 8-2. Resumen de los caudales medios mensuales (período 2011-2065) para cada subcuenca considerada en el modelo SWAT de la cuenca del Río Camaná Majes.	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Población con acceso a agua potable, 2007	12
Figura 2-2 Principales embalses en la cuenca Camaná Majes. a) Represa Condoroma, b) El Pañe y c) Dique Los Españoles respectivamente.	17
Figura 2-3 Estación Hidrológica HLG-Sibayo en la cuenca alta del río Colca.....	17
Figura 3-1 Datos climáticos provenientes de registros de estaciones meteorológicas de la red terrena del SENAMHI. Estaciones convencionales consideradas 81 para la ejecución del estudio	20
Figura 3-2 Procesos Control de Calidad de datos y homogenización de series climáticas para estudios de Variabilidad climática y Escenarios de Cambio climático en la región Arequipa. Fuente: SENAMHI-SEDAPAL/DMA-SMN, 2015. Segundo Informe Técnico de SEDAPAL. Actualizado, 2017	25
Figura 3-3 Flujograma del método de interpolación espacial.....	27
Figura 3-4. Flujograma metodológico para la caracterización hidroclimática	30
Figura 4-1. Unidades hidrográficas delimitadas en la cuenca del río Ocoña	31
Figura 4-2. Unidades hidrográficas delimitadas en la cuenca Camaná-Majes.....	33
Figura 5-1 Climatología de la Precipitación mensual en la cuenca Ocoña	35
Figura 5-2 Variación espacial de la precipitación anual en la cuenca Ocoña.....	36
Figura 5-3 Precipitación anual en unidades hidrográficas. En barras color verde el sistema del río Ocoña, en azul el sistema de Cotahuasi y en amarillo el sistema del río Cotahuasi	37
Figura 5-4 Precipitación media mensual y multianual por década en la cuenca Ocoña.....	38
Figura 5-5 Climatología de la Precipitación mensual en la cuenca Camaná-Majes	39
Figura 5-6 Variación espacial de la precipitación anual en la cuenca Camaná-Majes	39
Figura 5-7 Precipitación anual en Unidades Hidrográficas. En barra color verde sistema fluvial del río Camaná y en barra color amarillo del sistema fluvial del río Colca	41
Figura 5-8 Precipitación media mensual y multianual por década en la cuenca Camaná-Majes	42
Figura 5-9 Ciclo anual de la temperatura máxima y mínima promedio mensual en la cuenca Ocoña.	43
Figura 5-10 Variación espacial de la temperatura máxima anual en la cuenca Ocoña.....	44
Figura 5-11 Variación espacial de la temperatura mínima anual en la cuenca Ocoña	44
Figura 5-12 Climatología de la Temperatura máxima promedio anual en unidades hidrográficas de la cuenca Ocoña	45
Figura 5-13 Climatología de la Temperatura mínima promedio anual en unidades hidrográficas de la cuenca Ocoña	46
Figura 5-14 Ciclo anual de la temperatura máxima y mínima media mensual en la cuenca Camaná-majes	47
Figura 5-15 Variación espacial de la temperatura máxima anual en la cuenca Camaná-Majes.....	48
Figura 5-16 Variación espacial de la temperatura mínima anual en la cuenca Camaná Majes.....	48
Figura 5-17 Temperatura máxima en las unidades hidrográficas de la cuenca Camaná-Majes.....	49
Figura 5-18 Temperatura mínima en las diferentes unidades hidrográficas de la cuenca Camaná-Majes.....	51
Figura 5-19 Climatología de la Eto promedio mensual en unidades hidrográficas de la cuenca Ocoña	51
Figura 5-20 Variación espacial de la Eto promedio anual de la cuenca Ocoña.....	52
Figura 5-21 Climatología anual de la Eto en unidades hidrográficas de la cuenca Ocoña.....	53
Figura 5-22 Climatología de la Eto promedio mensual en unidades hidrográficas de la cuenca Camana	53

Figura 5-23 Variación espacial de la Eto promedio anual de la cuenca Camana	54
Figura 5-24 Climatología anual de la Eto en unidades hidrográficas de la cuenca Camaná-Majes	55
Figura 6-1 Tendencias de la precipitación anual en las distintas localidades de la región Arequipa, en negrita indican tendencias significativas.....	59
Figura 6-2 Tendencias de la precipitación anual en las distintas localidades de la región Arequipa, en negrita indican tendencias significativas.....	60
Figura 6-3 Señal de Tendencias de los Días Consecutivos Húmedos (CWD) y Precipitación extrema percentil 95 (R95pTOT) en el periodo anual, en las distintas localidades de la región Arequipa. El color verde gradual indica incremento y marrón gradual reducción; el símbolo x indica que estadísticamente es significativo	60
Figura 6-4 Tendencias de la temperatura máxima anual en las distintas localidades de la región Arequipa, en negrita indican tendencias significativas	61
Figura 6-5 Tendencias de la temperatura máxima anual en las distintas localidades de la región Arequipa, en negrita indican tendencias significativas	62
Figura 6-6 Señal de Tendencia de los Días Cálidos (Tx90) y Días fríos (Tx10p) en el periodo anual, en las distintas localidades de la región Arequipa. El color rojo gradual indica aumento y azul gradual disminución; el símbolo x indica que estadísticamente es significativo	62
Figura 6-7 Tendencias de la temperatura mínima anual en las distintas localidades de la región Arequipa, en negrita indican tendencias significativas	63
Figura 6-8 Tendencias de la temperatura mínima anual en las distintas localidades de la región Arequipa, en negrita indican tendencias significativas	64
Figura 6-9 Señal de Tendencias de las noches cálidas (Tn90) y noches frías (Tn10P) en el periodo anual, en las distintas localidades de la región Arequipa	64
Figura 7-1 Representación del ciclo hidrológico en SWAT	67
Figura 7-2 Flujograma de la metodología para el modelamiento hidrológico con SWAT	67
Figura 7-3 Simulación inicial del modelo SWAT en la estación Puente Ocoña	68
Figura 7-4. Comparativa de los caudales medios diarios simulados respecto al observado. Se indica las métricas de desempeño y la banda de incertidumbre al intervalo de predicción del 95% [995PPU]..	70
Figura 7-5 Comparativa de los caudales medios diarios simulados respecto al observado.	71
Figura 7-6 Distribución espacial a nivel de HRUs de: a) rendimiento hídrico (WYLD en mm) (Izquierda), b) contribución de flujo base (derecha superior) y c) contribución de la escorrentía superficial (derecha inferior).	73
Figura 7-7 Oferta hídrica anual en m ³ /s en cada unidad hidrográfica de la cuenca Ocoña periodo 1981-2010	75
Figura 7-8 Simulación inicial del modelo SWAT con punto de calibración en la estación Huatiapa.....	76
Figura 7-9. Comparativa de los caudales medios diarios simulados respecto al observado. Se indica las métricas de desempeño y la banda de incertidumbre al intervalo de predicción del 95% [995PPU]..	79
Figura 7-10. Comparativa de los caudales medios diarios simulados respecto al observado.	80
Figura 7-11 Distribución espacial a nivel de HRUs de: a) rendimiento hídrico (WYLD en mm) (Izquierda), b) contribución de flujo base (derecha superior) y c) contribución de la escorrentía superficial (derecha inferior).	82
Figura 7-12 Oferta hídrica anual en m ³ /s en cada unidad hidrográfica de la cuenca Camaná-Majes periodo 1981-2010	84
Figura 7-13 Caudal promedio anual en la línea base 1981-2016	85
Figura 7-14 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub1 - Subcuenca Pacapausa	85

Figura 7-15 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 2 - Intercuenca	86
Figura 7-16 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 3 - Subcuenca Pallancata.....	86
Figura 7-17 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 4 - subcuenca Pacchichaca	87
Figura 7-18 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 5 - Subcuenca Alto Cotahuasi.....	87
Figura 7-19 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 6 - Subcuenca De Sumana	88
Figura 7-20 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 7 - Subcuenca Pampamarca	88
Figura 7-21 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 8 - Subcuenca Mirmaca.....	89
Figura 7-22 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 9 - Unidad Hidrográfica 13691	89
Figura 7-23 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 10 - Subcuenca Oyolo.....	90
Figura 7-24 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 11 - Subcuenca Parinacochas.....	90
Figura 7-25 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 12 - Subcuenca Marañón.....	91
Figura 7-26 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 13- Intercuenca Cotahuasi	91
Figura 7-27 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 14 - Subcuenca Chichas	92
Figura 7-28 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 15 - Subcuenca Churunga.....	92
Figura 7-29 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 16 - Subcuenca Chalhuanca	93
Figura 7-30 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 17 - Subcuenca Esbilla	93
Figura 7-31 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 18- Subcuenca Bajo Churunga	94
Figura 7-32 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 19 - Intercuenca Medio Bajo Ocoña...	94
Figura 7-33 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca Bajo Ocoña	95
Figura 7-34 Caudal promedio anual en la línea base 1981-2016.....	95
Figura 7-35 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 1- Intercuenca Bajo Camana	96
Figura 7-36 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 2 - Subcuenca Molles	97
Figura 7-37 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 3 - Subcuenca Puluvinas.....	97
Figura 7-38 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 4.....	98
Figura 7-39 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 5.....	98
Figura 7-40 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 6.....	99
Figura 7-41 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 7 - subcuenca Ayo	99
Figura 7-42 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 8.....	100
Figura 7-43 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 9.....	100
Figura 7-44 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 10 - Subcuenca Capiza.....	101
Figura 7-45 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 11 - Intercuenca Colca Camana.....	101
Figura 7-46 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 12	102
Figura 7-47 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 13 - Subcuenca Llapa.....	102
Figura 7-48 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 14	103
Figura 7-49 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 15 - Subcuenca Medio Colca	103
Figura 7-50 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 16	104
Figura 7-51 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 17 - Subcuenca Negrillo.....	104
Figura 7-52 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 18	105
Figura 7-53 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 19- Intercuenca Medio Alto Colca...	105
Figura 7-54 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 20- Subcuenca El Paño Negrillo.....	106
Figura 7-55 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 21- Subcuenca Condoroma	106
Figura 7-56 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 22	107
Figura 7-57 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 23- Subcuenca Maquerullo	107
Figura 7-58 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 24- Subcuenca Chalhuanca	108
Figura 7-59 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 25 - Subcuenca Molloco	108

Figura 7-60 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 26 - Subcuenca Andahua	109
Figura 7-61 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 27 - Subcuenca 27	109
Figura 8-1 Modelización climática regional con WRF-ARW V4 para generación de escenarios climáticos a escala nacional a resolución espacial de 16 Km y aplicado para la Región Arequipa y cuencas Ocoña y Camana-Majes en el marco del Proyecto Apoyo a la Gestión del Cambio Climático (línea discontinua). Forzantes del modelo regional WRF-ARW V4 datos numéricos del modelo HadGEM2-ES escenario de altas emisiones RCP8.5. Fuente: SENAMHI-SEDAPAL /DMA-SMN, 2015. Actualizada SENAMHI-SMN, 2017	116
Figura 8-2 Metodología para la generación de escenarios de cambio climático.....	117
Figura 8-1 Cambios de la precipitación 2016-2065 relativo a 1981-2005 para los escenarios de altas emisiones (RCP8.5) y moderadas emisiones (RCP4.5) de Gases de Efecto Invernadero, escala anual	120
Figura 8-2 Cambios de la temperatura mínima 2016-2065 relativo a 1981-2005 para los escenarios de altas emisiones (RCP8.5) y moderadas emisiones (RCP4.5) de Gases de Efecto Invernadero, escala anual	121
Figura 8-3 Cambios de la temperatura mínima 2016-2065 relativo a 1981-2005 para los escenarios de altas emisiones (RCP8.5) y moderadas emisiones (RCP4.5) de Gases de Efecto Invernadero, escala anual	122
Figura 8-4 Variacion espacial de los Cambios en la precipitación, temperatura minima y maxima anual en la Region Arequipa	123
Figura 8-5 Variacion espacial de los Cambios en la precipitación, temperatura minima y maxima anual en la cuenca Ocoña	124
Figura 8-6 Variacion espacial de los Cambios en la precipitación, temperatura minima y maxima anual en la cuenca Camana.....	125

ESCENARIOS CLIMÁTICOS Y CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA PRESENTE Y FUTURA EN LAS CUENCA DE LOS RÍOS OCOÑA Y CAMANA MAJES – DE LA REGIÓN AREQUIPA

PRESENTACIÓN

El SENAMHI en el marco del Convenio de cooperación técnica suscrito con Libélula, tiene a su cargo la elaboración del estudio “Escenarios Climáticos y caracterización de la Oferta hídrica presente y futura en las cuencas de los ríos Ocoña y Camaná-Majes de la región Arequipa”; en ese sentido en cumplimiento de los objetivos planteados, el estudio desarrollado provee amplia información hidroclimática de la región de Arequipa así como de las cuencas priorizadas de Ocoña y Camaná-Majes con nivel de detalle a escala de subcuencas. El documento final que se entrega para su revisión ha sido organizado en 02 volúmenes donde se integra resultados de la caracterización del clima y de la disponibilidad hídrica presente y futura en las cuencas de los ríos Ocoña y Camaná-Majes.

El **Volumen I** está constituido por VIII capítulos, ello sintetiza la caracterización de las variables climáticas de precipitación, temperatura del aire y evapotranspiración de referencia, a escala de la región Arequipa y de cuencas, así como el análisis de tendencia y la caracterización de la oferta hídrica presente y futura. La oferta hídrica presente generada fue para el conjunto de 47 unidades hidrográficas delimitadas en las cuencas de los ríos Ocoña (20) y Camaná-Majes (27). El modelo hidrológico utilizado para la generación de los caudales fue el SWAT de enfoque espacial distribuido de paso diario, siendo éste calibrado en los puntos de control de las estaciones hidrométricas de Puente Ocoña y Puente Huatiapa.

La información de entrada al modelo provienen de la base de datos PISCO (Peruvian Interpolation data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations, siglas en Inglés), similar enfoque metodológico se aplicó para clima futuro. Cabe mencionar que el análisis de tendencia presente y futuro, toma en cuenta una longitud de datos mayor a los 30 años, basado en estaciones provenientes de la red de observación del SENAMHI. La caracterización hidroclimática presente y futuro representa el periodo 1981-2010 y 2011-2065 respectivamente. Un enfoque particular de la modelización hidrológica utilizada para la predicción de la oferta de agua futura fue, la inclusión en el modelo SWAT escenarios predictivos del cambio de cobertura de suelos, para lo cual se utilizó imágenes de satélite landsat y algoritmos de redes neuronales para determinar los posibles cambios en la cobertura del suelo para el horizonte climático analizado. En virtud a ello el modelo WSAT estima el Balance Hídrico integral a nivel de subcuencas.

El **Volumen II** muestra la caracterización espacial temática y climática elaborada a nivel de la región Arequipa y cuencas hidrográficas. Los mapas de parámetros morfométricos se ha generado para un total de 47 subcuencas. Los cambios futuros en la precipitación y temperatura del aire son referidos al periodo 2036-2065 con periodo de referencia 1981-2005.

Capítulo I

Introducción, objetivos y alcance

1. Introducción

El SENAMHI en el marco del Convenio suscrito con Libélula, ha elaborado el estudio “Escenarios Climáticos y caracterización de la Oferta hídrica presente y futura en las cuencas de los ríos Ocoña y Camaná-Majes de la región Arequipa”; es así, que está comprendido por dos volúmenes. El **Volumen I** integra resultados de la caracterización del clima y de la disponibilidad hídrica presente y futura en las cuencas de los ríos Ocoña y Camaná-Majes. En el **Volumen II** se muestra los mapas temáticos, parámetros morfométricos y climáticos elaborados a nivel de la región de Arequipa y cuenca del río Ocoña y Camaná-Majes, para el periodo presente y futuro.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo general

- Determinar la caracterización del clima presente y futuro en la región de Arequipa, así como los escenarios de la disponibilidad de agua en las cuencas de los ríos Ocoña y Camaná-Majes basados en proyecciones del clima futuro.

1.1.2 Objetivos específicos

- Describir y caracterizar la variable precipitación a nivel mensual, trimestral y anual en la región Arequipa.
- Describir y caracterizar las variables precipitación, temperatura y evapotranspiración de referencia mensual y anual, a escala de unidades hidrográficas de las cuencas Ocoña y Camaná-Majes.
- Generar caudales mensual y anual a escala de unidades hidrográficas delimitadas en las cuencas de los ríos Ocoña y Camaná-Majes.

1.2 Alcance

En Informe Técnico- Volumen I, corresponde a la caracterización climática presente basado en una climatología de 30 años del periodo 1981-2010. Los datos climáticos e hidrológicos son analizados a escala de tiempo mensual y anual, para la caracterización climática futura corresponde al periodo 2011-2065, el Volumen II muestra la caracterización climática espacial presente para el periodo 1981-2010 y los cambios futuros en la precipitación y temperatura del aire son referidos al periodo 2036-2065 con referencia al periodo base 1981-2005 de alcance regional y unidades hidrográficas.

Capítulo II

Descripción general de la zona de estudio

2. Descripción general de la zona área de estudio

2.1 Región Arequipa

2.1.1 Ubicación geográfica

La región Arequipa tiene una extensión superficial de 63345,39 Km². Su densidad poblacional es de 18.2 hab/km². Cuenta con ocho provincias y ciento nueve distritos. Limita por el norte con los departamentos de Ica, Ayacucho, Apurímac y Cusco; por el este limita con el departamento de Puno y Moquegua, por el oeste y sur limita con el Océano Pacífico.

2.1.2 Demografía

La población total en Arequipa para el año 2007 era de 1 152 303 habitantes; Respecto al censo inmediatamente anterior, efectuado en 1993, en términos absolutos la población aumentó en 235 497 habitantes, lo cual representa un crecimiento promedio anual de 1.6%. Ver Tabla 2-1.

Tabla 2-1 Tasa de crecimiento promedio anual

Area	Crecimiento de la Población Total				Tasa de Crecimiento
	1993	2007	2025	2050	
Nacional	22048356	27412157	34412393	42811228	0.9
Arequipa	916806	1180683	1427001		1.0

Fuente: INEI. Censos Nacionales 2007 - ENEI Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población 1950 – 2050

2.1.3 Indicadores sociales

En Arequipa el porcentaje de población con acceso a agua potable es del 84%, cifra inferior en apenas dos puntos porcentuales de la correspondiente a Lima y superior en quince puntos al promedio nacional. Por área de residencia, en Arequipa existe una amplia diferencia en el acceso a agua potable. En efecto, mientras en el área urbana el 89.4% lo tiene (920 677 personas), en el área rural el porcentaje es de apenas el 23.6% (23 905 personas).

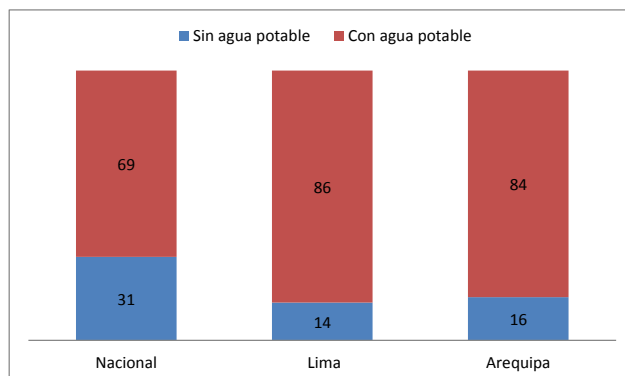


Figura 2-1 Población con acceso a agua potable, 2007

Fuente: INEI Censos Nacionales 2007

2.1.4 Producción agrícola

La actividad agrícola en la región Arequipa está comprendida por los siguientes: alfalfa, arroz, maíz chala, cebolla, papa, frijol grano seco, tuna – cochinilla, ajo, olivo, quinua, trigo y maíz amiláceo. Las zonas altitudinales agrícolas en la región Arequipa se han clasificado como:

- Zona costera, de 15 m.s.n.m. hasta los 1,000 m.s.n.m., corresponde a los valles costeros con irrigación; los cultivos preferentes son: arroz, trigo, menestras, olivo, algodón y caña de azúcar. El clima es variado, cálido con temperaturas entre 12 y 29 grados, con lloviznas menudas que fluctúan de 0 a 50 mm, el viento dominante es el alisios.
-
- Zona alto costera, comprendida entre los 1,000 a 2,000 m.s.n.m., corresponde a pequeños y medianos valles irrigados, con desarrollo agrícola y ganadero intensivo. Con posibilidades de desarrollo agro-industrial. En zona los cultivos preferentes son: alfalfa, hortalizas, cebolla, maíz, páprika, papa, maíz amiláceo, maíz forrajero y kiwicha. Esta zona destaca también por su producción de leche.
- Zona baja serrana, comprendida entre los 2,000 a 3,200 m.s.n.m., corresponde a la campiña arequipeña formada por el Río Chili y otros valles interandinos. En esta zona el clima es seco y muy soleado durante todo el año, con pequeñas excepciones. Los cultivos preferentes son: alfalfa, ajo, cebolla, arveja, zapallo, zanahoria, maíz, papa y cebada. En esta zona predomina la crianza de ganado lechero.
- Zona serrana, comprendida entre los 3,200 a 3,800 m.s.n.m., corresponde a las zonas altas de clima frío y lluvioso que van de 100 a 700 mm al año entre los meses octubre a marzo y con heladas en invierno. Temperatura promedio de 12 grados. Los cultivos principales son: papa, cebada, maíz, habas y alfalfa. Esta zona registra bajos niveles de productividad por no hacer uso de tecnologías modernas.
- Zona alto andina y puna, comprendida entre los 3,200 m.s.n.m. a más, corresponde a las zonas fría y de fuertes heladas en invierno, donde se cría los camélidos, especialmente la alpaca y ganado ovino y vacuno en poca escala. Los cultivos principales son la maca, quinua, cañihua y algunas variedades de papa.

La superficie agrícola total de Arequipa es de 6'334,539 has., de estas solo el 32.2% que corresponde a 2'041,092.50 has., es aprovechable con fines económicos, de ellas 5.75% (117,362.8 has) constituyen superficie agrícola, el 81.11% constituyen pastos naturales y el 13.14% corresponde a montes, bosques y otros. En las zonas altas se da un proceso de desertificación por deforestación y mal uso de los recursos hídricos.

En la actividad agrícola los cultivos de mayor importancia son: alfalfa, arroz, maíz chala, cebolla, papa, frijol grano seco, tuna – cochinilla, ajo, olivo, quinua, trigo, maíz amiláceo. Los rendimientos obtenidos son bajos por efecto de la siembra inoportuna, inadecuada reincorporación de los nutrientes al suelo y la insuficiente o casi nula disponibilidad de agua para riego, con precios en pie de chacra muy bajos, también afectados por el factor climático y eventos extremos de origen hidrometeorológico.

2.1.5 Comercialización y destino de la producción agrícola

La agricultura se ha convertido en una actividad estacionaria que se desarrolla en épocas de lluvia y en épocas de secano, gran parte de la población migra a las ciudades metrópolis más cercana en Perú y el exterior, consecuentemente se obtiene una sola cosecha al año en las zonas altas de las diferentes provincias de la región de Arequipa. La distancia y el mal estado de las vías de comunicación (trochas) hacían el interior de las comunidades, ocasionan al incremento de los precios de los productos agroindustriales y los bajos precios de los productos agropecuarios en las zonas más altas de la región.

Los productores están organizados en las zonas bajas y medias, pero en las zonas altas no están organizados y presentan una débil capacidad de negociación capaz de lograr precios reales a sus productos, mientras los comerciantes están organizados y tienen pleno conocimiento del mercado de la oferta y demanda de la calidad del producto y precios.

El principal canal de comercialización en la región de Arequipa es de productor a intermediario que posibilitan el flujo de productos desde las localidades hasta los consumidores y especulando los precios, puesto que la gran mayoría de las familias producen los alimentos básicos de su canasta familiar, los excedentes son pequeños que son absorbidos y comercializado a los intermediarios minoristas quienes acopian los excedentes en forma permanente, generalmente este proceso se lleva en feria.

Comercialización y mercados, la mayor parte de las familias que se dedican a la agricultura venden sus productos a compradores intermediarios que no pagan precios justos por sus productos agrícolas; estos negociantes compran los productos en diferentes provincias de la región, que a su vez son transportadas a las regiones vecinas tales como Apurímac, Ayacucho, Puno, Ica, Moquegua y Lima.

Los productos agropecuarios que son exportados a través de empresas, principalmente en las provincias de Islay, Caylloma, Condesuyos, La Unión y Caravelí, son la palta, uva, espárragos, aceituna, cebolla, páprika, alcachofa y otros productos orgánicos como el orégano, quinua, kiwicha.

Los principales destinos de las exportaciones arequipeñas son: Estados Unidos, Asia, Brasil, Argentina, Chile. La Unión Europea demanda más productos orgánicos como la quinua y la kiwicha que se produce en La Unión, y orégano en Caylloma y Chiguata (Arequipa).

2.2 Cuenca del río Ocoña

2.2.1 Ubicación geográfica

La cuenca del río Ocoña, pertenece a la Región Hidrográfica del Pacífico y se encuentra ubicada en la zona sur del Perú. Geográficamente se ubica entre los meridianos 72°20' y 74°00' de longitud Oeste, y entre los paralelos 14°15' y 16°30' de Latitud Sur.

Altitudinalmente, se extiende desde los 0 msnm hasta los 6445 msnm (en la cumbre del nevado Coropuna ubicada a 150 km NO de la ciudad de Arequipa, 15°33'S, 72°36'W.), abarca 7 provincias de las regiones de Arequipa (4), Ayacucho (2) y Apurímac (1). Recibe aportes de la cordillera del Huanzo y de altos nevados, entre los que destacan el Coropuna (6445 msnm), Solimana (6095 msnm), Sara Sara (5505 msnm) y el Firura (5500 msnm); que, entre otros, hacen de la cuenca del río Ocoña la segunda en importancia del Perú, por la magnitud de sus masas glaciares y en razón de la descarga

de agua durante la época de estiaje y por el área húmeda que posee como el tamaño de la cuenca, de las áreas de nevados permanentes y lagunas (SENAMHI, 2009).

Políticamente, se encuentra ubicada dentro de los departamentos de Arequipa (provincias de La Unión, Caraveli, Condesuyos y Camaná), Ayacucho (provincias de Parinacochas y Paucar del Sara Sara) y Apurímac (provincias de Aymares).

2.2.2 Producción agrícola

La actividad agrícola en la cuenca Ocoña está comprendida por los siguientes: alfalfa, arroz, maíz chala, cebolla, papa, frijol grano seco, tuna, cochinilla, ajo, olivo, quinua, trigo, maíz amiláceo. Las zonas altitudinales agrícolas en la cuenca se han clasificado como:

- En la zona baja de producción que se puede denominar como “primera zona de producción”, se ubica precisamente en inmediaciones de las Provincias de Camaná y Condesuyos, en altitudes que van desde los 500 a 1500 m.s.n.m. Los cultivos predominantes arroz, trigo, menestras, olivo, algodón y caña de azúcar.
- En la zona media de producción que se puede denominar como “segunda zona de producción”, se ubica precisamente en inmediaciones de las Provincias de Camaná, Condesuyos, Caraveli, La Unión, Paucar Sara Sara, Parinacochas; en altitudes que van desde los 1500 a 3800 m.s.n.m. Los cultivos predominantes alfalfa, hortalizas, cebolla, maíz, páprika, papa, maíz amiláceo, maíz forrajero, kiwicha, ajo, cebolla, arveja, zapallo, zanahoria, habas y cebada.
- En la zona alta de producción que se puede denominar como “tercera zona de producción”, se ubica precisamente en inmediaciones de las Provincias de Condesuyos, La Unión, Paucar Sara Sara, Parinacochas; en altitudes que van desde los 3800 a 4200 m.s.n.m. corresponden a las zonas fría y de fuertes heladas en invierno, Los cultivos predominantes Los cultivos principales son la maca, quinua, cañihua y algunas variedades de papa, forrajes cultivables (cebada forrajera, avena forrajera, pastos asociados) y los pastos naturales a más de 4200 m.s.n.m.

2.2.3 Hidrografía del río Ocoña

La cuenca del río Ocoña se origina en la parte alta de la cadena de montañas nevadas de Chancoña, corresponde a la región del Pacífico, tiene un área total de drenaje hasta su desembocadura de 15 913,2 km², contando con una longitud de cauce principal desde sus nacientes de 165,6 km y una pendiente media de cauce de 0,97%. Su escurrimiento superficial del río Ocoña se origina de las precipitaciones que ocurren en su cuenca alta y, con gran incidencia, de los deshielos de los nevados, cuyos aportes contribuyen a mantener un caudal elevado en época de estiaje; ello hace del río Ocoña uno de los más regulares de nuestra Costa.

Los nevados más importantes son el Solimana, Coropuna, Firura, Sapohuana, Chulluni y Sara Sara. La altura media de la cuenca está en la costa de los 3 600 msnm. El escurrimiento superficial del río Ocoña se debe principalmente a la precipitación estacional que ocurre en su cuenca alta y los deshielos de los nevados haciendo posible que el río Ocoña presente agua incluso en época de estiaje, teniendo un régimen bastante regular.

2.3 Cuenca del río Camana - Majes

2.3.1 Ubicación geográfica

La cuenca del río Camana también pertenece a la región Hidrográfica del Pacífico, se ubica geográficamente entre los paralelos 16° 30' y 16° 40' de latitud Sur y los meridianos 72° 40' y 72° 50' de longitud Oeste de Greenwich.

Altitudinalmente, se extiende desde el nivel del mar hasta la línea divisoria de aguas entre la cuenca del río Camana y la Intercuenca Alto Apurímac y cuencas del río Ramis y río Cabanillas a una altitud aproximada de 4 800 m.s.n.m. Políticamente ocupa las provincias de Camaná, Castilla, Caylloma, Condesuyos y La Unión, todos ellos en el departamento de Arequipa. Además, ocupa el distrito de Condoroma, en la provincia de Espinar del departamento de Cusco; así como el distrito de Santa Lucía, en la provincia de Lampa, del departamento de Puno.

2.3.2 Producción agrícola

La actividad agrícola en la cuenca Camana está comprendida por los siguientes: alfalfa, arroz, maíz chala, cebolla, papa, frijol grano seco, tuna – cochinilla, ajo, olivo, quinua, trigo, maíz amiláceo, haba, arveja, cebada y forrajes. Las zonas altitudinales agrícolas en la cuenca se han clasificado como:

- La zona baja de producción que se puede denominar como “primera zona de producción”, se ubica precisamente en inmediaciones de las Provincias de Camana, Condesuyos, Castilla, Caylloma, en altitudes que van desde los 100 a 1500 m.s.n.m. Los cultivos predominantes arroz, trigo, menestras, olivo, algodón y caña de azúcar.
- La zona media de producción que se puede denominar como “segunda zona de producción”, se ubica precisamente en inmediaciones de las Provincias de Condesuyos, Castilla, Caylloma; en altitudes que van desde los 1500 a 3800 m.s.n.m. Los cultivos predominantes alfalfa, hortalizas, cebolla, maíz, páprika, papa, maíz amiláceo, maíz forrajero, kiwicha, ajo, cebolla, arveja, zapallo, zanahoria, habas y cebada.
- La zona alta de producción que se puede denominar como “tercera zona de producción”, se ubica precisamente en inmediaciones de las Provincias de Condesuyos, Castilla, Caylloma, Espinar y Lampa; en altitudes que van desde los 3800 a 4200 m.s.n.m. corresponden a las zonas fría y de fuertes heladas en invierno, Los cultivos predominantes Los cultivos principales son la maca, quinua, cañihua y algunas variedades de papa, forrajes cebada forrajera, avena forrajera, pastos asociados y los pastos naturales a más de 4200 m.s.n.m.

2.3.3 Hidrografía del río Camana

El río Camaná Majes nace en las alturas de los cerros Yarenate y Torre, con el nombre de Paco Paco, el que conserva hasta la altura de la localidad de Llamiñuyoc; adopta posteriormente, el nombre de río Chilamayo hasta la estación de aforos Dique Los Españoles, luego el nombre de río Colca, hasta la desembocadura del río Andamayo, a continuación el nombre de río Majes, hasta la altura de Palo Parado y finalmente, el de río Camaná, desde este último hasta su desembocadura con el Océano Pacífico (SENAMHI, 2009). El área total de drenaje hasta su desembocadura es de 17 049,51 km², el perímetro de la cuenca es 1 089,64 km, contando con una longitud de cauce principal desde sus nacientes de 272,64 km.

El escurrimiento superficial del río Camana Majes se debe principalmente a la precipitación estacional que ocurre en su cuenca alta.

2.3.4 Infraestructura Hidráulica

La cuenca Camaná Colca Majes, tiene tres reservorios de regulación localizadas en la parte alta de la cuenca. La más importante es la represa Condoroma, la cual sirve como sistema de abastecimiento para las Pampas de Majes, ubicadas en el valle (parte baja) de la cuenca, tal como fue concebido en el proyecto de irrigación Majes Siguan. Los otros dos reservorios (El Pañe y Dique Los Españoles) transvasan sus recursos a la cuenca del río Quilca-Chili. Particulares consideraciones se tuvo en cuenta para la elaboración del modelo de esta cuenca, la más importante es la de considerar el aporte regulado de los caudales salientes de los reservorios. Condoroma aporta al sistema hídrico mientras que las dos represas restantes no, esto fue especificado en la base de los datos de entrada del modelo SWAT de tal manera que existan cero flujos de salida de estas represas y no aporten al flujo del sistema de la cuenca Camaná Majes.

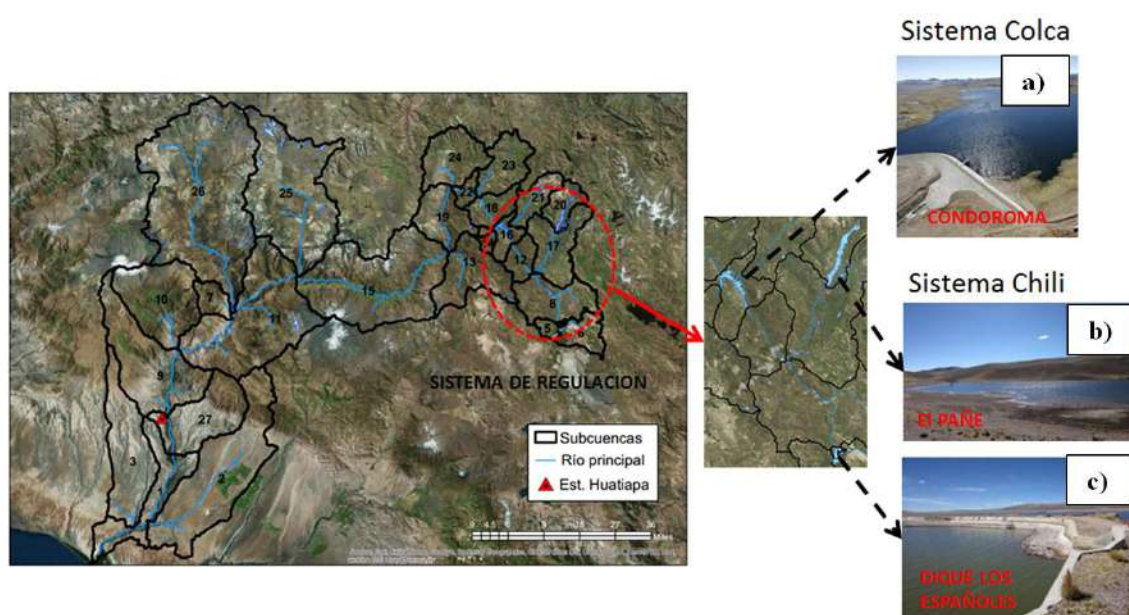


Figura 2-2 Principales embalses en la cuenca Camaná Majes. a) Represa Condoroma, b) El Pañe y c) Dique Los Españoles respectivamente.



Figura 2-3 Estación Hidrológica HLG-Sibayo en la cuenca alta del río Colca

Capítulo III

Datos y Métodos

3. Datos y Métodos

3.1 Datos

3.1.1 Datos hidroclimáticos

La información meteorológica y hidrológica básica utilizada corresponde a la Red Observacional del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrológica del Perú– SENAMHI, en el ámbito del departamento de Arequipa y cuencas Ocoña y Camana Majes. La Información es de escala mensual y las variables analizadas fueron: precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y caudales.

La Tabla 3-1 y 3-2 muestran las características de ubicación geográfica de la red de estaciones meteorológicas e hidrológicas utilizadas para el presente estudio, así como el código con la cual son identificadas.

Tabla 3-1 Red de estaciones meteorológicas

Código	Estación	Longitud (o)	Latitud (o)	Altitud msnm	Pp	Tmax	Tmin	Tmed
114028	Chalhuanca	-73.18	-14.39	3358	x			
114034	Llally	-70.90	-14.95	3980	x			
116023	Omate	-70.98	-16.68	2080	x	x	x	x
117024	Otora	-70.85	-17.01	2550	x			
116021	Puquina	-71.17	-16.63	3284	x			
116049	Quinistaquillas	-70.90	-16.78	1590	x			
114030	Santo Tomas	-72.09	-14.40	3253	x			
100150	Yacango	-70.87	-17.09	2191	x	x	x	x
114032	Yauri	-71.42	-14.82	3927	x			
115085	Andahua	-72.35	-15.49	3927	x			
116014	Aplao	-72.49	-16.07	3528	x	x	x	x
115088	Ayo	-72.27	-15.68	645	x			
115041	Cabanaconde	-71.97	-15.62	1956	x			
116013	Camana	-72.70	-16.61	3379	x			
115018	Caraveli	-73.36	-15.77	23	x	x	x	x
115022	Caylloma	-71.77	-15.18	1758	x			
100022	Chala	-74.24	-15.86	4327	x			
100026	Chaparra	-73.87	-15.75	1140	x			
115078	Chichas	-72.92	-15.54	2120	x			
116020	Chiguata	-71.40	-16.40	2943	x			
115025	Chivay	-71.60	-15.64	3661	x	x	x	x
115089	Choco	-72.12	-15.57	3192	x			
115020	Chuquibamba	-72.65	-15.84	2832	x			
114018	Copara	-74.92	-14.98	620	x			
115015	Coracora	-73.78	-15.02	3172	x	x	x	x
115019	Cotahuasi	-72.89	-15.21	2675	x			
115090	Huambo	-72.10	-15.73	3500	x			
116058	Huanca	-71.88	-16.03	3058	x			
116005	La Joya	-71.92	-16.59	1292	x	x	x	x
116017	La Pampilla	-71.52	-16.40	2400	x			
115076	Lampa	-73.36	-15.19	3192	x	x	x	x

Código	Estación	Longitud (o)	Latitud (o)	Altitud msnm	Pp	Tmax	Tmin	Tmed
116046	Las Salinas	-71.15	-16.32	4322	x			
115136	Lomas	-74.83	-15.57	35	x			
114072	Lucanas	-74.24	-14.63	3375	x			
115129	Machahuay	-72.50	-15.65	3150	x			
115092	Madrigal	-71.81	-15.62	3262	x			
100089	Mollendo	-72.02	-17.03	13	x			
115086	Orcopampa	-72.34	-15.26	3801	x			
114021	Palpa	-75.19	-14.54	300	x			
116043	Pampa de Arrieros	-71.59	-16.06	3715	x			
116006	Pampa de Majes	-72.21	-16.33	1434	x	x	x	x
114026	Pampa Galeras	-74.40	-14.67	3950	x			
115021	Pampacolca	-72.57	-15.71	2950	x			
115017	Pauza	-73.36	-15.29	2652	x			
115126	Pillones	-71.22	-15.98	4431	x			
115101	Porpera	-71.32	-15.35	4152	x			
115082	Puica	-72.67	-15.07	3661	x			
115084	Pullhuay (Ayahuasi)	-72.77	-15.15	3113	x			
116011	Punta Atico	-73.69	-16.23	20	x	x	x	x
114023	Puquio	-74.14	-14.71	2977	x	x	x	x
115024	Sibayo	-71.45	-15.49	3827	x	x	x	x
115098	Tisco	-71.45	-15.35	4175	x			
100142	Ubinas	-70.86	-16.38	3491	x	x	x	x
117006	La Haciendita	-71.59	-17.00	360	x			
115023	La Angostura	-71.65	-15.18	4256	x	x	x	x
115029	Imata	-71.09	-15.84	4445	x	x	x	x
156225	Ingenio	-74.96	-14.63	700	x			
000864	Yanaquihua	-72.88	-15.78	3130	x			
000801	Salamanca	-72.83	-15.50	3303	x			
000837	Pampa Blanca	-71.72	-17.07	100	x	x	x	x
000806	Moquegua	-70.93	-17.18	1420	x			
158314	Tumilaca	-70.83	-17.13	1950	x			
000839	La Pampilla	-71.45	-16.47	2400	x	x	x	x
000799	Huasacache	-71.55	-16.47	2242	x			
157328	Sumbay	-71.35	-15.98	4172	x			
000803	Crucero Alto	-70.91	-15.78	4470	x			
157312	Chachas	-72.26	-15.51	3055	x			
157305	Chinchayllapa	-72.73	-14.92	4100	x			
000849	El Frayle	-71.19	-16.08	4060		x	x	x

Tabla 3-2 red de estaciones hidrológicas

Estación	Tipo	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)
Puente Ocoña	Limnimétrica	-16°25'48.0"	-73°6'36.0"	23
Huatiapa	Limnimétrica	- 15°59'41.0"	- 72°28'13.0"	699

Para determinar las tendencias de precipitación y temperatura y sus niveles de significancia a escala anual y estacional en la Región Arequipa y en las cuencas de interés, se han seleccionado 81 estaciones meteorológicas convencionales del SENAMHI ubicadas en la región de estudio y en zonas vecinas (Figura 3-1), con registros de series diarias históricas, continuas, de buena calidad, comprendidas en el periodo de 1964-2016, teniendo en cuenta la necesidad de detectar cambios del clima en un período mayor a 30 años.

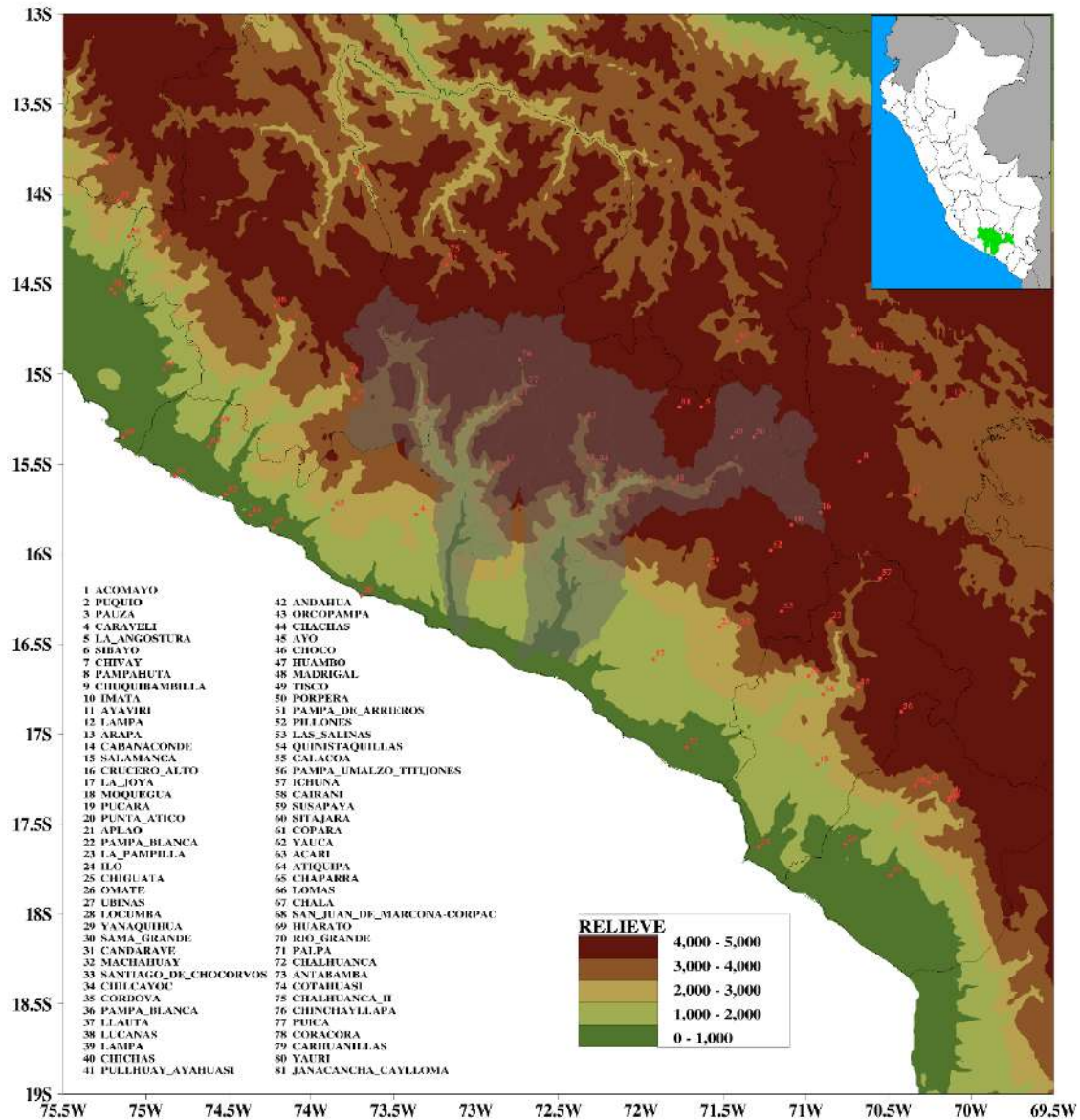


Figura 3-1 Datos climáticos provenientes de registros de estaciones meteorológicas de la red terrena del SENAMHI. Estaciones convencionales consideradas 81 para la ejecución del estudio

3.1.2 Información cartográfica

- Información vectorial de límites de división política, curvas de nivel, ríos, lagunas, nevados provenientes de las cartas nacionales del Perú a escala 1/100000 elaborado por el Instituto Geográfico Nacional – IGN.

- El límite de las macro unidades hidrográficas se utilizarán las delimitadas por la Autoridad Nacional del Agua - ANA.
- Cobertura vectorial de zonas de vida elaborada en el marco del Estudio del PLANGRACC y clasificación climática del Perú (SENAMHI, 1994).
- Modelo digital de elevación del terreno de 90 m de resolución del producto satelital SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de la NASA.

3.2 Métodos

La metodología aplicada en el presente estudio tiene dos grandes componentes:

- Fase de campo, es la etapa donde se realiza el reconocimiento de la cuenca y sus principales obras de almacenamiento para fines del modelamiento hidrológico, así como actividades de aforos de comprobación.
- Fase de gabinete, comprende el desarrollo de etapas secuenciales de procesamiento y análisis de la información física e hidroclicmatica del área de estudio. Las etapas son:
 - Etapla 1. Determinación de parámetros morfométricos,
 - Etapla 2. Tratamiento de datos hidrometeorológicos,
 - Etapla 3. Interpolación espacial y elaboración de mapas hidroclicmáticos,
 - Etapla 4. Generación de caudales y
 - Etapla 5. Generación de escenarios cambio climatico

3.2.1 Fase de Campo

En esta Fase aprovechó la comisión de servicio de profesionales del SENAMHI que realizaron en el mes de junio la evaluación de campo de las estaciones meteorológicas e hidrológicas que fueron impactadas por el Niño costero del 2017. En esta etapa se pudo recoger información hidrológica relevante del sistema de almacenamiento de las represas existentes en la cuenca del río Camaná-Majes que administra el Proyecto Autoridad Autónoma de Majes – AUTODEMA. Dicha información hidrológica fue clave para realizar el modelamiento matemático de esta cuenca.

3.2.2 Fase de Gabinete

3.2.2.1 Etapa 1. Cálculo de parámetros morfométrico

Las características físicas de una cuenca desempeñan un papel esencial en la respuesta hidrológica. Recíprocamente, el carácter hidrológico de la misma contribuye considerablemente a formar sus características físicas. La unidad de análisis para definir los parámetros en adelante se ha denominado Subcuenca.

El proceso de delimitación de unidades hidrográficas se desarrolló con información del modelo de elevación digital (DEM) de 90 m. Se han delimitado bajo el soporte del programa Arc Hydro, siendo ello una herramienta de análisis hidrológico desarrollado por Centro de Investigaciones en Recursos de Agua (CRWR) de la Universidad de Texas, de los EE.UU. Su distribución es gratuita En <http://www.crrw.utexas.edu/archydrotools/tools.html>.

El Archydro utiliza un Modelo digital de elevación para delimitación automática de cuencas hidrográficas y de la red de drenaje. Además esta herramienta posee la capacidad de administrar una base de datos geográfica (Geodatabase) que permite integrar los diferentes elementos del sistema hidrológico de la cuenca, que lo diferencia de otros modelos que realizan similares tareas como Hec

GeoHms muy utilizado en el análisis hidrológico en entorno de sistemas de información geográfica - Arc Gis 10.3.

A continuación se presenta los procesos realizados en Archydro para la delimitación de cuencas y se ilustra en forma secuencial para un mejor entendimiento de los geoprocetos:

- Preprocesamiento del Terreno (TerrainPreprocessing)

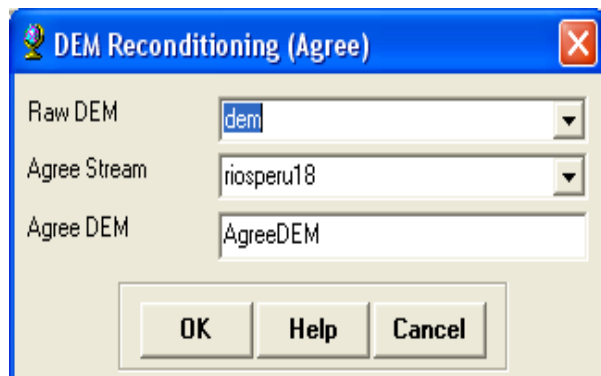
El preprocesamiento del terreno utiliza al DEM para identificar la superficie de drenaje. Una vez que se haya preprocesado, el DEM y sus derivados se puedan utilizar para la generación eficiente de la red de drenaje y la delimitación de la cuenca. Todos los pasos del preprocesamiento del terreno, se deben realizar en orden secuencial.

Reacondicionamiento del DEM (modelo de elevación digital) y llenado de vacíos en la grilla, no se pueden requerir, dependiendo de la calidad del DEM inicial.



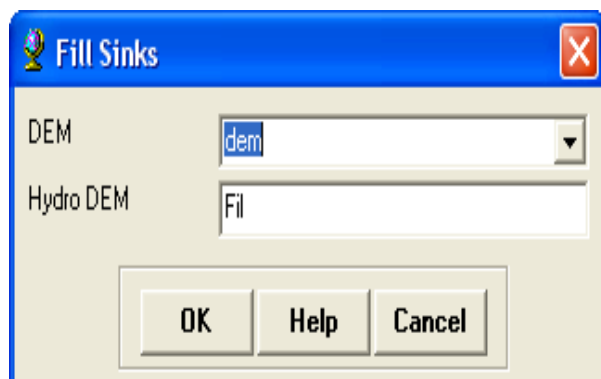
- DEM Reconditioning

Modifica el DEM por imposición de un elemento vectorial lineal. Esta función necesita como datos de entrada el DEM y una figura de clase lineal (rio) ambos deben estar presentes en el documento del mapa.



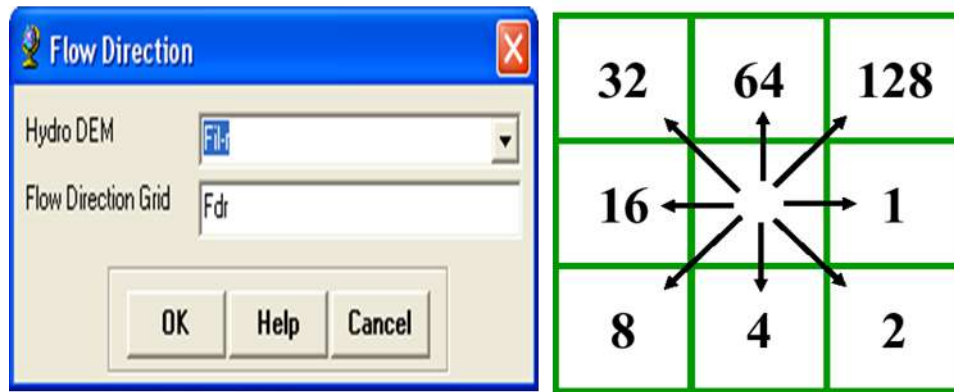
- FillSinks

Esta función que llena los vacíos en la grilla. Si una celda es rodeada por las celdas con una elevación más alta, el agua se atrapa en la celda y no puede fluir. Esta función Fill Sinks modifica el valor de la elevación para eliminar estos problemas.



- FlowDirection

Esta función calcula la dirección del flujo para una celda dada. Los valores en las celdas de la grilla dan la dirección del flujo, indica la dirección de la pendiente más escarpada de esa celda.



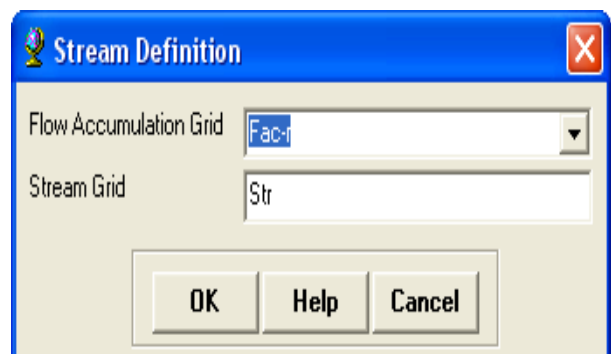
- Flow Accumulation

Muestra la función que calcula la acumulación del flujo en una grilla que contiene un número acumulado de celdas contra la corriente de una celda, para cada celda que este en la grilla de entrada.



- StreamDefinition

Calcula una grilla de la corriente que contiene un valor de "1" para todas las celdas en la celda de la acumulación del flujo de la entrada que tienen un valor más grande que el umbral dado. El resto de las celdas en la grilla de la corriente no contienen ningún dato. Un valor por defecto se exhibe para el umbral del río.



Este valor representa el 1% de la acumulación máxima del flujo: es el umbral recomendado para la determinación la corriente. Sin embargo, cualquier otro valor del umbral puede ser seleccionado. Un umbral más pequeño resultará en una red más densa de la corriente y generalmente en un número más grande de cuencas delineado.

- Stream Segmentation

Esta función, crea una grilla de los segmentos de la corriente que tienen una identificación única. O un segmento puede ser un segmento principal, o puede ser definido como segmento entre dos ensambladuras del segmento. Todas las células, en un segmento particular, tienen el mismo



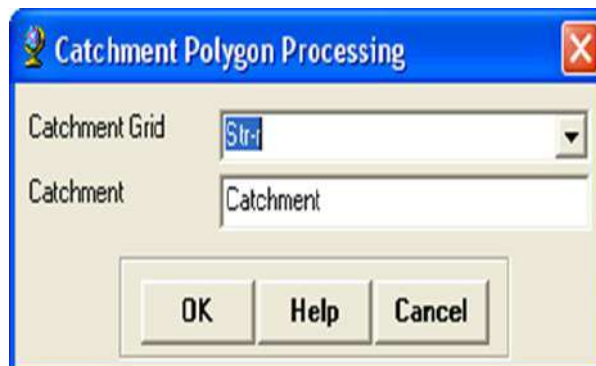
código de la grilla que se especificó a ese segmento.

Catchment Polygon Processing

Delinea las áreas de captación en formato “vector”.

- Drainage Line Processing

Esta función, convierte el Stream Link en un elemento vectorial lineal en la línea de drenaje. Cada línea del nuevo elemento, está identificado con el código de la cuenca que reside.



3.2.2.2 Etapa 2. Control de calidad de datos

Se ha seleccionado estaciones meteorológicas que contengan datos de buena calidad y como máximo 20 % de información perdida o faltante.

El tratamiento de los datos climáticos considera dos fases, en la primera los datos fueron controlados de forma básica y automática, luego semiautomática a través del software rclimindex y complementada con la revisión manual de planillas y el uso modelos conceptuales meteorológicos-climáticos. La segunda fase consistió en la aplicación del software Homer para obtener las series homogenizadas de temperatura en la cual fue relevante la información de metadata, aunque esta información fue escasa. La información de metadata permitió una mejor interpretación de los datos, en la verificación de saltos o quiebres de la serie temporal climática, en la detección de errores y en la corrección de datos; también permitió discernir acerca de los sesgos no relacionados con la meteorología y el clima, es decir si los cambios en la serie temporal obedecen a factores naturales/reales o caso contrario. En consecuencia, la serie climática homogenizada fue aquella cuyas variaciones están causadas únicamente por variaciones del clima y filtró con Homer aquellas series afectadas por factores distintos al clima que inducen muchas veces a la aparición de quiebres en las series de datos climáticas locales que pueden sobre o subestimar la razón de cambio en el tiempo cuando se quiere hallar las tendencias e indicadores de extremos climáticos incorporando incertidumbre, Figura 3-2.

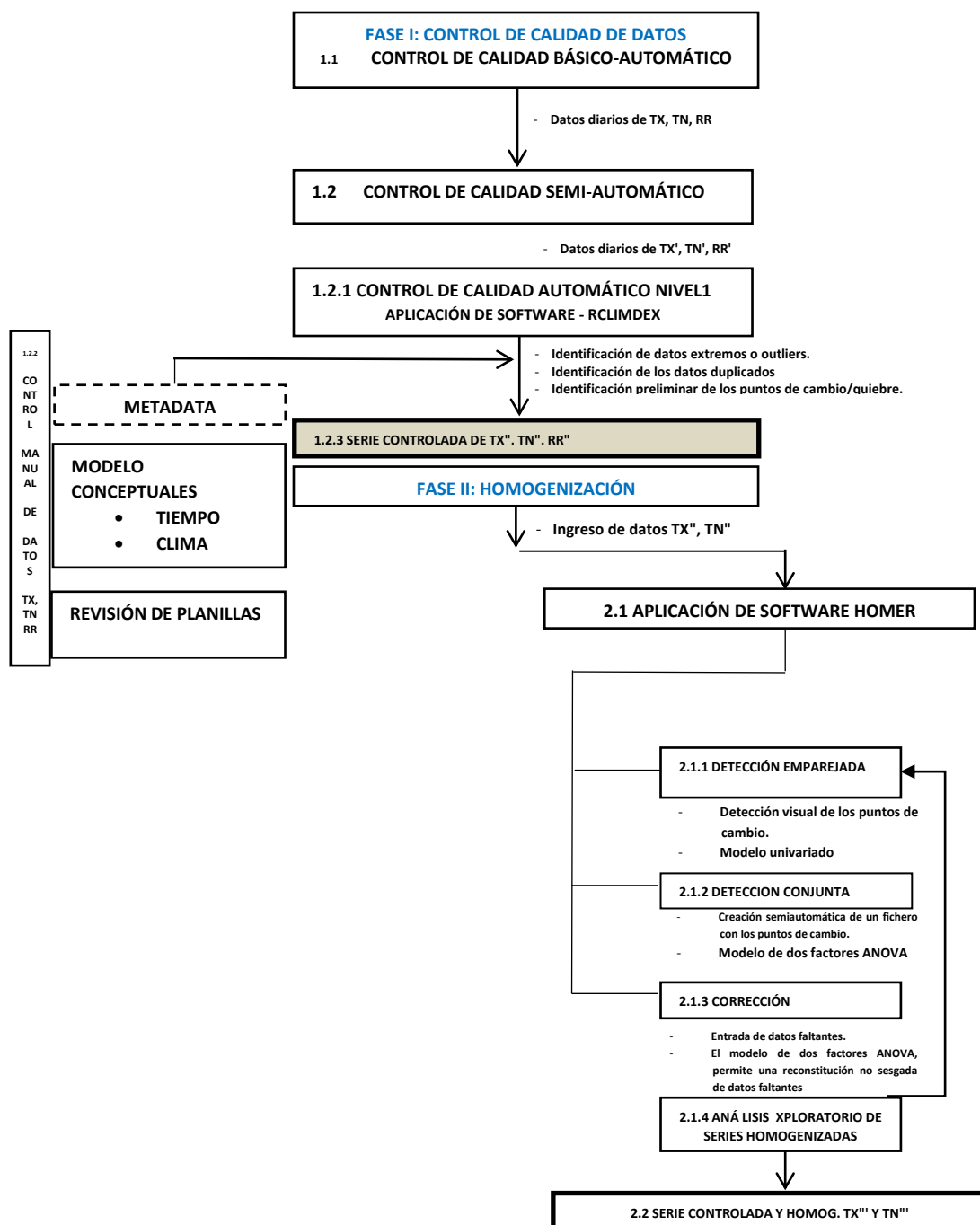


Figura 3-2 Procesos Control de Calidad de datos y homogenización de series climáticas para estudios de Variabilidad climática y Escenarios de Cambio climático en la región Arequipa. Fuente: SENAMHI-SEDAPAL/DMA-SMN, 2015. Segundo Informe Técnico de SEDAPAL. Actualizado, 2017

- Completación y extensión de datos faltantes

Para la completación y extensión de datos faltantes de escala mensual se realizaron los procedimientos siguientes:

En caso de ausencia de un dato pluviométrico mensual (n) de una estación, se utilizó como criterio estadístico de la media entre el modulo del mes n-1 y n+1. Asimismo, en el caso de ausencia de dos

datos mensuales consecutivos (m y $m+1$) se utilizó la media ponderada dando un peso mayor al módulo conocido es: $m = (2 \cdot m-1 + m+1)/3$ y para el $m+1 = (2 \cdot (m+2) + m)/3$, siendo “ n y m ” la posición de la variable. Para generar el módulo anual se ha utilizado el método de Vector Regional y regresión lineal, el primero considerado para la ausencia de 3 a 9 datos mensuales ausentes en un año y el segundo considerado para la ausencia de los 12 datos mensuales ausentes en un año, cabe mencionar que para este último se seleccionó el mejor índice de correlación. Los valores medios mensuales se obtuvieron mediante el Método de fragmentos obtenidos de los mismos registros de la estación analizada. Los fragmentos, se obtienen generando los pesos porcentuales (k) de cada uno de los meses respecto a su valor anual, este factor k se obtiene con la siguiente ecuación:

$$k_i = \frac{\bar{x}_i}{\bar{X}}$$

Donde:

k_i : Factor adimensional para cada mes

$\bar{x}_i$: Precipitación promedio multi-anual del mes i

$\bar{X}$: Precipitación promedio multi-anual a nivel anual

Consistenciada la información de precipitación se ha realizado el análisis de tendencias anuales y trimestral de la precipitación se presenta con el objetivo de identificar la existencia de comportamiento creciente, decreciente o estable en las series cronológicas de estaciones, la cual se verifica con el test estadístico de Mann-Kendall y Pendiente de Sen. Es así, que se ha escogido las estaciones con series largas que superen a los 30 años. En el caso de temperatura del aire, no se ha completado la información faltante y dada su consistencia y su cuasi estabilidad, se concluyó su consistencia, basado en ello se ha estimado la evapotranspiración de referencia o potencial (ETP) según lo propuesto por Harvegreaves – Samani, 1985, bajo soporte GIS.

3.2.2.3 Etapa 3. Interpolación espacial y elaboración de cartografía climática

En esta etapa se aplica diferentes algoritmos de interpolación espacial para obtener los mapas climáticos multimensuales de las variables precipitación y temperatura a alta resolución espacial. La metodología consiste predecir la precipitación y temperatura del aire a partir de la relación con la elevación mediante una regresión lineal, los residuos de la regresión se interpola mediante IDW y finalmente la suma de los valores estimados tanto por regresión e interpolación de los residuales, resultan ser los mapas de precipitación y temperatura, ver Figura 3-3.

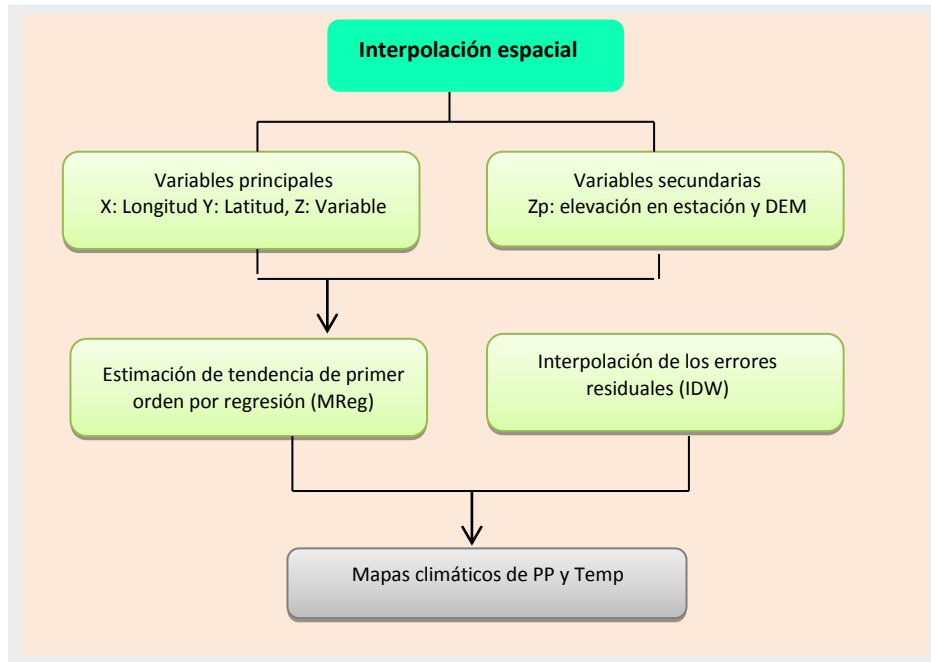


Figura 3-3 Flujograma del método de interpolación espacial
Fuente: Fernandez, C. 2015 adaptado por Acuña, J. 2017

- Análisis de tendencia del clima medio

Para obtener la tasa de cambio de precipitación y temperatura¹ por unidad de tiempo (pendiente) se utilizó la metodología desarrollada por Sen (1968), y la significancia estadística asociada se obtuvo a través de la prueba de Mann-Kendall (Kendall, 1975), al 95% de nivel de confianza. La tendencia lineal se estima utilizando un procedimiento no paramétrico desarrollado por Sen (1968). (Drápela & Drápelová, 2011).

$$f(t) = Qt + B \quad (1)$$

Donde, Q es la pendiente y B es la constante y se calcula con la siguiente ecuación:

$$\frac{x_j - x_k}{j - k}, \quad i=1, 2, \dots, N, \quad j > k \quad (2)$$

Si hay n valores x_j en las series de tiempo, se obtienen estimaciones de pendientes Q_i como $N = n(n-1)/2$. Donde la pendiente de Sen es la mediana de estos N valores de Q_i :

$$Q = \begin{cases} \frac{Q_{N+1}}{2} & \text{Si N es impar} \\ \frac{1}{2} \left(Q_{\frac{N}{2}} + Q_{\frac{N}{2}+1} \right) & \text{Si N es par} \end{cases} \quad (3)$$

El intervalo de confianza 100 (1- α) % alrededor de la pendiente de Sen es estimada con una técnica no paramétrica basada en distribución normal. Este método es válido si “N” es pequeño. El parámetro B, se obtiene despejando la ecuación original (1) de la pendiente de Sen. La mediana de los valores obtenidos, vendría a ser el B estimado. Las estimaciones para la constante B en un 99% y 95% de intervalo de confianza son calculados (Salmi, Määttä, Anttila, Ruoho-Airola, & Amnell, 2002). Se determina la tendencia de la precipitación expresada en porcentaje y la tendencia de la temperatura en °C/década y su nivel de significancia asociada, para todas las estaciones en el área de influencia del estudio.

- Tendencia de índices de extremos climáticos

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), los índices de extremos climáticos son útiles para caracterizar el clima, presentar los patrones climáticos históricos y detectar los cambios producidos en el mismo. Una buena caracterización del clima requiere índices que representen la amplitud, persistencia y frecuencia de los extremos climáticos. Así, según el cuarto informe del IPCC hay una alta probabilidad de que algunos de los extremos climáticos lleguen a ser más frecuentes e intensos durante el siglo XXI (Klein Tank, Zwiers, & Zhang, 2009). Es así que el grupo de expertos en la detección del cambio climático e índices (ETCCDI por sus siglas en inglés) ha definido un total de 27 índices de extremos climáticos relacionados a temperatura y precipitación que describen características particulares de los mismos, incluyendo frecuencia, amplitud, intensidad y persistencia. En Tabla 3-3, se muestra los índices aplicables para el área de estudio y sus definiciones.

Tabla 3-3 Índices de extremos climáticos aplicables para el área de estudio

INDICES	SIGLAS	NOMBRE	DEFINICIÓN	UNID
Temperatura	FDO	Días con heladas	Conteo anual de días en los que TN (temperatura mínima diaria) <0°C	días
	TXx	Valor máximo mensual de la temperatura máxima diaria	Valor máximo mensual de la temperatura máxima diaria	°C
	TNx	Valor máximo mensual de la temperatura mínima diaria	Valor máximo mensual de la temperatura mínima diaria	°C
	TXn	Valor mínimo mensual de la temperatura máxima diaria	Valor mínimo mensual de la temperatura máxima diaria	°C
	TNn	Valor mínimo mensual de la temperatura mínima diaria	Valor mínimo mensual de la temperatura mínima diaria	°C
	TN10p	Noches frías	Porcentaje de días en los que TN<10 ^{mo} percentil	días
	TX10p	Días fríos	Porcentaje de días en los que TX<10 ^{mo} percentil	días
	TN90p	Noches cálidas	Porcentaje de días en los que TN>90 ^{avo} percentil	días
	TX90p	Días cálidos	Porcentaje de días en los que TX>90 ^{avo} percentil	días
	DTR	Rango diurno de temperatura	Diferencia mensual media entre TX y TN	°C
Precipitación	SDII	Índice simple de intensidad diaria	Precipitación total anual dividida entre el número de días húmedos(definidos como PRCP>=1 mm) en un año	mm/día
	CDD	Días secos consecutivos	Máximo número de días consecutivos con RR<1 mm	días
	CWD	Días húmedos consecutivos	Máximo número de días consecutivos con RR>=1 mm	días
	R95p	Días muy húmedos	Total anual de PRCP cuando RR>95 ^{avo} percentil	mm
	R99p	Días extremadamente húmedos	Total anual de PRCP cuando RR>99 ^{avo} percentil	mm
	PRCPTOT	Precipitación total de los días húmedos en un año	Total anual de PRCP en días húmedos (RR>=1mm)	mm

3.2.2.4 Etapa 4. Generación de caudales

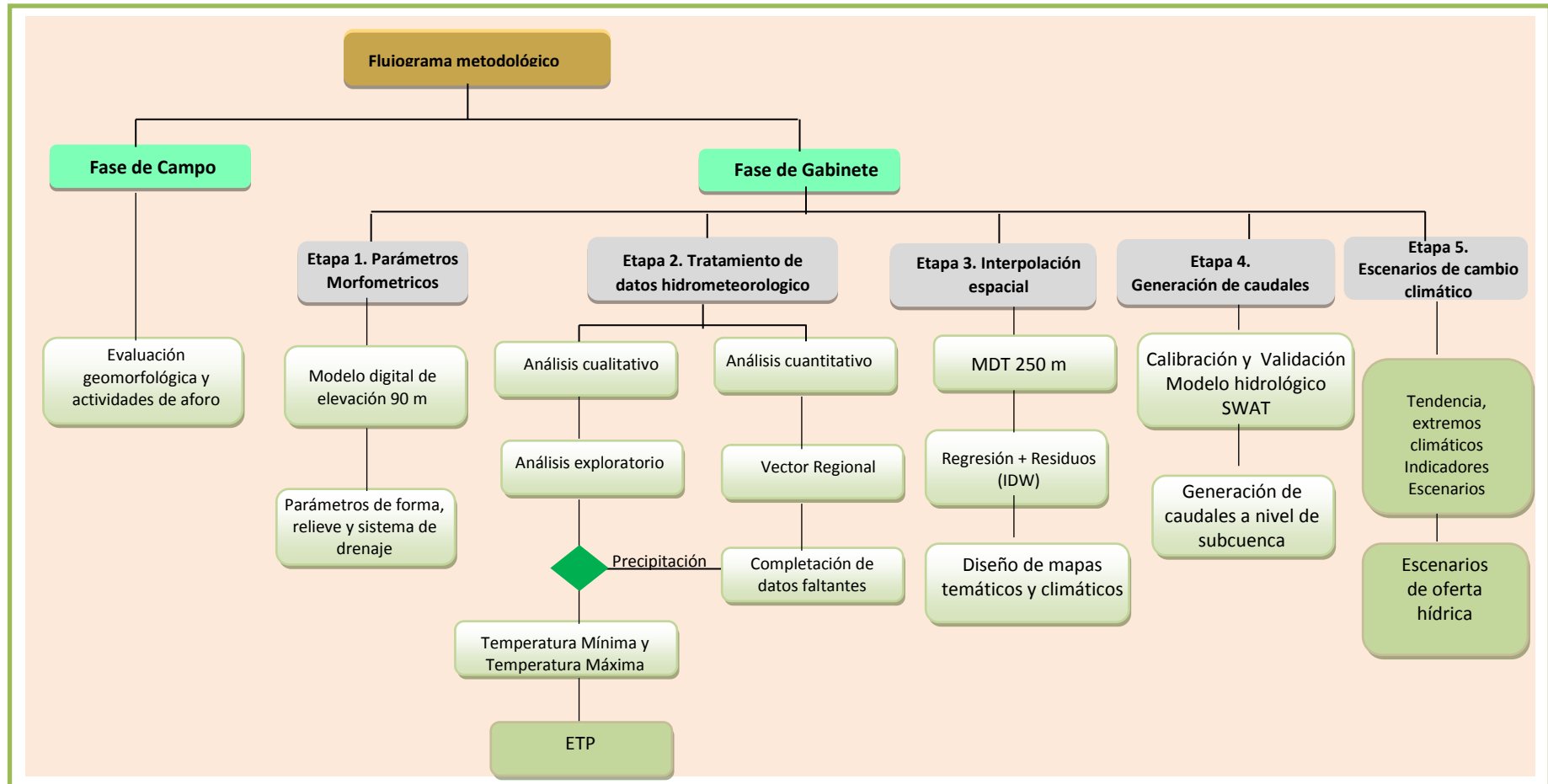
En esta etapa se asimila la información climática generada en los pasos anteriores como dato de entrada para realizar el modelamiento hidrológico de cuencas. Para el presente estudio se ha seleccionado el modelo hidrológico de base física SWAT el cual ha sido calibrado en puntos de control de las estaciones Puente Ocoña (río Ocoña) y Huatiapa (río Camaná-Majes). Por otro lado este modelo tiene la capacidad de simular el balance hídrico integral del sistema hidrológico de la cuenca, visto desde una perspectiva más ecosistémica para analizar la influencia del clima futuro en los principales servicios hidrológicos de las cuencas evaluadas.

3.2.2.5 Etapa 5. Escenarios de Cambio climático

Los procesos metodológicos se detallan en el Capítulo VIII.

La Figura 3-4 muestra el flujograma metodológico del estudio.

Figura 3-4. Flujoograma metodológico



Capítulo IV

Parámetros morfométricos

4. Determinación de parámetros morfométricos

4.1 Delimitación hidrográfica de la cuenca del río Ocoña

La cuenca del río Ocoña comprende una superficie de 16000.8 Km², que se extiende desde los 0 hasta los 6445 msnm (en la cumbre del nevado Coropuna), abarca 7 provincias de las regiones de Arequipa (4), Ayacucho (2) y Apurímac (1). Recibe aportes de la cordillera del Huanzo y de altos nevados, entre los que destacan el Coropuna (6445 msnm), Solimana (6095 msnm), Sara Sara (5505 msnm) y el Firura (5500 msnm); que, entre otros, hacen de la cuenca del río Ocoña la segunda en importancia del Perú, por la magnitud de sus masas glaciares y en razón de la descarga de agua durante la época de estiaje y por el área húmeda que posee (el tamaño de la cuenca, de las áreas de nevados permanentes y lagunas). Sus límites geográficos es por el norte con la cuenca del río Caraveli, Chala, Chaparra, Atico y Yauca; por el sur con la cuenca del río Camana Majes, por el este con la cuenca del río Apurimac y por el oeste con el océano Pacífico.

En la red hidrográfica de la cuenca del río Ocoña, se distingue 3 sistemas fluviales importantes: el río Marán en la margen derecha de la cuenca, el río Cotahuasi en la margen izquierda de la cuenca y el río Ocoña propiamente dicho que se forma por la confluencia de los dos primeros.

La Tabla 4-1 muestra las características morfométricas de las 20 unidades hidrográficas delimitadas para caracterizar la cuenca Ocoña y la Figura 4-1 se observa su distribución espacial.



Figura 4-1. Unidades hidrográficas delimitadas en la cuenca del río Ocoña

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-1 Parametros morfometricos de la cuenca del rio Ocoña

PARAMETROS MORFOMETRICOS DE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA CUENCA OCOÑA						
Unidad Hidrográfica	Area (km ²)	Perimetro (km)	Coficiente compacidad (kc)	Altura Media (msnm)	Longitud Del rio (km)	Pendiente Del rio (%)
Sub 1 Pacapausa	1410.3	261.1	1.9	4295	56.4	2.3
Sub 2 Intercuenca	1.9	10.2	2.0	3312	1.3	5.4
Sub 3 Pallancata	974.4	255.4	2.3	4483	72.1	2.7
Sub 4 Pacchichaca	220.7	103.4	1.9	4088	32.8	4.0
Sub 5 Alto Cotahuasi	1334.0	250.2	1.9	4794	61.7	2.8
Sub 6 De Sumana	773.3	235.5	2.4	4763	61.9	3.4
Sub 7 Pampamarca	655.1	185.0	2.0	4574	54.0	4.6
Sub 8 Mirmaca	1066.7	220.8	1.9	3811	77.3	3.6
Sub 9 Unidad Hidrográfica 13691	717.1	173.8	1.8	3820	51.6	2.5
Sub 10 Oyolo	1057.8	238.3	2.1	4400	66.7	4.8
Sub 11 Parinacochas	556.5	157.8	1.9	3544	20.8	0.0
Sub 12 Maran	942.5	182.4	1.7	3042	45.2	1.4
Sub 13 Intercuenca Cotahuasi	1636.8	332.7	2.3	3786	90.1	1.4
Sub 14 Chichas	1585.2	302.3	2.1	4316	89.0	4.5
Sub 15 Churunga	355.6	187.6	2.8	3516	56.9	7.3
Sub 16 Chalhuan	339.0	176.6	2.7	2818	61.5	6.3
Sub 17 Esbilla	254.5	126.4	2.2	1824	39.2	6.7
Sub 18 Bajo Churunga	116.5	81.6	2.1	1291	14.1	2.8
Sub 19 Intercuenca Medio Bajo Ocoña	1216.2	249.4	2.0	2042	59.0	0.9
Sub 20 Bajo ocoña	786.5	203.9	2.0	1321	58.4	0.7
	16000.8					

4.2 Delimitación hidrográfica de la cuenca del río Camana

La cuenca Camaná, políticamente, forma parte de las provincias de Camaná, Castilla, Cailloma y Condesuyos, del departamento de Arequipa, y cubre en total una extensión de 17 152.8 km². Geográficamente, la cuenca del río Camaná Majes limita por el norte, con las cuencas de los ríos Apurímac y Ocoña; por el sur, con la cuenca del río Quilca y el Océano Pacífico por el Este, con las cuencas de los ríos Tambo y Apurímac y, por el oeste, con la cuenca del río Ocoña. Sus puntos extremos se hallan comprendidos entre los paralelos 14°56' y 16°43' de latitud sur y los meridianos 70°53' y 73°06' de longitud oeste de Greenwich. Altitudinalmente, se extiende desde el nivel del mar hasta la cumbre de la cordillera occidental de los Andes, que constituye la divisoria de las aguas entre la cuenca Camana y cuenca Apurímac. En la red hidrográfica de la cuenca del río Camana, se tiene un río principal del mismo nombre, sobre ello se ha delimitado 27 unidades hidrográficas que se presenta en la Tabla 4-2, y en la Figura 4-2 se observa su distribución espacial.

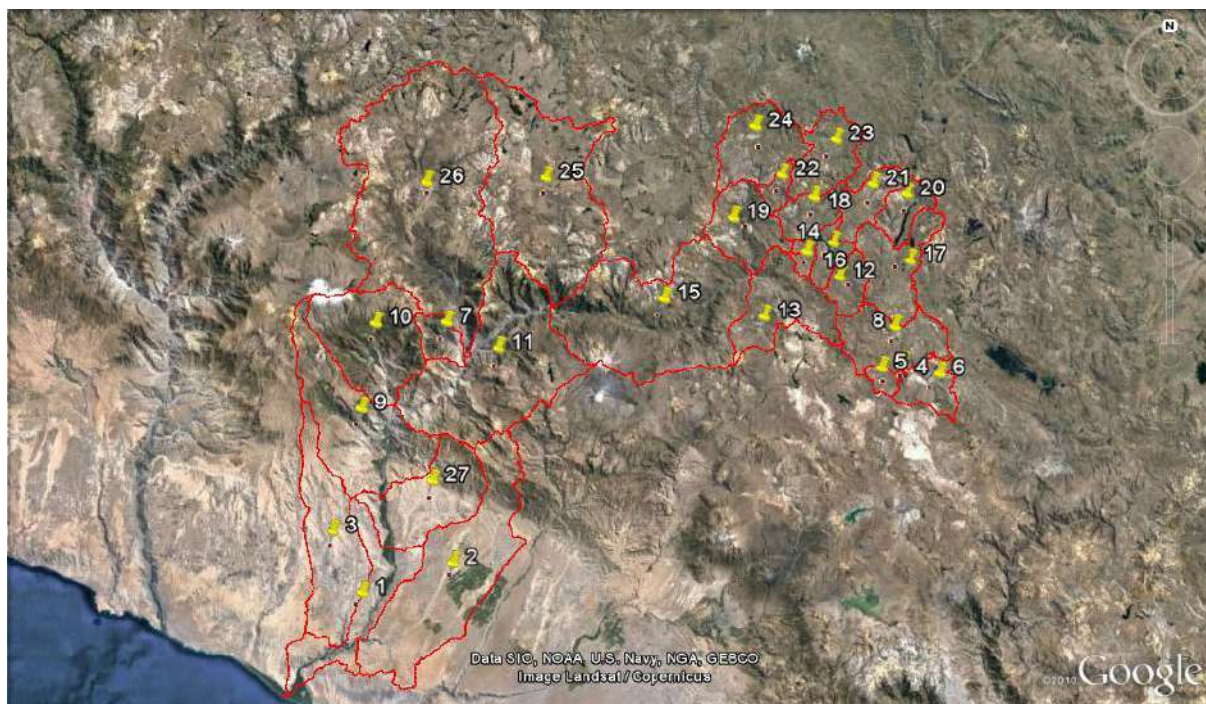


Figura 4-2. Unidades hidrográficas delimitadas en la cuenca Camaná-Majes

Fuente: elaboración propia

Tabla 4-2 Parametros morfometricos de las subcuencas que conforman la cuenca del Camana

PARAMETROS MORFOMETRICOS DE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA CUENCA CAMANA						
Unidad Hidrográfica	Area (km ²)	Perimetro (km)	Coficiente compacidad (kc)	Altura Media (msnm)	Longitud Del rio (km)	Pendiente Del rio (%)
Sub 1 Intercuenca Bajo Camana	593.2	211.2	2.4	843	69.6	0.6
Sub 2 Molles	1465.0	244.7	1.8	1640	77.2	3.8
Sub 3 Puluvinas	840.0	177.1	1.7	1580	73.3	4.5
Sub 4	4.6	16.2	2.1	4454	3.1	0.10
Sub 5	60.5	43.6	1.6	4566	10.9	3.0
Sub 6	217.8	103.6	2.0	4525	24.5	1.4
Sub 7 Ayo	157.7	63.2	1.4	3296	18.0	11.3
Sub 8	468.4	140.9	1.8	4577	42.4	0.3
Sub 9	1052.2	204.2	1.8	2448	48.6	8.5
Sub 10 Capiza	837.3	131.0	1.3	3735	39.8	10.0
Sub 11 Intercuenca Colca Camana	1568.0	219.4	1.6	3447	76.0	1.6
Sub 12	171.1	64.9	1.4	4528	22.0	0.5
Sub 13 Llapa	549.7	138.3	1.7	4430	36.3	3.0
Sub 14	45.4	42.6	1.8	4552	9.8	4.5
Sub 15 Medio colca	1620.8	205.6	1.4	4363	85.1	2.0
Sub 16	154.0	107.5	2.4	4458	11830.1	0.0
Sub 17 Negrillo	450.0	141.8	1.9	4623	44.9	2.0
Sub 18	216.0	82.4	1.6	4502	17.0	1.2
Sub 19 Intercuenca Medio Alto Colca	400.5	95.5	1.3	4403	4.3	0.5
Sub 20 El Pañe Negrillo	196.2	83.2	1.7	4792	19.7	3.4
Sub 21 Condoroma	223.9	96.2	1.8	4568	3.7	2.9
Sub 22	88.5	48.9	1.5	4343	2.0	0.4
Sub 23 Maquerullo	367.2	105.2	1.5	4600	38.7	1.7
Sub 24 Chalhuanca	469.8	106.5	1.4	4460	37.2	2.2
Sub 25 Molloco	1578.1	233.3	1.6	4731	80.4	3.3
sub 26 Andahua	2666.7	299.3	1.6	4433	189.1	1.8
Sub 27	690.3	145.2	1.5	1758	44.3	8.3
	17152.8					

4.3 Conclusiones

En la cuenca del río Ocoña, se han delimitado 20 subcuencas, el de mayor extensión superficial es la Intercuenca Cotahuasi con 1636.8 km² y la menor extensión es la subcuenca 2 (Intercuenca) con 1.9 km².

El coeficiente de compacidad de las subcuencas varían de 1.7 a 2.8 caracterizandole como subcuencas de forma alargada. La altura media media de las subcuencas varían de 1291 a 4794 msnm correspondientes a Bajo Churunga y Alto Cotahuasi.

En la cuenca del río Camana, se han delimitado 27 subcuencas, el de mayor extensión superficial es la Subcuenca Andahua con 2666.7 km² y la menor extensión es la subcuenca 4 con 4.6 km².

El coeficiente de compacidad de las subcuencas varían de 1.3 a 2.4 caracterizandole como subcuencas de forma alargada y concéntricas. La altura media media de las subcuencas varían de 843 a 4792 msnm correspondientes a subcuenca 1 (intercuenca) y la subcuenca El Paño Negrillo (subcuenca 20).

Capítulo V

Caracterización climática y de la oferta hídrica presente de las cuencas de los ríos Ocoña y Camaná Majes

5. Caracterización climática

Basados en los datos climáticos de precipitación y temperatura del aire correspondiente al período 1981-2010 se ha logrado determinar el comportamiento espacio temporal de las variables precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, evapotranspiración de referencia y el balance hídricos superficial a nivel de la cuenca integral y subcuencas principales delimitadas en el ámbito territorial de las cuencas Ocoña y Camaná Majes.

5.1 Climatología de la Precipitación

5.1.1 Climatología de la precipitación en la cuenca del río Ocoña

La precipitación media anual para toda la cuenca alcanza valores de 455.6 mm, la cual se distribuye mensualmente según detalle que se presenta en la Tabla 5-1 y Figura 5-1. Respecto a las precipitaciones estacionales el 65% de la precipitación anual se concentra en el trimestre DEF (diciembre, enero y febrero), mientras que en el trimestre más seco JJA (junio, julio y agosto), la precipitación acumulada representa el 7%. Los valores acumulados de las precipitaciones del trimestre MAM y SON alcanza 399.8 mm y 32.0 mm respectivamente. El mes más lluvioso es febrero y el más seco junio.

Tabla 5-1 Parámetros estadísticos de la precipitación de la cuenca Ocoña

Parámetro	PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA PRECIPITACION - CUENCA OCOÑA												
	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Promedio	6.4	9.7	15.9	49.5	109.8	134.2	93.3	23.4	3.4	2.7	3.0	4.3	455.6
Mediana	2.3	4.9	10.9	44.7	101.1	130.1	80.5	20.7	2.1	0.6	0.3	1.7	399.8
DS	8.8	11.6	17.4	32.4	59.1	75.5	49.3	15.9	3.3	5.6	7.0	9.1	158.3
CV	1.4	1.2	1.1	0.7	0.5	0.6	0.5	0.7	1.0	2.1	2.3	2.1	0.3
máx	33.7	49.8	83.3	129.1	240.4	295.7	225.9	69.3	12.9	29.0	36.9	52.9	777.7
Min	0.0	0.5	0.6	2.1	7.3	9.9	4.9	1.4	0.0	0.0	0.0	0.2	80.7

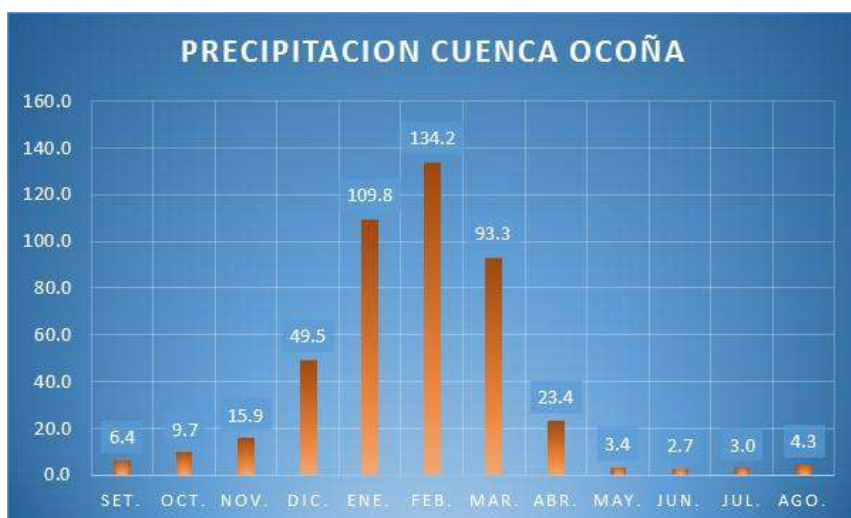


Figura 5-1 Climatología de la Precipitación mensual en la cuenca Ocoña

El comportamiento de la precipitación anual en la cuenca del río Ocoña varía de 0 en la desembocadura con el Océano Pacífico a 905 mm hacia la divisoria de cuenca, el promedio multianual de las precipitaciones presenta valores que superan los 700 mm año⁻¹ en el sector oriental que comprende las partes altas de las provincias Paríncochas y la Unión. En la región centro-occidental de la cuenca, las precipitaciones son del orden del 400-700 mm año⁻¹, tal como se ilustra en la Figura 5-2.

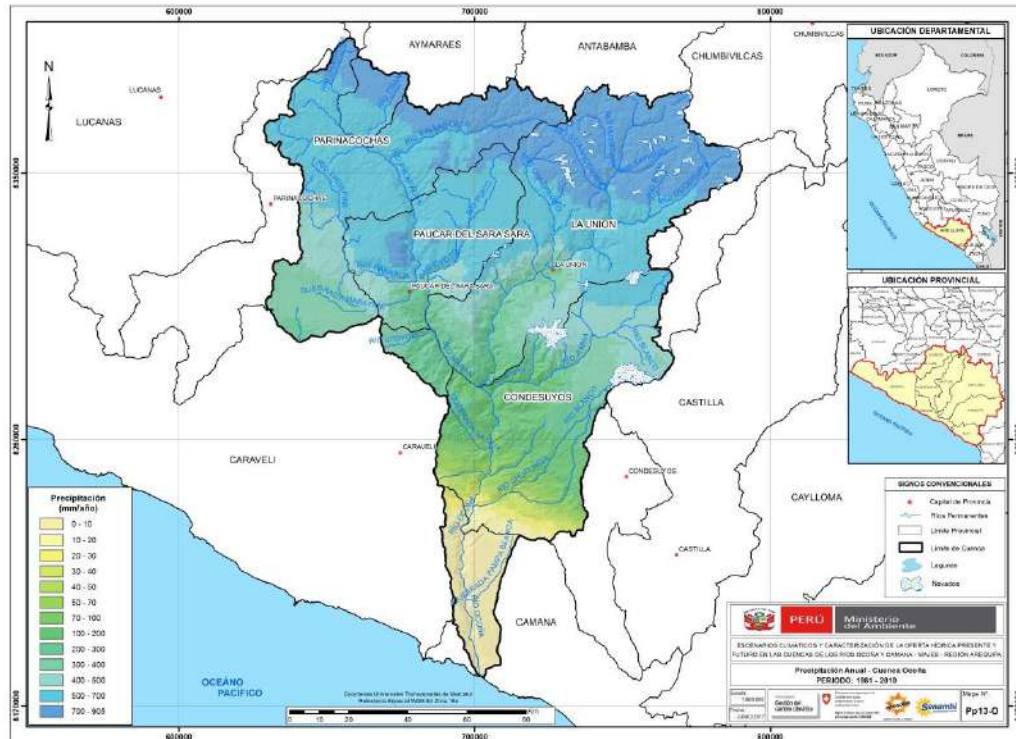


Figura 5-2 Variación espacial de la precipitación anual en la cuenca Ocoña

En años excepcionalmente húmedos (1998-99) la precipitación anual alcanza valores de hasta 778.0 mm, mientras que en años extremadamente secos (1991-92) la precipitación anual se reduce hasta 81.0 mm. Durante Eventos El Niño la precipitación es deficitaria, mientras que en Eventos La Niña, la precipitación excede sus valores normales.

El análisis a nivel de subcuencas ha permitido identificar que la subcuenca del Alto Cotahuasi presenta la mayor precipitación anual con 795.5 mm; en el lado opuesto la menor precipitación anual se da en la Intercuenca del Bajo Ocoña, con apenas 2.5 mm, tal como se presenta en la Tabla 5-2 y Figura 5-3.

En la subcuenca Alto Cotahuasi, en años excepcionalmente húmedos (2011-12), la precipitación anual alcanza los 1319.0 mm, mientras que en años extremadamente secos (1991-92), la precipitación anual disminuye hasta 168.7 mm. El comportamiento de la precipitación en esta subcuenca durante la ocurrencia de Eventos El Niño está asociado a déficit pluviométrico, mientras que Eventos La Niña está asociado a excesos pluviométricos.

En la intercuenca Bajo Ocoña, en años excepcionalmente húmedos (2011-12), la precipitación anual alcanza los 4.3 mm, mientras que en años extremadamente secos (1991-92) la precipitación anual baja hasta 0.5 mm.

Tabla 5-2 Climatología de la precipitación en unidades hidrográficas de la cuenca Ocoña

CLIMATOLOGIA DE LA PRECIPITACION MENSUAL Y ANUAL (mm)													
Unidad Hidrográfica	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Sub 1 Pacapausa	8.1	15.7	24.4	69.6	160.0	184.2	143.0	36.0	5.3	5.5	3.3	6.9	662.0
Sub 2 Intercuenca	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	77.0
Sub 3 Pallancata	10.6	18.9	29.0	77.6	174.4	198.9	156.5	41.6	5.2	6.3	4.2	9.5	732.8
Sub 4 Pacchichaca	8.2	17.3	25.8	66.0	142.8	161.0	124.7	32.8	4.6	6.5	2.8	6.3	598.7
Sub 5 Alto Cotahuasi	14.2	21.8	31.5	84.1	188.6	201.9	171.9	50.7	7.3	5.0	5.4	13.0	795.5
Sub 6 De Sumana	11.3	16.3	27.7	77.3	167.4	186.1	152.1	41.6	5.2	3.7	4.6	8.9	702.2
Sub 7 Pampamarca	9.4	14.7	23.2	65.8	158.4	184.1	144.9	37.3	4.7	4.3	3.9	9.2	660.0
Sub 8 Mirmaca	6.6	13.7	19.9	52.8	116.4	130.9	99.6	25.8	4.3	6.8	2.4	4.9	484.2
Sub 9 Unidad Hidrográfica 13691	11.4	26.5	38.8	81.8	150.2	155.2	123.8	40.1	5.3	7.9	2.7	7.6	651.2
Sub 10 Oyolo	8.5	16.7	25.7	66.0	146.3	169.1	128.5	33.6	4.0	6.8	3.2	7.4	615.8
Sub 11 Parinacochas	5.5	7.7	12.6	33.5	81.7	89.7	70.0	15.5	4.8	5.5	2.6	3.3	332.5
Sub 12 Marán	2.8	5.3	7.8	27.4	68.4	84.7	61.9	13.2	1.7	5.9	1.7	3.1	283.9
Sub 13 Intercuenca Cotahuasi	4.6	7.3	12.9	40.8	106.0	134.3	96.4	20.5	2.1	2.7	2.4	5.0	434.9
Sub 14 Chichas	4.0	5.3	10.3	36.0	97.1	126.7	78.7	15.6	2.0	2.0	2.6	4.0	384.2
Sub 15 Churunga	1.4	1.9	4.2	16.1	52.5	72.6	39.1	5.3	0.7	0.8	1.4	2.1	198.2
Sub 16 Chalhuané	0.8	1.0	2.3	9.0	31.7	43.8	23.2	2.9	0.4	0.4	0.9	1.2	117.8
Sub 17 Esbila	0.4	0.3	0.8	2.4	8.5	11.6	6.3	0.8	0.2	0.2	0.5	0.3	32.2
Sub 18 Bajo Churunga	0.3	0.2	0.7	1.8	5.9	7.9	4.9	0.6	0.1	0.2	0.3	0.3	23.1
Sub 19 Intercuenca Medio Bajo Ocoña	0.7	1.0	2.0	7.9	25.0	34.6	22.1	2.8	0.4	0.6	0.7	1.0	98.8
Sub 20 Bajo Ocoña	0.1	0.0	0.1	0.2	0.6	0.7	0.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	2.5

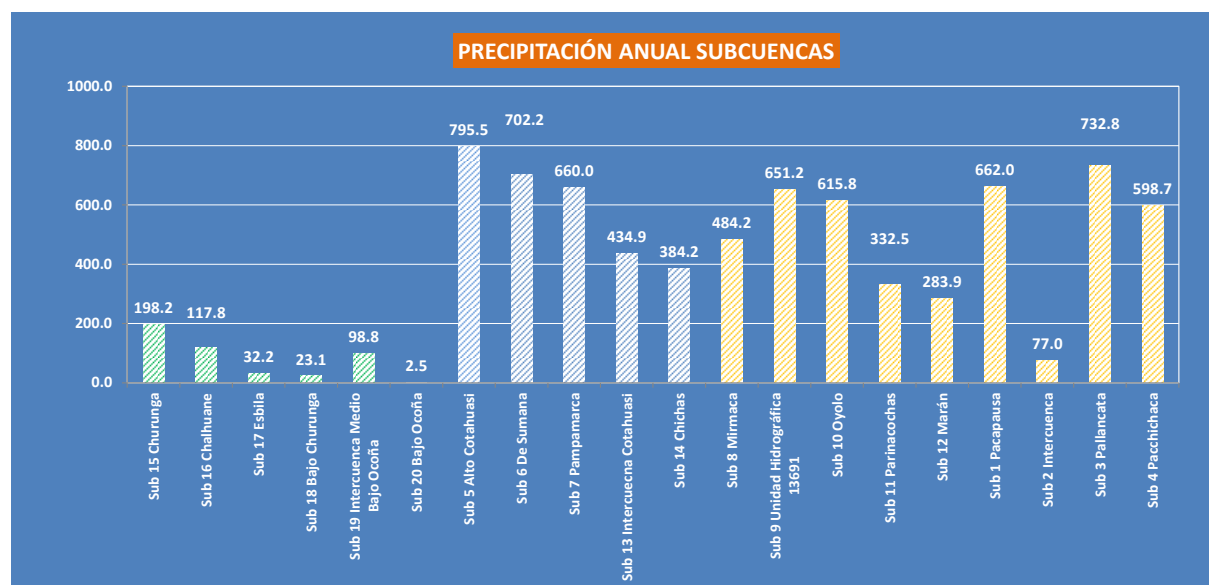


Figura 5-3 Precipitación anual en unidades hidrográficas. En barras color verde el sistema del río Ocoña, en azul el sistema de Cotahuasi y en amarillo el sistema del río Cotahuasi

En el comportamiento decadal de la precipitación media de la cuenca Ocoña, se ha determinado fluctuaciones en los acumulados de la precipitación anual, así tenemos que la década de 2001-2010 se ha caracterizado por ser el período de menor pluviometría de todo el período analizado con un promedio multianual de 422.0 mm; por otro lado la década 1991-2000 es la más húmeda con una precipitación promedio de 520.0 mm. Para el período 2011-2016 se ha observado una precipitación promedio anual de 427.0 mm en 8% inferior a su normal climática (460 mm), tal como se ilustra en la Figura 5-4.

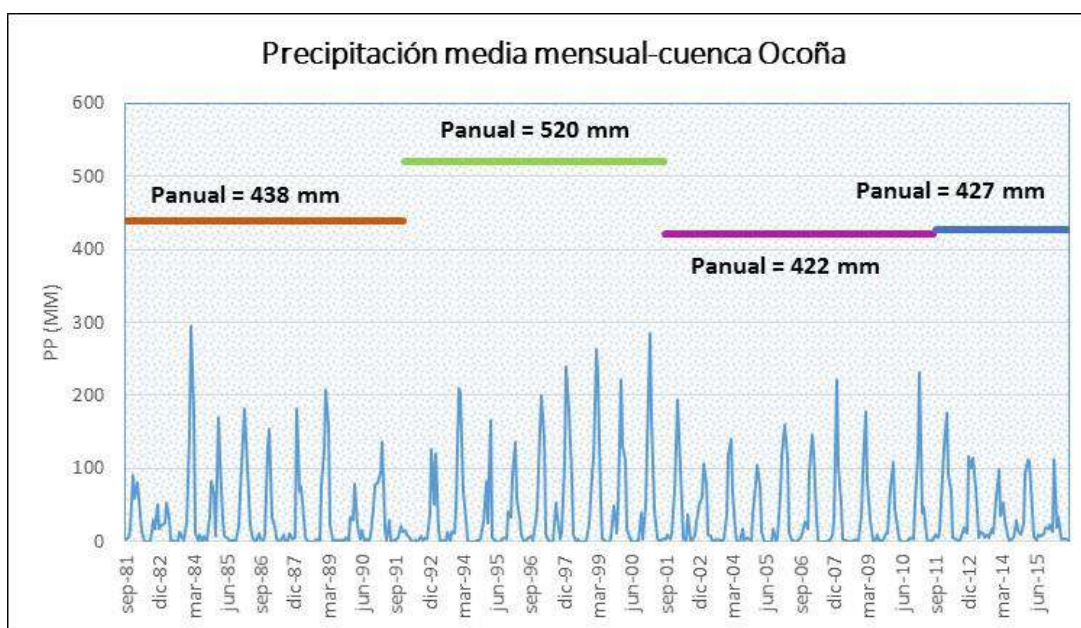


Figura 5-4 Precipitación media mensual y multianual por década en la cuenca Ocoña

5.1.2 Climatología de la Precipitación en la cuenca del río Camaná Majes

La precipitación media anual para toda la cuenca es 404.9 mm para el período 1981-2010, la cual se distribuye mensualmente según detalle que se presenta en la Tabla 5-3 y Figura 5-5. El 63% de la precipitación anual se concentra en el trimestre DEF (diciembre, enero y febrero), mientras que en el trimestre más seco JJA (junio, julio y agosto), la precipitación acumulada representa el 2%. Los valores acumulados de las precipitaciones del trimestre MAM y SON alcanza 105.2 mm y 36.0 mm respectivamente. El mes más lluvioso es febrero y el más seco es junio.

Tabla 5-3 Parámetros estadísticos de la precipitación de la cuenca Camaná-Majes

Parámetro	PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA PRECIPITACION												
	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Promedio	6.2	10.9	18.9	47.1	100.0	107.0	78.5	23.0	3.7	2.6	2.7	4.2	404.9
Mediana	3.7	6.5	12.6	50.4	95.2	114.1	73.5	20.2	3.5	0.8	0.9	1.9	383.2
DS	7.9	11.3	17.9	22.3	43.4	54.2	37.5	13.3	2.7	5.1	5.8	5.8	112.6
CV	1.3	1.0	0.9	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	2.0	2.2	1.4	0.3
máx	38.7	40.5	74.3	92.9	179.8	206.5	163.4	51.9	9.3	22.1	29.3	28.0	612.7
Min	0.1	1.0	1.6	4.3	15.3	24.6	9.6	2.6	0.0	0.0	0.0	0.3	145.1

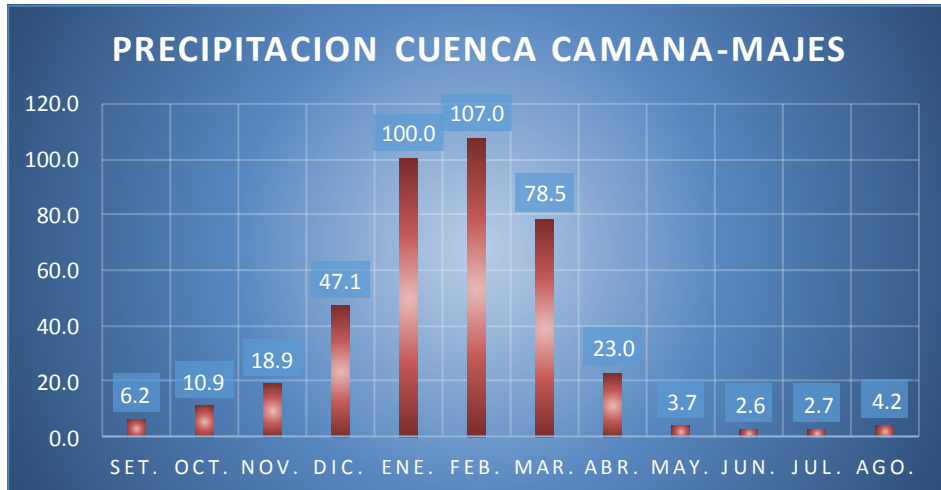


Figura 5-5 Climatología de la Precipitación mensual en la cuenca Camaná-Majes

El comportamiento de la precipitación anual en la cuenca del río Camana varía de 0 en la desembocadura con el Océano Pacífico a 970 mm hacia la divisoria de cuenca, el promedio multianual de las precipitaciones presenta valores que superan los 700 mm año⁻¹ en el sector oriental que comprende las partes altas de las provincias Castilla y Caylloma. En la región centro-occidental de la cuenca, las precipitaciones son del orden del 400-700 mm año⁻¹, del centro hacia la desembocadura con el océano Pacífico varía de 0 a 400 mm año⁻¹, tal como se ilustra en la Figura 5-6.

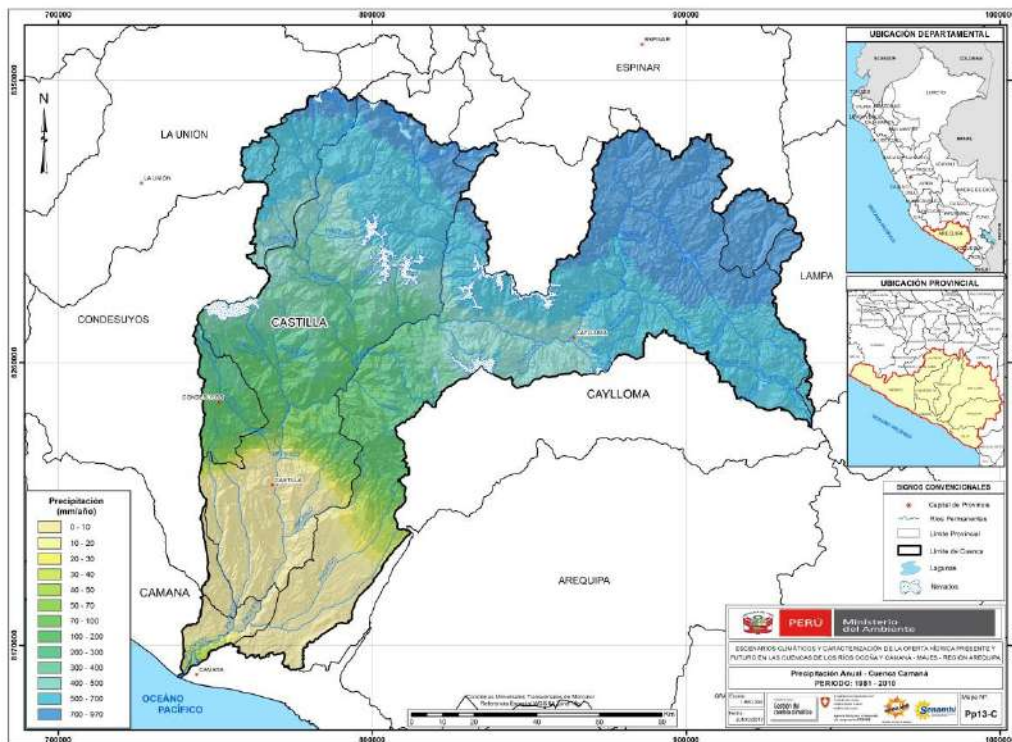


Figura 5-6 Variación espacial de la precipitación anual en la cuenca Camaná-Majes

El año más húmedo en la cuenca para el período 1981-2010, fue el 2000-2001, donde la precipitación anual alcanzó los 613.0 mm; mientras que el año más seco para este mismo período fue 1991-92, con una precipitación anual de 145.0 mm.

En años El Niño, la precipitación está asociada a déficit, mientras que años La Niña se tiene una situación inversa con superávit pluviométrico.

A nivel de subcuencas se ha determinado un amplio rango de variabilidad de la precipitación por subcuenca de acuerdo a su ubicación altitudinal; así tenemos que la Intercuenca Bajo Camaná, ubicada en la zona más baja, la precipitación media alcanza un valor promedio anual de 9.6 mm, mientras que en la subcuenca Maquerullo ubicada a mayor altitud, la precipitación anual es de 889.6 mm, tal como se ilustra en Tabla 5-4 y Figura 5-7.

En subcuencas del sistema fluvial del río Colca, los máximos de precipitación acumulada se presentan en el mes de enero y los mínimos en junio, mientras que en las subcuencas del sistema fluvial del río Camaná los máximos de precipitación se presentan en el mes de febrero y los mínimos en julio.

En subcuencas del sistema fluvial del río Colca, el año más húmedo fue el 2011-12; así tenemos que en la subcuenca Maquerullo, la de mayor pluviometría en la cuenca, la precipitación para ese año fue de 1298.0 mm, valor que representa un exceso de 45% sobre su promedio histórico. Por otro lado el año más seco fue 1991-92, donde la precipitación anual bajó hasta 470.3 mm, que representa una anomalía o deficiencia de -47%, con respecto al promedio histórico.

En subcuencas del sistema fluvial del río Camaná, el año más húmedo fue el 2000-01 como es el caso de la subcuenca Capiza donde la precipitación anual fue de 494.0 mm, valor que representa un exceso de 87% sobre su promedio histórico. El año más seco en esta subcuenca fue el 1991-92 donde la precipitación anual bajó a 27.5 mm, valor que representa un déficit de -90% en relación al promedio histórico.

Tabla 5-4 Climatología de la precipitación en unidades hidrográficas de la cuenca Camaná-Majes

CLIMATOLOGIA DE LA PRECIPITACION MENSUAL Y ANUAL (mm)													
Unidad Hidrográfica	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Sub 1 Intercuenca Bajo Camana	1.4	0.2	1.2	0.6	1.6	1.1	0.6	0.1	0.4	0.4	1.4	0.6	9.6
Sub 2 Molles	0.4	0.3	0.6	2.3	8.3	10.0	6.1	0.8	0.4	0.4	0.6	0.4	30.9
Sub 3 Puluvinas	0.3	0.1	0.3	1.0	4.2	5.5	2.8	0.4	0.1	0.1	0.3	0.1	15.3
Sub 4	6.0	13.9	31.4	67.7	142.1	132.1	108.3	37.0	4.5	3.6	3.2	5.3	555.3
Sub 5	6.1	13.2	30.7	66.6	139.5	132.2	106.7	35.9	4.3	3.3	3.1	5.2	546.9
Sub 6	5.2	15.6	33.9	69.7	145.3	126.5	110.0	39.8	4.9	3.7	3.1	5.3	563.0
Sub 7 Ayo	2.5	2.7	4.2	17.0	52.8	73.4	40.8	5.9	1.7	1.4	1.5	1.3	205.3
Sub 8	7.4	16.4	34.1	74.6	156.8	145.3	119.2	40.6	5.5	4.6	4.0	6.6	615.1
Sub 9	0.9	0.9	1.7	7.9	30.2	40.4	20.8	3.4	0.4	0.4	1.0	0.6	108.5
Sub 10 Capiza	2.5	2.8	6.1	22.0	70.8	93.0	50.1	8.0	1.8	1.4	1.6	1.8	261.8
Sub 11 Intercuenca Colca Camana	2.5	3.7	5.6	23.9	60.6	75.9	49.9	10.2	1.2	1.4	1.6	2.2	238.9
Sub 12	12.2	23.0	39.3	88.3	174.5	164.3	130.6	46.2	8.1	6.0	5.3	9.4	707.2
Sub 13 Llapa	10.6	18.9	32.2	76.0	155.0	146.8	115.9	37.6	5.9	4.8	4.3	8.7	616.6
Sub 14	14.8	27.3	42.6	95.1	180.0	168.1	131.6	49.1	9.9	6.6	6.0	11.2	742.5
Sub 15 Medio colca	8.6	11.9	21.7	60.7	128.4	137.3	103.0	28.3	3.3	3.0	2.9	6.1	515.3
Sub 16	15.5	28.8	44.6	98.4	182.8	171.3	133.6	51.6	11.0	7.1	6.6	11.3	762.6

CLIMATOLOGIA DE LA PRECIPITACION MENSUAL Y ANUAL (mm)													
Unidad Hidrográfica	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Sub 17 Negrillo	12.2	24.4	43.2	94.5	186.2	173.7	140.2	50.1	8.4	6.2	5.4	9.5	753.8
Sub 18	18.6	34.8	50.9	110.4	195.3	183.4	140.4	59.1	14.5	8.7	8.5	13.1	837.8
Sub 19 Intercuenca Medio Alto Colca	14.9	25.8	41.5	91.2	174.1	164.5	132.6	47.2	8.1	5.1	4.6	11.2	720.8
Sub 20 El Pañe Negrillo	15.4	30.4	51.4	110.1	209.0	195.1	156.9	57.8	10.3	7.2	6.1	11.5	861.2
Sub 21 Condorama	17.2	32.8	52.3	112.7	207.8	195.2	154.2	59.0	11.8	7.6	6.9	12.4	869.9
Sub 22	17.2	30.6	47.8	102.5	188.3	178.3	142.5	54.4	10.7	6.4	6.0	12.3	797.0
Sub 23 Maquerullo	18.2	34.6	55.1	116.6	210.1	198.7	157.3	60.3	11.9	7.5	6.6	12.8	889.6
Sub 24 Chalhuanca	17.0	33.0	53.2	113.2	202.7	192.8	155.5	56.5	9.6	6.2	4.9	11.9	856.8
Sub 25 Molloco	9.3	16.1	28.4	74.7	155.2	173.8	125.8	33.9	4.4	3.3	3.3	7.4	635.6
sub 26 Andahua	6.8	11.0	20.8	54.9	120.3	139.2	99.2	25.8	3.7	2.1	3.1	5.6	492.6
Sub 27	0.4	0.3	0.7	2.9	9.0	12.1	6.8	0.9	0.3	0.3	0.6	0.3	34.6

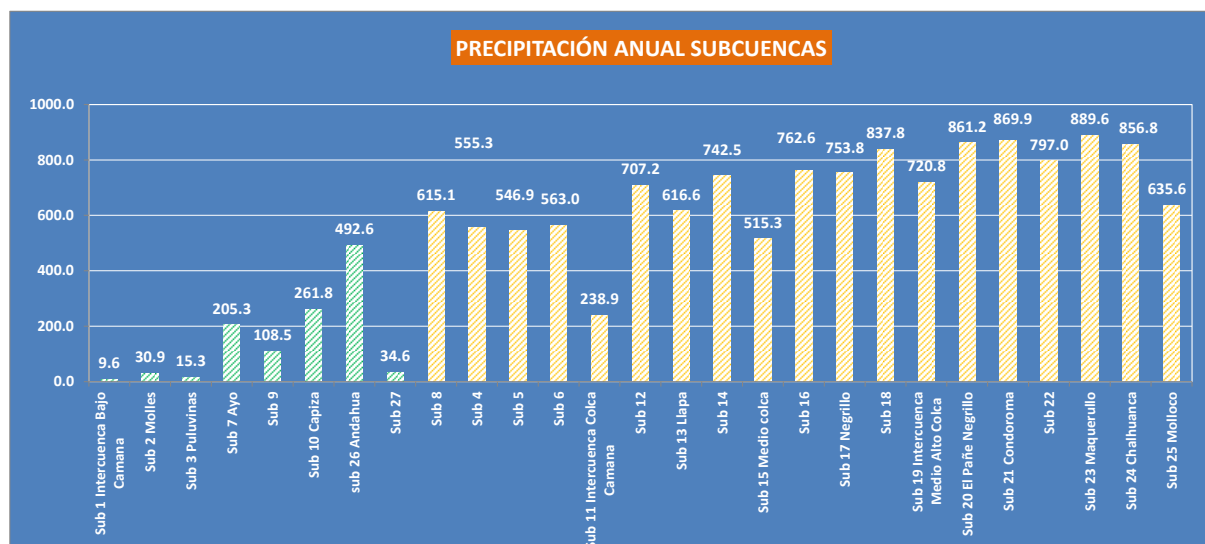


Figura 5-7 Precipitación anual en Unidades Hidrográficas. En barra color verde sistema fluvial del río Camaná y en barra color amarillo del sistema fluvial del río Colca

En el comportamiento decadal de la precipitación media de la cuenca referido al periodo 1981-2016, se ilustra en la Figura 5-8 se ha determinado fluctuaciones en los acumulados de la precipitación, así tenemos que la década de 1981-1990 se ha caracterizado por ser el período de menor pluviometría de todo el período analizado con un promedio multianual de 378.0 mm; por otro lado la década 1991-2000 es la más húmeda con una precipitación promedio de 440.0 mm. Para el período 2011-2016 se ha observado una precipitación promedio anual de 491.0 mm en 20% superior a su normal climática (404 mm), cabe resaltar que en el periodo de estudio los módulos han superado los 200 mm solo en tres ocasiones.

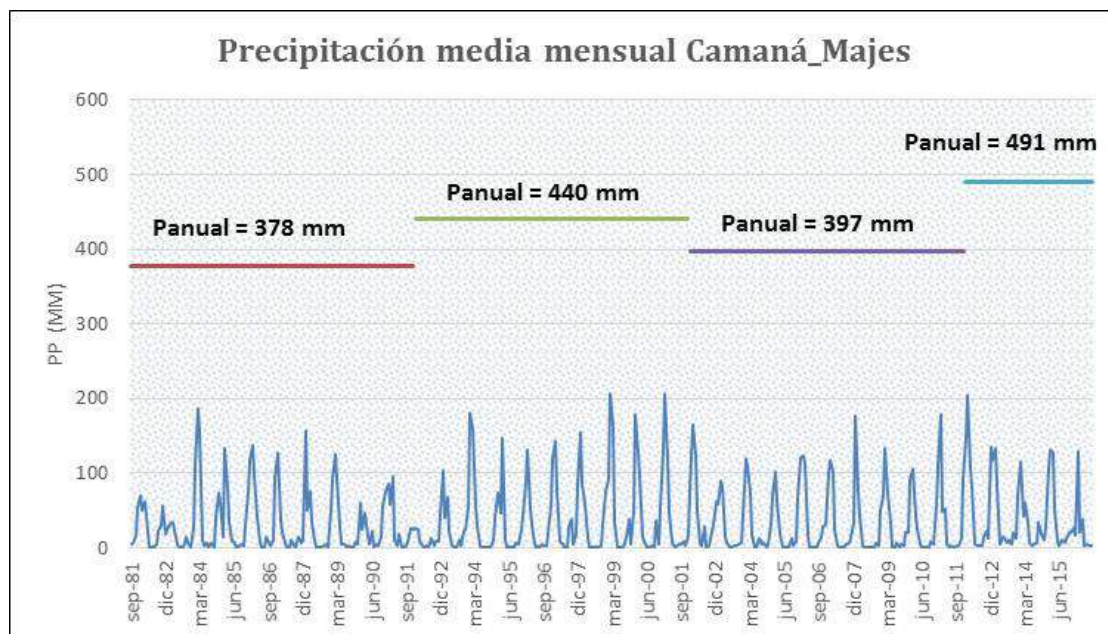


Figura 5-8 Precipitación media mensual y multianual por década en la cuenca Camaná-Majes

5.2 Climatología de la temperatura del aire

5.2.1 Climatología de la temperatura del aire en la cuenca del río Ocoña

La cuenca del río Ocoña se caracteriza presentar un patrón térmico estacional diferenciado según la época del año y la distribución altitudinal del territorio de la cuenca; para el caso de la temperatura máxima el gradiente térmico mensual fluctúa entre -0.2 a -0.4 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, mientras que el gradiente térmico de la temperatura mínima está en el rango de -0.4 a -0.5 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$.

El comportamiento mensual de la temperatura máxima durante el año, varía en promedio entre 18.6 - 25.0 $^{\circ}\text{C}$; el mes más cálido es noviembre con una temperatura máxima promedio de 25.0 $^{\circ}\text{C}$, y el mes más frío julio donde la temperatura mínima alcanza valores promedio de -3.3 $^{\circ}\text{C}$; por tanto, la estación más cálida en toda la cuenca es primavera asociado a la máxima insolación durante este periodo y la estación más fría es verano (DEF) asociado a la mayor cobertura nubosa.

El rango térmico de variación mensual de la temperatura en la cuenca fluctúa entre 14.3 $^{\circ}\text{C}$ y 23.8 $^{\circ}\text{C}$ correspondiente a los meses de febrero y julio, respectivamente, estas variaciones se ilustra en la Tabla 5-5 y Figura 5-9.

Tabla 5-5 Climatología de la Temperatura máxima y mínima promedio en la cuenca Ocoña

Parámetro	CLIMATOLOGIA DE LA TEMPERATURA MAXIMA Y MINIMA - CUENCA OCOÑA												
	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Tmáx	24.9	25.3	25.0	22.2	19.5	18.6	22.8	20.6	22.8	23.2	23.5	24.4	22.7
Tmín	-0.6	0.7	1.4	3.0	4.1	4.3	3.9	2.2	-1.1	-2.9	-3.3	-2.1	0.8

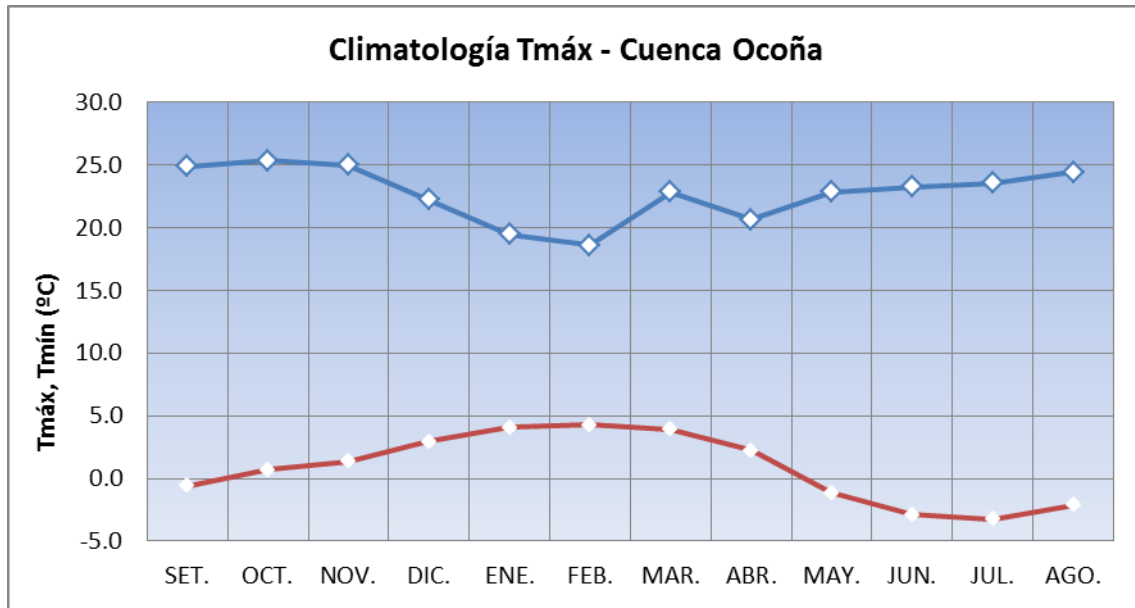


Figura 5-9 Ciclo anual de la temperatura máxima y mínima promedio mensual en la cuenca Ocoña

El comportamiento de la temperatura máxima anual en la cuenca del río Ocoña varía de 30 °C en la desembocadura con el Océano Pacífico a 15 °C hacia la divisoria de cuenca, el promedio multianual de las temperatura presenta valores que superan los 27°C en el sector occidental con límite hacia la desembocadura con el Océano Pacífico, comprende las partes bajas de la provincia Condesuyo. En la región oriental de la cuenca principalmente en localidades ubicadas sobre los 4000 msnm, la temperatura máxima oscila entre 15-18 °C y en el centro de la cuenca de 21- 24 °C, esta diferencia se debe principalmente al factor altitud, tal como se ilustra en la Figura 5-10.

El comportamiento de la temperatura mínima anual en la cuenca del río Ocoña varía de 17 °C en la desembocadura con el Océano Pacífico a -12 °C hacia la divisoria de cuenca, el promedio multianual de las temperatura presenta valores que superan los 14°C en el sector occidental con límite hacia la desembocadura con el Océano Pacífico, comprende las partes bajas de la provincia Condesuyo. En la región oriental de la cuenca principalmente en localidades ubicadas sobre los 4000 msnm, la temperatura mínima oscila entre -12 a -9 °C y en el centro de la cuenca de 3-6 °C, esta diferencia se debe principalmente al factor altitud, tal como se ilustra en la Figura 5-11.

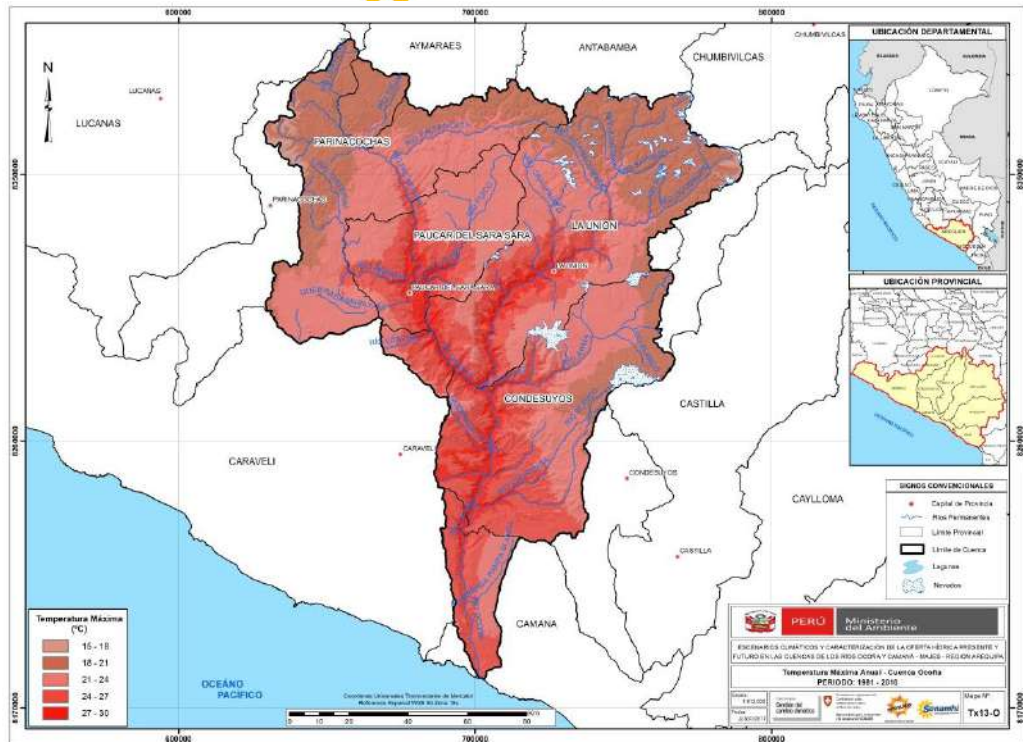


Figura 5-10 Variación espacial de la temperatura máxima anual en la cuenca Ocoña

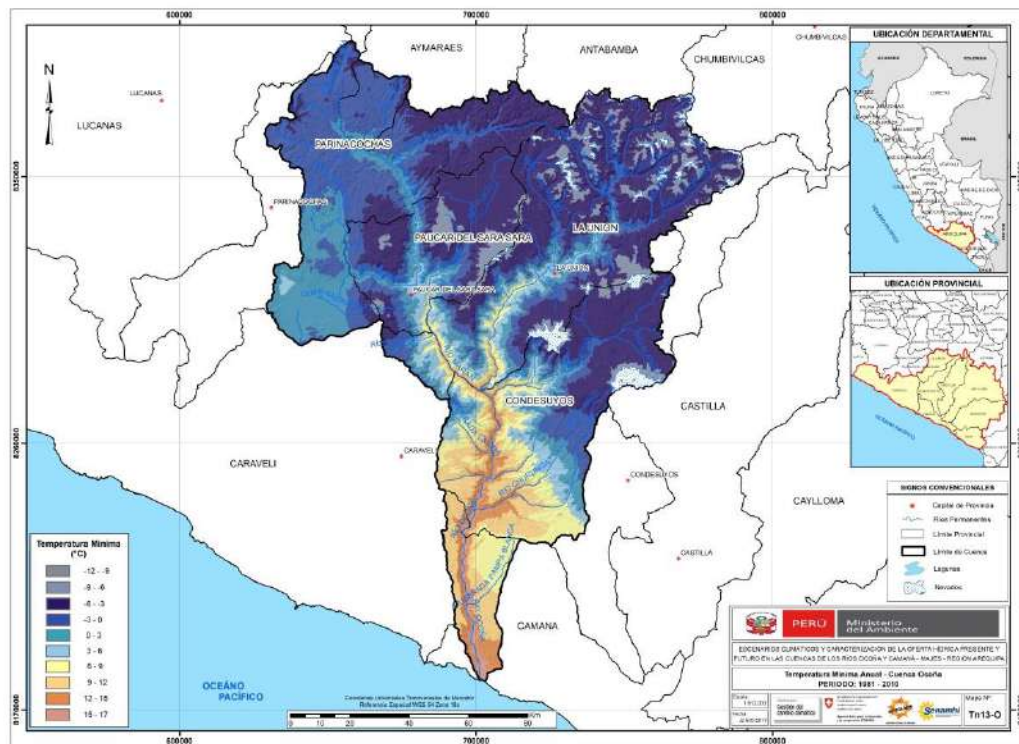


Figura 5-11 Variación espacial de la temperatura mínima anual en la cuenca Ocoña

A nivel de subcuencas la temperatura máxima tiene un amplio rango anual comprendido entre 14.3 °C y 25.9 °C que corresponde a las subcuencas de Oyolo y Bajo Churunga. En Oyolo el pico máximo de la temperatura se presenta en el mes de agosto con un valor de 16.3 °C, mientras que en la subcuenca Bajo Churunga, este pico máximo se presenta en Enero 26.8 °C. Ver Tabla 5-6 y Figura 5-12.

Tabla 5-6 Climatología de la temperatura máxima mensual y anual promedio en unidades hidrográficas de la cuenca Ocoña

CLIMATOLOGIA DE LA TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL Y ANUAL POR SUBCUENCA (OC)													
Unidad hidrográfica	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Sub 1 Pacapausa	16.6	16.8	16.5	15.4	13.6	13.1	13.4	14.5	15.1	15.1	15.1	16.0	15.1
Sub 2 Intercuenca	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8	18.8
Sub 3 Pallancata	16.2	16.5	16.4	15.0	13.1	12.6	12.9	13.9	14.4	14.3	14.4	15.4	14.6
Sub 4 Pacchichaca	16.8	17.1	16.9	15.8	14.1	13.6	13.9	14.9	15.3	15.2	15.3	16.1	15.4
Sub 5 Alto Cotahuasi	16.0	16.5	16.3	14.8	12.7	12.2	12.6	13.7	14.0	13.9	14.0	15.2	14.3
Sub 6 De Sumana	16.2	16.7	16.6	15.1	13.1	12.6	13.0	14.0	14.2	14.1	14.2	15.3	14.6
Sub 7 Pampamarca	16.3	16.7	16.5	15.1	13.1	12.6	13.0	14.0	14.4	14.2	14.4	15.4	14.6
Sub 8 Mirmaca	17.3	17.6	17.5	16.6	15.0	14.6	14.8	15.6	15.9	15.8	15.9	16.7	16.1
Sub 9 Unidad Hidrográfica 13691	16.6	17.0	17.1	16.0	14.3	14.0	14.2	14.8	15.0	14.8	15.0	15.9	15.4
Sub 10 Oyolo	15.9	16.3	16.2	14.8	12.8	12.3	12.7	13.6	14.1	13.9	14.1	15.1	14.3
Sub 11 Parinacochas	18.5	18.8	18.8	17.9	16.6	16.2	16.4	17.1	17.1	17.1	17.1	17.9	17.5
Sub 12 Marán	20.2	20.6	20.7	20.0	18.8	18.5	18.7	19.0	18.7	18.7	18.7	19.5	19.3
Sub 13 Intercuenca Cotahuasi	18.3	18.8	18.7	17.7	16.2	15.8	16.1	16.7	16.6	16.5	16.6	17.5	17.1
Sub 14 Chichas	17.8	18.3	18.1	16.9	15.0	14.5	15.0	15.8	15.8	15.7	15.8	16.9	16.3
Sub 15 Churunga	20.2	20.7	20.7	19.8	18.5	18.2	18.5	18.9	18.3	18.3	18.3	19.3	19.1
Sub 16 Chalhuan	21.7	22.4	22.5	21.9	21.0	20.9	21.1	21.2	19.9	20.0	19.9	20.9	21.1
Sub 17 Esbila	23.8	24.6	24.9	24.9	24.6	24.7	24.7	24.3	22.3	22.6	22.3	23.1	23.9
Sub 18 Bajo Churunga	25.5	26.1	26.6	26.8	26.8	26.7	26.7	26.3	24.4	24.7	24.4	24.9	25.8
Sub 19 Intercuenca Medio Bajo Ocoña	24.7	25.2	25.3	25.1	24.5	24.3	24.4	24.5	23.4	23.7	23.4	24.1	24.4
Sub 20 Bajo Ocoña	24.1	24.9	25.5	25.8	25.9	25.9	25.8	25.3	23.1	23.5	23.1	23.6	24.7

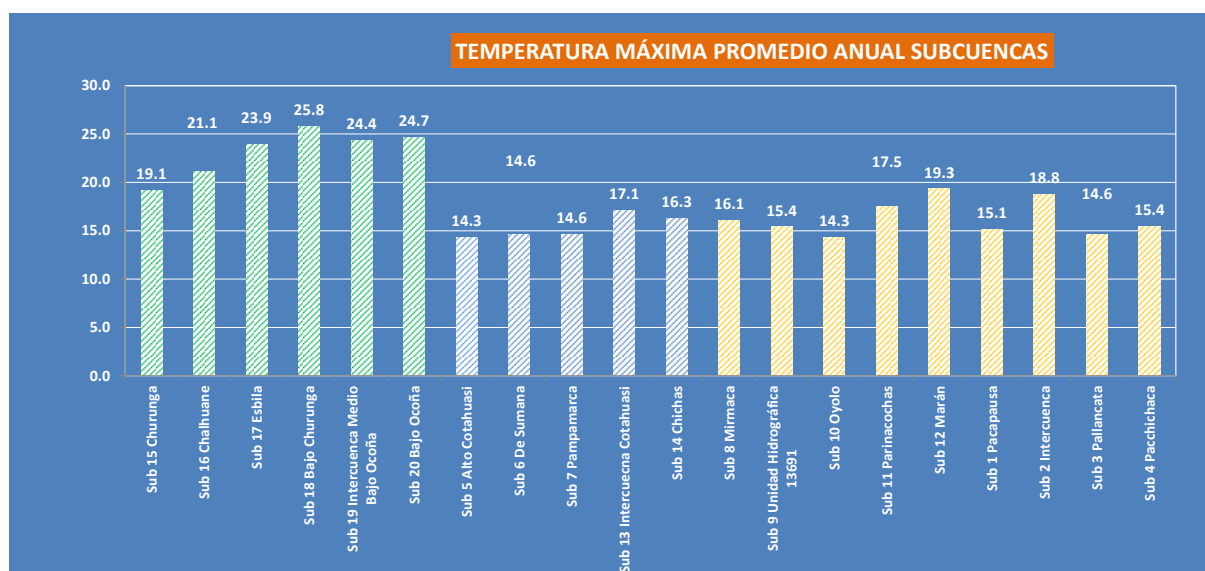
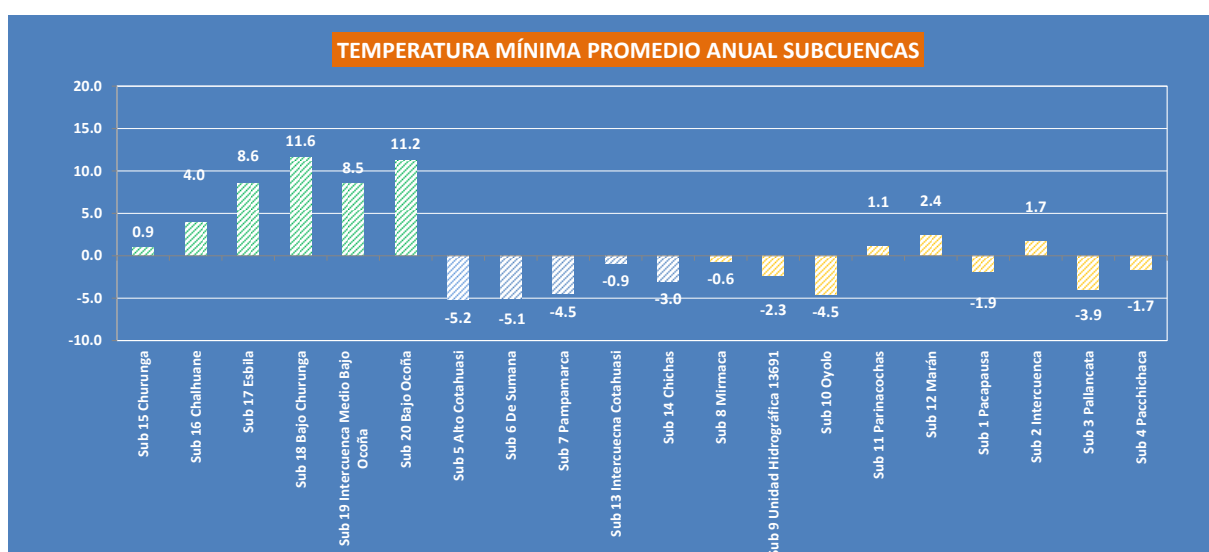


Figura 5-12 Climatología de la Temperatura máxima promedio anual en unidades hidrográficas de la cuenca Ocoña

En el caso de la temperatura mínima, presenta un rango de variabilidad anual comprendido entre -5.2°C y 11.6 °C para las subcuencas de Alto Cotahuasi y Bajo Churunga, respectivamente. Para el Alto Cotahuasi, temperatura mínima desciende hasta -10.2 °C en el mes de julio, mientras que en la subcuenca Bajo Churunga, en el mes de junio la temperatura desciende hasta 9.3 °C. Ver Tabla 5-7 y Figura 5-13.

Tabla 5-7 Climatología de la temperatura mínima promedio mensual y anual en unidades hidrográficas de la cuenca Ocoña

CLIMATOLOGIA DE LA TEMPERATURA MINIMA MENSUAL Y ANUAL POR SUBCUENCA (°C)													
Unidad hidrográfica	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Sub 1 Pacapausa	-2.9	-1.6	-1.2	0.2	1.0	1.1	0.9	-0.6	-3.9	-5.5	-5.7	-4.4	-1.9
Sub 2 Intercuenca	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
Sub 3 Pallancata	-5.2	-3.6	-3.0	-1.3	-0.2	-0.2	-0.4	-2.2	-6.3	-8.4	-8.7	-7.2	-3.9
Sub 4 Pacchichaca	-2.8	-1.3	-0.8	0.7	1.6	1.6	1.4	-0.3	-3.8	-5.6	-5.9	-4.6	-1.7
Sub 5 Alto Cotahuasi	-6.7	-5.1	-4.4	-2.5	-1.3	-1.2	-1.4	-3.3	-7.7	-9.9	-10.2	-8.7	-5.2
Sub 6 De Sumana	-6.7	-5.0	-4.3	-2.4	-1.1	-1.0	-1.2	-3.1	-7.5	-9.8	-10.1	-8.6	-5.1
Sub 7 Pampamarca	-5.9	-4.3	-3.5	-1.8	-0.6	-0.5	-0.8	-2.7	-7.0	-9.2	-9.5	-8.0	-4.5
Sub 8 Mirmaca	-1.8	-0.3	0.3	1.7	2.6	2.6	2.4	0.7	-2.7	-4.5	-4.8	-3.5	-0.6
Sub 9 Unidad Hidrográfica 13691	-3.8	-1.9	-0.9	0.7	1.8	1.7	1.4	-0.6	-5.0	-7.4	-7.7	-6.1	-2.3
Sub 10 Oyolo	-6.0	-4.1	-3.3	-1.5	-0.4	-0.4	-0.7	-2.7	-7.3	-9.7	-10.0	-8.3	-4.5
Sub 11 Parinacochas	0.0	1.3	1.8	3.2	4.0	4.2	3.9	2.3	-0.7	-2.2	-2.5	-1.4	1.1
Sub 12 Marán	1.1	2.4	3.2	4.7	5.7	5.9	5.5	3.7	0.5	-1.3	-1.7	-0.5	2.4
Sub 13 Intercuenca Cotahuasi	-2.4	-0.9	-0.1	1.6	2.7	2.9	2.5	0.7	-3.1	-5.1	-5.5	-4.1	-0.9
Sub 14 Chichas	-4.6	-3.1	-2.4	-0.5	0.8	1.0	0.7	-1.2	-5.3	-7.4	-7.8	-6.4	-3.0
Sub 15 Churunga	-0.7	0.5	1.3	3.1	4.4	4.7	4.3	2.5	-1.0	-2.8	-3.3	-2.1	0.9
Sub 16 Chalhuane	2.2	3.4	4.2	6.0	7.4	7.8	7.3	5.5	2.3	0.6	0.1	1.0	4.0
Sub 17 Esbila	6.7	7.7	8.6	10.3	11.6	12.1	11.5	9.8	7.3	5.9	5.3	5.9	8.6
Sub 18 Bajo Churunga	10.1	10.8	11.5	12.7	13.9	14.4	13.8	12.4	10.8	9.9	9.3	9.7	11.6
Sub 19 Intercuenca Medio Bajo Ocoña	7.2	7.9	8.4	9.7	10.7	11.2	10.8	9.3	7.5	6.5	6.0	6.6	8.5
Sub 20 Bajo Ocoña	9.6	10.3	11.2	12.5	13.8	14.2	13.6	12.2	10.4	9.3	8.7	9.1	11.2



5.2.2 Climatología de la Temperatura del aire en la cuenca del río Camaná Majes

La cuenca del río Camaná Majes se caracteriza presentar un patrón térmico estacional diferenciado según la época del año y la distribución altitudinal del territorio de la cuenca; para el caso de la temperatura máxima el gradiente térmico mensual fluctúa entre -0.2 a -0.4 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, mientras que el gradiente térmico de la temperatura mínima está en el rango de -0.4 a -0.5 $^{\circ}/100$. Para las condiciones medias de la cuenca, el mes más cálido es noviembre con una temperatura máxima promedio de 22.6 $^{\circ}\text{C}$, siendo el mes más frío julio donde la temperatura mínima alcanza valores promedio de -4.7°C . El rango térmico de variación mensual de la temperatura en la cuenca fluctúa entre 13.4 $^{\circ}\text{C}$ y 23.6 $^{\circ}\text{C}$ correspondiente a los meses de febrero y julio, respectivamente, tal como se ilustra en la Tabla 5-8 y Figura 5-14.

Tabla 5-8 Climatología de la Temperatura máxima y mínima promedio en la cuenca Camaná-Majes

Parámetro	CLIMATOLOGIA DE LA TEMPERATURA MENSUAL Y ANUAL - CUENCA CAMANA MAJES												
	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Tmáx	21.3	22.3	22.6	20.4	18.1	17.6	19.5	18.5	19.5	18.9	19.0	20.1	19.8
Tmín	-1.9	-0.4	0.5	2.5	4.0	4.3	3.8	1.9	-2.1	-4.2	-4.7	-3.5	0.0

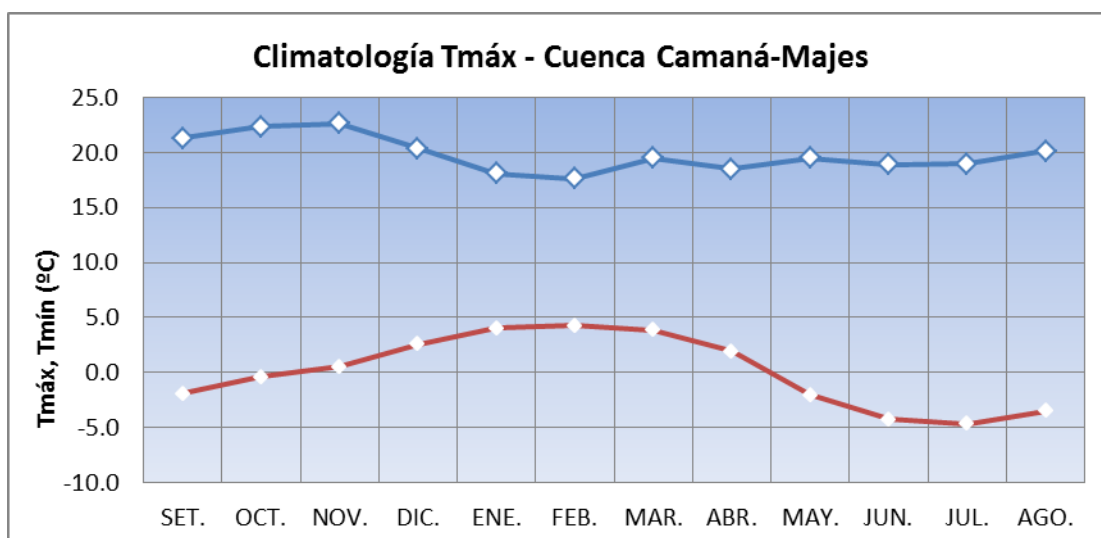


Figura 5-14 Ciclo anual de la temperatura máxima y mínima media mensual en la cuenca Camaná-majes

En general, el comportamiento espacial en toda la cuenca del río Camana, de la temperatura media multianual máxima varía de 12 a 29 $^{\circ}\text{C}$ y la temperatura mínima de -12 a 17 $^{\circ}\text{C}$ en la cuenca del río Camana Majes en ambos casos las temperaturas más bajas se presentan hacia el oriente y zonas altas de la cuenca y las temperaturas más altas se presentan hacia la desembocadura con el Océano Pacífico, zonas bajas de la cuenca, tal como se ilustra en las Figuras 5-15 y 5-16.

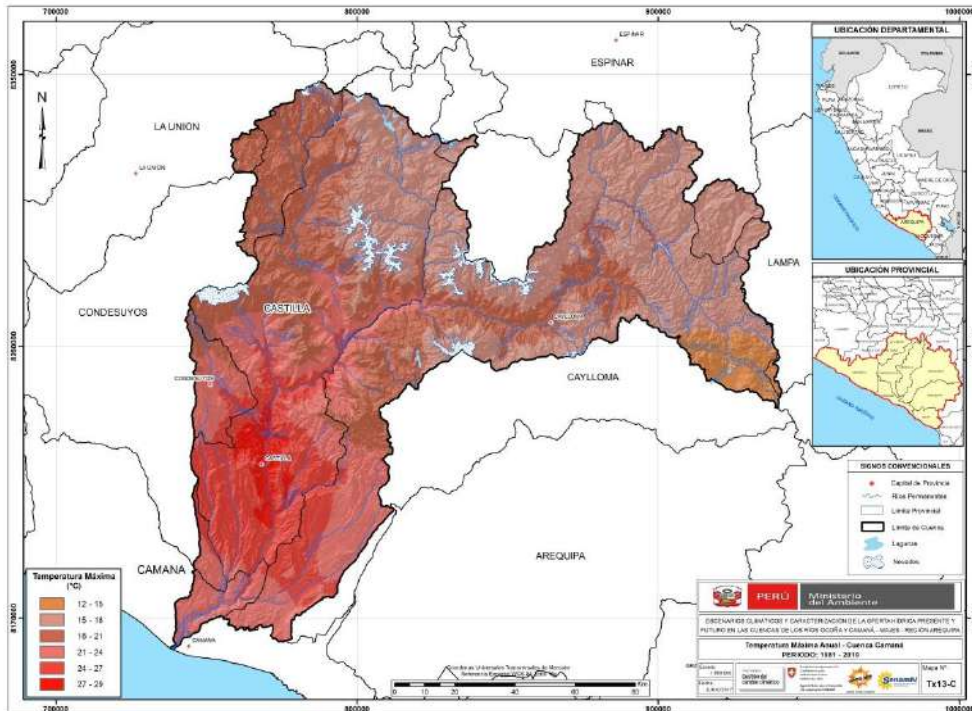


Figura 5-15 Variación espacial de la temperatura máxima anual en la cuenca Camaná-Majes

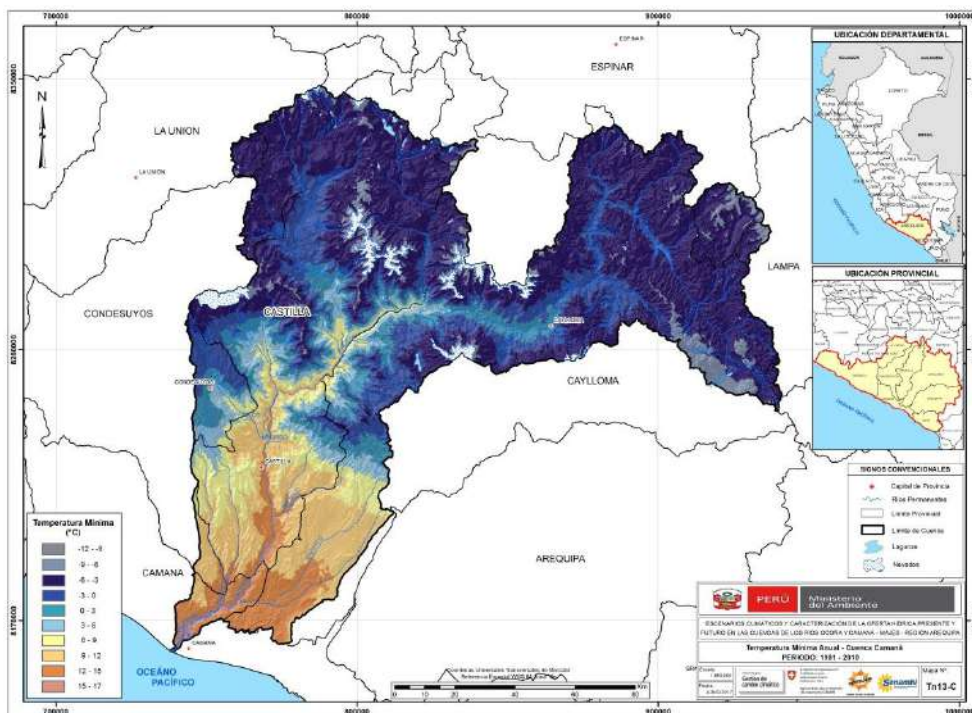


Figura 5-16 Variación espacial de la temperatura mínima anual en la cuenca Camaná Majes

A nivel de subcuencas queda reflejado el amplio rango de la variabilidad espacial de la temperatura del aire, así tenemos que para el caso de la temperatura máxima, en la subcuenca Intercuenca Bajo Camana se presenta la mayor temperatura máxima anual con 26.6 °C, registrándose el mes más cálido febrero con valores medios de 28.4 °C. Por otro lado la subcuenca 5 exhibe la menor temperatura máxima con 12.7 °C, registrando su pico máximo en noviembre con 14.6 °C. Ver Tabla 5-9 y Figura 5-17.

Tabla 5-9 Climatología de la temperatura máxima en unidades hidrográficas - cuenca Camaná Majes

CLIMATOLOGIA DE LA Tmáx MENSUAL Y ANUAL (°C)													
Unidad Hidrográfica	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Sub 1 Intercuenca Bajo Camana	25.9	26.7	27.2	27.6	28.0	28.4	28.3	27.2	26.1	24.8	24.4	25.2	26.6
Sub 2 Molles	24.4	24.9	25.0	24.9	24.8	25.0	25.1	24.5	24.1	23.4	23.2	24.0	24.5
Sub 3 Puluvinas	24.4	25.3	25.7	25.7	25.7	25.9	25.9	25.2	24.1	22.7	22.3	23.4	24.7
Sub 4	13.8	14.8	15.0	14.3	12.7	12.5	12.6	13.0	12.8	11.9	11.7	12.8	13.2
Sub 5	13.4	14.4	14.6	13.8	12.2	12.0	12.1	12.5	12.3	11.5	11.3	12.4	12.7
Sub 6	14.1	15.0	15.2	14.4	12.7	12.5	12.6	13.1	13.0	12.2	12.0	13.1	13.3
Sub 7 Ayo	20.2	20.9	21.0	20.2	19.1	19.0	19.2	19.4	19.1	18.3	18.2	19.3	19.5
Sub 8	14.7	15.6	15.7	14.8	13.0	12.8	13.0	13.5	13.4	12.7	12.6	13.7	13.8
Sub 9	22.7	23.6	23.9	23.4	22.8	23.0	23.1	22.7	21.8	20.4	20.1	21.5	22.4
Sub 10 Capiza	19.4	20.1	20.1	19.1	17.7	17.5	17.8	18.2	18.0	17.3	17.2	18.5	18.4
Sub 11 Intercuenca Colca Camana	19.9	20.6	20.6	19.8	18.6	18.5	18.7	18.9	18.7	17.9	17.8	19.0	19.1
Sub 12	16.2	17.1	17.3	16.1	14.3	13.9	14.3	14.9	14.8	14.1	14.1	15.3	15.2
Sub 13 Llapa	17.2	18.2	18.4	17.2	15.3	15.0	15.3	15.9	15.8	15.1	15.1	16.3	16.2
Sub 14	16.9	17.8	18.2	16.8	14.9	14.5	14.9	15.4	15.4	14.7	14.7	15.9	15.8
Sub 15 Medio colca	18.0	18.7	18.8	17.5	15.7	15.4	15.8	16.5	16.6	15.9	15.9	17.1	16.8
Sub 16	16.8	17.8	18.1	16.8	15.0	14.6	15.0	15.5	15.4	14.7	14.7	15.9	15.8
Sub 17 Negrillo	15.7	16.5	16.7	15.5	13.6	13.3	13.6	14.3	14.3	13.6	13.6	14.8	14.6
Sub 18	16.7	17.7	18.0	16.7	14.8	14.4	14.8	15.3	15.3	14.6	14.6	15.8	15.7
Sub 19 Intercuenca Medio Alto Colca	17.1	18.1	18.5	17.2	15.4	15.0	15.3	15.7	15.7	15.0	14.9	16.1	16.2
Sub 20 El Pañe Negrillo	15.7	16.5	16.5	15.2	13.2	12.8	13.2	14.0	14.1	13.5	13.5	14.7	14.4
Sub 21 Condorama	15.9	16.8	16.9	15.6	13.6	13.2	13.6	14.3	14.4	13.8	13.8	15.0	14.7
Sub 22	16.9	17.8	18.2	17.0	15.2	14.9	15.2	15.6	15.6	14.9	14.8	16.0	16.0
Sub 23 Maquerullo	16.2	17.1	17.3	16.0	14.1	13.7	14.1	14.6	14.8	14.2	14.1	15.3	15.1
Sub 24 Chalhuanca	16.1	17.0	17.3	16.1	14.3	14.0	14.3	14.6	14.8	14.1	14.1	15.1	15.1
Sub 25 Molloco	16.2	16.9	16.9	15.5	13.5	13.2	13.6	14.3	14.6	14.1	14.1	15.2	14.8
sub 26 Andahua	17.2	17.8	17.7	16.4	14.6	14.2	14.6	15.3	15.6	15.1	15.1	16.3	15.8
Sub 27	24.2	25.1	25.5	25.3	25.2	25.5	25.5	24.8	23.7	22.3	22.0	23.2	24.4

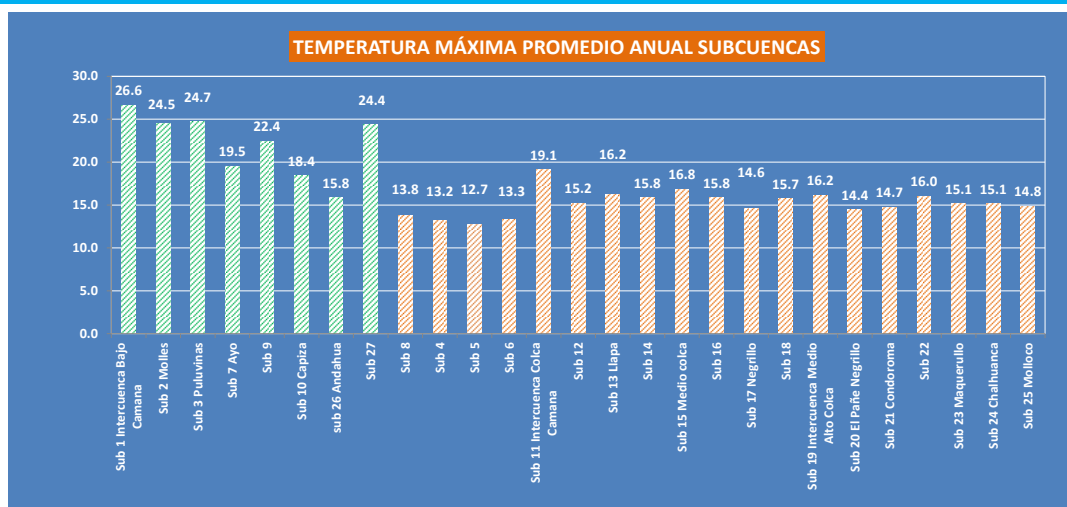


Figura 5-17 Temperatura máxima en las unidades hidrográficas de la cuenca Camaná-Majes

Para el caso de la temperatura mínima, la Intercuenca Bajo Camaná exhibe los promedio más altos, a nivel anual alcanza 12.7 °C y julio es el mes menos frío con 9.6 °C. En la subcuenca 5 presenta una temperatura anual de -6.5 °C siendo el mes más frío julio donde la temperatura desciende hasta -12.1 °C. Ver Tabla 5-10 y Figura 5-18.

Tabla 5-10 Climatología de la Temperatura mínima en unidades hidrográficas - cuenca Camaná Majes

CLIMATOLOGIA DE LA Tmín MENSUAL Y ANUAL (°C) POR SUBCUENCA													
Unidad Hidrográfica	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Sub 1 Intercuenca Bajo Camana	10.6	11.5	12.6	14.4	16.0	16.5	15.8	13.9	11.7	10.2	9.6	10.0	12.7
Sub 2 Molles	8.0	8.9	9.7	11.2	12.7	13.2	12.7	10.9	8.5	7.1	6.6	7.2	9.7
Sub 3 Puluvinas	6.5	7.7	9.0	11.1	12.7	13.2	12.5	10.5	7.5	5.6	5.0	5.6	8.9
Sub 4	-8.6	-6.9	-5.6	-2.9	-1.0	-0.8	-1.1	-3.2	-8.1	-10.8	-11.4	-10.2	-5.9
Sub 5	-9.3	-7.5	-6.2	-3.5	-1.6	-1.4	-1.7	-3.8	-8.8	-11.6	-12.1	-10.9	-6.5
Sub 6	-8.4	-6.7	-5.4	-2.9	-1.0	-0.8	-1.2	-3.2	-8.1	-10.7	-11.2	-10.0	-5.8
Sub 7 Ayo	-0.4	1.0	2.0	3.9	5.4	5.7	5.2	3.3	-0.4	-2.5	-2.9	-1.8	1.5
Sub 8	-8.0	-6.2	-5.1	-2.7	-0.9	-0.8	-1.1	-3.1	-7.9	-10.5	-10.9	-9.6	-5.6
Sub 9	2.2	3.7	5.0	7.4	9.1	9.5	8.9	6.7	2.9	0.6	0.0	0.9	4.7
Sub 10 Capiza	-2.4	-0.9	0.0	2.1	3.6	3.9	3.5	1.5	-2.6	-4.8	-5.2	-4.0	-0.4
Sub 11 Intercuenca Colca Camana	-1.0	0.4	1.3	3.3	4.8	5.0	4.6	2.7	-1.1	-3.2	-3.6	-2.5	0.9
Sub 12	-6.6	-4.8	-3.8	-1.6	0.0	0.1	-0.2	-2.2	-7.0	-9.5	-9.9	-8.4	-4.5
Sub 13 Llapa	-5.7	-3.8	-2.8	-0.8	0.8	0.8	0.5	-1.6	-6.4	-8.9	-9.3	-7.7	-3.7
Sub 14	-6.5	-4.5	-3.5	-1.3	0.3	0.3	0.0	-2.1	-7.2	-9.8	-10.3	-8.6	-4.5
Sub 15 Medio colca	-4.2	-2.7	-1.9	-0.2	1.0	1.1	0.7	-1.1	-5.1	-7.2	-7.5	-6.1	-2.8
Sub 16	-6.0	-4.2	-3.1	-1.0	0.6	0.7	0.3	-1.7	-6.6	-9.1	-9.6	-8.0	-4.0
Sub 17 Negrillo	-7.1	-5.4	-4.3	-2.2	-0.6	-0.4	-0.8	-2.7	-7.5	-9.9	-10.3	-8.9	-5.0
Sub 18	-6.2	-4.3	-3.3	-1.2	0.4	0.5	0.1	-1.9	-6.8	-9.3	-9.8	-8.2	-4.2
Sub 19 Intercuenca Medio Alto Colca	-5.8	-3.8	-2.8	-0.7	0.9	1.0	0.6	-1.4	-6.4	-9.0	-9.5	-7.9	-3.7
Sub 20 El Pañe Negrillo	-7.5	-5.7	-4.8	-2.6	-1.1	-1.0	-1.3	-3.3	-8.0	-10.5	-10.9	-9.4	-5.5
Sub 21 Condoroma	-7.3	-5.4	-4.5	-2.4	-0.8	-0.7	-1.0	-3.0	-7.8	-10.3	-10.8	-9.2	-5.3
Sub 22	-5.5	-3.6	-2.6	-0.5	1.0	1.1	0.8	-1.2	-5.9	-8.4	-8.9	-7.4	-3.4
Sub 23 Maquerullo	-6.5	-4.7	-3.8	-1.7	-0.2	-0.1	-0.4	-2.3	-7.0	-9.5	-10.0	-8.5	-4.6
Sub 24 Chalhuanca	-6.1	-4.2	-3.3	-1.2	0.3	0.4	0.1	-1.7	-6.3	-8.8	-9.4	-7.9	-4.0
Sub 25 Molloco	-6.8	-5.0	-4.2	-2.2	-0.8	-0.7	-1.0	-2.8	-7.3	-9.8	-10.2	-8.7	-5.0
sub 26 Andahua	-5.3	-3.7	-2.9	-0.9	0.4	0.6	0.3	-1.6	-5.9	-8.2	-8.5	-7.1	-3.6
Sub 27	5.5	6.8	8.1	10.3	12.0	12.5	11.8	9.7	6.4	4.3	3.7	4.4	8.0

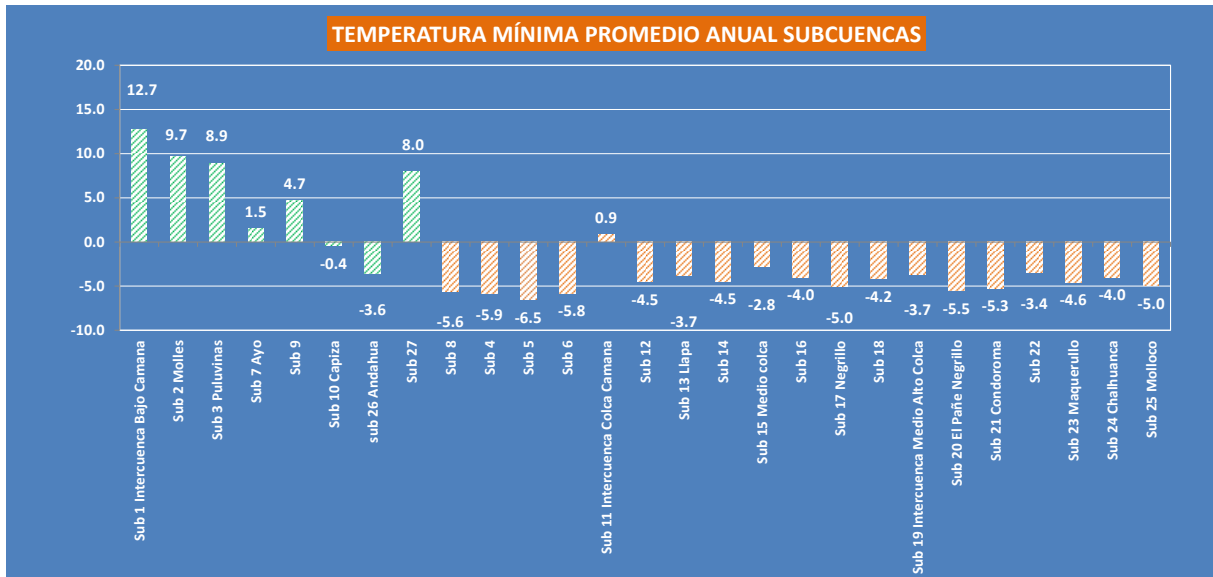


Figura 5-18 Temperatura mínima en las diferentes unidades hidrográficas de la cuenca Camaná-Majes

5.3 Climatología de la Evapotranspiración de referencia

5.3.1 Climatología de la Evapotranspiración Potencial en la cuenca del río Ocoña

La evapotranspiración potencial (Eto) en la cuenca del río ocoña representativo del periodo 1981-2010 alcanza su valor máximo mensual en el mes de noviembre de 169.8 mm; en el mes de junio la Eto alcanza sus valores más bajos con 104.6 mm. El valor acumulado anual de la Eto promedio de la cuenca es de 1619.6 mm. Ver Tabla 5-11 y Figura 5-19 que indican su variación temporal.

Tabla 5-11 Climatología de la Eto mensual y anual promedio en la cuenca Ocoña

Parámetro	CLIMATOLOGIA DE LA Eto MENSUAL Y ANUAL - CUENCA OCOÑA												
	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Eto	146.7	169.2	169.8	159.1	139.8	117.6	137.0	116.7	116.1	104.6	112.3	130.6	1619.6

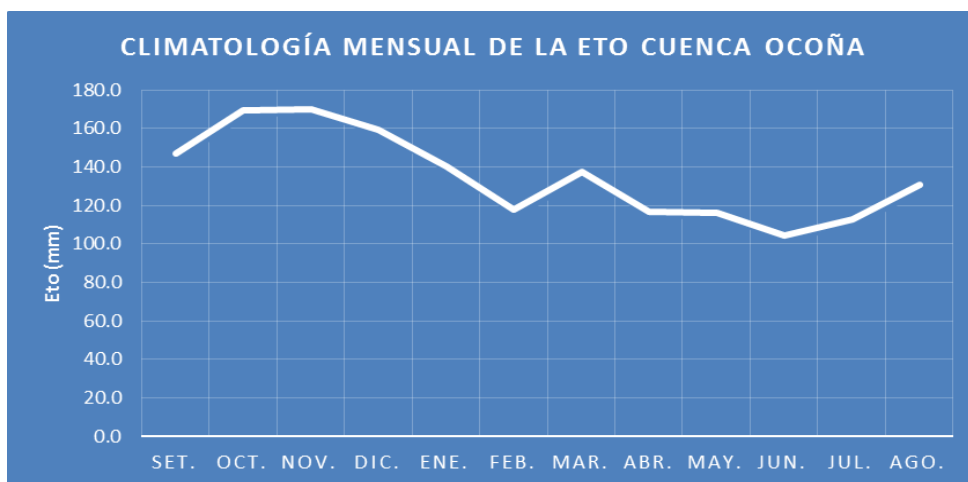


Figura 5-19 Climatología de la Eto promedio mensual en unidades hidrográficas de la cuenca Ocoña

El comportamiento de la Eto anual en la cuenca del río Ocoña varía de 1200 mm año⁻¹ a 2061 mm año⁻¹, el promedio multianual de la Eto presenta valores que superan los 2000 mm año⁻¹ en el sector de la provincia Paucar del Sara Sara, tal como se ilustra en la Figura 5-20.

A nivel de subcuencas está comprendida entre 1465.0 mm/año y 1802.0 mm/año que corresponde a las subcuencas Pacapausa y Marañ, respectivamente. En la subcuenca Pacapausa los valores extremos mensuales de la Eto están comprendidos entre 92.1 mm y 156.8 mm para los meses de junio y noviembre, respectivamente. Por otro lado en la subcuenca Marañ, los valores extremos mensuales de la Eto se presenta en los meses de junio y noviembre, con valores acumulados de 117.3 mm y 183.4 mm, respectivamente. Ver Tabla 5-12 Y Figura 5-20.

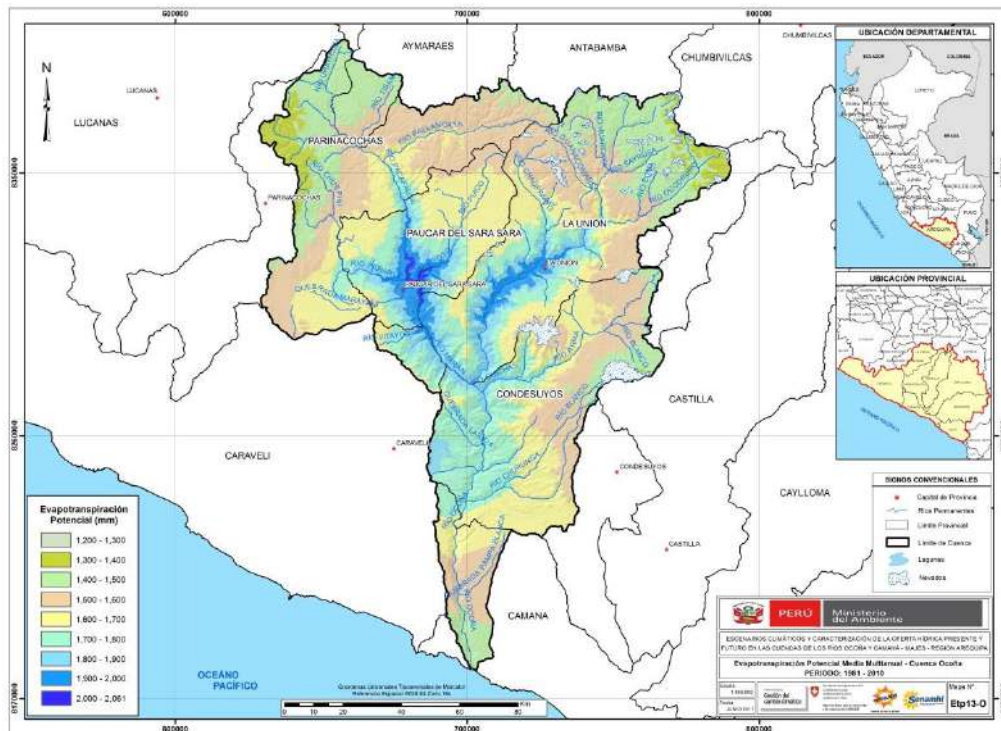


Figura 5-20 Variación espacial de la Eto promedio anual de la cuenca Ocoña

Tabla 5-12 Climatología Eto en unidades hidrográficas - cuenca Ocoña

CLIMATOLOGIA DE LA ETO MENSUAL Y ANUAL POR SUBCUENCA (mm)													
Unidad Hidrográfica	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Sub 1 Pacapausa	132.9	154.9	156.8	145.5	126.6	107.0	123.7	106.5	104.1	92.1	98.6	116.3	1465.1
Sub 2 Intercuenca	123.3	123.3	123.3	123.3	123.3	123.3	123.3	123.3	123.3	123.3	123.3	123.3	1479.2
Sub 3 Pallancata	143.7	165.0	164.0	149.9	128.6	108.0	130.6	110.2	112.2	102.0	109.7	128.2	1552.3
Sub 4 Pacchichaca	141.5	163.2	164.0	153.1	134.3	113.9	133.0	113.4	112.2	100.6	107.8	125.8	1562.8
Sub 5 Alto Cotahuasi	140.2	161.4	159.9	143.8	120.9	100.6	123.8	103.9	107.1	97.8	105.6	124.2	1489.2
Sub 6 De Sumana	138.5	159.7	158.7	142.8	119.8	99.7	122.4	102.6	105.5	96.1	103.7	122.2	1471.8
Sub 7 Pampamarca	153.4	175.1	172.1	155.1	131.5	109.1	136.3	113.7	119.0	110.3	119.2	138.5	1633.2
Sub 8 Mirmaca	144.7	166.5	167.4	158.1	140.0	119.1	137.8	117.5	115.7	103.7	110.9	129.1	1610.5
Sub 9 Unidad Hidrográfica 13691	157.5	178.8	177.4	166.4	147.3	125.8	150.0	125.8	127.7	116.5	124.8	143.5	1741.7
Sub 10 Oyolo	156.6	177.9	175.0	159.9	137.6	115.7	142.5	118.9	123.5	114.1	123.0	142.3	1686.9
Sub 11 Parinacochas	142.8	165.2	167.2	159.6	141.9	120.3	136.9	117.4	114.0	101.4	108.6	126.5	1602.0
Sub 12 Marañ	160.0	182.9	183.4	176.9	159.3	134.9	155.4	131.7	130.0	117.3	125.8	144.4	1802.0

Sub 13 Intercuecna Cotahuasi	160.4	183.2	181.5	167.7	146.3	122.0	148.2	124.0	127.6	117.6	126.7	145.6	1750.7
Sub 14 Chichas	147.1	169.6	168.6	153.9	131.1	108.8	132.1	110.8	113.3	103.3	111.5	130.6	1580.9
Sub 15 Churunga	142.6	166.2	168.4	159.3	140.2	117.6	133.5	114.3	111.6	98.9	106.2	124.6	1583.5
Sub 16 Chalhuané	141.5	166.0	170.2	164.5	148.5	125.7	136.3	118.8	112.9	98.5	105.1	122.9	1611.0
Sub 17 Esbila	139.8	165.3	172.1	171.8	160.7	137.0	140.0	125.4	114.9	98.3	104.3	121.0	1650.6
Sub 18 Bajo Churunga	139.8	166.1	174.2	178.8	170.2	144.3	144.2	130.7	116.4	98.6	104.9	120.8	1689.0
Sub 19 Intercuenca Medio Bajo Ocoña	148.7	174.6	179.9	180.3	166.5	139.6	148.5	130.6	120.7	104.7	112.2	129.7	1736.0
Sub 20 Bajo Ocoña	126.9	152.1	161.3	165.6	159.2	135.6	131.0	121.3	107.0	89.7	95.0	109.2	1553.9

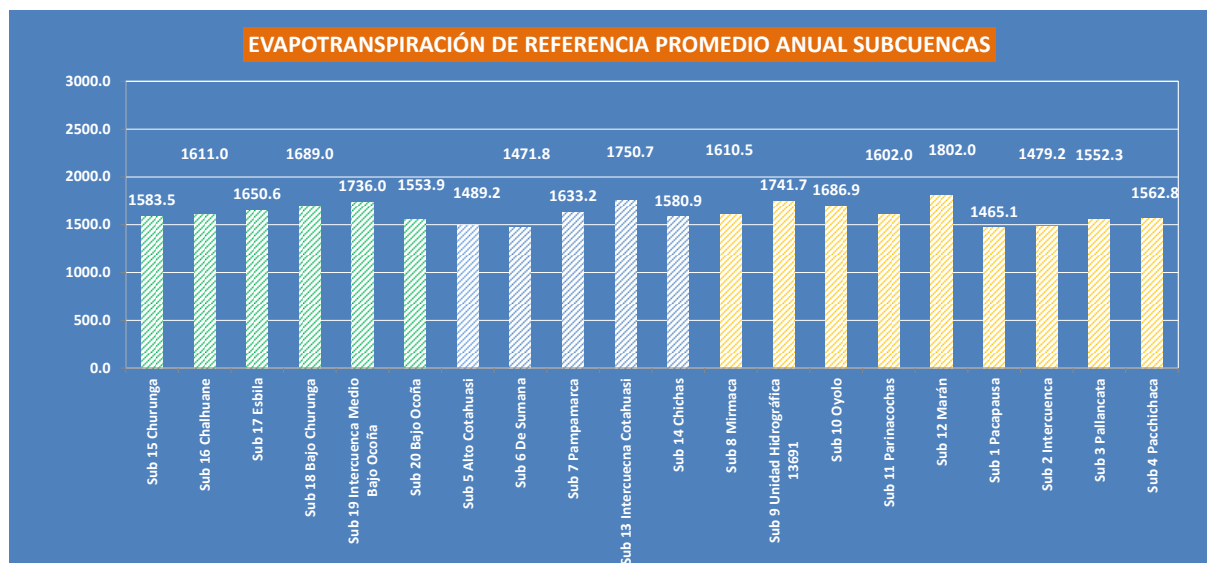


Figura 5-21 Climatología anual de la Eto en unidades hidrográficas de la cuenca Ocoña

5.3.2 Climatología de la evapotranspiración de referencia en la cuenca del río Camana Majes

La Eto alcanza su valor máximo mensual en noviembre con 154.5 mm; y su valor más bajos en junio con 87.0 mm. El valor acumulado anual de la Eto promedio de la cuenca es de 1429.2 mm. Ver Tabla 5-13 y Figura 5-22.

Tabla 5-13 Climatología de la Eto mensual y anual promedio en la cuenca Camaná-Majes

Parámetro	CLIMATOLOGÍA DE LA ETO MENSUAL Y ANUAL - CUENCA CAMANA MAJES												
	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Promedio	127.2	150.3	154.5	145.9	128.7	109.6	119.3	104.3	100.2	87.0	92.6	109.5	1429.2

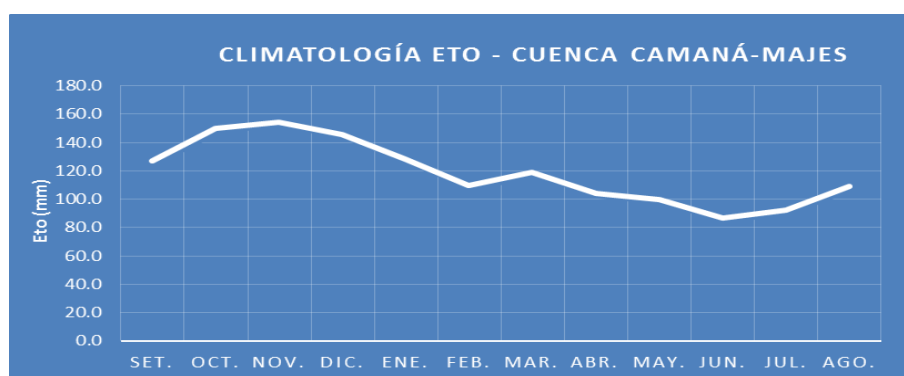


Figura 5-22 Climatología de la Eto promedio mensual en unidades hidrográficas de la cuenca Camana

El comportamiento de la Eto anual en la cuenca del río Camana varía de 1000 mm año⁻¹ a 1850 mm año⁻¹, el promedio multianual de la Eto presenta valores que superan los 1600 mm año⁻¹ en el sector del centro de la provincia Castilla, tal como se ilustra en la Figura 5-23.

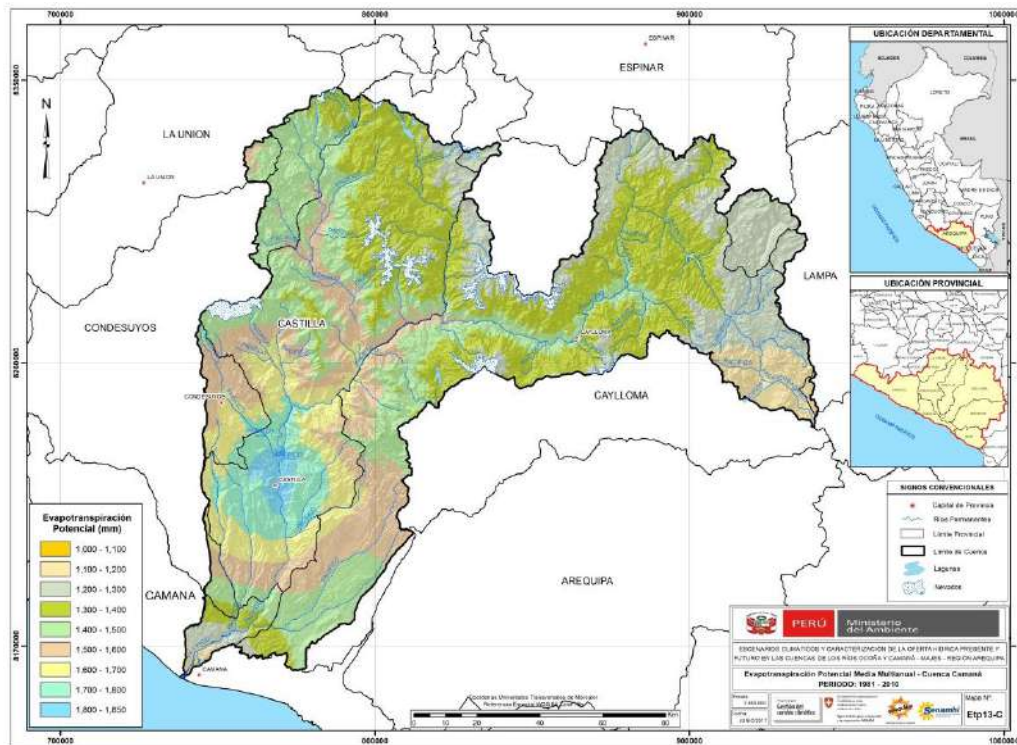


Figura 5-23 Variación espacial de la Eto promedio anual de la cuenca Camana

A nivel de subcuencas la variación anual de la Eto está comprendida entre 1117.8 mm/año y 1679.7 mm/año que corresponde a las subcuencas 5 y 27, respectivamente. En la subcuenca 5 los valores extremos mensuales de la Eto están comprendidos entre 67.1 mm y 125.2 mm para los meses de junio y noviembre, respectivamente. Por otro lado en la subcuenca 27, los valores extremos mensuales de la Eto se presenta en los meses de junio y noviembre, con valores acumulados de 97.6 mm y 177.3 mm, respectivamente. Ver Tabla 5-14 y Figura 5-24.

Tabla 5-14 Climatología de la Eto promedio mensual y anual en Unidades Hidrográficas de la cuenca Camaná-Majes

CLIMATOLOGIA DE LA ETO MENSUAL Y ANUAL (mm) POR SUBCUENCA													
Unidad Hidrográfica	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Sub 1 Intercuenca Bajo Camana	115.0	140.8	153.0	157.9	156.3	134.7	117.4	117.5	100.5	81.5	84.5	96.9	1456.1
Sub 2 Molles	122.3	147.6	159.1	160.8	153.0	130.8	122.7	115.6	102.7	84.8	89.0	104.0	1492.3
Sub 3 Puluvinas	133.9	159.7	167.7	166.8	158.0	136.2	132.3	122.6	110.8	93.3	98.0	114.2	1593.4
Sub 4	101.1	122.6	126.9	117.9	99.6	84.8	95.3	82.2	79.2	68.4	72.5	86.4	1137.0
Sub 5	99.7	121.0	125.2	116.0	97.5	83.0	93.7	80.7	77.8	67.1	71.2	85.0	1117.9
Sub 6	103.4	124.9	128.8	119.3	100.3	85.2	96.5	83.0	80.3	69.6	73.9	88.4	1153.8
Sub 7 Ayo	135.4	159.0	163.0	154.6	137.4	117.1	128.3	111.3	107.1	93.5	99.5	117.3	1523.6
Sub 8	108.0	129.7	133.1	122.9	103.0	87.4	100.0	85.7	83.5	72.7	77.3	92.5	1195.7
Sub 9	146.7	172.6	177.0	171.2	156.6	134.9	140.2	124.7	116.7	100.1	106.0	125.5	1672.2
Sub 10 Capiza	138.5	161.9	164.3	153.6	134.3	113.7	128.3	110.1	107.5	94.7	101.3	119.9	1528.0
Sub 11 Intercuenca Colca Camana	132.6	156.0	160.1	151.4	133.9	114.1	125.0	108.4	104.3	90.8	96.7	114.4	1487.6

CLIMATOLOGÍA DE LA ET ₀ MENSUAL Y ANUAL (mm) POR SUBCUENCA													
Unidad Hidrográfica	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Anual
Sub 12	118.0	140.3	143.1	132.0	110.6	93.9	108.8	92.6	91.2	79.8	85.0	101.6	1297.0
Sub 13 Llapa	121.9	145.0	147.8	137.0	114.7	97.8	113.2	96.4	95.1	83.1	88.3	105.4	1345.6
Sub 14	121.9	144.7	147.1	136.1	112.9	96.1	112.7	95.6	94.8	82.9	88.0	105.1	1337.9
Sub 15 Medio colca	122.6	145.1	148.6	136.9	117.1	100.0	113.5	96.8	94.9	83.3	89.1	106.3	1354.0
Sub 16	121.2	143.7	146.4	135.5	113.5	96.6	112.2	95.4	94.3	82.5	87.7	104.5	1333.3
Sub 17 Negrillo	116.0	137.8	140.5	129.0	108.0	91.5	106.1	90.4	89.0	77.9	83.1	99.5	1268.9
Sub 18	121.2	143.2	145.8	134.5	112.8	95.9	111.8	94.9	94.1	82.4	87.7	104.4	1328.7
Sub 19 Intercuenca Medio Alto Colca	121.9	144.1	146.9	136.3	114.3	97.5	113.7	96.4	95.9	83.9	89.0	105.5	1345.3
Sub 20 El Pañe Negrillo	117.8	139.2	141.4	128.8	107.4	90.7	106.3	90.2	89.3	78.4	83.9	100.7	1274.2
Sub 21 Condoroma	118.9	140.3	142.6	130.1	108.7	91.9	107.7	91.3	90.6	79.5	84.9	101.7	1288.2
Sub 22	121.0	142.4	145.6	134.7	114.2	97.3	112.5	95.6	94.8	83.1	88.4	104.5	1334.2
Sub 23 Maquerullo	120.2	141.2	144.0	131.3	111.1	94.1	109.3	92.8	91.9	80.5	86.0	102.5	1304.9
Sub 24 Chalhuanca	118.1	137.9	141.4	129.4	110.8	94.1	108.8	91.9	91.7	80.5	86.0	101.4	1292.1
Sub 25 Molloco	121.7	142.3	144.3	131.1	110.4	93.2	109.9	92.6	92.9	82.3	88.3	105.1	1314.0
sub 26 Andahua	133.1	154.8	155.8	142.2	121.0	101.5	120.3	101.5	102.1	91.4	98.2	116.2	1438.2
Sub 27	143.4	170.2	177.3	175.5	164.7	142.6	139.9	127.9	116.2	97.6	102.8	121.6	1679.7

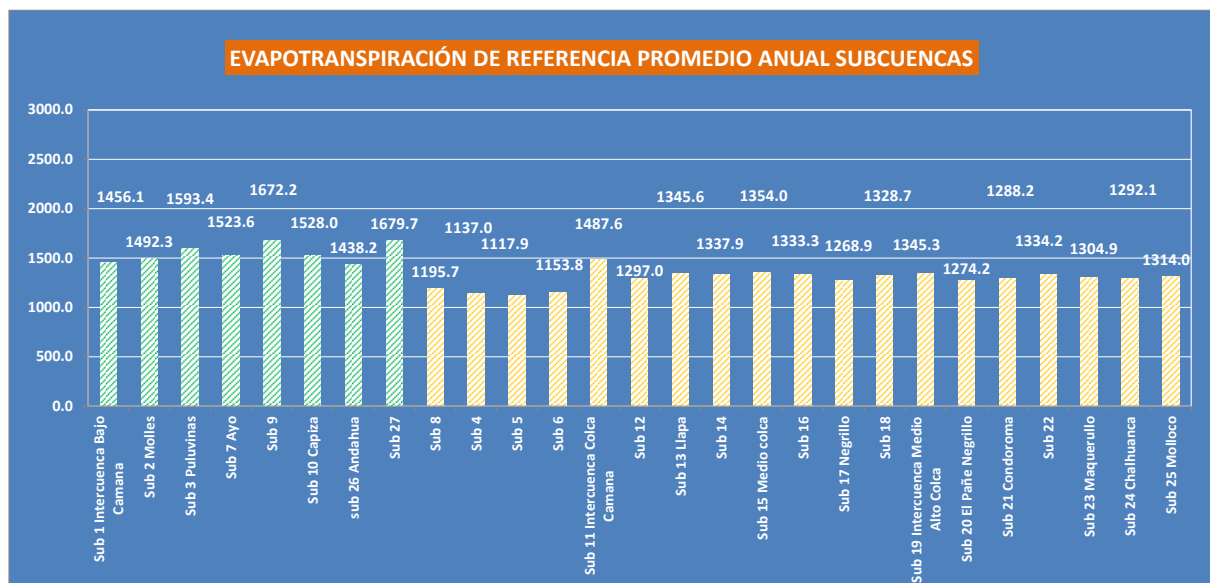


Figura 5-24 Climatología anual de la E_{to} en unidades hidrográficas de la cuenca Camaná-Majes

5.4 Conclusiones

5.4.1 Respecto a la caracterización de la precipitación actual

En la cuenca del río Ocoña, en el conjunto de subcuencas evaluadas, se ha determinado que la subcuenca Bajo Ocoña presenta la menor pluviometría anual con 2.5 mm; en el lado opuesto, la subcuenca Alto Cotahuasi, presenta la mayor pluviometría anual con 795.5 mm. La subcuenca del río Bajo Ocoña se caracteriza por picos máximos de 0.7 mm en el mes de febrero y valores mínimos de 0 mm en el mes de agosto. La subcuenca del río Alto Cotahuasi, se caracteriza por presentar una pluviometría con picos máximos de 201.9 mm en el mes de febrero y valores mínimos de 5.0 mm en el mes de junio.

En la cuenca del río Camana, en el conjunto de subcuencas evaluadas, se ha determinado que la Intercuenca Bajo Camana (sub 1) presenta la menor pluviometría anual con 9.6 mm; en el lado opuesto, la subcuenca Maquerullo (sub 23), presenta la mayor pluviometría anual con 889.6 mm. La Intercuenca Bajo Camana se caracteriza por picos máximos de 1.6 mm en el mes de enero y valores mínimos de 0.4 mm en el mes de junio. La subcuenca Maquerullo, se caracteriza por presentar una pluviometría con picos máximos de 210.1 mm en el mes de enero y valores mínimos de 6.6 mm en el mes de junio.

5.4.2 Respecto a la caracterización de la Temperatura del aire

La temperatura máxima en la región Arequipa, exhibe un gradiente térmico negativo, lo cual quiere decir que a elevaciones mayores se presenta las temperaturas menos cálidas, mientras que a elevaciones menores la temperatura se incrementa. En general la temperatura máxima en esta región decrece con un gradiente térmico mensual de $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/100$.

A escala de la cuenca Ocoña, el rango térmico anual varía de 14.3 a 25.8 °C correspondiente a las subcuencas Oyolo y Bajo Churunga. La subcuenca Oyolo se caracteriza por picos máximos de 16.3 °C en el mes de octubre y valores mínimos de 12.3 °C en el mes de febrero. La subcuenca Bajo Churunga, se caracteriza por presentar con picos máximos de 26.8 °C en el mes de enero y valores mínimos de 24.4 °C en el mes de mayo.

A escala de la cuenca Camana, el rango térmico anual varía de 12.7 a 26.6 °C correspondiente a las Intercuenca Bajo Camana y subcuenca 5. La Intercuenca Bajo Camana se caracteriza por picos máximos de 28.4 °C en el mes de febrero y valores mínimos de 24.4 °C en el mes de julio. La subcuenca 5, se caracteriza por presentar con picos máximos de 14.6 °C en el mes de noviembre y valores mínimos de 11.3 °C en el mes de julio.

5.4.3 Respecto a la caracterización de la evapotranspiración de referencia

Las estimaciones de la evapotranspiración de referencia se han realizado con el método de Hargreaves-Samani, en la cuenca del río Ocoña, en el conjunto de subcuencas evaluadas, se ha determinado que la Subcuenca Pacapausa (sub 1) presenta la menor evapotranspiración de referencia anual con 1465.1 mm/año; en el lado opuesto, la subcuenca Marañón (sub 12), presenta la mayor evapotranspiración de referencia anual con 1802 mm. La subcuenca Pacapausa se caracteriza por picos máximos de 156.8 mm en el mes de noviembre y valores mínimos de 92.1 mm en el mes de junio. La subcuenca Marañón, se caracteriza por presentar una evapotranspiración de referencia con

picos máximos de 183.4 mm en el mes de noviembre y valores mínimos de 117.3 mm en el mes de junio.

En la cuenca del río Camana, en el conjunto de subcuencas evaluadas, se ha determinado que la Subcuenca 5 presenta la menor evapotranspiración de referencia anual con 1117.9 mm/año; en el lado opuesto, la subcuenca 27 presenta la mayor evapotranspiración de referencia anual con 1679.7 mm. La subcuenca 5 se caracteriza por picos máximos de 125.2 mm en el mes de noviembre y valores mínimos de 67.1 mm en el mes de junio. La subcuenca 27, se caracteriza por presentar una evapotranspiración de referencia con picos máximos de 177.3 mm en el mes de noviembre y valores mínimos de 97.6 mm en el mes de junio.

A escala diaria en la cuenca del río Ocoña en promedio presenta una evapotranspiración de referencia de 4.0 a 5.0 mm/día, y en la cuenca del río Camana de 3.1 a 4.6 mm/día.

CAPÍTULO VI

Tendencias del clima medio e indicadores de extremos de temperatura y precipitación

6. Tendencias del clima medio

6.1 Tendencias climáticas de precipitación

En la región Arequipa la tendencia de la precipitación anual y durante el periodo de avenidas (diciembre-abril), indican evidencias de incrementos significativos en los últimos 50 años; principalmente en las localidades ubicadas en zonas altas de la región, por encima de los 3200 msnm. En el periodo anual, la localidad de Porpera indica incrementos de precipitación de 68% y Madrigal de 46% las Figuras 6-1 y 6-2. Asimismo, en el periodo de avenida Porpera presenta incrementos de 78%, Chivay de 43% y Las Salinas de 41%, precipitaciones por encima de su promedio histórico. En tanto, en primavera (setiembre-noviembre), existen evidencias de reducción de la precipitación, lo cual se manifiesta en el retraso del inicio del periodo de precipitaciones en la región Arequipa en los últimos 50 años. Siendo las reducciones de precipitación más significativas mayores de 30% en relación a su promedio histórico, principalmente en las localidades de Chinchayllapa y Pampa de Arrieros (región Arequipa), Crucero Alto (Cuenca del río Camaná-Majes), Salamanca y Pauza (Cuenca del río Ocoña).

En relación a las tendencias de extremos climáticos de precipitación, existe una señal de incremento de los días húmedos consecutivos y de la precipitación extrema en los últimos 50 años, en localidades por encima de los 3200 msnm como en Pampa de Arrieros, Madrigal y Huambo, Figura 6-3.

6.2 Tendencias climáticas de la temperatura mínima

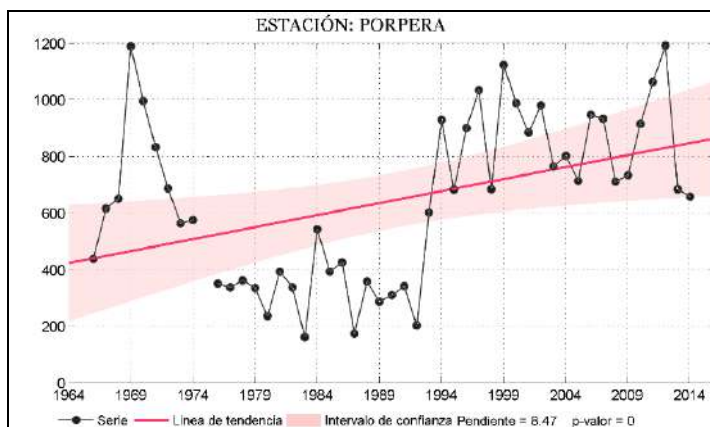
Las tendencias de temperatura mínima anual indican aumentos significativos a nivel regional de 0.1 a 0.3°C/Década, es decir de 0.5°C a 1.5°C en los últimos 50 años, Figuras 6-4 y 6-5. A escala estacional, en invierno existe evidencia de aumentos significativos en La Angostura de 0.7°C/década, Imata y Sibayo de 0.4°C/década, Chivay de 0.3°C/década, Caraveli y Chaparra de 0.2°C/década.

6.3 Tendencias climáticas de la temperatura máxima

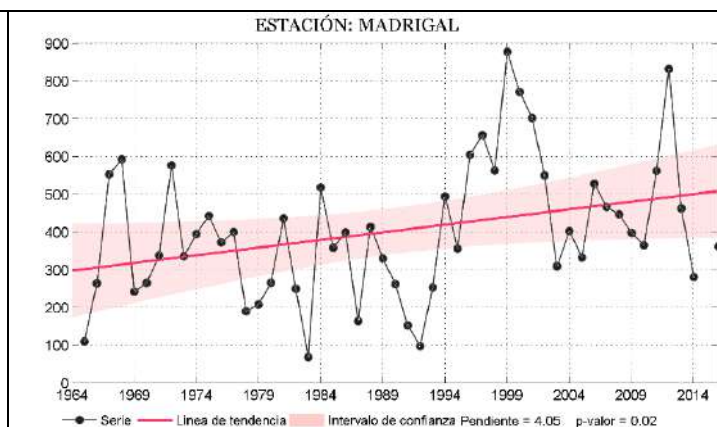
En lo que respecta a la temperatura máxima anual, existe evidencias de un aumento regional significativo de 0.1 a 0.4°C/Década, es decir de 0.5°C a 2°C en los últimos 50 años, Figuras 3 a y b. A escala estacional, en primavera se evidencian aumentos significativos de temperatura máxima en Cotahuasi (Cuenca del río Camaná-Majes), La Angostura y Chaparra de 0.4°C/Década; en Chivay (Cuenca del río Ocoña) de 0.5°C/Década.

En relación a las tendencias de los extremos de temperatura máxima, se ha identificado una señal de aumento consistente de los días cálidos y disminuciones de los días fríos en la región Arequipa, Figura 6-6.

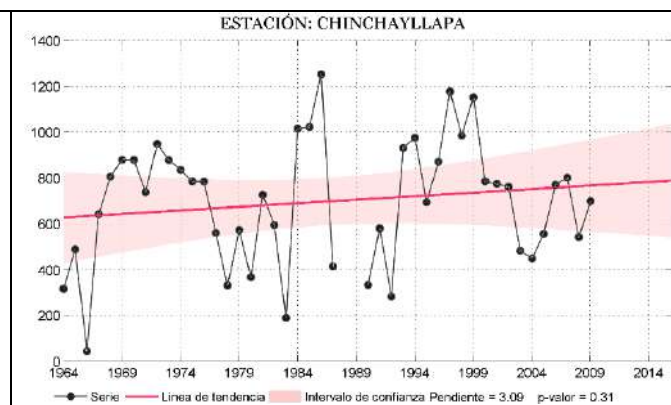
En relación a las tendencias de los extremos de temperatura mínima, se ha identificado una señal de aumento regional de las noches cálidas y una disminución de las noches frías, Figura 6-7.



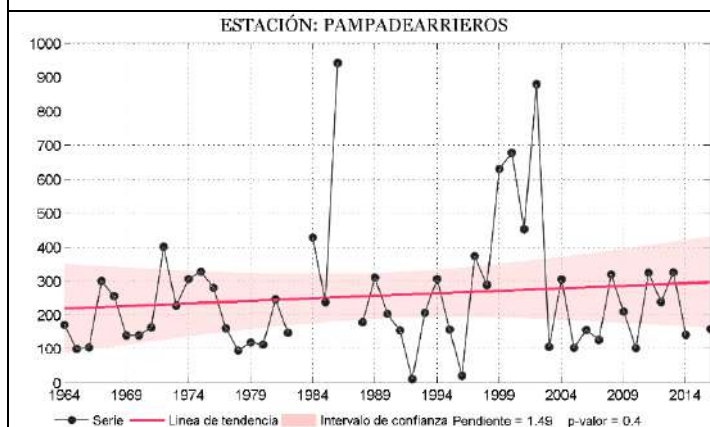
Altitud de estación: 4195 msnm, **Tendencia 84.7 mm/década.**



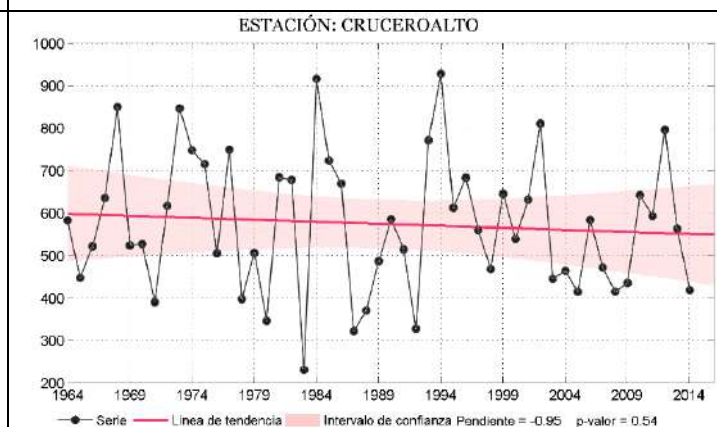
Altitud de estación: 3276 msnm, Tendencia 40.5 mm/década.



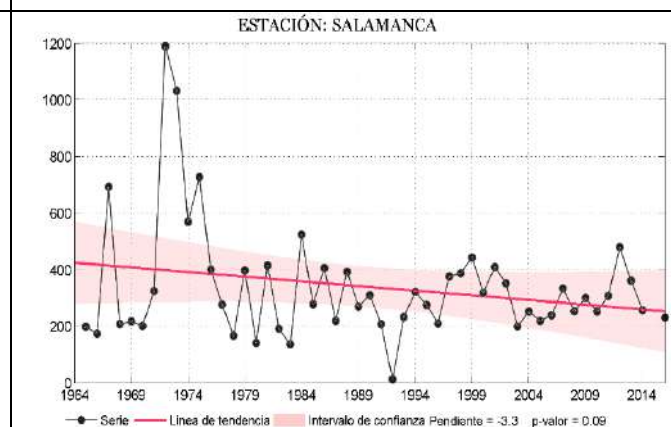
Altitud de estación: 4497 msnm, Tendencia 30.9 mm/década.



Altitud de estación: 3715 msnm, Tendencia 14.9 mm/década.



Altitud de estación: 4508 msnm, Tendencia -9.5 mm/década.



Altitud de estación: 3203 msnm, Tendencia -33 mm/década.

Figura 6-1 Tendencias de la precipitación anual en las distintas localidades de la región Arequipa, en negrita indican tendencias significativas

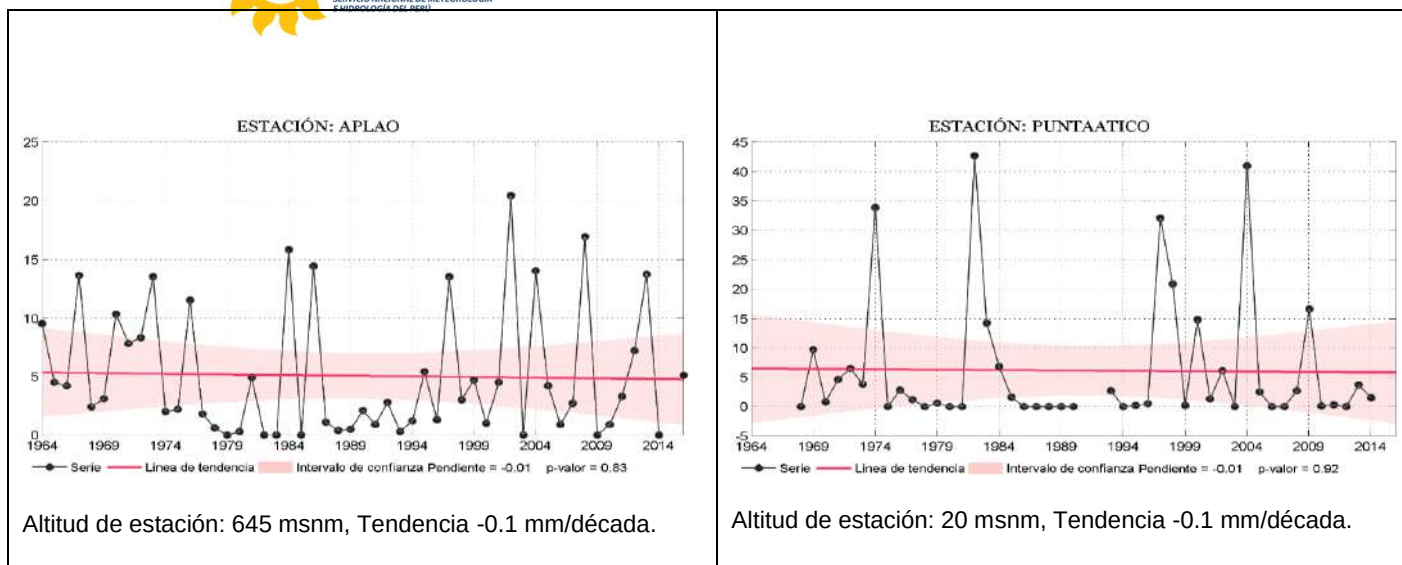


Figura 6-2 Tendencias de la precipitación anual en las distintas localidades de la región Arequipa, en **negrita** indican tendencias significativas

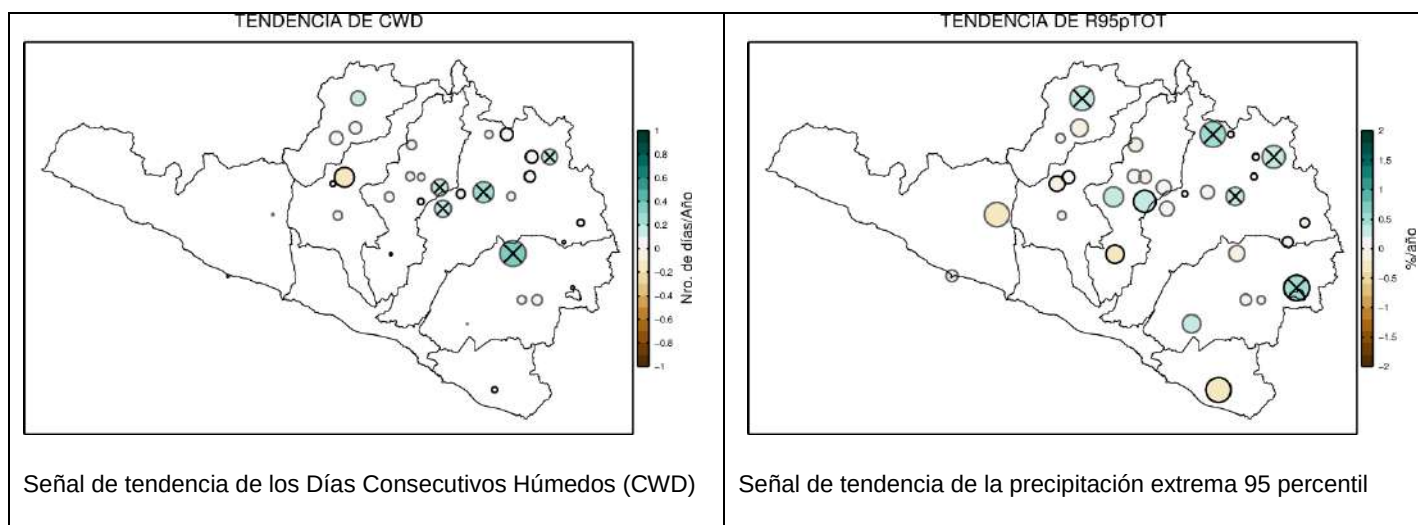
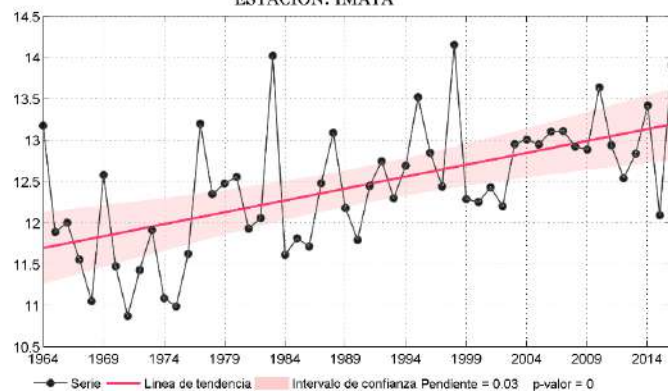


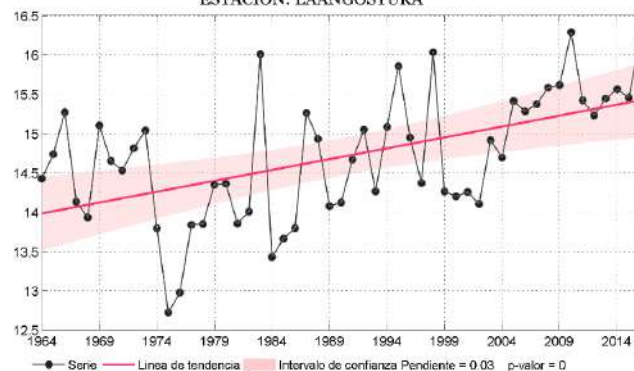
Figura 6-3 Señal de Tendencias de los Días Consecutivos Húmedos (CWD) y Precipitación extrema percentil 95 (R95pTOT) en el periodo anual, en las distintas localidades de la región Arequipa. El color verde gradual indica incremento y marrón gradual reducción; el símbolo x indica que estadísticamente es significativo

ESTACIÓN: IMATA



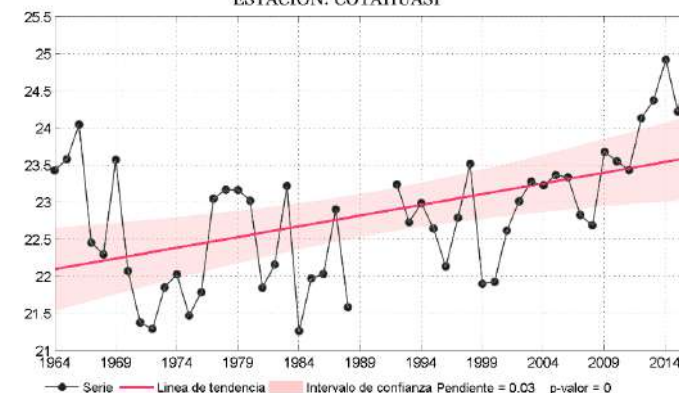
Altitud de estación: 4519 msnm, **Tendencia 0.3°C/década.**

ESTACIÓN: LAANGOSTURA



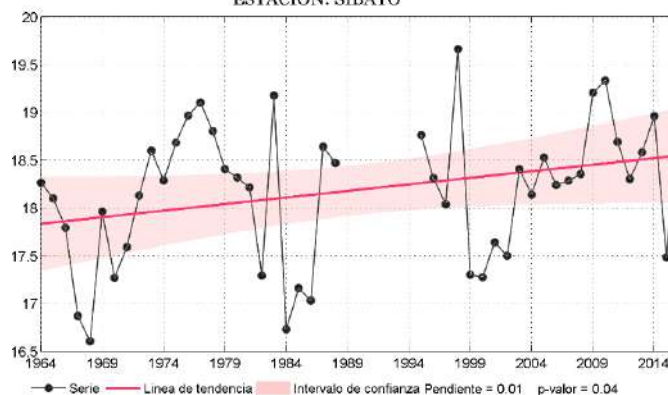
Altitud de estación: 4265 msnm, **Tendencia 0.3°C/década.**

ESTACIÓN: COTAHUASI



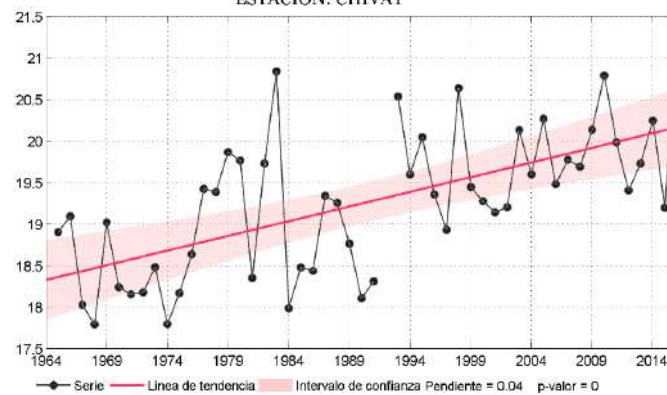
Altitud de estación: 2678 msnm, **Tendencia 0.3°C/década.**

ESTACIÓN: SIBAYO



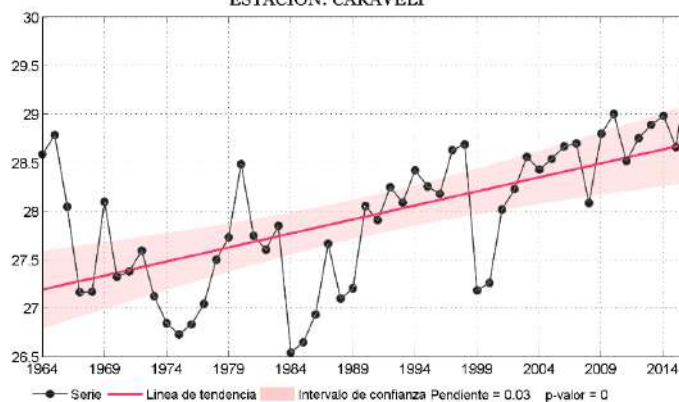
Altitud de estación: 3806 msnm, Tendencia 0.1°C/década.

ESTACIÓN: CHIVAY



Altitud de estación: 3644 msnm, **Tendencia 0.4°C/década.**

ESTACIÓN: CARAVELI



Altitud de estación: 1758 msnm, **Tendencia 0.3°C/década.**

Figura 6-4 Tendencias de la temperatura máxima anual en las distintas localidades de la región Arequipa, en negrita indican tendencias significativas

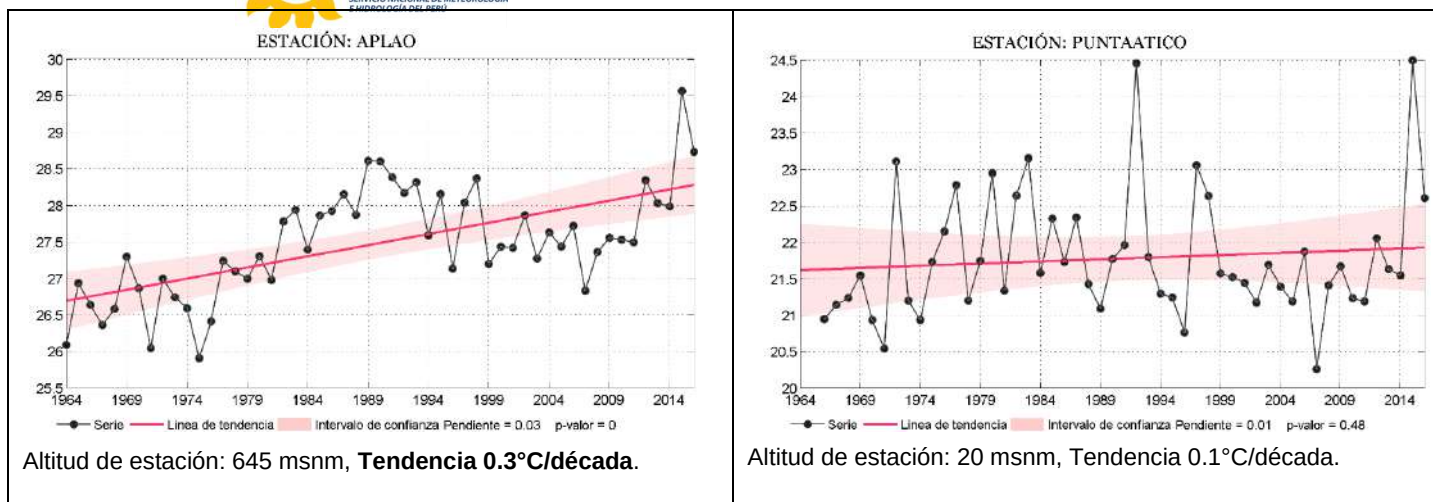


Figura 6-5 Tendencias de la temperatura máxima anual en las distintas localidades de la región Arequipa, en **negrita** indican tendencias significativas

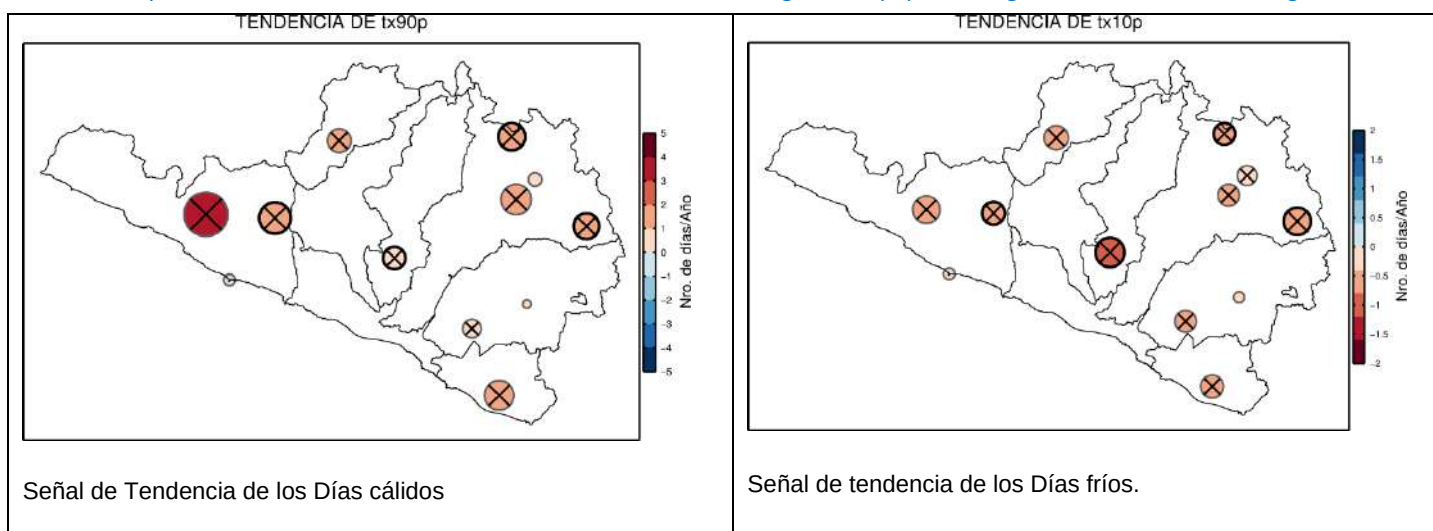
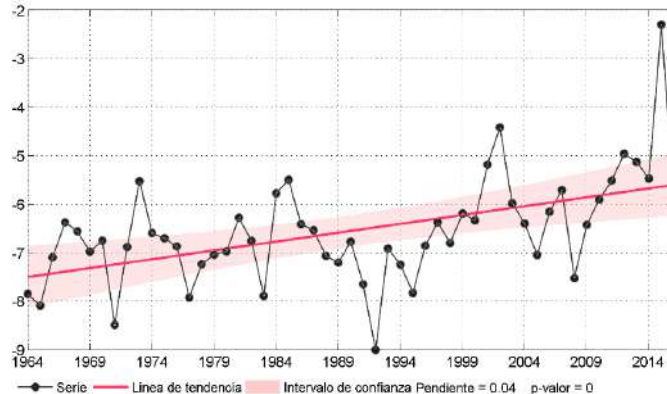


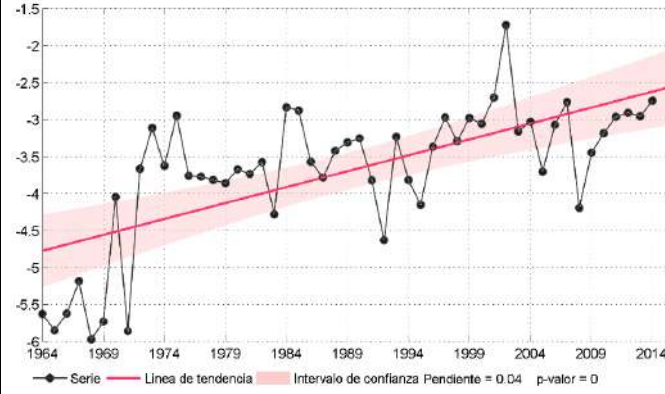
Figura 6-6 Señal de Tendencia de los Días Cálidos (Tx90) y Días fríos (Tx10p) en el periodo anual, en las distintas localidades de la región Arequipa. El color rojo gradual indica aumento y azul gradual disminución; el símbolo x indica que estadísticamente es significativo

ESTACIÓN: IMATA



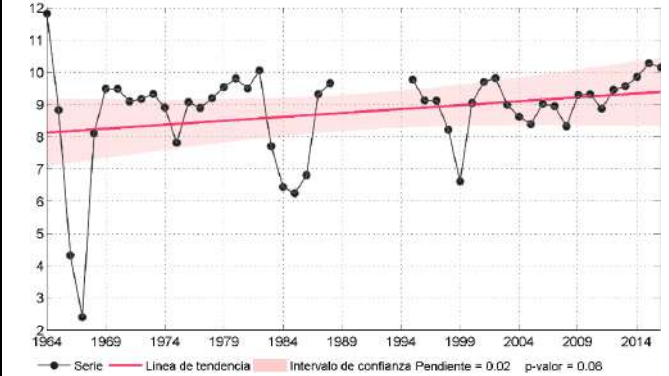
Altitud de estación: 4519 msnm, **Tendencia 0.4°C/década.**

ESTACIÓN: LAANGOSTURA



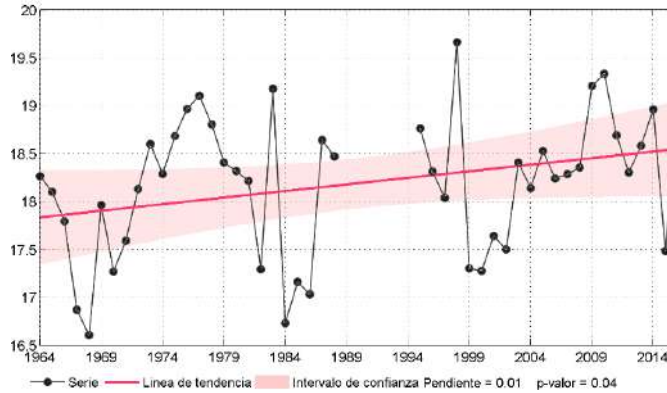
Altitud de estación: 4265 msnm, **Tendencia 0.4°C/década.**

ESTACIÓN: COTAHUASI



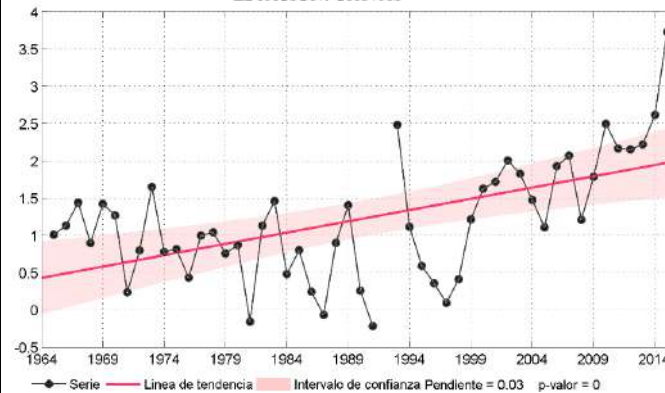
Altitud de estación: 2678 msnm, Tendencia 0.2°C/década.

ESTACIÓN: SIBAYO



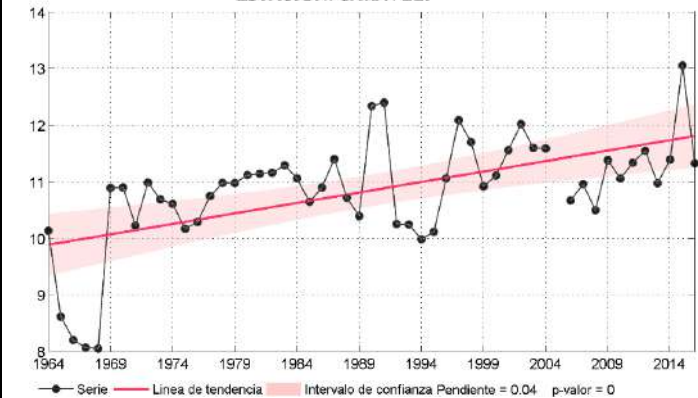
Altitud de estación: 3806 msnm, Tendencia 0.1°C/década.

ESTACIÓN: CHIVAY



Altitud de estación: 3644 msnm, **Tendencia 0.3°C/década.**

ESTACIÓN: CARAVELI



Altitud de estación: 1758 msnm, **Tendencia 0.4°C/década.**

Figura 6-7 Tendencias de la temperatura mínima anual en las distintas localidades de la región Arequipa, en negrita indican tendencias significativas

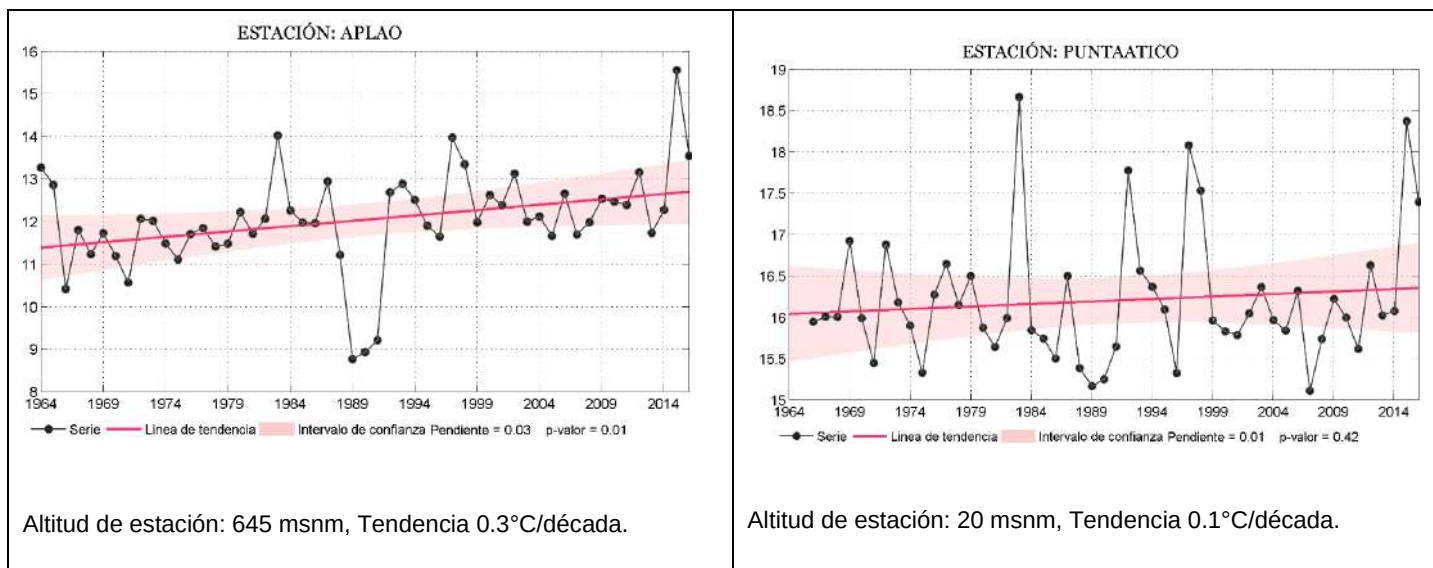


Figura 6-8 Tendencias de la temperatura mínima anual en las distintas localidades de la región Arequipa, en **negrita** indican tendencias significativas

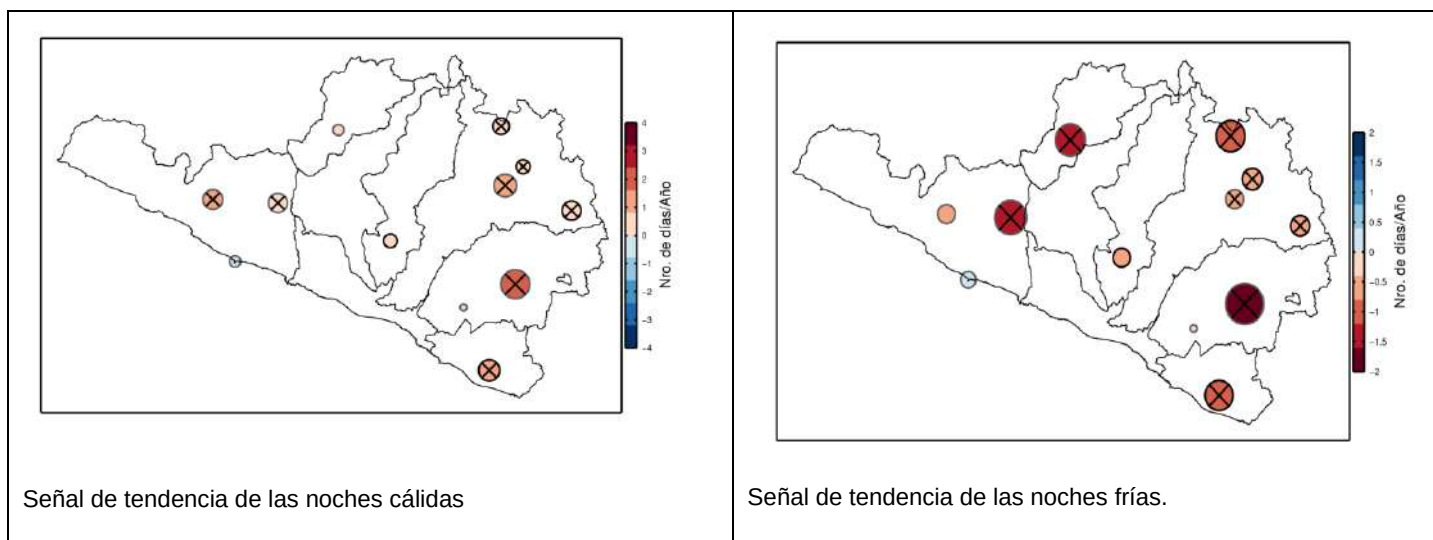


Figura 6-9 Señal de Tendencias de las noches cálidas (Tn90) y noches frías (Tn10P) en el periodo anual, en las distintas localidades de la región Arequipa

6.4 Conclusiones

6.4.1 Tendencias del clima medio de precipitación y temperatura

La tendencia de precipitación indican una señal de aumento significativo en los últimos 50 años en el periodo de avenida (diciembre-abril) y verano (diciembre-febrero), principalmente en localidades ubicadas en las zonas altas de la región Arequipa. Estas tendencias de aumento son significativas en estaciones de la cuenca de Camaná-Majes, mientras que en la cuenca de Ocoña son de aumento no significativo. De otro lado, se identifica una señal de reducción de la precipitación en primavera (setiembre-noviembre), lo cual estaría posiblemente asociado a un retraso del inicio de las precipitaciones y como consecuencia el corrimiento del periodo de lluvias con aumento de su concentración en verano (diciembre-febrero).

La tendencia de la temperatura máxima indica una señal regional de aumento significativo en los últimos 50 años en la región Arequipa. La tasa de aumento más alta se identificó en primavera (setiembre-noviembre). En lo que respecta a la temperatura máxima anual, existe evidencias de un aumento regional significativo de 0.1 a 0.4°C/Década, es decir de 0.5°C a 2°C en los últimos 50 años.

La tendencia de la temperatura mínima indica una señal regional de aumento significativo en los últimos 50 años en la región Arequipa y ligeramente más alto en relación a la tendencia de la temperatura máxima. La tasa de aumento más alta se identificó en invierno (junio-agosto). Las tendencias de temperatura mínima anual indican aumentos significativos a nivel regional de 0.1 a 0.3°C/Década, es decir de 0.5°C a 1.5°C en los últimos 50 años.

6.4.2 Tendencias de indicadores de extremos climáticos de precipitación y temperatura

Existe evidencias de la reducción de los días consecutivos secos (CDD) de precipitación en las zonas altas de la región Arequipa a diferencia de las localidades ubicadas en costa que presentan aumentos. En la cuenca de Ocoña los días consecutivos secos están aumentando.

Los días consecutivos húmedos (CWD) presentan tendencias de incrementos en la cuenca de Camaná-Majes mientras que en la de Ocoña no se presenta una señal significativa.

Los eventos de precipitación extrema en el periodo anual indican aumentos significativos en la cuenca Camaná-Majes, mientras que en la cuenca de Ocoña, se presentan tendencias nulas a reducción ligera.

Los extremos de temperaturas máximas y mínimas, indican aumento de los días cálidos y noches cálidas en gran parte de la región Arequipa, a diferencia de los días fríos y noches frías que muestran disminución importante.

CAPÍTULO VII

El modelamiento matemático para la generación de la oferta de agua en el sistema hídrico de las cuencas de los ríos Ocoña y Camaná-Majes

7. Modelamiento para la generación de la oferta de agua

En el presente Capítulo se describe y presenta los resultados del modelamiento hidrológico realizado en las cuencas de los ríos Ocoña y Camaná-Majes utilizando el Modelo de base física SWAT (Soil & Water Assessment Tool) el cual fue calibrado y validado para caracterizar el balance hídrico en sus diferentes fases del ciclo del agua de la cuenca y subcuencas; así como la cuantificación de los caudales de las subcuencas a paso de tiempo diario. Este modelo hidrológico así calibrado será utilizado para realizar las simulaciones hidrológicas de la oferta hídrica bajo Escenarios de Cambio Climático.

7.1 El modelamiento hidrológico con SWAT

El modelo hidrológico SWAT (*Soil Water Assessment Tools*) es una herramienta desarrollada por el Dr. Jeff Arnold en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos con la Universidad de Texas. Es un modelo continuo de base física usado para pronosticar el impacto que las prácticas de manejo del suelo tienen en el agua, sedimentos y nutrientes en largos periodos de tiempo (Di Luzio et al., 2002). SWAT está definido por 8 componentes: hidrología, clima, erosión y sedimentación, temperatura del suelo, crecimiento de plantas, nutrientes, pesticidas y manejo del suelo (Miller et al., 2007). El ciclo hidrológico que simula SWAT se basa en la ecuación de contenido final de agua en el suelo.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - ET_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

Donde:

SW_t es el contenido de agua en el suelo en el día t.

SW es el agua aprovechable por las plantas o el contenido de agua en el suelo menos el contenido de agua a 15-bar.

t es el tiempo en días.

R es la precipitación diaria.

Q la cantidad de escorrentía diaria.

ET la evapotranspiración diaria.

P la percolación diaria.

QR el flujo de retorno o flujo base.

Dentro de los principales componentes hidrológicos para el modelo SWAT, podemos citar a la evapotranspiración, la escorrentía superficial, el flujo lateral y al flujo de retorno.

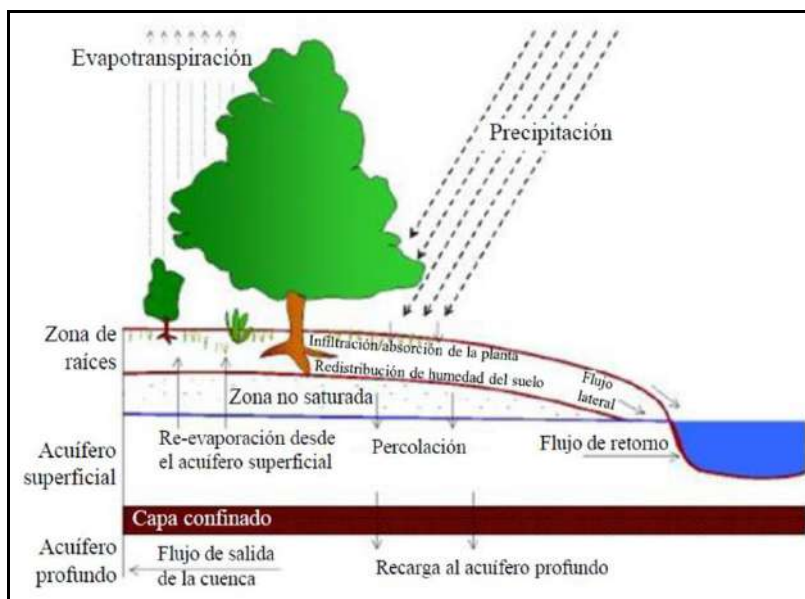


Figura 7-1 Representación del ciclo hidrológico en SWAT

7.2 El Marco metodológico adoptado para la modelización hidrológica con SWAT

El enfoque metodológico utilizado para el modelamiento hidrológico de las cuencas del río Ocoña y Camaná-Majes se muestra en la Figura 7-2.

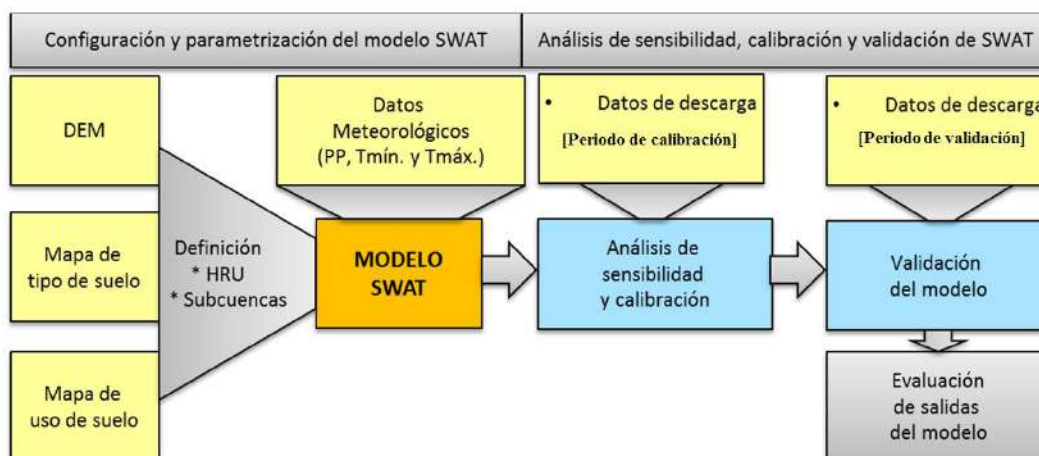


Figura 7-2 Flujograma de la metodología para el modelamiento hidrológico con SWAT

7.3 Resultados del modelamiento en la cuenca del río Ocoña

7.3.1 Simulación inicial del modelo SWAT

Todo el análisis que a continuación se presenta se hace en función de la precipitación diaria y la consecuente simulación de descargas medias diarias. Nótese que por la escala de tiempo que se ha trabajado, un análisis a nivel mensual o anual es posible de llevar a cabo. En base a la configuración y parametrización del modelo SWAT para la cuenca Ocoña, una simulación inicial del modelo se realizó en el período de calibración 2006-2011 con un año (2005-2006) de periodo de calentamiento. En general existe una ligera sobrestimación ($PBIAS = 5.3\%$) y desempeño insatisfactorio ($NSE = 0.3$). Estos

resultados se deben principalmente a la poca capacidad del modelo en representar las bajas descargas (nótese en la simulación a escala mensual).

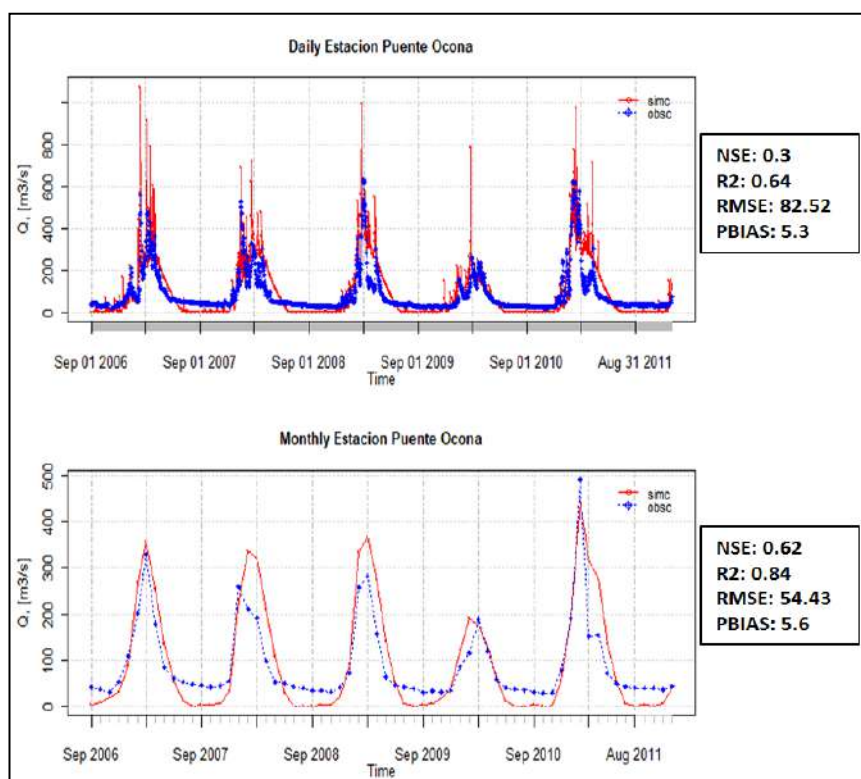


Figura 7-3 Simulación inicial del modelo SWAT en la estación Puente Ocoña

7.3.2 Calibración manual del modelo SWAT

El criterio que se ha tomado para establecer los rangos adecuados de los parámetros más sensibles para la calibración, depende según la estación a evaluar. Tal como se aprecia en la simulación inicial, se presenta subestimaciones en los periodos de estiaje y pequeños desfases de los caudales picos simulados, debido a ello los parámetros más influyentes son modificados correspondiendo a la necesidad de disponer más caudal en estiaje y la de ajustar mejor el desfase que el modelo genera.

Como estrategia de calibración, se ha de mencionar que dentro de la estructura del SWAT el flujo es dividido en flujo superficial (Q_{sup}), flujo lateral (Q_{lat}), flujo de retorno del acuífero superficial (Q_{gws}) y flujo de retorno del acuífero profundo (Q_{gwd}). Distintos parámetros gobiernan el aporte de cada uno de estos flujos, los cuales fueron tomados en cuenta para dar inicio a la calibración manual e identificación de los parámetros más sensibles.

7.3.3 Análisis de sensibilidad de los principales parámetros del modelo SWAT

Se realizó un análisis de sensibilidad de los parámetros que gobiernan el aporte hídrico para el modelo SWAT. En esta sección se analiza el rango de los valores más adecuado de cada parámetro influyente encontrado. Estos tienen implicancia directa en la producción de los flujos superficial (Q_{sup}), lateral (Q_{lat}) y subterráneo (Q_{gw}) de la cuenca.

- Parámetros de mayor influencia para el Q_{sup}

En cuanto a los parámetros que influyen en la cuantificación del flujo superficial, el número de curva (CN2) es el que mayor impacto genera. Es un parámetro muy sensible, cuyo aumento (disminución) produce un mayor (menor) aporte superficial y disminución (incremento) del índice de Nash. Cabe mencionar que si bien la reducción del CN2 mejora el desempeño del modelo, se debe tener en cuenta que se pierde el significado físico del proceso hidrológico de la cuenca al aumentar el aporte del Q_{lat} y Q_{gw} lo que conllevaría a que el modelo genere el aporte hídrico únicamente del flujo base y muy poco aporte del Q_{sup} .

- Parámetros de mayor influencia para el Q_{sup} , Q_{lat} y Q_{gw}

Se evaluaron los parámetros del suelo más influyentes. Se consideraron para el análisis la densidad aparente (SOL_BD) la conductividad hidráulica del suelo (SOL_K) y la capacidad de agua disponible (SOL_AWC). De estos tres parámetros el más importante fue SOL_AWC, parámetro permite cuantificar la cantidad de agua disponible en el suelo para el proceso de evapotranspiración; el cual indicó que el valor correcto a ser tomado debería estar en el rango de 0.09-0.1. Tiene una gran influencia para el aumento (reducción) del flujo lateral a medida que va incrementando (disminuyendo) su valor y mejorando (reduciendo) el desempeño del modelo en base al índice de Nash. El aumento (disminución) del SOL_AWC también genera una reducción (incremento) del aporte de Q_{gw} .

- Parámetros de mayor influencia para el Q_{gw}

Estos parámetros me permiten cuantificar mejor al aporte hídrico del acuífero superficial y profundo. Se identificaron cinco parámetros: RCHRG_DP, GW_REVAP, GWQMN, SHALLST y ALPHA_BF; entre ellos el más importante fue RCHRG_DP, que es la fracción que recarga el acuífero profundo desde la zona de raíces. El aumento (disminución) de su valor incrementa (reduce) el aporte hídrico del acuífero y tiende a producir un exceso (déficit) del mismo perdiendo el sentido físico del modelo. El rango establecido para su calibración fue de 0.55 a 0.6.

Parámetros como GWQMN y SHALLST, gobiernan el estado inicial del acuífero superficial y a partir de que umbral permite que ocurra el flujo de retorno. Para un mejor ajuste del índice de Nash sus valores deben estar en el rango de 1200-1300 y 700-800 respectivamente. Finalmente el GW_REVAP fue establecido entre 0.04-0.05 permitiendo así una mejor cuantificación de la intensidad de los caudales, debido a que un aumento (reducción) de su valor generaba una mayor (menor) subestimación.

7.3.4 Calibración semiautomática mediante el algoritmo *Sequential Uncertainty Fitting* (SUFI2)

La calibración semiautomática se llevó a cabo en el programa SWAT-CUP. A partir de los rangos obtenidos del análisis de sensibilidad (Tabla 7-10), los nueve parámetros considerados fueron calibrados de acuerdo a la función objetivo del criterio de Nash y a partir de dos simulaciones de 500 iteraciones cada uno.

Tabla 7-1. Valores mínimos y máximos de los parámetros más sensibles. La letra “v” antes de cada parámetro indica que el valor será sustituido entre algún valor del rango establecido.

Parámetros	Descripción	Valor Mínimo	Valor Máximo
v_SOL_AWC	Contenido de agua en el suelo para aprovechamiento de las plantas	0.09	0.1
v_RCHRG_DP	Recarga hídrica desde la zona de raíces hasta el acuífero profundo	0.55	0.6
v_GW_REVAP	Coeficiente de traslado del agua desde el acuífero superficial hacia la zona de raíces por efectos de capilaridad.	0.04	0.05
v_SHALLST	Umbral inicial [mm] del acuífero superficial	700	800
v_GWQMIN	Umbral mínimo [mm] del acuífero superficial para que ocurra el flujo de retorno	1200	1300
v_ALPHA_BF	Factor alfa del flujo base (1/día)	0.019	0.021

7.3.5 Simulación a paso de tiempo diario

Según lo propuesto por Moriasi et al. (2007), los resultados del proceso de calibración semiautomática permitió cuantificar los caudales medios diarios (NSE/PBIAS: 0.74/ 1) para el periodo de 01/01/2002 – 31/12/2010. Las métricas decrecen para el periodo de validación establecido entre 01/01/2011 hasta 31/12/2016, con valores satisfactorios (NSE/PBIAS: 0.5/ 8.3). Existen ligera (mayor) subestimación en el periodo de calibración (validación) en relación al PBIAS, pero está dentro del rango catalogado como buen desempeño.

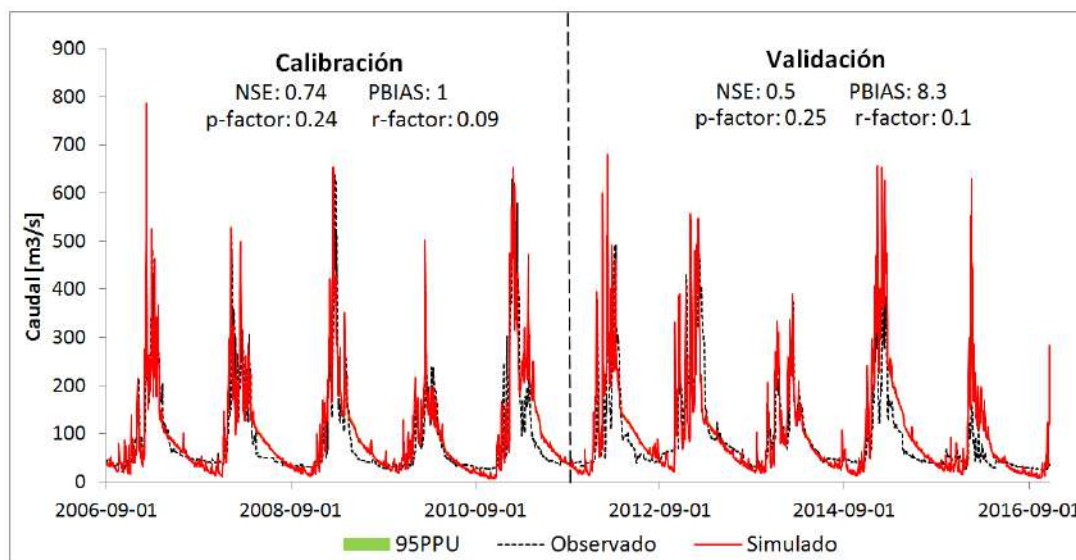


Figura 7-4. Comparativa de los caudales medios diarios simulados respecto al observado. Se indica las métricas de desempeño y la banda de incertidumbre al intervalo de predicción del 95% [995PPU].

Se observa que las medidas de incertidumbre mejoran. Así de acuerdo a p-factor la banda de 95PPU contiene 24% (25%) de las observaciones con una estrecha banda de incertidumbre dado por r-factor de 0.09 (0.1) en el periodo de calibración (validación). Estos valores obtenidos son aceptables y hacen referencia a un buen desempeño del modelo.

7.3.6 Simulación a paso de tiempo mensual

A nivel mensual la tendencia se mantiene (con resultados muy buenos), es decir, que para el periodo de calibración (NSE/PBIAS: 0.9/1.1) se obtienen mejor desempeño que el periodo de validación (NSE/PBIAS: 0.63/10.9). Las medidas de incertidumbre mejoran. Así de acuerdo a p-factor la banda de 95PPU contiene 19% (20%) de las observaciones con una estrecha banda de incertidumbre dado por r-factor de 0.01 (0.07) en el periodo de calibración (validación).

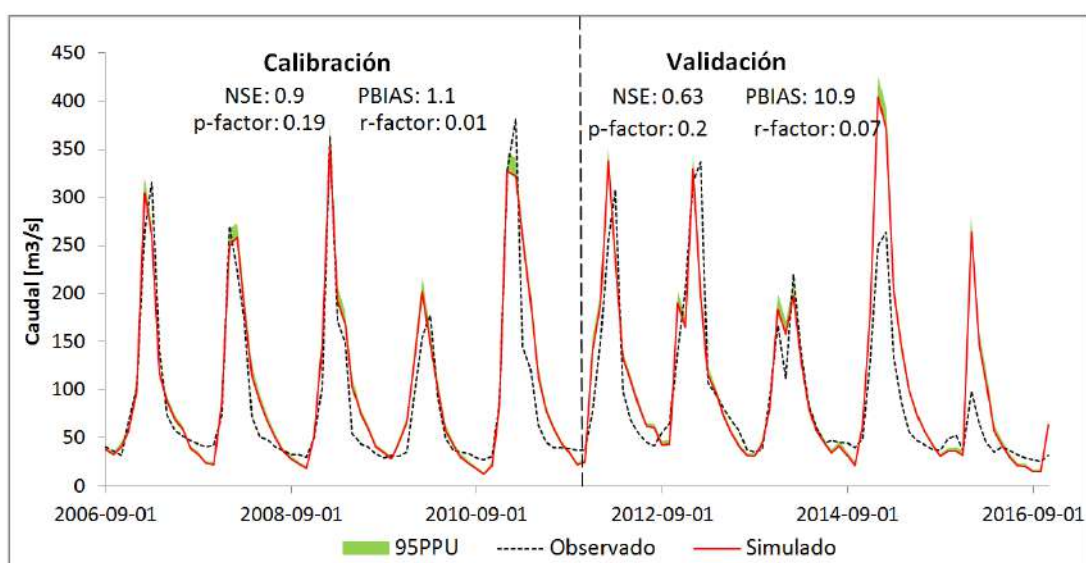


Figura 7-5 Comparativa de los caudales medios diarios simulados respecto al observado.

La Tabla 7-2 indica las métricas de desempeño y la banda de incertidumbre al intervalo de predicción del 95% [995PPU].

Tabla 7-2. Resumen de estadísticos del periodo de calibración y validación a partir del SUFI2

Estación	Calibración [01/01/2006 - 31/12/2011]				Validación [01/01/2012 - 31/12/2016]			
	NSE	PBIAS	p-factor	r-factor	NSE	PBIAS	p-factor	r-factor
Puente Ocoña [paso diario]	0.74	1	0.24	0.09	0.5	8.3	0.25	0.1
Puente Ocoña [paso mensual]	0.9	1.1	0.19	0.01	0.63	10.9	0.2	0.07

7.3.7 Balance hídrico de la cuenca del río Ocoña

El modelo SWAT caracteriza los diferentes procesos; siendo la precipitación, la escorrentía superficial, el flujo base (el flujo lateral más el flujo de retorno desde los acuíferos) y la evapotranspiración los elementos más importantes del balance hídrico. Así, para una mejor

comprensión de los diferentes procesos que ocurren dentro de la cuenca del río Ocoña (tomando como referencia aguas arriba de la estación Puente Ocoña); se presenta la cuantificación en mm de los diferentes componentes del balance hídrico en base al modelo SWAT calibrado.

La Tabla 7-3 muestra para la cuenca del río Ocoña el rendimiento hídrico es mayormente producido por la contribución del flujo base. En función al IFB la cuenca aporta flujo base (flujo de escorrentía superficial) en un 82.5% (17.5%) en promedio (de los periodos de calibración y validación) del total del rendimiento hídrico.

Tabla 7-3. Balance de masa anual del rendimiento hídrico de la cuenca. Q_{surf} , Q_{lat} , Q_{gws} y Q_{gwd} son los aportes de flujo superficial, lateral, del acuífero superficial y del acuífero profundo

Balance de masa anual	Sin calibración	Calibración	Validación
	2006-2011	2006-2011	2012-2016
Rendimiento de la cuenca			
Rendimiento hídrico ($WYLD=Q_{surf}+Q_{lat}+Q_{gws}+Q_{gwd}$) [mm]	208.63	196.36	216.58
Contribución de escorrentía superficial (Q_{surf}) [mm]	32.18	33.01	39.25
Contribución de flujo base ($FB=Q_{lat}+Q_{gws}+Q_{gwd}$) [mm]	176.45	163.35	177.33
Flujo Lateral (Q_{lat}) [mm]	51.97	63.43	67.7
Flujo de retorno desde el acuífero superficial (Q_{gws}) [mm]	117.56	7.40	8.16
Flujo de retorno desde el acuífero profundo (Q_{gwd}) [mm]	6.92	92.52	101.47
Índice de flujo base (IFB)	0.85	0.83	0.82

7.3.8 Balance hídrico de la cuenca del río Ocoña

Como una primera visualización del comportamiento hídrico de la cuenca del río Ocoña se adjunta la Figura 7-4 esta estimación se hizo en base al periodo de análisis 1981-2010.

Tabla 7-4. Promedio anual del balance hídrico (periodo 1981 – 2010) de la cuenca del río Ocoña

Componentes del balance hídrico anual	Periodo
	1981-2010
Aportes y pérdidas del sistema	
Precipitación (R) [mm]	440.9
Evapotranspiración actual (ET) [mm]	179.9
Evapotranspiración potencial (ETP) [mm]	1051.6
Rendimiento en la salida de la cuenca	
Rendimiento hídrico ($WYLD=Q_{sup}+Q_{lat}+Q_{gws}+Q_{gwd}$) [mm]	224.77
Contribución de escorrentía superficial (Q_{sup}) [mm]	38.26
Contribución de flujo base ($FB=Q_{lat}+Q_{gws}+Q_{gwd}$) [mm]	186.5
Flujo Lateral (Q_{lat}) [mm]	64.44
Flujo de retorno desde el acuífero profundo (Q_{gwd}) [mm]	93.86
Flujo de retorno desde el acuífero profundo (Q_{gws}) [mm]	6.92

Para caracterizar el potencial del rendimiento hídrico de la cuenca en la Figura 7-6 se muestra la caracterización espacial del rendimiento hídrico promedio anual (periodo 1981-2010) y sus componentes en porcentaje de contribución de la escorrentía superficial y el flujo base. Donde se puede apreciar que las sub-cuencas ubicadas a la salida de la cuenca tienen rendimientos más bajos (0 - 50 mm/año) debido que esta parte de la cuenca experimenta bajas tasas de precipitación propias de las costas de las cuencas de la vertiente del Pacífico. Mientras tanto la parte alta de la cuenca se presentan rendimientos más altos (150 - 500 mm/año). La mayor contribución al rendimiento hídrico está dado por el flujo base.

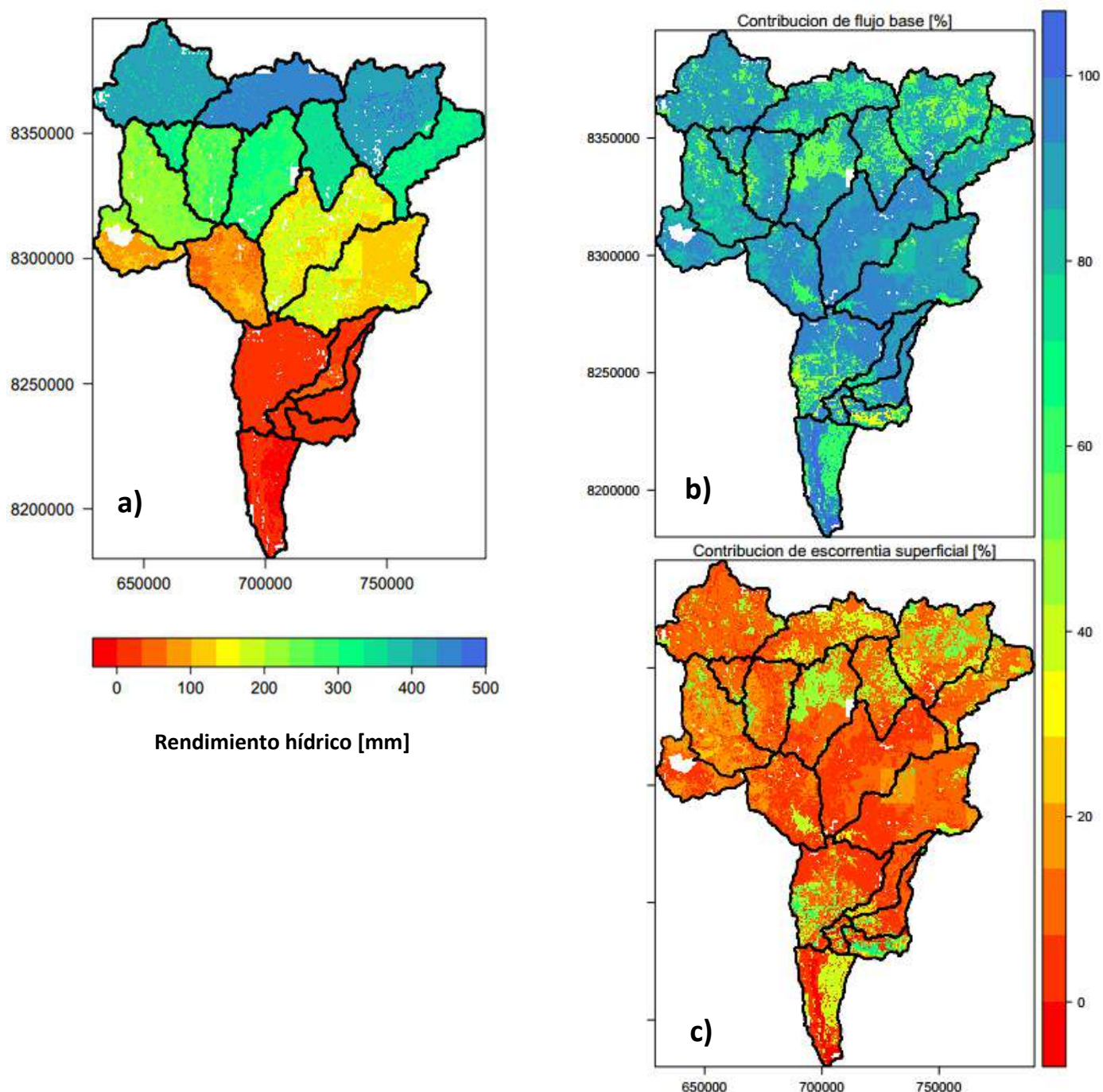


Figura 7-6 Distribución espacial a nivel de HRUs de: a) rendimiento hídrico (WYLD en mm) (Izquierda), b) contribución de flujo base (derecha superior) y c) contribución de la escorrentía superficial (derecha inferior).

La Tabla 7-5 muestra los caudales medios mensuales (período 1981-2010) .

Tabla 7-5. Resumen de Precipitación (R), Evapotranspiración real (ET), Rendimiento hídrico (WYLD), Contribución del flujo base (FB), Flujo superficial (Q_{sup}), Flujo lateral (Q_{lat}), Flujo del acuífero superficial (Q_{gws}) y Flujo del acuífero profundo (Q_{gwd}) para cada subcuenca del modelo SWAT en la cuenca del río Ocoña correspondientes a los promedios multianuales del periodo 1981-2010.

Rendimiento hídrico	R [mm]	ET [mm]	WYLD [mm]	Q_{sup} [mm]	FB [mm]	Q_{lat} [mm]	Q_{gws} [mm]	Q_{gwd} [mm]
Subcuenca 1	666.84	202.39	410.78	54.74	356.03	72.44	84.34	199.26
Subcuenca 2	592.82	213.58	323.24	26.67	296.57	177.56	16.81	102.21
Subcuenca 3	715.76	211.27	450.15	86.75	363.40	117.71	71.92	173.77
Subcuenca 4	592.82	201.90	330.80	52.70	278.10	58.75	55.41	163.95
Subcuenca 5	657.95	200.01	423.59	102.15	321.45	115.95	57.96	147.54
Subcuenca 6	601.37	195.02	338.86	60.21	278.65	82.53	51.00	145.12
Subcuenca 7	614.61	210.92	350.65	71.29	279.36	80.34	51.35	147.68
Subcuenca 8	537.45	220.00	222.12	36.71	185.41	54.41	19.54	111.46
Subcuenca 9	532.14	224.16	256.11	40.78	215.33	111.49	12.98	90.86
Subcuenca 10	577.31	223.95	300.87	66.10	234.77	46.45	47.06	141.26
Subcuenca 11	215.29	117.45	102.61	10.58	92.04	14.37	0.00	77.67
Subcuenca 12	243.23	148.41	83.36	9.75	73.61	57.53	0.00	16.07
Subcuenca 13	405.59	208.67	160.63	11.42	149.21	91.41	2.71	55.09
Subcuenca 14	406.91	214.14	149.23	16.62	132.61	53.81	6.50	72.29
Subcuenca 15	162.16	126.27	29.74	3.79	25.95	16.78	0.00	9.17
Subcuenca 16	95.33	77.93	16.14	2.33	13.81	11.81	0.00	1.99
Subcuenca 17	97.82	86.68	11.20	2.38	8.83	8.15	0.00	0.68
Subcuenca 18	78.95	69.24	10.32	0.83	9.49	9.31	0.00	0.18
Subcuenca 19	98.58	78.62	19.61	2.43	17.18	16.04	0.00	1.14
Subcuenca 20	94.28	90.48	4.77	0.09	4.68	4.68	0.00	0.00

La Figura 7-7 se ilustra globalmente la magnitud de la oferta hídrica anual que el modelo SWAT estima en cada una de las unidades hidrográficas identificadas en la cuenca del río Ocoña, donde se puede apreciar que la mayor producción de agua se presenta en el sistema hídrico del río Marán (punto de cierre de cuenca con codificación 12) con un caudal promedio anual de 61.0 m³/s. En el sistema hídrico del río Cotahuasi la oferta hídrica alcanza un caudal promedio anual de 41.0 m³/s (punto de cierre de subcuenca con codificación 13). La menor oferta hídrica anual se presenta en la subcuenca del río Churunga (punto de cierre en subcuenca con codificación 18) con un caudal promedio anual de 0.6 m³/s.

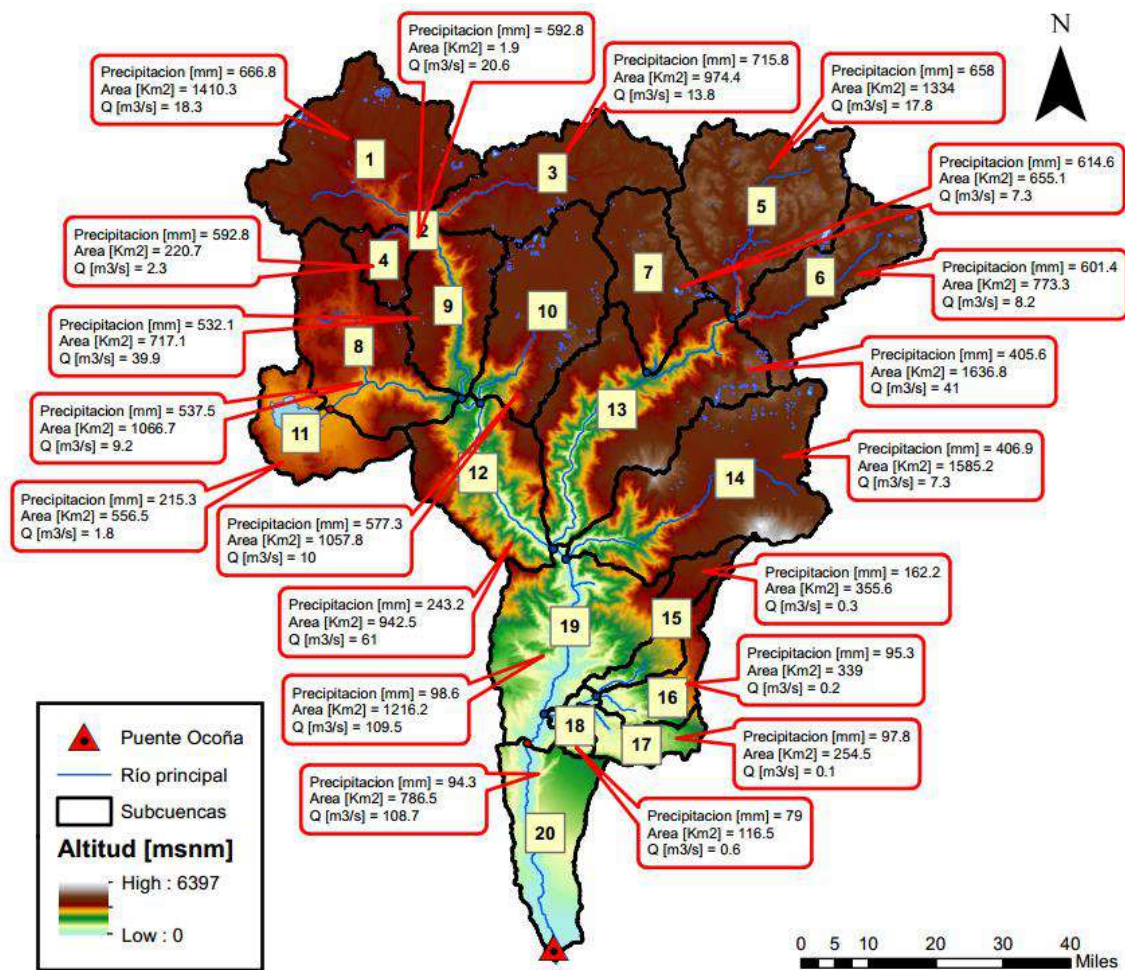


Figura 7-7 Oferta hídrica anual en m³/s en cada unidad hidrográfica de la cuenca Ocoña periodo 1981-2010

7.4 Resultados del modelamiento en la cuenca del río Camana Majes

7.4.1 Simulación inicial del modelo

Todo el análisis que a continuación se presenta se hace en función de la precipitación diaria y la consecuente simulación de descargas medias diarias. Nótese que por la escala de tiempo que se ha trabajado, un análisis a nivel mensual o anual es posible de llevar a cabo. En base a la configuración y parametrización del modelo SWAT para la cuenca Camaná Majes, una simulación inicial del modelo se realizó en el período de calibración 2002-2010 con un año (2000-2001) de periodo de calentamiento. En general existe subestimación (PBIAS= -24.3%) y desempeño insatisfactorio (NSE=0.34). Estos resultados se deben principalmente a la poca capacidad del modelo en representar las bajas descargas (nótese en la simulación a escala mensual).

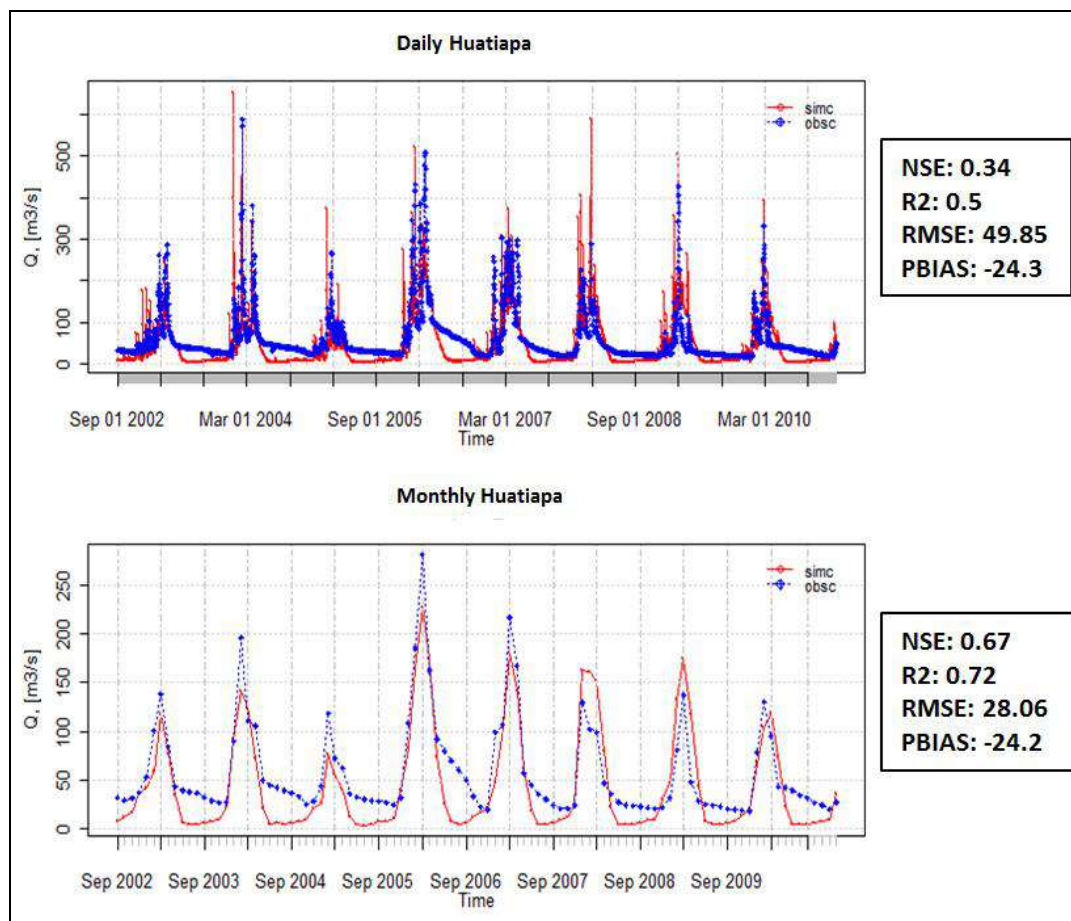


Figura 7-8 Simulación inicial del modelo SWAT con punto de calibración en la estación Huatiapa

7.4.2 Calibración manual del modelo SWAT

El criterio que se ha tomado para establecer los rangos adecuados de los parámetros más sensibles para la calibración, depende según la estación a evaluar. Tal como se aprecia en la simulación inicial, se presenta subestimaciones en los periodos de estiaje y pequeños desfases de los caudales picos simulados, debido a ello los parámetros más influyentes son modificados correspondiendo a la necesidad de disponer más caudal en estiaje y la de ajustar mejor el desfase que el modelo genera. Como estrategia de calibración, se ha de mencionar que dentro de la estructura del SWAT el flujo es dividido en flujo superficial (Q_{sup}), flujo lateral (Q_{lat}), flujo de retorno del acuífero superficial (Q_{gws}) y flujo de retorno del acuífero profundo (Q_{gwd}). Distintos parámetros gobiernan el aporte de cada uno de estos flujos, los cuales fueron tomados en cuenta para dar inicio a la calibración manual e identificación de los parámetros más sensibles.

7.4.3 Análisis de sensibilidad de los principales parámetros del modelo SWAT

Se realizó un análisis de sensibilidad de los parámetros que gobiernan el aporte hídrico para el modelo SWAT. En esta sección se analiza el rango de los valores más adecuado de cada parámetro que se pueden considerar como los más influyentes. Estos tienen implicancia directa en la producción de los flujos superficial (Q_{sup}), lateral (Q_{lat}) y subterráneo (Q_{gw}) de la cuenca.

Tal como se puede apreciar en la Tabla 7-6 hay una notoria subestimación de caudales en los periodos de estiaje, en base a ello un primer análisis de los parámetros que gobiernan el aporte del flujo subterráneo fue realizado. Cabe mencionar, que hubo parámetros que no fueron considerados en el análisis de incertidumbre. Ellos fueron obtenidos a partir de la información proporcionada por AUTODEMA y se encuentran especificados en la Tabla 7-6.

Tabla 7-6. Parámetros considerados como constantes y no sujetos al análisis de incertidumbre. Parámetros correspondientes a los embalses en la cuenca Camaná Majes.

Variaciones	Condiciones	Condorama	El Pañe	Dique Los Españoles
YRES	Año de inicio operacional	1985	1962	1992
RES_ESA (ha)	Área superficial al vertedero de emergencia	2000	1406.21	620.48
RES_EVOL (10 ⁴ m ³)	Volumen al vertedero de emergencia	28500	14091	1325
RES_PSA (ha)	Área superficial al vertedero principal	1500	1370.06	569.8
RES_PVOL (10 ⁴ m ³)	Volumen al vertedero principal	25900	9961	1193
RES_RR (m ³ /s)	Caudal de descarga promedio del vertedero principal	1300	45	56
NAME	Nivel de aguas extraordinario	4155	4539.4	4419.7
NAMO	Nivel de aguas ordinario	4151	4538.4	4419

Fuente: AUTODEMA

- Parámetros de mayor influencia para el Q_{sup}

En cuanto a los parámetros que influyen en la cuantificación del flujo superficial, el número de curva (CN2) es el que mayor impacto genera. Es un parámetro muy sensible, cuyo aumento (disminución) produce un mayor (menor) aporte superficial y disminución (incremento) del índice de Nash. Cabe mencionar que si bien la reducción del CN2 mejora el desempeño del modelo, se debe tener en cuenta que se pierde el significado físico del proceso hidrológico de la cuenca al aumentar el aporte del Q_{lat} y Q_{gw} lo que conllevaría a que el modelo genere el aporte hídrico únicamente del flujo base y muy poco aporte del Q_{sup} . Sin embargo, el análisis de los parámetros SURLAG y CH_N (ver descripción en la Tabla 6-16) permitió mejorar considerablemente la bondad de ajuste del modelo sin la necesidad de alterar el aporte de flujo de los distintos niveles del SWAT. Estos parámetros al estar más relacionados a los tiempos de respuesta del hidrograma, permiten ajustar las descargas simuladas y su consecuente mejora del índice de Nash. Cabe mencionar que la cuantificación correcta del rango de sus valores es muy importante, debido a que a partir de cierto umbral, son incapaces de representar correctamente los eventos de altas descargas. Para efectos del presente estudio se vio conveniente considerar SURLAG mayores a 0.7 y CH_N entre 0.1 y 0.15; valores correspondientes a números de Manning de canales naturales (Tabla 7-7).

Tabla 7-7. Valores de Manning recomendados para canales abiertos (excavados y naturales)

Características del canal	Mediana	Rango
Excavated or dredged		
Earth, straight and uniforme	0.025	0.016 – 0.033
Earth, winding and sluggish	0.035	0.023-0.050
Not Maintained weeds and brush	0.075	0.040-0.140
Natural streams		
Few trees, stones or brush	0.050	0.025-0.065
Heavy timber and brush	0.100	0.050-0.150

Fuente: Chow (1959 en <http://swat.tamu.edu/media/69296/SWAT-IO-Documentation-2012.pdf>)

- Parámetros de mayor influencia para el Q_{sup} , Q_{lat} y Q_{gw}

Se evaluaron los parámetros del suelo más influyentes. Se consideraron para el análisis la densidad aparente (SOL_BD) la conductividad hidráulica del suelo (SOL_K) y la capacidad de agua disponible (SOL_AWC). De estos tres parámetros el más importante fue SOL_AWC, parámetro permite cuantificar la cantidad de agua disponible en el suelo para el proceso de evapotranspiración; el cual indicó que el valor correcto a ser tomado debería variar relativamente entre -0.42 a -0.4, rango que disminuye la cantidad a evapotranspirar y en consecuencia hay menor pérdida de agua en el sistema y mayor aporte del mismo. Tiene una gran influencia para el aumento (reducción) del flujo lateral a medida que va disminuyendo (incrementando) la variación relativa de su valor y mejorando (reduciendo) el desempeño del modelo en base al índice de Nash.

SOL_BD ha sido la más influyente en la reducción del ligero desfase que existe entre los hidrogramas simulados y observados. Este desfase está vinculado con la respuesta retardada del flujo lateral ya que de acuerdo a los datos de suelo los valores iniciales corresponden a suelos muy pesados (arcillosos). De tal manera, un aumento relativo entre 0.3 a 0.5 permite tener un mejor empalme y asociarlos a suelos menos pesados (limosos, arenosos) incrementando la eficiencia del modelamiento según el índice de Nash.

- Parámetros de mayor influencia para el Q_{gw}

Estos parámetros me permiten cuantificar mejor al aporte hídrico del acuífero superficial y profundo. Se identificaron cinco parámetros: RCHRG_DP, GWQMN y SHALLST. De entre ellos el más importante fue el RCHRG_DP, que es la fracción que recarga el acuífero profundo desde la zona de raíces. El aumento (disminución) de su valor incrementa (reduce) el aporte hídrico del acuífero y tiende a producir un exceso (déficit) del mismo perdiendo el sentido físico del modelo. El rango establecido para su calibración fue de 0.5 a 0.6.

Parámetros como GWQMN y SHALLST, gobiernan el estado inicial del acuífero superficial y a partir de que umbral permite que ocurra el flujo de retorno. Para un mejor ajuste del índice de Nash y para reducir la subestimación en los periodos de estiaje, sus valores deben estar en el rango de 700-750 y 1300-1500 respectivamente.

7.4.4 Calibración semiautomática mediante el algoritmo *Sequential Uncertainty Fitting* (SUF12)

La calibración semiautomática se llevó a cabo en el programa SWAT-CUP. A partir de los rangos obtenidos del análisis de sensibilidad (Tabla 7-8), los siete parámetros considerados fueron calibrados de acuerdo a la función objetivo del criterio de Nash y a partir de dos simulaciones de 500 iteraciones cada uno.

Tabla 7-8. Valores mínimos y máximos de los parámetros más sensibles. Valores de los parámetros del modelo SWAT calibrado. En la columna que corresponde al código del parámetro “v” (“r”) indica que el parámetro fue: sustituido por un cierto valor del rango (multiplicado por 1 + cierto valor de cambio relativo).

Parámetros	Descripción	Valor Mínimo	Valor Máximo
r_SOL_AWC	Contenido de agua en el suelo para aprovechamiento de las plantas	-0.42	-0.4
v_RCHRG_DP	Recarga hídrica desde la zona de raíces hasta el acuífero profundo	0.5	0.6
r_SOL_BD	Densidad aparente del suelo.	0.3	0.5
v_SHALLST	Umbral inicial [mm] del acuífero superficial	1300	1500
v_GWQMIN	Umbral mínimo [mm] del acuífero superficial para que ocurra el flujo de retorno	700	750
v_CH_N	Numero de Manning para los canales (ríos) tributarios.	0.1	0.15

7.4.5 Simulación a paso de tiempo diario

Según lo propuesto por Moriasi et al. (2007), los resultados del proceso de calibración semiautomática permitió cuantificar correctamente los caudales medios diarios (NSE/PBIAS: 0.63/ -0.6) para el periodo de 01/01/2002 – 31/12/2010. Las métricas decrecen para el periodo de validación establecido entre 01/01/2011 hasta 31/12/2016, pero con valores satisfactorios (NSE/PBIAS: 0.74/ 1.9). En relación al PBIAS, presenta un buen desempeño con ligera subestimación (sobreestimación) para el periodo de calibración (validación).

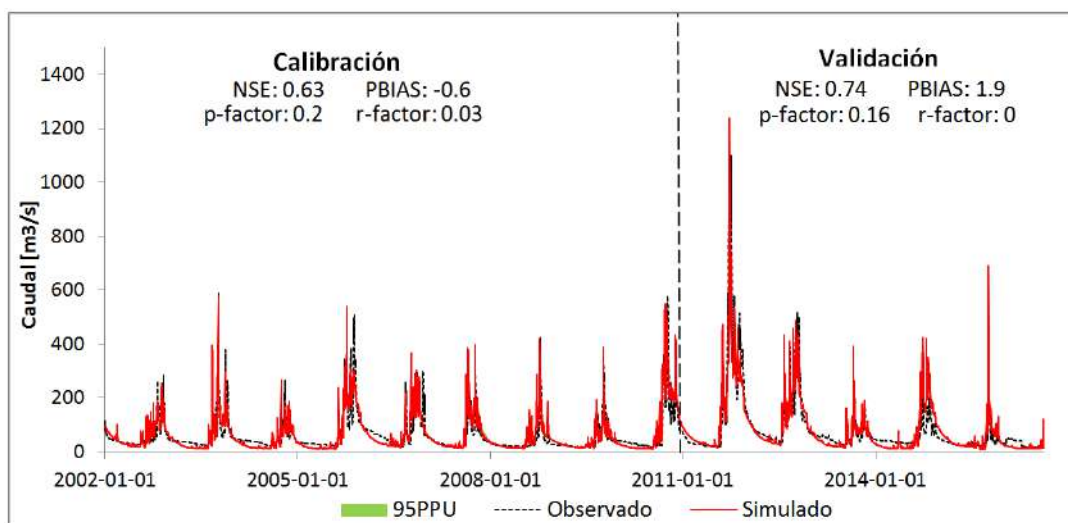


Figura 7-9. Comparativa de los caudales medios diarios simulados respecto al observado. Se indica las métricas de desempeño y la banda de incertidumbre al intervalo de predicción del 95% [95PPU].

Se observa que las medidas de incertidumbre mejoran. Así de acuerdo a p-factor la banda de 95PPU contiene 20% (16%) de las observaciones con una estrecha banda de incertidumbre dado por r-factor de 0.03 (0) en el periodo de calibración (validación). Según Estos valores obtenidos son aceptables y hacen referencia a un buen desempeño del modelo.

7.4.6 Simulación a paso de tiempo mensual

A nivel mensual la tendencia se mantiene (con resultados muy buenos), es decir, que para el periodo de calibración (NSE/PBIAS: 0.85/-1.1) se obtienen mejor desempeño que el periodo de validación (NSE/PBIAS: 0.87/10.9). Las medidas de incertidumbre mejoran. Así de acuerdo a p-factor la banda de 95PPU contiene 24% (20%) de las observaciones con una estrecha banda de incertidumbre dado por r-factor de 0.03 (0) en el periodo de calibración (validación).

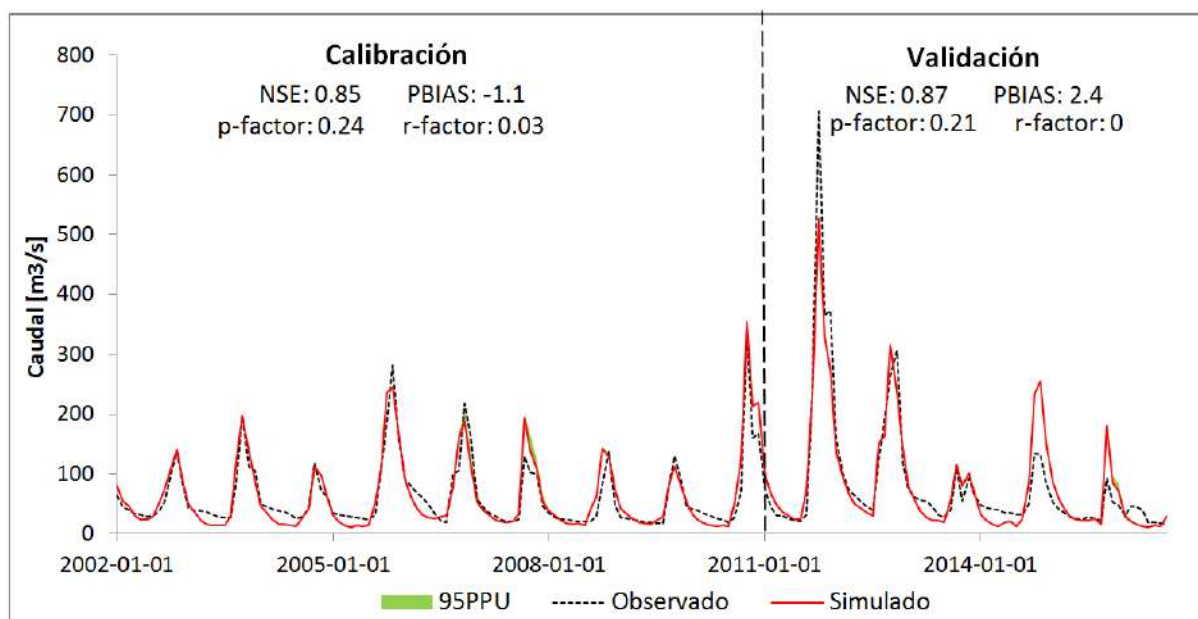


Figura 7-10. Comparativa de los caudales medios diarios simulados respecto al observado.

Se indica las métricas de desempeño y la banda de incertidumbre al intervalo de predicción del 95% [995PPU]

Tabla 7-9. Resumen de estadísticos del periodo de calibración y validación a partir del SUFI2

Estación	Calibración [01/01/2002 - 31/12/2010]				Validación [01/01/2011 - 31/12/2016]			
	NSE	PBIAS	p-factor	r-factor	NSE	PBIAS	p-factor	r-factor
Huatiapa [paso diario]	0.63	-0.6	0.2	0.03	0.74	1.9	0.24	0.03
Huatiapa [paso mensual]	0.85	-1.1	0.24	0.03	0.87	10.9	0.2	0

7.4.7 Balance hídrico de la cuenca del río Camaná Majes

El modelo SWAT caracteriza los diferentes procesos; siendo la precipitación, la escorrentía superficial, el flujo base (el flujo lateral más el flujo de retorno desde los acuíferos) y la evapotranspiración los elementos más importantes del balance hídrico. Así, para una mejor comprensión de los diferentes procesos que ocurren dentro de la cuenca del río Camaná Majes se presenta la cuantificación en mm de los diferentes componentes del balance hídrico en base al modelo SWAT calibrado.

La Tabla 7-10 muestra para la cuenca del río Camaná Majes el rendimiento hídrico es mayormente producido por la contribución del flujo base. En función al IFB la cuenca aporta flujo base (flujo de escorrentía superficial) en un 86.5% (13.5%) en promedio (de los periodos de calibración y validación) del total del rendimiento hídrico.

Tabla 7-10 Balance de masa anual del rendimiento hídrico de la cuenca. Q_{surf} , Q_{lat} , Q_{gws} y Q_{gwd} son los aportes de flujo superficial, lateral, del acuífero superficial y del acuífero profundo.

Balance de masa anual	Sin calibración 2002-2010	Calibración 2002-2010	Validación 2011-2016
Rendimiento de la cuenca			
Rendimiento hídrico ($WYLD=Q_{surf}+Q_{lat}+Q_{gws}+Q_{gwd}$) [mm]	101.07	129.31	174.15
Contribución de escorrentía superficial (Q_{surf}) [mm]	16.16	16.43	24.69
Contribución de flujo base ($FB=Q_{lat}+Q_{gws}+Q_{gwd}$) [mm]	84.91	112.88	149.46
Flujo Lateral (Q_{lat}) [mm]	25.06	36.97	43.92
Flujo de retorno desde el acuífero superficial (Q_{gws}) [mm]	54.6	24.93	42.03
Flujo de retorno desde el acuífero profundo (Q_{gwd}) [mm]	5.25	50.98	63.51
Índice de flujo base (IFB)	0.84	0.87	0.86

7.4.8 Balance hídrico de las subcuencas del río Camaná Majes

La Tabla 7-11 muestra para el balance hídrico promedio de la cuenca del río Camaná Majes

Tabla 7-11. Balance hídrico promedio anual (periodo 1981 – 2010) de la cuenca del río Camaná Majes

Componentes del balance hídrico anual	Periodo 1981-2010
Aportes y pérdidas del sistema	
Precipitación (R) [mm]	356.3
Evapotranspiración actual (ET) [mm]	201.8
Evapotranspiración potencial (ETP) [mm]	1254.5
Rendimiento en la salida de la cuenca	
Rendimiento hídrico ($WYLD=Q_{sup}+Q_{lat}+Q_{gws}+Q_{gwd}$) [mm]	127.12
Contribución de escorrentía superficial (Q_{sup}) [mm]	18.82
Contribución de flujo base ($FB=Q_{lat}+Q_{gws}+Q_{gwd}$) [mm]	108.3
Flujo Lateral (Q_{lat}) [mm]	39.99
Flujo de retorno desde el acuífero profundo (Q_{gwd}) [mm]	10.94
Flujo de retorno desde el acuífero profundo (Q_{gwd}) [mm]	57.37

Para caracterizar el potencial del rendimiento hídrico de la cuenca en la Figura 7-11 se muestra la caracterización espacial del rendimiento hídrico promedio anual (periodo 1981-2010) y sus componentes en porcentaje de contribución de la escorrentía superficial y el flujo base. Donde se puede apreciar que las sub-cuencas ubicadas a la salida de la cuenca tienen rendimientos más bajos (0 - 50 mm/año) debido que esta parte de la cuenca experimenta bajas tasas de precipitación propias de las costas de las cuencas de la vertiente del Pacífico. Mientras tanto la parte alta de la cuenca se presentan rendimientos más altos (100 - 400 mm/año). La mayor contribución al rendimiento hídrico está dado por el flujo base, sin embargo, en la parte baja de la cuenca existe un mayor aporte de la escorrentía superficial. Esto ocurre debido al aporte de caudal que realiza el reservorio de Condoroma para la irrigación de las pampas de Majes objetivo principal del proyecto Majes-Siguas. El aporte superficial, que varía en un porcentaje de 40% a 70% influye en la caracterización hídrica y tiene mayor implicancia en la parte baja de la cuenca Camaná Majes.

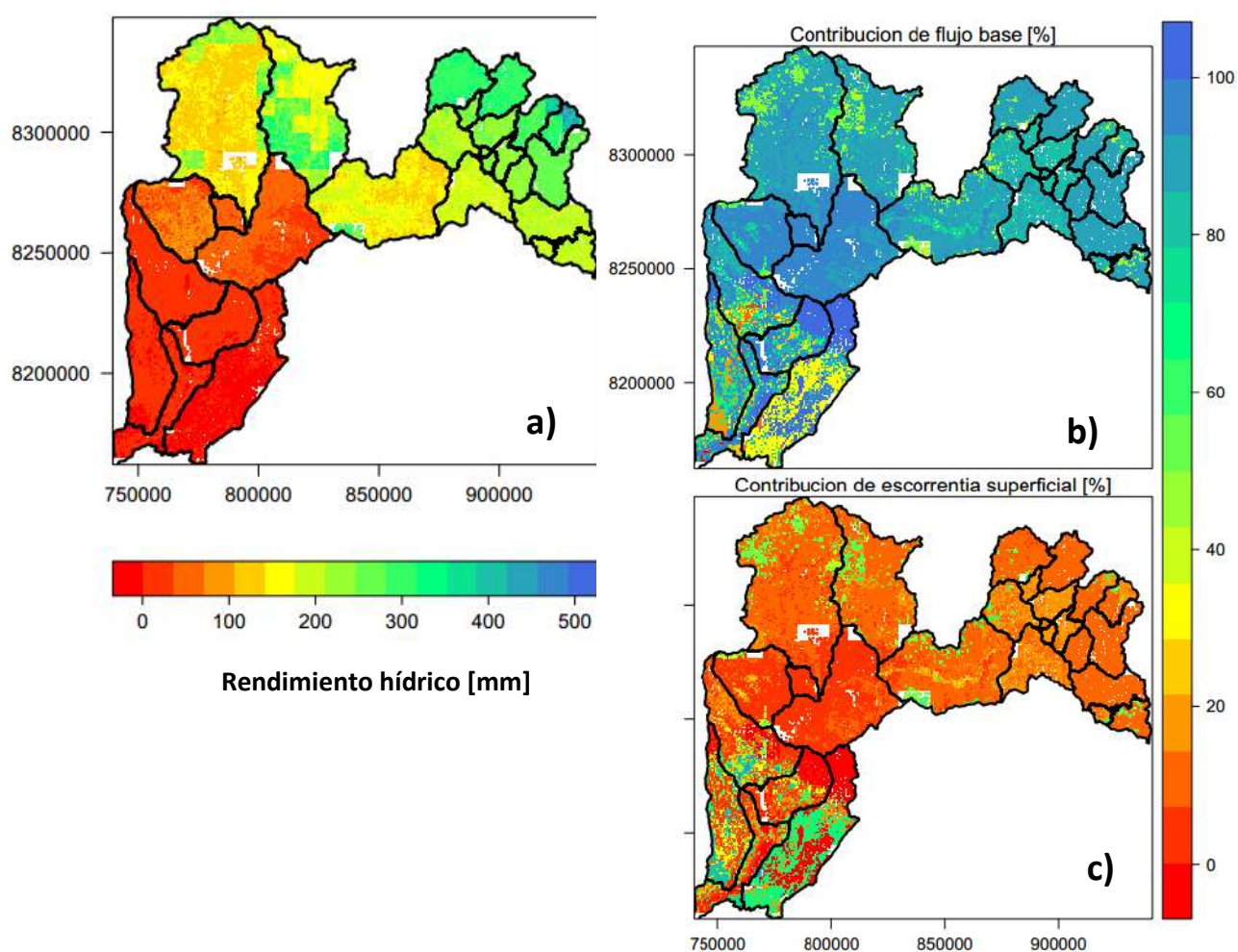


Figura 7-11 Distribución espacial a nivel de HRUs de: a) rendimiento hídrico (WYLD en mm) (Izquierda), b) contribución de flujo base (derecha superior) y c) contribución de la escorrentía superficial (derecha inferior).

Tabla 7-12 Precipitación (R), Evapotranspiración real (ET), Rendimiento hídrico (WYLD), Contribución del flujo base (FB), Flujo superficial (Q_{sup}), Flujo lateral (Q_{lat}), Flujo del acuífero superficial (Q_{gws}) y Flujo del acuífero profundo (Q_{gwd}) para cada subcuenca del modelo SWAT en la cuenca del río Camaná Majes. Los valores presentados corresponden a los promedios multianuales del periodo 1981-2010.

Rendimiento hídrico	R [mm]	ET [mm]	WYLD [mm]	Q_{sup} [mm]	FB [mm]	Q_{lat} [mm]	Q_{gws} [mm]	Q_{gwd} [mm]
Subcuenca 1	55.41	53.81	2.09	0.10	1.99	1.99	0.00	0.00
Subcuenca 2	64.49	64.12	0.75	0.10	0.65	0.65	0.00	0.00
Subcuenca 3	90.62	88.24	2.93	0.33	2.60	2.60	0.00	0.00
Subcuenca 4	486.48	640.99	188.21	26.39	161.82	27.28	22.68	111.86
Subcuenca 5	486.52	245.42	188.17	39.41	148.76	13.94	22.89	111.94
Subcuenca 6	532.51	271.58	201.21	36.43	164.78	10.98	26.31	127.49
Subcuenca 7	209.25	158.10	49.90	1.07	48.83	45.97	0.11	2.76
Subcuenca 8	528.49	262.08	204.56	24.15	180.41	27.21	24.92	128.29
Subcuenca 9	101.06	91.63	9.50	1.37	8.13	7.79	0.00	0.34
Subcuenca 10	303.27	241.20	57.82	4.48	53.35	44.48	0.54	8.33
Subcuenca 11	221.05	173.45	44.10	1.36	42.74	35.82	0.34	6.58
Subcuenca 12	570.32	272.32	233.85	27.03	206.83	42.59	28.02	136.22
Subcuenca 13	497.22	258.14	187.93	26.87	161.06	44.78	16.44	99.84
Subcuenca 14	565.20	257.27	244.33	44.86	199.47	44.01	24.78	130.68
Subcuenca 15	460.77	268.69	160.58	27.02	133.56	64.87	8.69	60.00
Subcuenca 16	570.51	272.29	232.80	33.76	199.04	39.13	25.59	134.32
Subcuenca 17	614.50	286.08	261.66	29.94	231.72	22.13	44.57	165.02
Subcuenca 18	584.99	277.10	241.66	39.29	202.37	37.75	27.01	137.61
Subcuenca 19	550.62	287.62	214.00	38.98	175.03	62.38	16.31	96.34
Subcuenca 20	673.33	267.12	348.97	65.59	283.38	101.63	38.92	142.83
Subcuenca 21	654.15	284.89	306.51	47.58	258.93	57.73	43.53	157.67
Subcuenca 22	607.39	302.78	246.44	40.61	205.83	65.38	21.93	118.52
Subcuenca 23	683.34	322.28	295.34	34.29	261.05	59.23	42.06	159.77
Subcuenca 24	674.93	312.25	298.08	43.97	254.11	59.64	39.71	154.76
Subcuenca 25	504.06	233.54	224.51	39.72	184.79	79.43	14.71	90.65
Subcuenca 26	444.18	253.60	155.91	23.16	132.76	56.66	9.61	66.49
Subcuenca 27	50.50	46.35	4.50	0.18	4.33	4.33	0.00	0.00

La Figura 7-12 ilustra globalmente la magnitud de la oferta hídrica anual que el modelo SWAT estima en cada una de las unidades hidrográficas identificadas en la cuenca del río Camaná-Majes, donde se puede apreciar que el sistema hídrico del río Colca (punto de cierre Sc 15) produce un caudal promedio anual de 34.8 m³/s. En la subcuenca Capiza (punto de cierre Sc 10) que recibe aportes de deshielo del Coropuna, la oferta hídrica anual alcanza en promedio 1.48 m³/s. la menor oferta de agua se presenta en las subcuencas de Paluviñas (punto de cierre Sc 3) y Molles (punto de cierre Sc 2) con un caudal promedio anual de 0.06 m³/s y 0.02 m³/s, respectivamente.

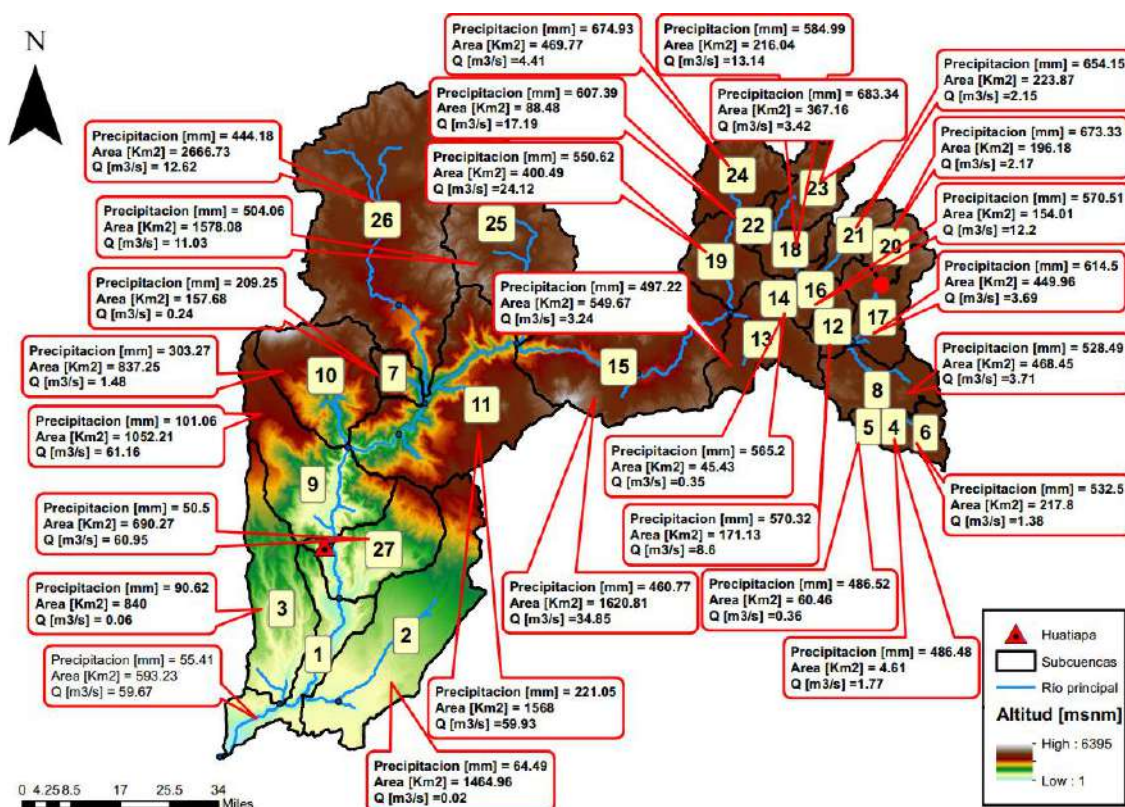


Figura 7-12 Oferta hídrica anual en m³/s en cada unidad hidrográfica de la cuenca Camaná-Majes periodo 1981-2010

7.5 Caracterización de la oferta hídrica presente en la cuenca del río Ocoña a escala de subcuencas

La Figura 7-13 muestra el caudal promedio multianual representativo del periodo 1981-2016, para cada una de las 20 subcuencas comprendida en la cuenca del río Ocoña, evaluadas con fines del presente Estudio. En general, se aprecia que la Intercuenca Medio Bajo Ocoña (Sub-19) es la que presenta mayor oferta hídrica con 110.5 m³/s y las subcuencas Churunga, Chahuane, Esbilla y Bajo Churunga son las que presentan menor oferta hídrica en el orden de 0.1 a 0.6 m³/s (Sub 15, 16, 17 y 18) y la que sigue es la subcuenca Parinacochas (Sub-11) con 1.8 m³/s.

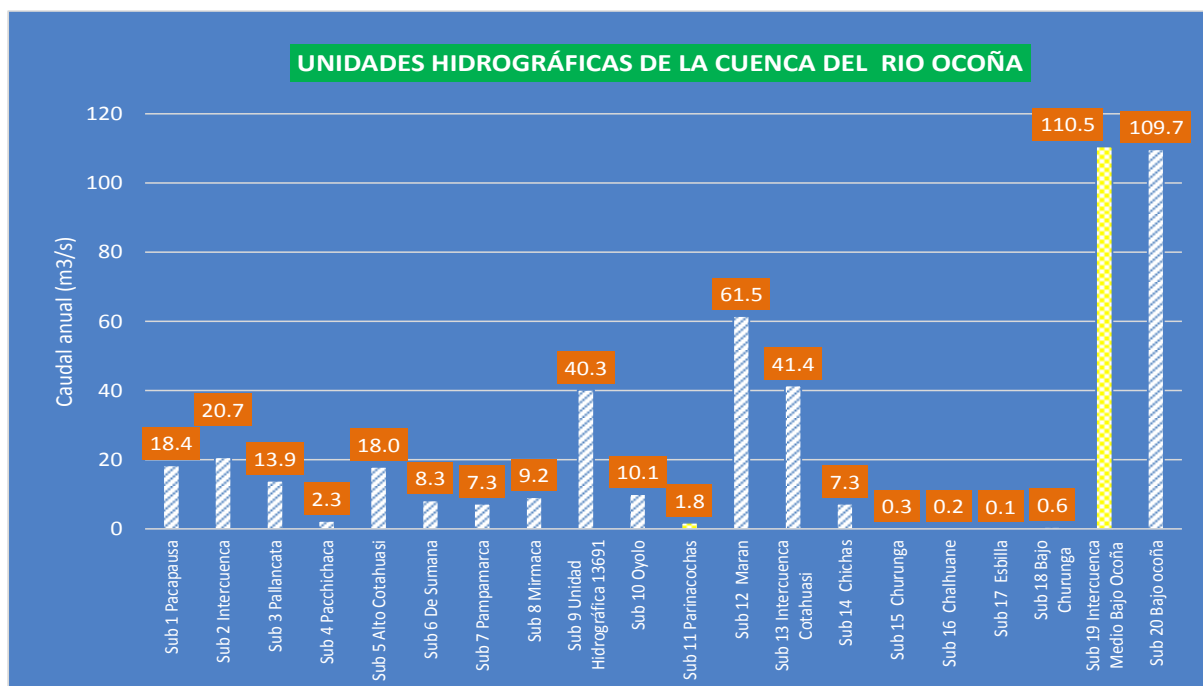


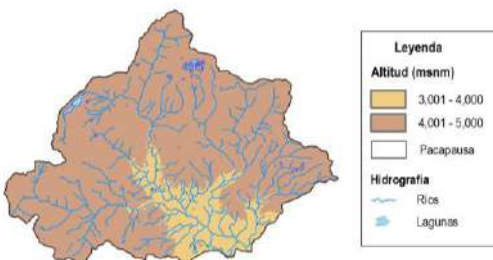
Figura 7-13 Caudal promedio anual en la línea base 1981-2016

A continuación se presenta los caudales mensuales y anuales característicos de un año seco, normal y húmedo representativos del periodo 1981-2016 para cada una de las subcuencas comprendida en la cuenca del río Ocoña.

7.5.1 Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca Pacapausa

La Figura 7-14 muestra los caudales medios multianuales generados a la salida de la subcuenca Pacapausa (Sub-1) que corresponden a un área de drenaje 593.3 Km².

Figura 7-14 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub1 - Subcuenca Pacapausa

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	593.3	
Caudal promedio anual	m ³ /s	60.2	
Caudal máximo	m ³ /s	349.7	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	30.8	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	93.8	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	55.8	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	43.7	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	39.8	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	67.5	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	69.2	
Volumen máximo disponible	MMC	2920.2	
Volumen mínimo disponible	MMC	966.8	

7.5.2 Caracterización de la oferta hídrica Sub 2 - Intercuenca

La Figura 7-15 muestra los caudales medios multianuales generados a la salida de la Intercuenca (Sub-2) que corresponden a un área de drenaje 1.8 Km².

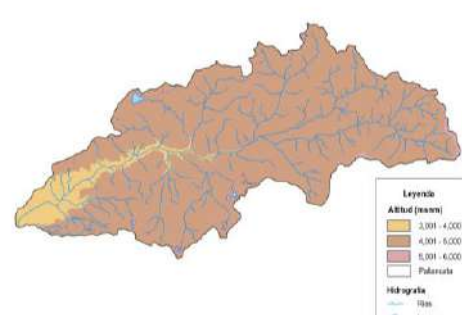
Figura 7-15 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 2 - Intercuenca

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	1.8	 Legenda Altitud (metros) 1,001 - 1,999 Intercuenca Hidrografía Río Laguna
Caudal promedio anual	m ³ /s	20.7	
Caudal máximo	m ³ /s	102.7	
Caudal mínimo	m ³ /s	1.9	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	12.2	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	29.6	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	20.5	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	15.4	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	14.6	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	23.3	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	23.9	
Volumen máximo disponible	MMC	925.1	
Volumen mínimo disponible	MMC	384.0	

7.5.3 Caracterización de la oferta hídrica Sub 3 - Subcuenca Pallancata

La Figura 7-16 muestra los caudales medios multianuales generados a la salida de la subcuenca Pallancata (Sub-3) que corresponden a un área de drenaje 974.4 Km².

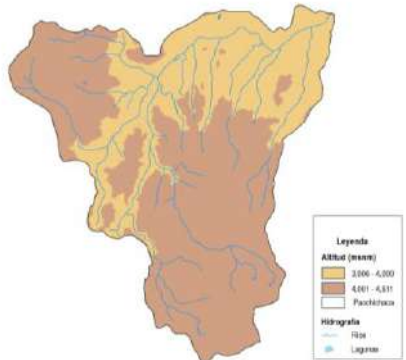
Figura 7-16 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 3 - Subcuenca Pallancata

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	974.4	 Legenda Altitud (metros) 3,001 - 4,000 4,001 - 5,000 5,001 - 6,000 Pallancata Hidrografía Río Laguna
Caudal promedio anual	m ³ /s	13.9	
Caudal máximo	m ³ /s	74.3	
Caudal mínimo	m ³ /s	1.5	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	9.6	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	19.2	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	14.0	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	11.2	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	9.8	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	15.4	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	15.8	
Volumen máximo disponible	MMC	600.0	
Volumen mínimo disponible	MMC	300.0	

7.5.4 Caracterización de la oferta hídrica Sub 4 - Subcuenca Pacchichaca

La Figura 7-17 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca Pacchichaca (Sub-4) de área de drenaje 220.7 Km².

Figura 7-17 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 4 - subcuenca Pacchichaca

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	220.7	 Legenda Altitud (mnsnm) 2,000 - 4,000 4,001 - 6,000 Pacchichaca Hidrografía Río Laguna
Caudal promedio anual	m ³ /s	2.3	
Caudal máximo	m ³ /s	12.9	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	1.4	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	3.6	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	2.4	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	1.6	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	1.5	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	2.6	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	2.9	
Volumen máximo disponible	MMC	111.3	
Volumen mínimo disponible	MMC	43.0	

7.5.5 Caracterización de la oferta hídrica Sub 5- Subcuenca Alto Cotahuasi

La Figura 7-18 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca Alto Cotahuasi (Sub-5) de área de drenaje 13.53 Km².

Figura 7-18 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 5 - Subcuenca Alto Cotahuasi

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	1334.0	 Legenda Altitud (mnsnm) 3,001 - 4,000 4,001 - 5,000 5,001 - 6,000 Alto Cotahuasi Hidrografía Río Laguna
Caudal promedio anual	m ³ /s	18.0	
Caudal máximo	m ³ /s	92.4	
Caudal mínimo	m ³ /s	1.6	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	12.6	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	24.6	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	18.2	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	14.7	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	13.6	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	19.7	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	20.7	
Volumen máximo disponible	MMC	766.5	
Volumen mínimo disponible	MMC	393.3	

7.5.6 Caracterización de la oferta hídrica Sub 6 - Subcuenca De Sumana

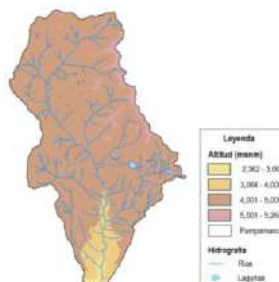
La Figura 7-19 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca De Sumana (Sub-6) de área de drenaje 773.3 Km².

Figura 7-19 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 6 - Subcuenca De Sumana

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	773.3	 Legenda Altitud (msnm) 3,064 - 4,000 4,001 - 5,000 5,001 - 5,366 De Sumana Hidrografía Río Laguna
Caudal promedio anual	m ³ /s	8.3	
Caudal máximo	m ³ /s	41.8	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.5	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	4.9	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	11.7	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	8.5	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	6.2	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	6.1	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	9.1	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	9.7	
Volumen máximo disponible	MMC	366.0	
Volumen mínimo disponible	MMC	154.1	

7.5.7 Caracterización de la oferta hídrica Sub 7 – Subcuenca Pampamarca

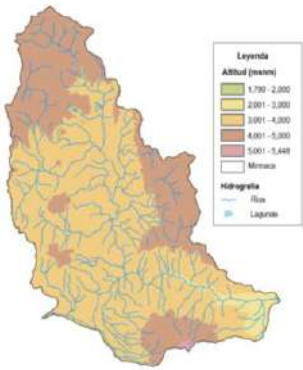
La Figura 7-20 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca Pampamarca (Sub-7) de área de drenaje 655.1 Km². Figura 7-20 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 7 - Subcuenca Pampamarca

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	655.1	 Legenda Altitud (msnm) 2,362 - 3,000 3,001 - 4,000 4,001 - 5,000 5,001 - 5,366 Pampamarca Hidrografía Río Laguna
Caudal promedio anual	m ³ /s	7.3	
Caudal máximo	m ³ /s	41.4	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.5	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	4.2	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	10.5	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	7.6	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	5.5	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	5.0	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	8.1	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	8.9	
Volumen máximo disponible	MMC	327.2	
Volumen mínimo disponible	MMC	131.9	

7.5.8 Caracterización de la oferta hídrica Sub 8 - Subcuenca Mirmaca

La Figura 7-21 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca Mirmaca (Sub-8) que corresponden a un área de drenaje 1066.7 Km².

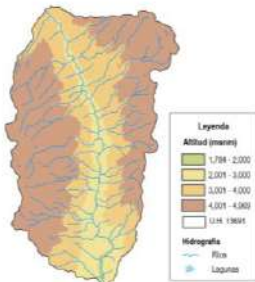
Figura 7-21 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 8 - Subcuenca Mirmaca

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	1066.7	
Caudal promedio anual	m ³ /s	9.2	
Caudal máximo	m ³ /s	59.7	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	3.9	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	15.3	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	9.3	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	5.4	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	5.0	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	10.2	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	12.1	
Volumen máximo disponible	MMC	478.4	
Volumen mínimo disponible	MMC	123.0	

7.5.9 Caracterización de la oferta hídrica Sub 9 - Unidad Hidrográfica 13691

La Figura 7-22 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca Unidad Hidrográfica 13691 (Sub-9) de área de drenaje 717.1 Km².

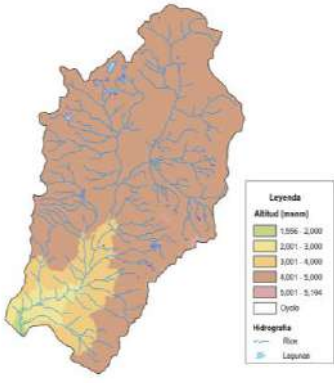
Figura 7-22 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 9 - Unidad Hidrográfica 13691

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	717.1	
Caudal promedio anual	m ³ /s	40.3	
Caudal máximo	m ³ /s	216.4	
Caudal mínimo	m ³ /s	3.5	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	23.8	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	57.1	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	40.2	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	30.1	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	28.4	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	44.8	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	46.9	
Volumen máximo disponible	MMC	1781.0	
Volumen mínimo disponible	MMC	746.1	

7.5.10 Caracterización de la oferta hídrica Sub 10 - Subcuenca Oyolo

La Figura 7-23 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca Oyolo (Sub-10) de área de drenaje 1057.8 Km².

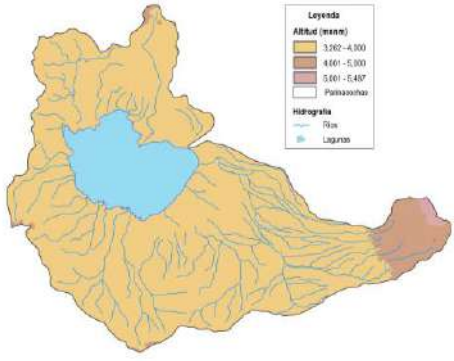
Figura 7-23 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 10 - Subcuenca Oyolo

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	1057.8	
Caudal promedio anual	m ³ /s	10.1	
Caudal máximo	m ³ /s	62.0	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.6	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	6.0	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	15.0	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	10.5	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	7.0	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	6.5	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	11.0	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	12.9	
Volumen máximo disponible	MMC	467.1	
Volumen mínimo disponible	MMC	187.8	

7.5.11 Caracterización de la oferta hídrica Sub 11 - Subcuenca Parinacochas

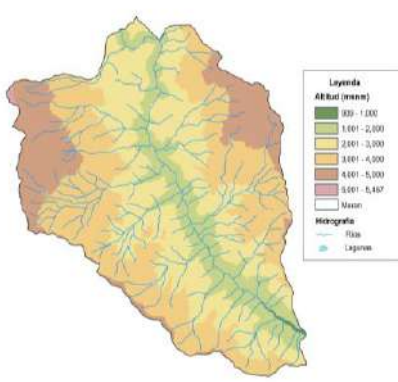
La Figura 7-24 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca Parinacochas (Sub-11) que corresponden a un área de drenaje 556.5 Km².

Figura 7-24 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 11 - Subcuenca Parinacochas

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	556.5	
Caudal promedio anual	m ³ /s	1.8	
Caudal máximo	m ³ /s	10.5	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	0.6	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	3.2	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	1.8	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	0.9	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	0.8	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	2.1	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	2.3	
Volumen máximo disponible	MMC	101.2	
Volumen mínimo disponible	MMC	18.8	

7.5.12 Caracterización de la oferta hídrica Sub 12 - Subcuenca Marañón

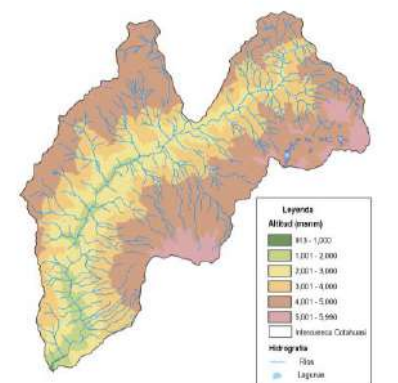
La Figura 7-25 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca Maran (Sub-12) de área de drenaje 942.5 Km². Figura 7-25 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 12 - Subcuenca Maran

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	942.5	
Caudal promedio anual	m ³ /s	61.5	
Caudal máximo	m ³ /s	347.9	
Caudal mínimo	m ³ /s	4.2	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	37.5	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	93.5	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	62.5	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	43.0	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	40.5	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	68.3	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	75.1	
Volumen máximo disponible	MMC	2917.4	
Volumen mínimo disponible	MMC	1177.0	

7.5.13 Caracterización de la oferta hídrica Sub 13 - Intercuenca Cotahuasi

La Figura 7-26 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Intercuenca Cotahuasi (Sub-13) que corresponden a un área de drenaje 1636.8 Km².

Figura 7-26 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 13- Intercuenca Cotahuasi

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	1636.8	
Caudal promedio anual	m ³ /s	41.4	
Caudal máximo	m ³ /s	233.2	
Caudal mínimo	m ³ /s	2.4	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	23.1	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	59.4	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	42.6	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	30.5	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	28.9	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	45.7	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	50.5	
Volumen máximo disponible	MMC	1849.7	
Volumen mínimo disponible	MMC	723.3	

7.5.14 Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca Chichas

La Figura 7-27 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca Chichas (Sub-14) de área de drenaje 1585.2 Km².

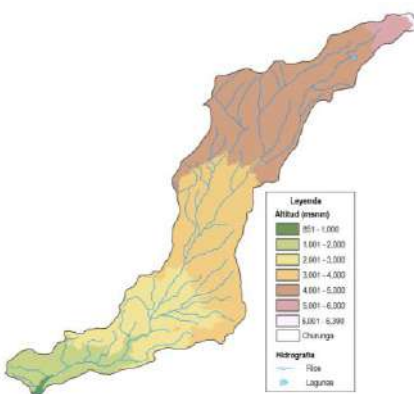
Figura 7-27 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 14 - Subcuenca Chichas

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	1585.2	
Caudal promedio anual	m ³ /s	7.3	
Caudal máximo	m ³ /s	47.4	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	2.9	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	11.4	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	7.3	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	4.2	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	3.5	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	7.9	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	11.0	
Volumen máximo disponible	MMC	353.9	
Volumen mínimo disponible	MMC	91.6	

7.5.15 Caracterización de la oferta hídrica Sub 15 - Subcuenca Churunga

La Figura 7-28 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca Churunga (Sub-15) de área de drenaje 335.6 Km².

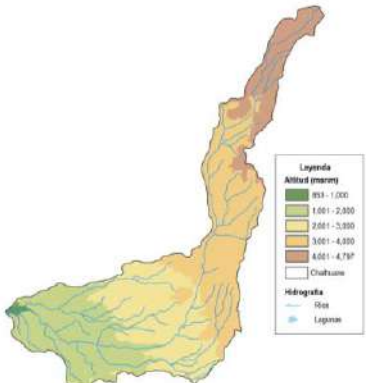
Figura 7-28 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 15 - Subcuenca Churunga

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	335.6	
Caudal promedio anual	m ³ /s	0.3	
Caudal máximo	m ³ /s	4.4	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	0.7	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	0.2	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	0.4	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	0.7	
Volumen máximo disponible	MMC	20.2	
Volumen mínimo disponible	MMC	2.6	

7.5.16 Caracterización de la oferta hídrica Sub 16 - Subcuenca Chalhuanne

La Figura 7-29 muestra los caudales medios multianuales generados a la salida de la subcuenca Chalhuanne (Sub-16) de área de drenaje de 339.0 Km².

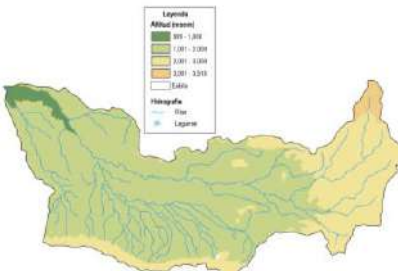
Figura 7-29 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 16 - Subcuenca Chalhuanne

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	339.0	
Caudal promedio anual	m ³ /s	0.2	
Caudal máximo	m ³ /s	3.5	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	0.4	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	0.2	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	0.4	
Volumen máximo disponible	MMC	11.5	
Volumen mínimo disponible	MMC	1.2	

7.5.17 Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca Esbilla

La Figura 7-30 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca Esbilla (Sub-17) de área de drenaje 254.5 Km².

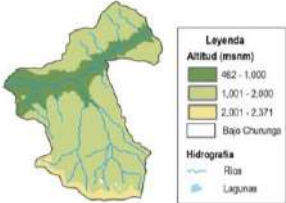
Figura 7-30 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 17 - Subcuenca Esbilla

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	254.5	
Caudal promedio anual	m ³ /s	0.1	
Caudal máximo	m ³ /s	2.0	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	0.2	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	0.2	
Volumen máximo disponible	MMC	5.5	
Volumen mínimo disponible	MMC	0.7	

7.5.18 Caracterización de la oferta hídrica Sub 18 - Subcuenca Bajo Churunga

La Figura 7-31 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca Bajo Churunga (Sub-18) de área de drenaje 116.5 Km².

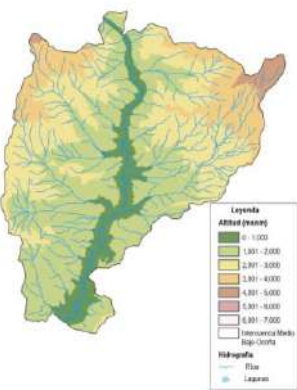
Figura 7-31 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 18- Subcuenca Bajo Churunga

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	116.5	 Leyenda Altitud (msnm) 462 - 1,000 1,001 - 2,000 2,001 - 2,371 Bajo Churunga Hidrografía Ríos Lagunas
Caudal promedio anual	m ³ /s	0.6	
Caudal máximo	m ³ /s	10.5	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	0.2	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	1.3	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	0.4	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	0.2	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	0.2	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	0.6	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	1.3	
Volumen máximo disponible	MMC	39.2	
Volumen mínimo disponible	MMC	4.7	

7.5.19 Caracterización de la oferta hídrica Sub 19 - Intercuenca Medio Bajo Ocoña

La Figura 7-32 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Intercuenca Medio Bajo Ocoña (Sub-19) de área de drenaje 1216.9 Km².

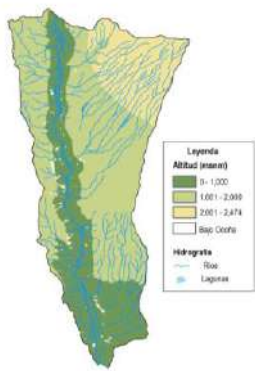
Figura 7-32 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 19 - Intercuenca Medio Bajo Ocoña

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	1216.9	 Leyenda Altitud (msnm) 462 - 1,000 1,001 - 2,000 2,001 - 3,000 3,001 - 4,000 4,001 - 5,000 5,001 - 6,000 6,001 - 7,000 Intercuenca Medio Bajo Ocoña Hidrografía Ríos Lagunas
Caudal promedio anual	m ³ /s	110.5	
Caudal máximo	m ³ /s	630.7	
Caudal mínimo	m ³ /s	7.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	60.2	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	163.9	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	112.0	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	76.6	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	73.4	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	122.3	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	138.2	
Volumen máximo disponible	MMC	5104.9	
Volumen mínimo disponible	MMC	1887.4	

7.5.20 Caracterización de la oferta hídrica Sub 20 - Subcuenca Bajo Ocoña

La Figura 7-33 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca Bajo Ocoña (Sub-20) de área de drenaje 768.5 Km².

Figura 7-33 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca Bajo Ocoña

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	768.5	
Caudal promedio anual	m ³ /s	109.7	
Caudal máximo	m ³ /s	630.3	
Caudal mínimo	m ³ /s	6.6	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	59.4	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	163.2	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	111.1	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	75.7	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	72.4	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	121.5	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	137.4	
Volumen máximo disponible	MMC	5082.4	
Volumen mínimo disponible	MMC	1857.8	

7.6 Caracterización de la oferta hídrica presente en la cuenca del Camana Majes a escala de subcuenca

La Figura 7-34 muestra el caudal promedio multianual representativo del periodo 1981-2016, para cada una de las 27 subcuencas comprendida en la cuenca del río Camana Majes, evaluadas con fines del presente Estudio. En general, se aprecia que la Intercuenca Bajo Camana (Sub-1) es la que presenta mayor oferta hídrica con 593.3 m³/s y las subcuencas Molles, Puluvinas, Sub 5, Ayo y Sub 14 son las que presentan menor oferta hídrica en el orden de 0.02 a 0.4 m³/s (Sub 2, Sub 3, Sub 5, Sub 7 y Sub 14) y la que sigue es la subcuenca seis (sub 6) con 1.4 m³/s.

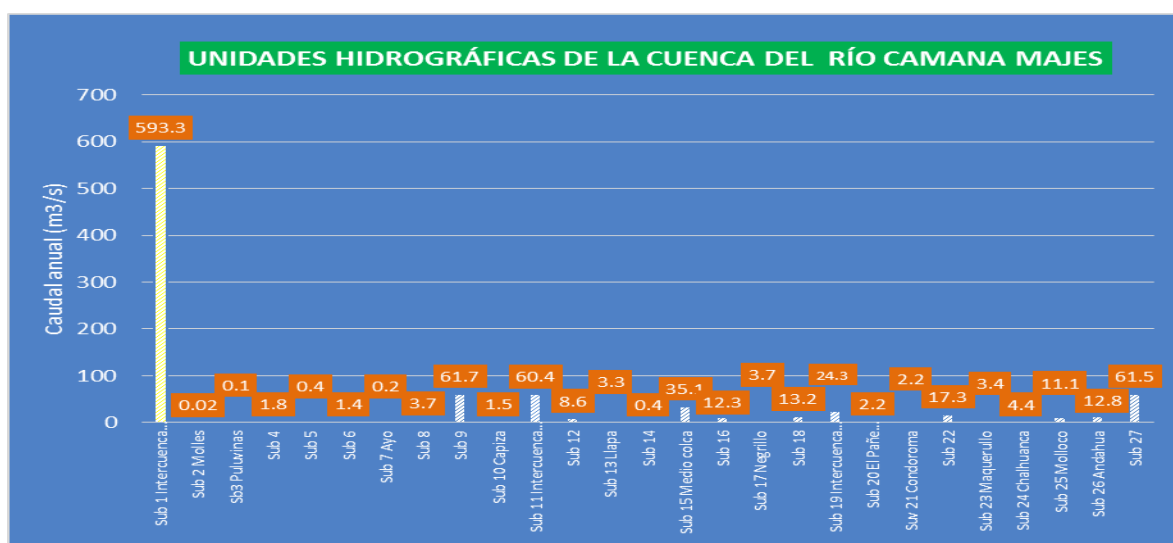


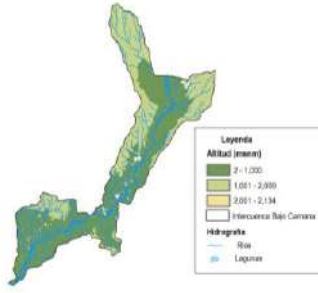
Figura 7-34 Caudal promedio anual en la línea base 1981-2016

A continuación se presenta los caudales mensuales y anuales característicos de un año seco, normal y húmedo representativos del periodo 1981-2016 para cada una de las subcuencas comprendida en la cuenca del río Camana Majes.

7.6.1 Caracterización de la oferta hídrica Sub 1 - Intercuenca Bajo Camana

La Figura 7-35 muestra los caudales medios multianuales generados a la salida de la Intercuenca Bajo Camana (Sub-1) que corresponden a un área de drenaje de 593.3 Km².

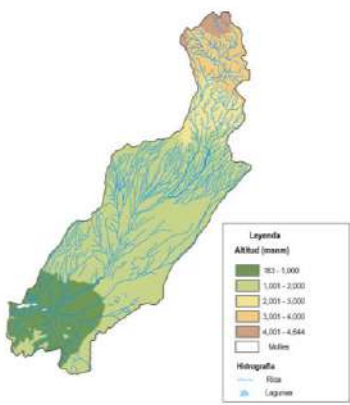
Figura 7-35 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 1- Intercuenca Bajo Camana

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	593.3	 Leyenda Altitud (metros) 2 - 1,000 1,001 - 2,000 2,001 - 2,134 Intercuenca Bajo Camana Hidrografía Río Laguna
Caudal promedio anual	m ³ /s	60.2	
Caudal máximo	m ³ /s	349.7	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	30.8	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	93.8	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	55.8	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	43.7	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	39.8	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	67.5	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	69.2	
Volumen máximo disponible	MMC	2920.2	
Volumen mínimo disponible	MMC	966.8	

7.6.2 Caracterización de la oferta hídrica Sub 2 - Subcuenca Molles

La Figura 7-36 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca Molles (Sub-2) de área de drenaje 1465.0 Km². La Tabla 7-43 indica que el caudal promedio multianual de la Subcuenca Molles, en años húmedos crece a 0.05 m³/s y en años secos puede bajar a 0.0 m³/s.

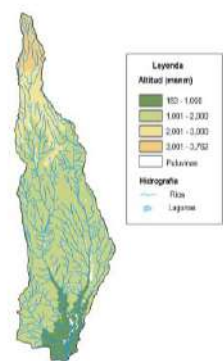
Figura 7-36 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 2 - Subcuenca Molles

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	1465.0	 Legenda Altitud (metros) 982 - 1,000 1,001 - 2,000 2,001 - 3,000 3,001 - 4,000 4,001 - 4,644 Uslim Hidrografía Río Laguna
Caudal promedio anual	m ³ /s	0.02	
Caudal máximo	m ³ /s	1.01	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	0.05	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	0.01	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	0.02	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	0.01	
Volumen máximo disponible	MMC	1.39	
Volumen mínimo disponible	MMC	0.00	

7.6.3 Caracterización de la oferta hídrica Sub 3 - Subcuenca Puluvinas

La Figura 7-37 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca de Puluvinas (Sub-3) que corresponden a un área de drenaje de 840.0 Km².

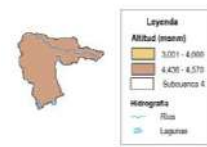
Figura 7-37 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 3 - Subcuenca Puluvinas

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	840.0	 Legenda Altitud (metros) 982 - 1,000 1,001 - 2,000 2,001 - 3,000 3,001 - 3,752 Puluvinas Hidrografía Río Laguna
Caudal promedio anual	m ³ /s	0.1	
Caudal máximo	m ³ /s	2.1	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	0.1	
Volumen máximo disponible	MMC	4.3	
Volumen mínimo disponible	MMC	0.4	

7.6.4 Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 4

La Figura 7-38 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca cuatro (Sub-4) de área de drenaje 4.6 Km².

Figura 7-38 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 4

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	4.6	
Caudal promedio anual	m ³ /s	1.8	
Caudal máximo	m ³ /s	9.2	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	1.0	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	2.8	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	1.6	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	1.4	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	1.3	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	2.0	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	1.8	
Volumen máximo disponible	MMC	86.9	
Volumen mínimo disponible	MMC	31.7	

7.6.5 Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 5

La Figura 7-39 muestra los caudales medios multianuales generados a la salida de la Subcuenca 5 (Sub-5) que corresponden a un área de drenaje de 60.5 Km².

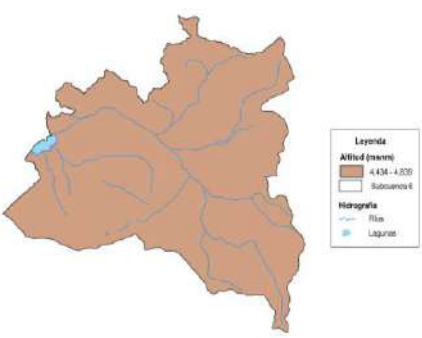
Figura 7-39 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 5

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	60.5	
Caudal promedio anual	m ³ /s	0.4	
Caudal máximo	m ³ /s	1.9	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	0.2	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	0.6	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	0.3	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	0.3	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	0.3	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	0.4	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	0.4	
Volumen máximo disponible	MMC	17.7	
Volumen mínimo disponible	MMC	6.3	

7.6.6 Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 6

La Figura 7-40 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca 6 (Sub-6) que corresponden de área de drenaje 217.8 Km².

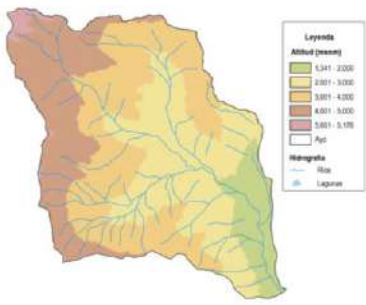
Figura 7-40 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 6

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	217.8	
Caudal promedio anual	m ³ /s	1.4	
Caudal máximo	m ³ /s	7.2	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	0.8	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	2.2	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	1.2	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	1.1	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	1.0	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	1.6	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	1.4	
Volumen máximo disponible	MMC	68.1	
Volumen mínimo disponible	MMC	24.8	

7.6.7 Caracterización de la oferta hídrica Sub 7 - Subcuenca Ayo

La Figura 7-41 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca Ayo (Sub-7) de área de drenaje 157.7 Km².

Figura 7-41 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 7 - subcuenca Ayo

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	157.7	
Caudal promedio anual	m ³ /s	0.2	
Caudal máximo	m ³ /s	4.0	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	0.4	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	0.2	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	0.2	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	0.2	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	0.3	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	0.4	
Volumen máximo disponible	MMC	12.7	
Volumen mínimo disponible	MMC	3.8	

7.6.8 Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 8

La Figura 7-42 muestra los caudales medios multianuales generados a la salida de la Subcuenca ocho (Sub-8) que corresponden a un área de drenaje de 468.5 Km².

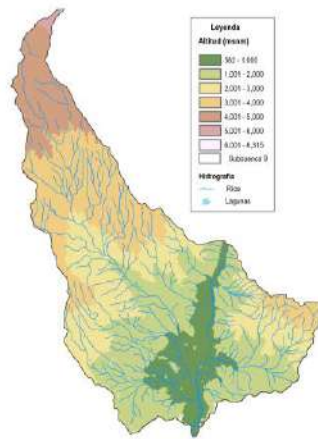
Figura 7-42 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 8

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	468.5	
Caudal promedio anual	m ³ /s	3.7	
Caudal máximo	m ³ /s	25.6	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	1.8	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	5.9	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	3.0	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	2.4	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	2.3	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	4.2	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	3.1	
Volumen máximo disponible	MMC	185.2	
Volumen mínimo disponible	MMC	58.0	

7.6.9 Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 9

La Figura 7-43 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca nueve (Sub-9) de área de drenaje 1052.2 Km².

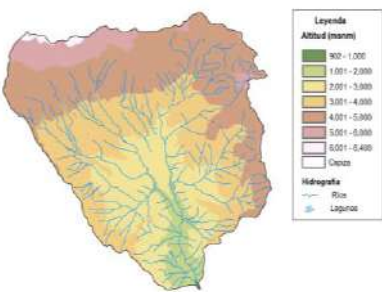
Figura 7-43 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 9

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	1052.2	
Caudal promedio anual	m ³ /s	61.7	
Caudal máximo	m ³ /s	348.6	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	32.4	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	95.1	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	57.4	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	45.3	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	41.5	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	69.0	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	70.6	
Volumen máximo disponible	MMC	2962.4	
Volumen mínimo disponible	MMC	1017.2	

7.6.10 Caracterización de la oferta hídrica Sub 10 – Subcuenca Capiza

La Figura 7-44 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca Capiza (Sub-10) de área de drenaje 837.3 Km².

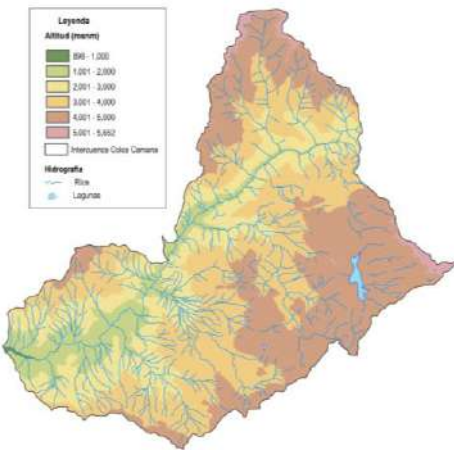
Figura 7-44 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 10 - Subcuenca Capiza

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	837.3	
Caudal promedio anual	m ³ /s	1.5	
Caudal máximo	m ³ /s	19.2	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	0.7	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	2.6	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	1.3	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	0.9	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	0.8	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	1.7	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	2.5	
Volumen máximo disponible	MMC	79.3	
Volumen mínimo disponible	MMC	21.2	

7.6.11 Caracterización de la oferta hídrica Sub 11 - Intercuenca Colca Camana

La Figura 7-45 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Intercuenca Colca Camana (Sub-11) de área de drenaje 1568.0 Km².

Figura 7-45 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 11 - Intercuenca Colca Camana

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	1568.0	
Caudal promedio anual	m ³ /s	60.4	
Caudal máximo	m ³ /s	339.9	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	32.1	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	92.6	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	56.8	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	44.5	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	41.2	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	67.5	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	68.0	
Volumen máximo disponible	MMC	2887.5	
Volumen mínimo disponible	MMC	1009.2	

7.6.12 Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 12

La Figura 7-46 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca doce (Sub-12) de área de drenaje 171.1 Km².

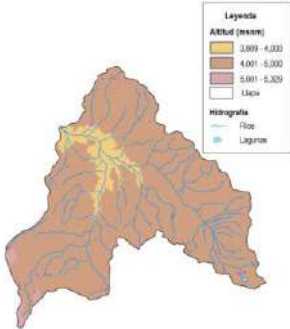
Figura 7-46 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 12

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	171.1	
Caudal promedio anual	m ³ /s	8.6	
Caudal máximo	m ³ /s	49.9	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.3	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	4.7	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	13.8	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	7.7	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	6.1	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	6.0	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	9.6	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	8.1	
Volumen máximo disponible	MMC	431.6	
Volumen mínimo disponible	MMC	149.0	

7.6.13 Caracterización de la oferta hídrica Llapa

La Figura 7-47 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca Llapa (Sub-13) de área de drenaje 549.7 Km².

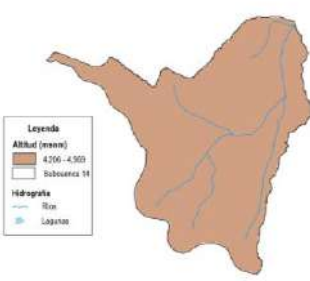
Figura 7-47 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 13 - Subcuenca Llapa

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	549.7	
Caudal promedio anual	m ³ /s	3.3	
Caudal máximo	m ³ /s	17.4	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	1.8	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	5.0	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	3.0	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	2.6	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	2.5	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	3.8	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	3.1	
Volumen máximo disponible	MMC	155.9	
Volumen mínimo disponible	MMC	57.1	

7.6.14 Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 14

La Figura 7-48 muestra los caudales medios multianuales generados a la salida de la Subcuenca catorce (Sub-14) que corresponden a un área de drenaje de 45.4 Km².

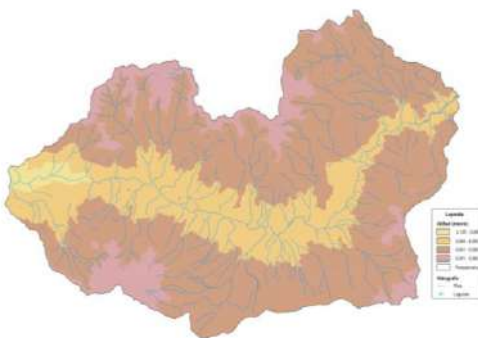
Figura 7-48 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 14

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	45.4	
Caudal promedio anual	m ³ /s	0.4	
Caudal máximo	m ³ /s	1.8	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	0.2	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	0.5	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	0.3	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	0.3	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	0.3	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	0.4	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	0.4	
Volumen máximo disponible	MMC	16.5	
Volumen mínimo disponible	MMC	6.9	

7.6.15 Caracterización de la oferta hídrica Sub 15 - Subcuenca Medio Colca

La Figura 7-49 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca Medio Colca (Sub-15) de área de drenaje 1620.8 Km².

Figura 7-49 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 15 - Subcuenca Medio Colca

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	1620.8	
Caudal promedio anual	m ³ /s	35.1	
Caudal máximo	m ³ /s	209.0	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.5	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	19.8	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	53.1	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	34.2	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	26.9	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	25.5	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	38.9	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	37.1	
Volumen máximo disponible	MMC	1657.2	
Volumen mínimo disponible	MMC	621.7	

7.6.16 Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 16

La Figura 7-50 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca dieciseis (Sub-16) de área de drenaje 154.0 Km².

Figura 7-50 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 16

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	154.0	
Caudal promedio anual	m ³ /s	12.3	
Caudal máximo	m ³ /s	67.1	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.4	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	7.0	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	19.1	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	11.2	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	9.0	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	8.8	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	13.6	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	11.8	
Volumen máximo disponible	MMC	597.0	
Volumen mínimo disponible	MMC	218.9	

7.6.17 Caracterización de la oferta hídrica Sub-17 Subcuenca Negrillo

La Figura 7-51 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la subcuenca 17 (Sub-17) de área de drenaje 449.09 Km².

Figura 7-51 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 17 - Subcuenca Negrillo

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	449.9	
Caudal promedio anual	m ³ /s	3.7	
Caudal máximo	m ³ /s	17.7	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	2.2	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	5.6	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	3.4	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	2.8	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	2.7	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	4.0	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	3.8	
Volumen máximo disponible	MMC	175.7	
Volumen mínimo disponible	MMC	68.0	

7.6.18 Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 18

La Figura 7-52 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca dieciocho (Sub-18) de área de drenaje 367.2 Km².

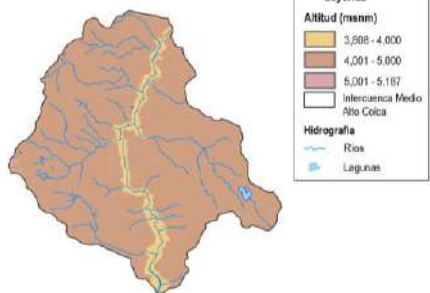
Figura 7-52 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 18

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	367.2	
Caudal promedio anual	m ³ /s	13.2	
Caudal máximo	m ³ /s	108.1	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.5	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	7.5	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	20.4	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	12.3	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	9.9	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	9.6	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	14.2	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	13.4	
Volumen máximo disponible	MMC	634.7	
Volumen mínimo disponible	MMC	237.2	

7.6.19 Caracterización de la oferta hídrica Sub 19- Intercuenca Medio Alto Colca

La Figura 7-53 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Intercuenca Medio Alto Colca (Sub-19) de área de drenaje 400.5 Km².

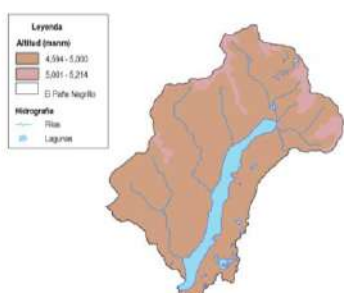
Figura 7-53 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 19- Intercuenca Medio Alto Colca

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	400.5	
Caudal promedio anual	m ³ /s	24.3	
Caudal máximo	m ³ /s	151.8	
Caudal mínimo	m ³ /s	1.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	14.2	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	36.5	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	23.5	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	18.5	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	17.7	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	26.5	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	25.1	
Volumen máximo disponible	MMC	1140.2	
Volumen mínimo disponible	MMC	447.6	

7.6.20 Caracterización de la oferta hídrica Sub 20 - Subcuenca El Pañe Negrillo

La Figura 7-54 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca El Pañe Negrillo (Sub-20) de área de drenaje 196.2 Km².

Figura 7-54 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 20- Subcuenca El Paño Negrillo

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	196.2	
Caudal promedio anual	m ³ /s	2.2	
Caudal máximo	m ³ /s	9.7	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.1	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	1.4	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	3.0	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	2.1	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	1.8	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	1.7	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	2.4	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	2.3	
Volumen máximo disponible	MMC	93.8	
Volumen mínimo disponible	MMC	45.4	

7.6.21 Caracterización de la oferta hídrica Sub21- Subcuenca Condoroma

La Figura 7-55 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca Condoroma (Sub-21) de área de drenaje 223.9 Km².

Figura 7-55 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 21- Subcuenca Condoroma

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km²	223.9	
Caudal promedio anual	m³/s	2.2	
Caudal máximo	m³/s	9.6	
Caudal mínimo	m³/s	0.1	
Caudal promedio anual en años secos	m³/s	1.4	
Caudal promedio anual en años húmedos	m³/s	3.1	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m³/s	2.0	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m³/s	1.7	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m³/s	1.7	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m³/s	2.3	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m³/s	2.2	
Volumen máximo disponible	MMC	98.7	
Volumen mínimo disponible	MMC	42.4	

7.6.22 Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 22

La Figura 7-56 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca veintidos (Sub-22) de área de drenaje 88.5 Km².

Figura 7-56 Síntesis de caudales anuales generados en la subcuenca 22

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	88.5	 Legenda Altitud (metros) 3,951 - 4,000 4,001 - 4,042 Subcuenca 22 Hidrografía Río Laguna
Caudal promedio anual	m ³ /s	17.3	
Caudal máximo	m ³ /s	123.8	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.7	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	10.0	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	26.3	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	16.7	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	13.0	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	12.8	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	18.6	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	17.6	
Volumen máximo disponible	MMC	819.3	
Volumen mínimo disponible	MMC	316.8	

7.6.23 Caracterización de la oferta hídrica Sub 23 - Subcuenca Maquerullo

La Figura 7-57 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca Maquerullo (Sub-23) de área de drenaje 367.2 Km².

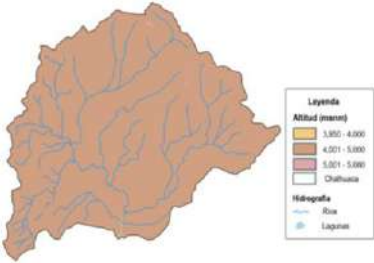
Figura 7-57 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 23- Subcuenca Maquerullo

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	367.2	 Legenda Altitud (metros) 4,000 - 5,000 5,001 - 5,008 Maquerullo Hidrografía Río Laguna
Caudal promedio anual	m ³ /s	3.4	
Caudal máximo	m ³ /s	15.1	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.2	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	2.1	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	5.0	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	3.2	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	2.7	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	2.6	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	3.7	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	3.5	
Volumen máximo disponible	MMC	157.9	
Volumen mínimo disponible	MMC	66.9	

7.6.24 Caracterización de la oferta hídrica Sub 24 - Subcuenca Chalhuanca

La Figura 7-58 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca Chalhuanca (Sub-24) de área de drenaje 469.8 Km².

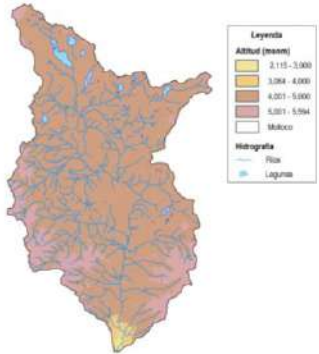
Figura 7-58 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 24- Subcuenca Chalhuanca

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	469.8	
Caudal promedio anual	m ³ /s	4.4	
Caudal máximo	m ³ /s	20.3	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.3	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	2.8	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	6.7	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	4.1	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	3.5	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	3.4	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	4.9	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	4.8	
Volumen máximo disponible	MMC	210.0	
Volumen mínimo disponible	MMC	87.2	

7.6.25 Caracterización de la oferta hídrica Sub 25 - Subcuenca Molloco

La Figura 7-59 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca Molloco (Sub-25) de área de drenaje 1578.1 Km².

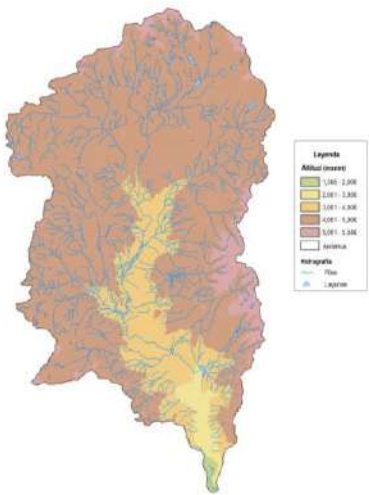
Figura 7-59 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 25 - Subcuenca Molloco

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	1578.1	
Caudal promedio anual	m ³ /s	11.1	
Caudal máximo	m ³ /s	61.5	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.2	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	6.3	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	16.7	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	10.4	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	8.6	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	7.9	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	12.4	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	12.7	
Volumen máximo disponible	MMC	519.3	
Volumen mínimo disponible	MMC	198.0	

7.6.26 Caracterización de la oferta hídrica Sub 26 - Subcuenca Andahua

La Figura 7-60 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca Andahua (Sub-26) de área de drenaje de 2666.7 Km².

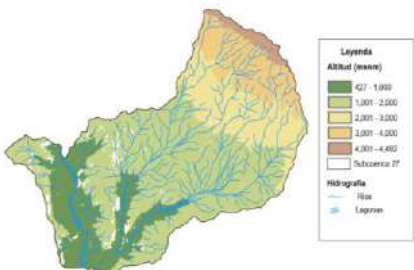
Figura 7-60 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 26 - Subcuenca Andahua

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	2666.7	
Caudal promedio anual	m ³ /s	12.8	
Caudal máximo	m ³ /s	91.3	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	5.6	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	20.5	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	12.2	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	7.8	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	7.6	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	14.4	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	15.3	
Volumen máximo disponible	MMC	636.6	
Volumen mínimo disponible	MMC	176.5	

7.6.27 Caracterización de la oferta hídrica Subcuenca 27

La Figura 7-61 muestra los caudales medios multianuales a la salida de la Subcuenca veintisiete (Sub-27) de área de drenaje de 690.3 Km².

Figura 7-61 Síntesis de caudales anuales generados en la Sub 27 - Subcuenca 27

Caudales	Unidad	Valor	Unidad Hidrográfica
Área drenaje	Km ²	690.3	
Caudal promedio anual	m ³ /s	61.5	
Caudal máximo	m ³ /s	349.4	
Caudal mínimo	m ³ /s	0.0	
Caudal promedio anual en años secos	m ³ /s	32.1	
Caudal promedio anual en años húmedos	m ³ /s	95.0	
Caudal promedio anual al 50% persistencia	m ³ /s	57.1	
Caudal promedio anual al 75% persistencia	m ³ /s	45.0	
Caudal promedio anual al 90% persistencia	m ³ /s	41.2	
Caudal promedio anual en años "Niño"	m ³ /s	68.8	
Caudal promedio anual en años "La Niña"	m ³ /s	70.4	
Volumen máximo disponible	MMC	2957.5	
Volumen mínimo disponible	MMC	1008.6	

En la Tabla 7-13 y 7-14 se presenta los caudales medios mensuales generados por cada subcuenca que comprende la cuenca Ocoña y Camana respectivamente.

Tabla 7-13. Resumen de los caudales medios mensuales (período 1981-2010) para cada subcuenca considerada en el modelo SWAT de la cuenca del Río Ocoña.

Subcuencas	Caudales medios mensuales (m ³ /s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Subcuenca 1	19.2	40.6	47.0	36.1	22.8	13.4	10.2	7.6	6.0	4.8	4.3	8.9
Subcuenca 2	21.3	45.6	53.1	40.8	25.9	15.2	11.5	8.7	6.8	5.5	4.8	9.6
Subcuenca 3	20.0	34.9	35.4	22.9	12.8	7.8	6.2	4.5	4.0	3.4	4.3	11.0
Subcuenca 4	2.0	5.0	6.1	4.7	3.0	1.8	1.4	1.0	0.8	0.7	0.5	0.7
Subcuenca 5	31.9	48.7	41.8	25.5	13.8	8.6	7.8	5.2	5.6	4.7	5.7	16.2
Subcuenca 6	13.0	20.8	20.0	13.6	7.9	5.0	3.9	2.8	2.5	2.1	2.0	5.7
Subcuenca 7	10.1	18.3	17.7	12.5	7.2	4.6	3.7	2.7	2.6	2.1	1.9	4.8
Subcuenca 8	8.3	20.7	23.6	16.4	11.5	8.1	6.2	4.7	3.5	2.7	2.1	2.7
Subcuenca 9	48.9	98.3	104.8	72.0	43.1	25.8	19.9	14.7	12.3	10.1	10.0	23.3
Subcuenca 10	9.8	24.4	26.6	19.1	11.8	7.2	5.7	4.2	3.7	2.7	2.1	3.9
Subcuenca 11	1.1	3.2	3.6	3.1	2.7	2.2	1.7	1.3	1.0	0.7	0.5	0.5
Subcuenca 12	72.2	153.6	162.4	108.7	66.5	41.1	31.6	23.2	19.2	15.4	13.9	30.4
Subcuenca 13	69.0	115.4	99.4	61.5	34.1	21.7	18.2	12.5	13.5	10.4	10.8	30.9
Subcuenca 14	9.0	20.8	16.2	11.9	7.6	5.4	4.1	3.1	2.6	2.1	1.7	3.7
Subcuenca 15	0.7	1.3	0.8	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
Subcuenca 16	0.6	0.8	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Subcuenca 17	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1
Subcuenca 18	1.7	2.5	1.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3
Subcuenca 19	154.1	295.4	280.0	181.0	107.0	67.1	52.7	37.7	34.0	26.9	25.7	65.0
Subcuenca 20	153.8	294.8	278.8	179.4	106.3	66.2	51.7	36.8	33.5	26.1	25.2	64.2

Tabla 7-14. Resumen de los caudales medios mensuales (período 1981-2010) para cada subcuenca considerada en el modelo SWAT de la cuenca del Río Camaná Majes. (m3/s)

Subcuencas	Caudales medios mensuales (m3/s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Subcuenca 1	102.4	161.8	141.4	86.8	47.1	35.3	26.1	19.7	17.3	18.1	21.3	45.3
Subcuenca 2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Subcuenca 3	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Subcuenca 4	2.5	3.5	3.7	3.0	2.3	1.7	1.2	0.9	0.7	0.5	0.5	0.8
Subcuenca 5	0.6	0.7	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2
Subcuenca 6	1.9	2.8	2.9	2.4	1.8	1.3	1.0	0.7	0.5	0.4	0.4	0.6
Subcuenca 7	0.8	1.2	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
Subcuenca 8	5.0	7.5	7.8	6.5	4.7	3.5	2.5	1.8	1.3	1.1	1.1	1.9
Subcuenca 9	102.4	162.2	142.9	88.9	49.3	37.6	28.3	21.8	19.1	19.6	22.4	46.2
Subcuenca 10	3.1	6.4	3.0	1.5	1.1	0.4	0.3	0.2	0.7	0.3	0.2	1.0
Subcuenca 11	98.6	154.6	139.8	87.9	48.9	37.9	28.7	22.2	18.9	19.8	22.6	45.3
Subcuenca 12	11.7	16.7	18.4	15.6	10.7	7.9	5.8	4.2	3.0	2.4	2.7	4.7
Subcuenca 13	5.7	7.4	6.9	4.8	3.4	2.6	1.9	1.4	1.1	0.9	1.0	2.0
Subcuenca 14	0.6	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2
Subcuenca 15	47.7	76.8	82.3	55.6	30.0	24.1	18.9	15.4	13.8	14.4	16.8	25.3
Subcuenca 16	17.5	24.1	26.3	21.5	14.5	10.8	7.8	5.7	4.2	3.5	4.0	7.1
Subcuenca 17	4.8	6.6	8.0	7.1	4.6	3.4	2.5	1.8	1.3	1.1	1.1	2.1
Subcuenca 18	7.8	25.1	30.7	22.8	9.6	9.1	8.1	7.7	8.0	9.2	10.3	10.2
Subcuenca 19	26.3	48.5	55.8	40.5	20.9	17.4	14.2	12.1	11.3	12.2	14.2	17.8
Subcuenca 20	4.2	4.5	4.9	3.0	1.8	1.3	1.0	0.8	0.6	0.7	1.1	2.2
Subcuenca 21	3.5	4.3	4.7	3.6	2.2	1.6	1.2	0.9	0.7	0.7	0.9	1.7
Subcuenca 22	14.4	33.3	39.6	29.6	13.9	12.3	10.4	9.4	9.3	10.4	11.9	13.1
Subcuenca 23	5.3	6.7	7.4	5.9	3.7	2.8	2.0	1.5	1.2	1.0	1.3	2.4
Subcuenca 24	6.7	8.9	10.2	7.5	4.8	3.5	2.6	1.9	1.4	1.3	1.5	3.0
Subcuenca 25	21.8	30.1	24.4	14.5	8.9	6.7	5.0	3.6	2.9	2.9	2.9	9.8
Subcuenca 26	22.8	38.4	28.3	17.0	10.6	7.9	5.8	4.1	3.1	3.1	3.1	8.8
Subcuenca 27	102.7	162.4	142.7	88.5	48.9	37.2	27.9	21.4	18.7	19.3	22.2	46.0

7.7 Conclusiones

Para la cuenca Ocoña y Camaná Majes, fueron identificados 6 parámetros sensibles y tienen gran impacto en la cuantificación y la respuesta hidrológica en los diferentes componentes del proceso hidrológico. El parámetro que tuvo mayor influencia en la respuesta de la escorrentía superficial fue SURLAG y CH_N. Los parámetros de suelo más sensibles y que tienen mayor influencia sobre la cuantificación del flujo de retorno fue SOL_AWC. Mientras tanto los parámetros GWQMN y SHALLST fueron los más importantes en la cuantificación y respuesta del flujo de retorno desde los acuíferos para mejorar las descargas simuladas en el periodo de estiaje.

El modelo SWAT es adecuado para el modelamiento hidrológico de las cuencas de Ocoña y Camaná Majes, lo cual fue verificado mediante las métricas de incertidumbre (P-factor y R-factor) y de desempeño (NSE y PBIAS).

Para Ocoña, en la etapa de la calibración (validación) en el periodo 2006-2011 (2012-2016) se obtuvo un buen desempeño del modelo SWAT con NSE=0.74 (NSE=0.5) y PBIAS=1% (PBIAS=8.3%) con una banda estrecha de incertidumbre dado por valores bajos de r-factor = 0.09 (r-factor = 0.1) donde el intervalo de predicción al 95% contuvo más del 24% (25%) de las descargas medias diarias observadas según el p-factor. Por otro lado en la simulación de las descargas mensuales las métricas de desempeño del modelo SWAT fueron mejores aún.

Para Camaná Majes, en la etapa de la calibración (validación) en el periodo 2002-2010 (2011-2016) se obtuvo un buen desempeño del modelo SWAT con NSE=0.63 (NSE=0.74) y PBIAS=-0.6% (PBIAS=1.9%) con una banda estrecha de incertidumbre dado por valores bajos de r-factor = 0.03 (r-factor = 0) donde el intervalo de predicción al 95% contuvo más del 20% (16%) de las descargas medias diarias observadas según el p-factor. Por otro lado en la simulación de las descargas mensuales las métricas de desempeño del modelo SWAT fueron mejores aún.

El buen desempeño del modelo SWAT en la simulación de descargas de las cuencas del río Ocoña y Camaná Majes, sugiere que SWAT es un modelo adecuado para el modelamiento hidrológico de cuencas en la vertiente del Pacífico sur del Perú. Mención aparte, es que también se obtuvo un muy buen desempeño para la cuenca regulada Camaná, teniendo en cuenta que se disponía información limitada (corto periodo) respecto de los caudales de salida del reservorio Condoroma.

En el Balance Hídrico de la cuenca del río Ocoña se ha determinado con el modelo SWAT que la precipitación media anual alcanza el valor de 441.0 mm/año; la evapotranspiración real, 180.0 mm/año y el rendimiento hídrico, 227.0 mm/año. El 83% del rendimiento hídrico es aportado por el flujo base de la cuenca, mientras que el 17%, es aportado por la escorrentía superficial de la cuenca.

En el Balance Hídrico de la cuenca del río Camaná-Majes se ha determinado con el modelo SWAT que la precipitación media anual alcanza el valor de 356.0 mm/año; la evapotranspiración real, 202.0 mm/año y el rendimiento hídrico, 127.0 mm/año. El 85% del rendimiento hídrico es aportado por el flujo base de la cuenca, mientras que el 15%, es aportado por la escorrentía superficial de la cuenca.

Con respecto a los caudales, en la cuenca del río Ocoña, se ha determinado que la mayor producción de agua se presenta en el sistema hídrico del río Marán, con un caudal promedio anual de 61.0 m³/s.

En el sistema hídrico del río Cotahuasi la oferta hídrica alcanza un caudal promedio anual de 41.0 m³/s. La menor oferta hídrica anual se presenta en la subcuenca seca del río Churunga con un caudal promedio anual de 0.6 m³/s. Para el sistema hídrico del río Colca que la oferta de agua anual es de 34.8 m³/s. En la subcuenca Capiza que recibe aportes de deshielo del Coropuna, la oferta hídrica anual alcanza en promedio 1.48 m³/s. La menor oferta de agua se presenta en las subcuencas de Paluviñas y Molles con un caudal promedio anual de 0.06 m³/s y 0.02 m³/s, respectivamente.

**Escenarios de Precipitación, temperatura y disponibilidad hídrica en
las cuencas de los ríos Ocoña y Camaná-Majes****8. Escenarios de cambio climático****8.1 Modelos Globales y regionales de cambio climático**

La herramienta principal para estimar las proyecciones climáticas de largo plazo son los modelos climáticos acoplados océano-atmósfera-superficie terrestre, que representan las componentes del sistema climático de la tierra y sus interrelaciones.

El sistema climático global es una consecuencia de los intercambios energéticos, humedad, momento y masa entre las componentes océano-atmósfera-superficie, que dan lugar a diferentes tipos de clima.

Los modelos climáticos permiten simular el clima del pasado, actual y futuro. A pesar de su limitada resolución espacial (110-280 km) y la representación suavizada de la cordillera de los andes, presentan avances con el paso de los años en la simulación de los efectos de los procesos físicos a través de mejoras en sus esquemas de parametrización de radiación y convección principalmente. Así como, las interrelaciones y acoplamiento entre las componentes del sistema climático (Acuña et al. 2012).

En la actualidad, los modelos climáticos de largo plazo para proyección del clima futuro llevan implícito las asunciones del curso que tomarán los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero. Estos escenarios incorporan niveles de incertidumbre en los escenarios climáticos, por lo tanto es importante intercomparar las diferentes variables provenientes de los diferentes modelos en su estado climático de referencia (simulación de control o histórica) para determinar qué modelos representan de manera más aproximada el clima regional y cuan confiables podrían ser sus proyecciones (Acuña et al. 2012). Esta información validada física y estadística, es posteriormente utilizada para estimar proyecciones del clima en el futuro en alta resolución espacial aplicando un modelo regional (downscaling dinámico) y/o en localidades de interés donde existe información real proveniente de datos de instrumental meteorológico (downscaling estadístico).

La información de escenarios climáticos desde modelos globales es información muy gruesa para la toma de decisiones a nivel regional, cuenca y local; por tanto se hace necesaria la reducción de escala espacial y temporal mediante downscaling.

La técnica downscaling dinámico se basa en el uso de Modelos Climáticos Regionales o de área limitada (RCMs, siglas en inglés), los cuales permiten adaptar las salidas de los Modelos climáticos globales a las características orográficas de una determinada región con una resolución espacial apta para ser utilizada en distintas aplicaciones; en modelos de impactos de rendimientos de cultivos, hidrológicos, hidráulicos, entre otros. Las técnicas dinámicas de reducción de escala, se basan en el uso de modelos regionales de área limitada y tienen la característica de ser físicamente consistentes y demandan mayor capacidad y tiempo de procesamiento computacional (Acuña, D. et al. 2012).

Los RCMs, resuelven las ecuaciones dinámicas de la atmósfera y el océano, que relacionadas con los modelos climáticos, sobre una grilla más fina, se obtienen proyecciones climáticas en alta resolución. Estos modelos se utilizan a menudo para la desagregación espacial de las salidas de los modelos de circulación global; aunque se requiere mucho tiempo y demanda computacional para obtener los resultados. Por lo general, sólo un número pequeño de modelos están disponibles para una determinada región de interés (Buytaert W., 2010).

Las técnicas de downscaling estadístico, se basan en hipótesis establecidas donde las relaciones lineales o no lineales cuantitativas entre predictores (de gran escala) y predictandos (de escala local) son invariables frente al cambio climático. En esta técnica es importante conocer a priori modelos conceptuales físicos de la relación entre predictores y predictandos a fin de seleccionar óptimos predictores de gran escala y que contengan buen sustento estadístico. De otro lado, esta técnica por lo general demanda menor tiempo computacional; aunque los métodos no lineales desarrollados recientemente se basan en complejos algoritmos de optimización no lineal y requieren un mayor tiempo de procesamiento.

En consecuencia, los modelos climáticos globales constituyen herramientas potenciales para la proyección del clima a gruesa resolución espacial, y son necesarios para forzar el downscaling dinámico o como predictores de gran escala de las técnicas estadísticas, para obtener información en alta resolución espacial y temporal.

En el estudio de “Escenarios climáticos y caracterización de la oferta hídrica presente y futura en las cuencas Ocoña y Camana-Majes, Región Arequipa” desarrollado en el marco del Proyecto de Apoyo a la gestión del Cambio climático, los escenarios fueron generados con downscaling dinámico con el WRF a una resolución 16 km y downscaling estadístico a escala local de interés.

Estas técnicas fueron adoptadas en proyectos ejecutados por la Subdirección de Modelamiento Numérico de la Atmósfera del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), en el marco de Proyectos emblemáticos como Programa Nacional de Fortalecimiento de Capacidades para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire (PROCLIM, 2004), Proyecto Regional Andino de Adaptación (PRAA, 2007) y Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático (SCNCC, 2008), Programa Nacional de Cambio Climático (PACC, 2012), Proyecto de Vulnerabilidad de los Recursos Hídricos (SEDAPAL, 2015), entre los principales.

8.1.1 Modelización Regional con WRF para generación de escenarios climáticos en la Región Arequipa y cuencas Ocoña y Camana-Majes

La regionalización dinámica para el presente estudio, se llevó a cabo con el modelo Advanced Research WRF (Weather Research and Forecast) versión 3.2, el cual fue forzado con los datos del modelo global HadGEM-ES desarrollado por el Hadley Centre del Reino Unido, el cual representa coherentemente las variables atmosféricas en distintos niveles de presión (Barreto, C., Llacza A., 2015). El Modelo Regional WRF, es un modelo de mesoescala no hidrostático, aplicado tanto en pronóstico operativo como en investigación, fue construido por esfuerzo conjunto de la National Center for Atmospheric Research (NCAR), National Center for Environmental Prediction (NCEP), Forecast System Laboratory (FSL), Air Force Weather Agency (AFWA), Naval Research Laboratory, University of Oklahoma y la Federal Aviation Administration (FAA).

El Advanced Research WRF versión 3.01 fue implementado en SENAMHI el 2008 para pronóstico del tiempo (corto plazo) obteniéndose una buena performance en la predicción de precipitación para el país mostrando resultados satisfactorios en el análisis sinóptico de escala diaria. En el 2010 se implementó la versión 3.2 para la proyección del clima de largo plazo, después de realizar corridas de prueba se adaptó para simular el clima en la región sur andina de Perú a 20 km de resolución espacial, configurándose 18 niveles en la estructura vertical de la atmósfera.

En el 2014 el modelo WRF-ARW se migra a la versión 3.4 y se inicia la corrida para simular los escenarios climáticos al 2045 a escala nacional de 16 km y para el sector central a 5km de resolución espacial, como parte del “Estudio de Vulnerabilidad Climática de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Chillón, Rímac, Lurín y parte alta del Mantaro” en el marco del Convenio Específico de Servicio de Cooperación Técnica entre el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú y el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, (SENAMHI, 2015).

Los escenarios climáticos de 16 km de resolución espacial posteriormente fueron ampliados su horizonte al 2065 por SENAMHI-SMN en el 2016, el cual es aplicado en el presente estudio para generar los Escenarios de Cambio Climático en la región Arequipa a 16 km de resolución espacial; Figura 8-1.

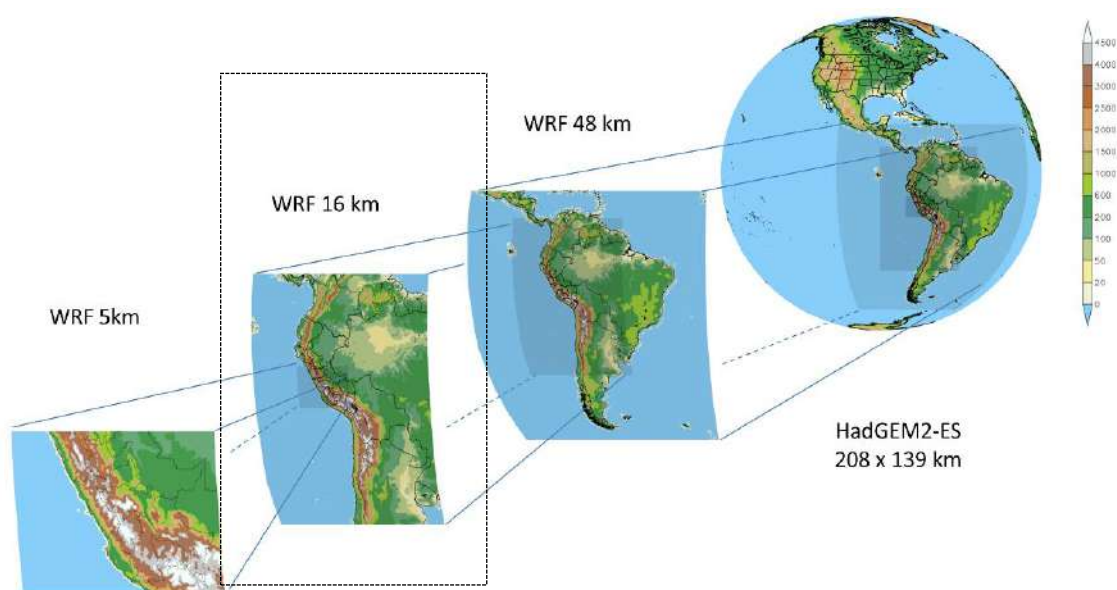


Figura 8-1 Modelización climática regional con WRF-ARW V4 para generación de escenarios climáticos a escala nacional a resolución espacial de 16 Km y aplicado para la Región Arequipa y cuencas Ocoña y Camana-Majes en el marco del Proyecto Apoyo a la Gestión del Cambio Climático (línea discontinua). Forzantes del modelo regional WRF-ARW V4 datos numéricos del modelo HadGEM2-ES escenario de altas emisiones RCP8.5. Fuente: SENAMHI-SEDAPAL /DMA-SMN, 2015. Actualizada SENAMHI-SMN, 2017

La Figura 8-2 muestra el flujograma metodológico para la generación de escenarios climáticos.

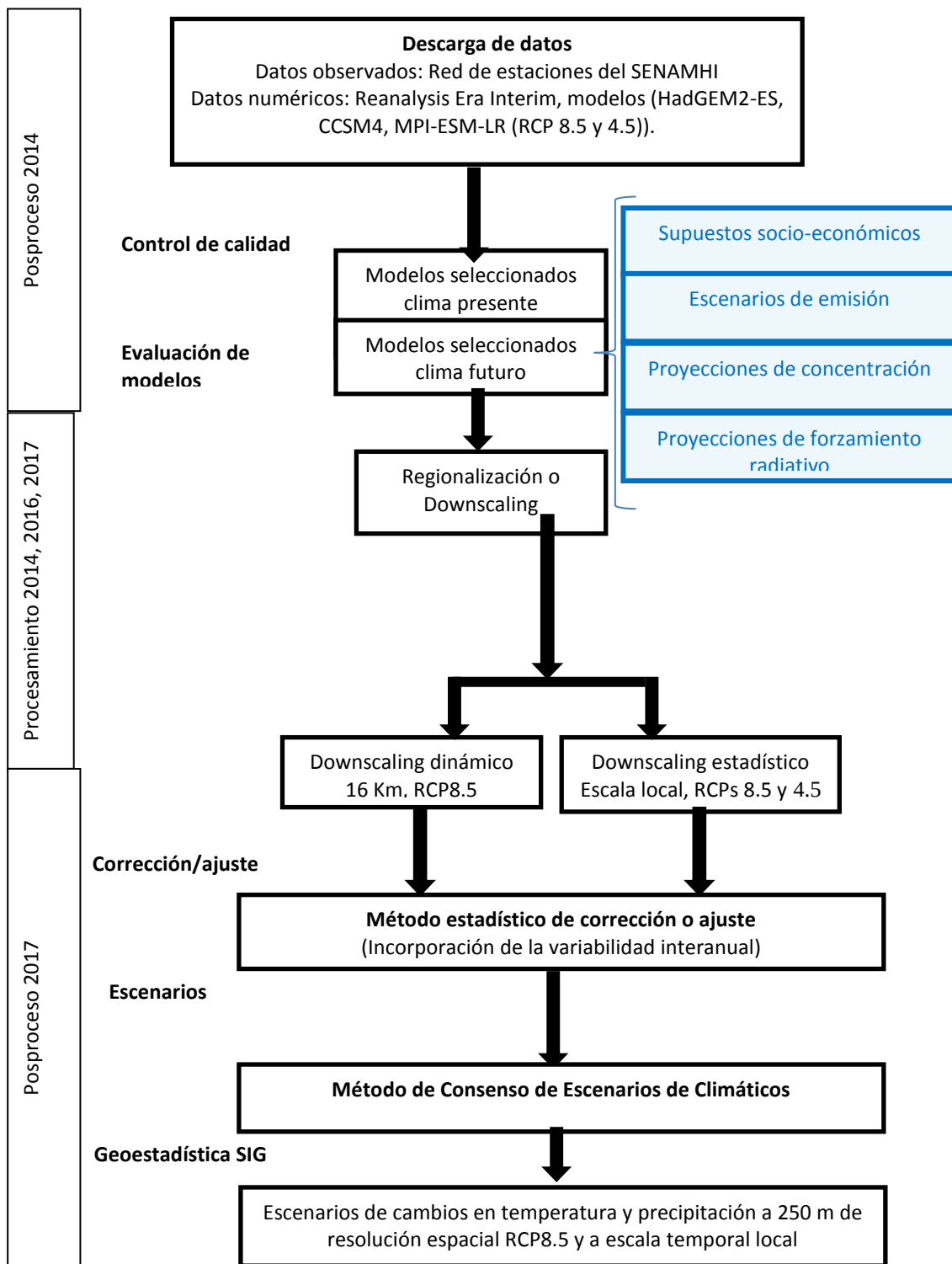


Figura 8-2 Metodología para la generación de escenarios de cambio climático
Fuente: SENAMHI-SEDAPAL/DMA-SMN, 2015 actualizado 2017

8.1.2 Modelización Regional con WRF para generación de escenarios climáticos en la Región Arequipa y cuencas Ocoña y Camana-Majes

La generación de los escenarios climáticos está sujeta a una variedad de fuentes de incertidumbre que afectan en todos los pasos de sus procesos para su generación, comenzando desde la asunción del curso que tomarán en el futuro las emisiones de gases de efecto invernadero y aerosoles que afectan al forzamiento radiativo de los modelos globales, hasta simulación del clima futuro a escala regional con los RCMs para la reducción de escala espacial. Cada paso conducente a la generación de escenarios regionales hereda todas las incertidumbres de los pasos anteriores (Brunet, M. et al. 2009).

Las fuentes de incertidumbre en la evolución futura de las emisiones dependerán de la marcha de la economía, del desarrollo tecnológico, de las fuentes energéticas disponibles, del patrón de consumo energético, demografía, decisiones políticas y las asociadas a los modelos globales de circulación general. En cuanto a los modelos se basan en distintas formulaciones de las ecuaciones termodinámicas y dinámicas que describen los distintos componentes del sistema climático, considerando distintas grillas, resoluciones, esquemas numéricos, parametrizaciones de procesos físicos, y otros, que mejoran en la línea de tiempo.

Las técnicas de reducción de escala (downscaling) estadística también incorporan fuentes de incertidumbre principalmente en los predictores de gran escala que son seleccionado de las salidas de los modelos numéricos globales.

Con el fin de reducir la incertidumbre en la generación de escenarios de cambio climático en este estudio se plantea la aplicación de los modelos globales (HadGEM2-ES, CCSM4, MPI-ESM-LR, entre los principales), que tienen una mejor performance físico y estadístico del clima para la región sudamericana (Barreto C., et al. 2014).

El downscaling dinámico de 16 Km de resolución espacial utiliza como condiciones de entrada las salidas del HadGEM2-ES escenario de altas emisiones RCP8.5. Esta técnica es robustecida con la técnica de downscaling estadístico, debido a su menor costo computacional, se toma como predictores los datos numéricos de HadGEM2-ES, CCSM4, MPI-ESM-LR escenarios de altas RCP 8.5 y moderadas emisiones 4.5 para la generación de escenarios futuros a escala local. Los resultados finalmente son expresados en términos de cambios de temperatura y precipitación con distribución espacio-temporal para el RCP 8.5, y distribución temporal para el segundo RCP 4.5, reduciendo la incertidumbre en las proyecciones, que son recomendables como instrumento técnico para la evaluación de los posibles impactos del cambio de clima, para el fortalecimiento de las estrategias de cambio climático de la Región Arequipa y de las grandes cuencas como Ocoña y Camaná-Majes, y la gestión del cambio climático en las áreas de estudio.

8.2 Escenarios de cambios en la precipitación y temperatura

Los escenarios de cambio climático para las cuencas de los ríos Ocoña y Camaná-Majes presentados, tienen en cuenta las rutas de concentración representativas para el escenario moderado y de alta emisión de Gases de efecto Invernadero (RCP por sus siglas en inglés, 4.5 y 8.5) y los resultados presentados son de escala anual por estaciones.

8.2.1 Cambios proyectados de precipitación a escala temporal

En la escala anual (enero-diciembre), el escenario RCP 8.5 muestra cambios con incrementos de 25 mm hacia el 2040, hacia el 2065 los incrementos llegan a 2 mm. El escenario RCP 4.5 hacia el 2040 muestra cambios más estables en promedio incrementos de 5 mm y hacia los 2065 incrementos que llegan a 10 mm.

En la escala anual, en la estación Chinchayllapa los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 hacia el 2065 muestran cambios en una misma dirección de comportamiento con incrementos similares de la cantidad de precipitación. En la estación Salamanca para todas las escalas analizadas muestran cambios en promedio con tendencia de incremento hacia el 2065 para ambos escenarios.

En general, en la estación Aplao se observa cambios variables según la escala de análisis, sin embargo para el escenario RCP 4.5 y principalmente el RCP 8.5 los periodos DEF, MAM, avenidas, anual y año hidrológico, en el tramo 2040 al 2065 muestran una tendencia de reducción de la precipitación. En la estación Punta Atico para todas las escalas analizadas muestran cambios en promedio con tendencia de incremento hacia el 2065 para ambos escenarios.

8.2.2 Cambios proyectados de temperatura mínima a escala temporal

En general, en la estación Cotahuasi ubicada en la cuenca Ocoña, los cambios en la temperatura mínima en todas las escalas analizadas, indican incrementos, con tendencia ascendente hacia el 2065 para los escenarios RCP 4.5 y 8.5; siendo el RCP 8.5 el que registra mayores cambios, en promedio hasta en 1°C de incremento superior al escenario RCP 4.5. Hacia el 2031-2040 los cambios del escenario RCP 4.5 y 8.5 son muy cercanos, sin embargo en el tramo 2051 al 2065 la diferencia térmica se amplía significativamente hasta 1.0 °C en promedio, relativo al RCP 4.5.

En las estaciones emplazadas en parte de la cuenca Camana, la temperatura mínima para todas las escalas analizadas, muestran incrementos, con tendencia ascendente hacia el 2065 para los escenarios RCP 4.5 y 8.5; siendo el RCP8.5 el que registra cambios en promedio superior al escenario RCP 4.5. Hacia el 2031 los cambios del escenario RCP 4.5 y 8.5 coinciden, sin embargo del 2051 al 2065 la diferencia térmica se amplían hasta 1.5°C en promedio.

8.2.3 Cambios proyectados de temperatura máxima a escala temporal

En general, en la estación Cotahuasi ubicada en la cuenca Ocoña, la temperatura máxima para todas las escalas analizadas, indican incremento gradual hacia el 2065 para los escenarios RCP 4.5 y 8.5, siendo el RCP 8.5 el que registra los mayores incrementos respecto al escenario RCP 4.5. Hacia el 2031-2040 los cambios del escenario RCP 4.5 y 8.5 coinciden; sin embargo en el tramo 2051 al 2065 la diferencia térmica se amplía de 0.5 °C a 1 °C en promedio. Las estaciones emplazadas en parte de la cuenca Camana, la temperatura máxima para todas las escalas analizadas, muestran cambios con incrementos graduales hacia el 2065 para los escenarios RCP 4.5 y 8.5, siendo el segundo el que registra cambios en promedio de incremento superior al escenario RCP 4.5. Hacia el 2031-2040 los cambios del escenario RCP 4.5 y 8.5 son muy cercanos y mantienen similar patrón; sin embargo en el tramo 2051 al 2065 la diferencia térmica se amplían de 0.5 hasta 1 °C en promedio.

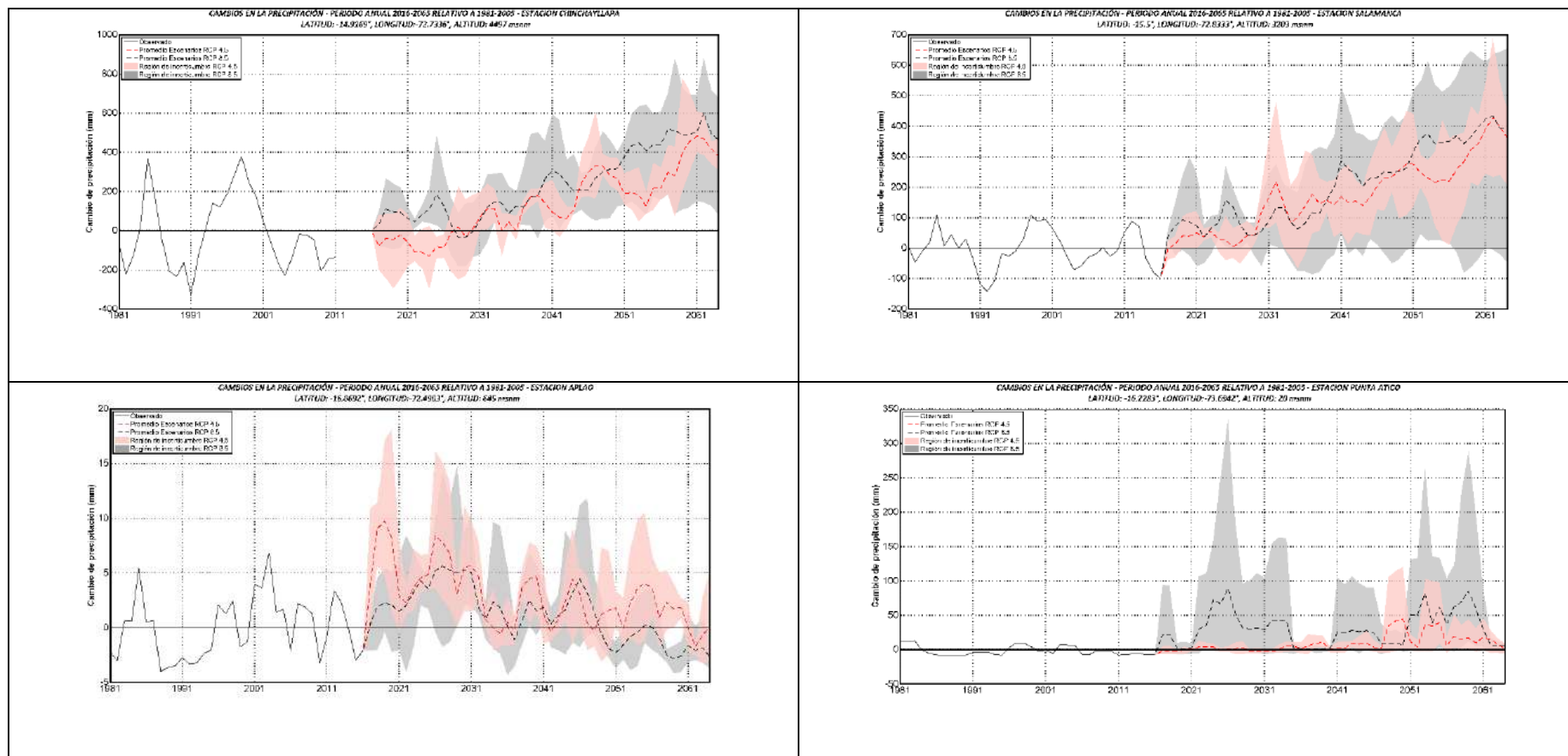


Figura 8-3 Cambios de la precipitación 2016-2065 relativo a 1981-2005 para los escenarios de altas emisiones (RCP8.5) y moderadas emisiones (RCP4.5) de Gases de Efecto Invernadero, escala anual

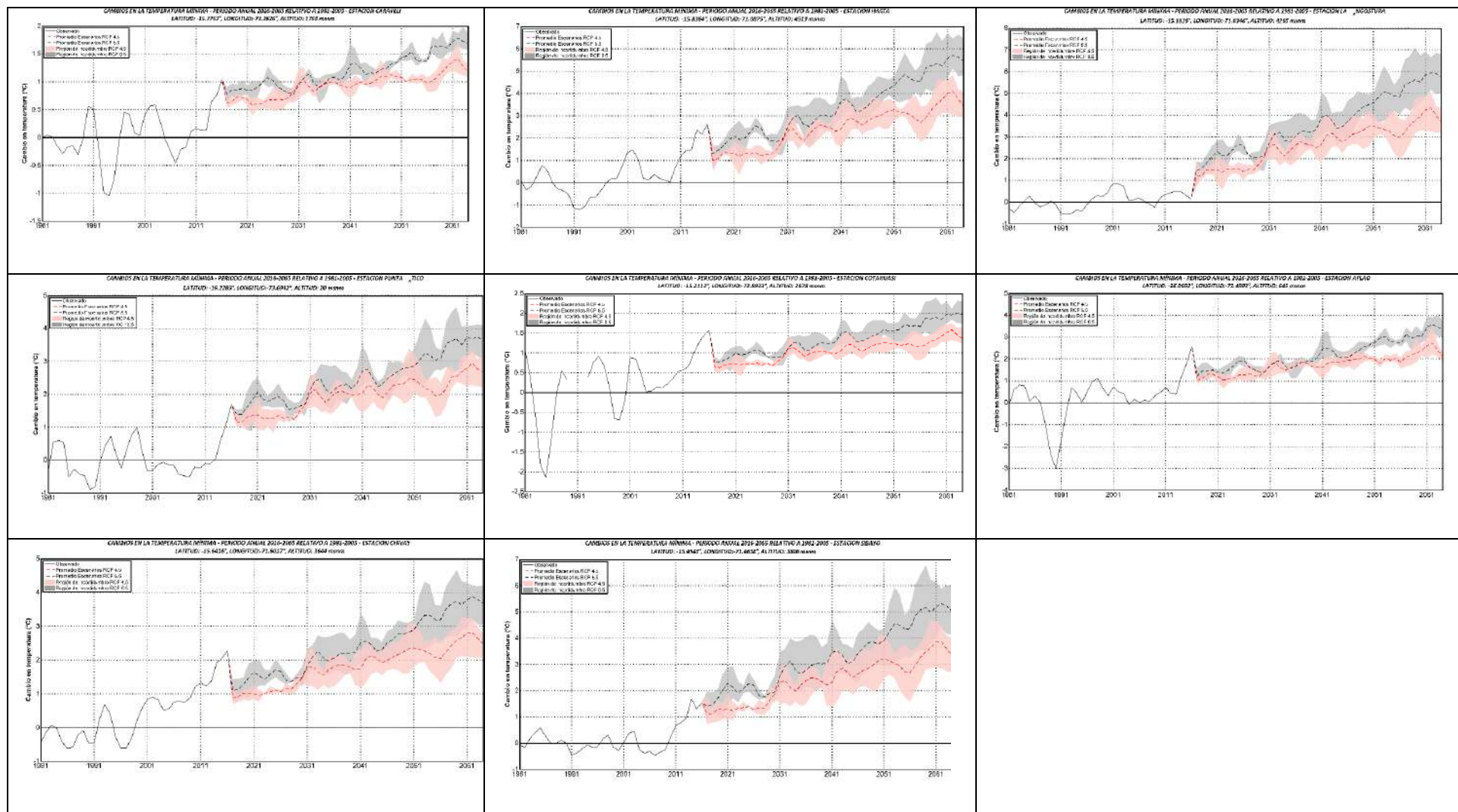


Figura 8-4 Cambios de la temperatura mínima 2016-2065 relativo a 1981-2005 para los escenarios de altas emisiones (RCP8.5) y moderadas emisiones (RCP4.5) de Gases de Efecto Invernadero, escala anual

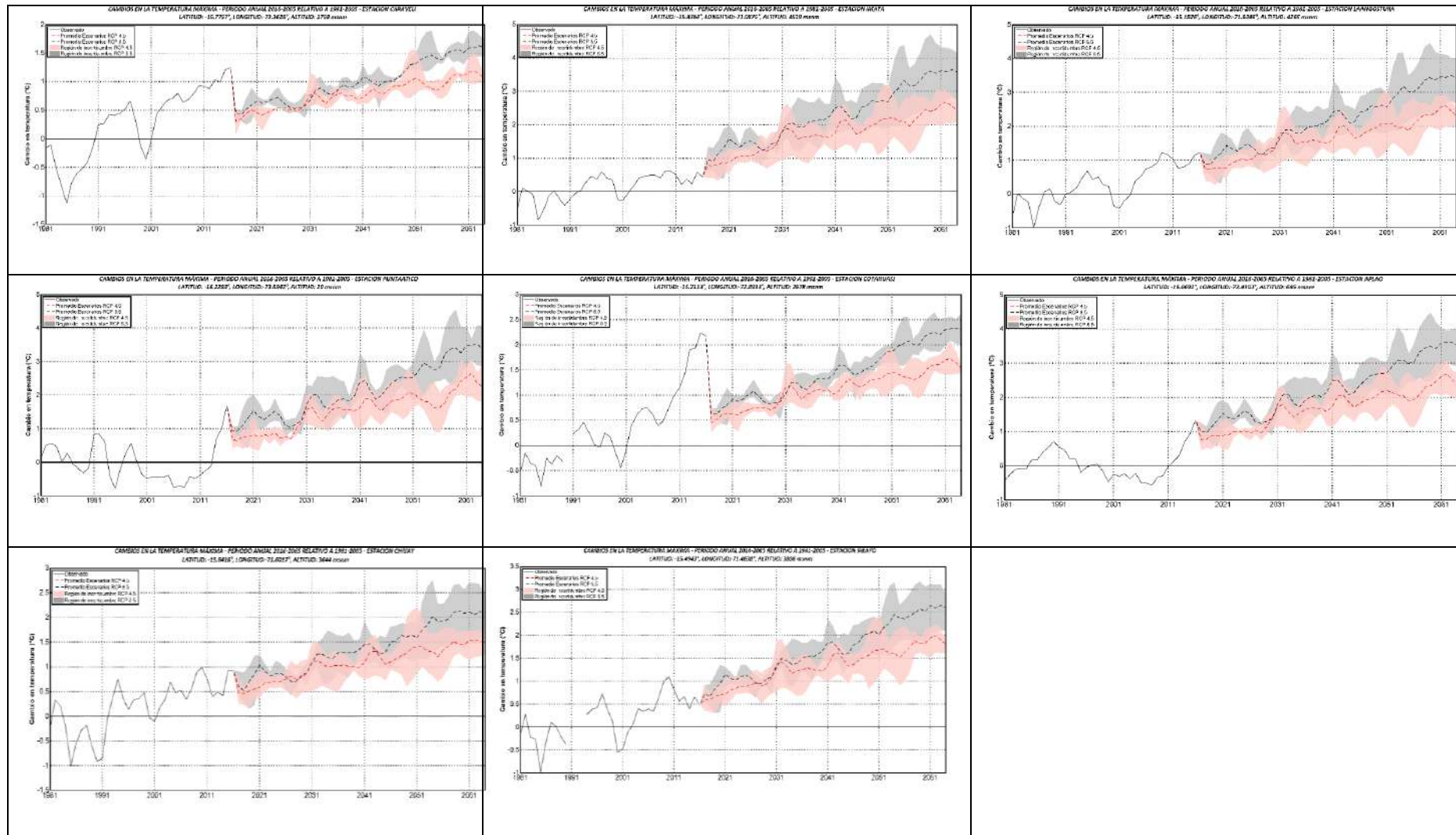


Figura 8-5 Cambios de la temperatura mínima 2016-2065 relativo a 1981-2005 para los escenarios de altas emisiones (RCP8.5) y moderadas emisiones (RCP4.5) de Gases de Efecto Invernadero, escala anual



Figura 8-6 Variación espacial de los Cambios en la precipitación, temperatura mínima y máxima anual en la Region Arequipa



Figura 8-7 Variación espacial de los Cambios en la precipitación, temperatura mínima y máxima anual en la cuenca Ocoña

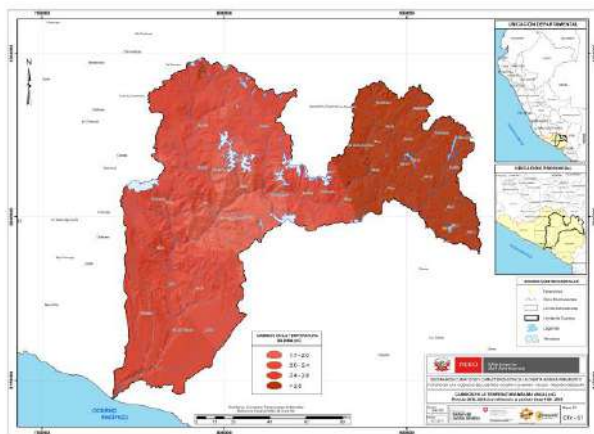
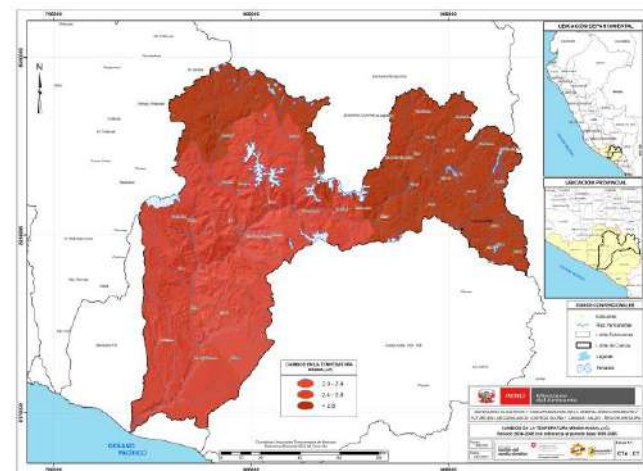
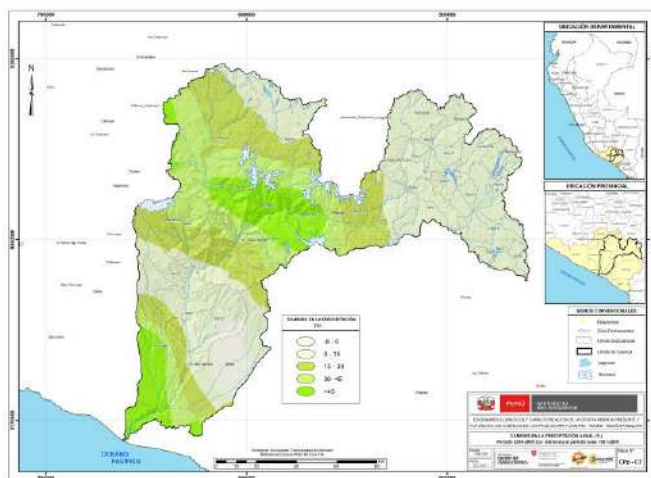


Figura 8-8 Variación espacial de los Cambios en la precipitación, temperatura mínima y máxima anual en la cuenca Camana

8.3 Escenarios de disponibilidad hídrica futura

8.3.1 Simulación para el escenario futuro periodo 2011-2065 cuenca del río Camana

El análisis que se presenta a continuación es para determinar los caudales medios diarios futuros considerando en el periodo 2011-2065 a partir de la precipitación acumulada diaria insertada al modelo SWAT calibrado previamente. Nótese que por la escala de tiempo que se ha trabajado, un análisis a nivel mensual o anual es posible de llevar a cabo. En base a ello, para la cuenca Camaná Majes se obtuvieron 27 series de caudales mensuales correspondiente a cada subcuenca considerada. Los aportes mínimos registrados están en el rango de 0-15 m³/s y las máximas descargas presentan picos de hasta 350 m³/s.

En las Tablas 8-1 y 8-2 se muestra los caudales medios mensuales proyectados al periodo 2011-2065 para cada subcuencas de la cuenca del río Ocoña y Camana.

Tabla 8-1. Resumen de los caudales medios mensuales (período 2011-2065) para cada subcuenca considerada en el modelo SWAT de la cuenca del Río Ocoña.

Subcuencas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
sub1	14.99	36.62	47.91	41.55	26.48	14.83	11.27	8.47	6.50	5.05	4.12	6.48
sub2	16.12	40.00	53.84	47.38	30.24	16.86	12.83	9.65	7.40	5.76	4.64	7.08
sub3	18.45	34.38	35.61	26.69	15.91	9.30	7.14	5.30	4.31	3.58	3.87	8.27
sub4	1.11	3.33	5.88	5.80	3.76	2.02	1.55	1.17	0.89	0.71	0.52	0.59
sub5	36.44	57.14	49.30	30.69	16.84	9.97	8.85	6.12	6.68	5.76	7.01	17.81
sub6	12.30	23.09	23.55	17.24	9.84	5.82	4.62	3.36	2.85	2.32	2.06	5.07
sub7	8.15	17.43	19.16	15.31	9.14	5.41	4.20	3.11	2.58	2.03	1.70	3.23
sub8	4.51	12.08	21.24	22.46	14.70	8.95	6.90	5.14	3.90	2.98	2.22	2.33
sub9	39.50	86.91	104.31	85.72	52.60	29.87	22.85	17.04	13.50	10.75	9.59	17.44
sub10	6.54	19.16	25.20	21.44	13.63	7.71	5.84	4.36	3.48	2.60	1.97	2.50
sub11	0.63	1.59	2.59	3.14	2.68	2.09	1.62	1.21	0.90	0.68	0.50	0.43
sub12	53.82	124.24	154.84	130.56	80.97	46.37	35.31	26.15	20.61	16.12	13.45	22.65
sub13	68.26	120.27	108.47	73.62	41.65	24.88	20.53	14.44	14.35	11.70	11.93	29.11
sub14	7.36	17.49	15.77	13.61	8.13	5.15	3.92	2.95	2.35	2.01	1.52	2.98
sub15	0.39	0.67	0.38	0.16	0.12	0.09	0.06	0.05	0.03	0.03	0.02	0.08
sub16	0.31	0.36	0.12	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03
sub17	0.28	0.26	0.06	0.04	0.03	0.02	0.04	0.06	0.01	0.05	0.07	0.04
sub18	1.18	1.52	0.55	0.21	0.15	0.11	0.10	0.11	0.03	0.08	0.16	0.17
sub19	132.38	265.62	279.33	216.59	129.39	75.02	58.46	42.25	35.92	28.76	26.33	54.39
sub20	132.37	266.25	277.98	215.39	128.19	73.54	57.00	40.98	34.71	27.71	26.12	53.80
PROMEDIO	27.75	56.42	61.31	48.38	29.22	16.90	13.16	9.60	8.05	6.43	5.89	11.72

Tabla 8-2. Resumen de los caudales medios mensuales (período 2011-2065) para cada subcuenca considerada en el modelo SWAT de la cuenca del Río Camaná Majes.

Subcuencas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
sub1	95.47	185.20	193.36	155.73	87.89	55.17	38.35	30.09	27.20	23.59	23.85	36.40
sub2	0.20	0.22	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.04	0.13
sub3	2.53	0.86	0.30	0.10	0.31	0.06	0.03	0.11	0.18	0.07	2.06	0.55
sub4	1.51	3.98	5.73	5.43	3.90	2.50	1.68	1.20	0.87	0.65	0.49	0.46
sub5	0.26	0.71	1.06	1.01	0.73	0.46	0.31	0.22	0.16	0.12	0.09	0.09
sub6	1.22	3.21	4.59	4.34	3.13	2.01	1.35	0.97	0.70	0.52	0.39	0.37
sub7	0.48	0.70	0.22	0.10	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.09
sub8	3.14	7.30	9.89	9.06	6.40	4.05	2.70	1.95	1.41	1.07	0.86	0.98
sub9	93.79	185.03	195.40	158.48	88.82	57.70	40.92	32.22	28.03	25.48	23.26	37.11
sub10	2.21	4.14	1.96	1.33	0.75	0.32	0.19	0.13	0.28	0.12	0.12	0.76
sub11	91.19	180.61	193.63	157.73	88.75	58.23	41.55	32.89	28.31	25.97	23.64	36.49
sub12	9.99	20.48	26.55	23.97	16.94	10.85	7.18	5.18	3.77	2.88	2.33	3.07
sub13	3.32	7.58	9.85	8.45	5.88	3.65	2.48	1.79	1.31	1.00	0.85	1.07
sub14	0.36	0.89	1.15	0.99	0.69	0.44	0.30	0.21	0.16	0.12	0.10	0.11
sub15	43.50	96.20	114.87	99.30	52.41	36.83	27.35	22.97	21.08	18.99	17.63	20.01
sub16	15.81	30.61	38.83	34.38	24.20	15.55	10.27	7.43	5.44	4.24	3.63	5.23
sub17	5.27	9.96	12.56	11.30	8.04	5.23	3.45	2.49	1.81	1.38	1.11	1.61
sub18	12.86	38.24	43.73	39.62	11.48	11.21	10.73	11.11	12.26	12.00	11.56	9.92
sub19	30.92	71.08	83.95	74.24	35.76	27.06	21.04	18.51	17.68	16.26	15.29	15.93
sub20	4.67	6.31	7.07	5.13	3.51	2.31	1.53	1.12	0.87	0.86	1.05	2.24
sub21	4.14	6.34	7.29	6.02	4.21	2.76	1.82	1.32	0.99	0.85	0.88	1.66
sub22	20.06	50.80	58.95	52.82	20.79	17.35	14.73	13.99	14.37	13.65	13.02	12.40
sub23	6.07	10.49	12.75	11.16	7.92	5.27	3.45	2.47	1.82	1.41	1.23	2.13
sub24	7.10	12.91	16.00	14.10	10.03	6.69	4.33	3.11	2.27	1.76	1.49	2.41
sub25	21.53	34.96	33.83	25.00	16.15	10.01	6.83	4.91	3.69	3.49	2.93	8.16
sub26	22.37	44.60	42.87	33.19	21.36	12.71	8.73	6.29	4.67	4.16	3.60	7.64
sub27	93.88	185.07	195.03	157.98	88.34	57.23	40.44	31.76	27.62	25.14	22.96	36.91
PROMEDIO	21.99	44.39	48.57	40.41	22.53	15.02	10.81	8.68	7.67	6.88	6.46	9.03

8.4 Conclusiones y Recomendaciones

8.4.1 Conclusiones

8.4.1.1 Sobre escenarios de cambios en la Precipitación

En la Región Arequipa, Cuencas Ocoña y Camaná-Majes se proyecta 2036-2065 relativo 1981-2005 bajo el escenario de altas emisiones de GEI un calentamiento promedio de 2°C por encima de su valor normal actual y para un escenario de moderadas emisiones de 1.5°C, que son consistentes con el calentamiento observado a nivel global y que se evidencia también en las tendencias de aumento de la temperatura histórica observada en el periodo 1964-2016 en las localidades de interés, donde existe estación meteorológica en el área de estudio.

Se estima cambios futuros de precipitación 2036-2065 bajo los escenarios de alta y moderada emisión de Gases de Efecto Invernadero, con alta variabilidad principalmente en su distribución temporal; cambios que incorporan una dosis mayor de incertidumbre en relación a la temperatura máxima y mínima proyectada, que son más consistentes y presentan una tendencia gradual de aumento en el futuro.

La precipitación futura indica adelanto del periodo de lluvias en la región Arequipa en SON para luego tender a finalizar en DEF, que se refleja en la reducción importante en el trimestre MAM, principalmente en las zonas medias (1500-3800 msnm) y altoandinas (por encima de los 3800 msnm).

Los cambios futuros de precipitación, son consistente en parte con la tendencia de aumento histórica que viene observándose en el periodo 1964-2016, en las localidades de interés donde existe estación meteorológica dentro del área de estudio.

El rango de incertidumbre de la magnitud de cambios en la precipitación es mayor en la zona costera de la región Arequipa y de las cuencas de estudio, en relación a la zona andina donde es menor.

8.4.1.2 Sobre escenarios de SPI

- Cuenca del río Ocoña

Según SPI 3, en la línea base 1981-2010, el periodo seco de mayor alcance espacial afectó a 16/20 subcuenca y se presentó de enero a abril 1999 (4 meses) y el periodo húmedo de mayor alcance espacial afectó a 17/20 subcuenca y se presentó de abril a junio 1982 (3 meses). En la línea base 2017-2065, el periodo seco de mayor alcance espacial afectaría a 14/20 subcuenca y se presentaría de febrero a abril 2027 (3 meses), y el periodo húmedo de mayor alcance espacial afectaría a 17/20 subcuenca y se presentaría de mayo a julio 1957 (3 meses).

Según SPI 12, en general durante la línea base 1981-2010, el periodo seco de mayor alcance espacial afectó a 20/20 subcuenca y se presentó de mayo a diciembre 1999 (8 meses) y el periodo húmedo de mayor alcance espacial afectó a 10/20 subcuenca y se presentó de abril a setiembre 1982 (6 meses). El periodo húmedo de mayor alcance espacial afectó a 10/20 subcuenca y se presentó de abril a setiembre 1982 (6 meses). En la línea base 2011-2065, el periodo seco de mayor alcance espacial afectaría a 14/20 subcuenca y se presentaría de feb 2044 a enero 2045 (12 meses) y el periodo húmedo de mayor alcance espacial afectaría a 19/20 subcuenca y se presentaría de febrero a noviembre 2054 (10 meses).

- Cuenca del río Camana

Según el SPI 3, durante la línea base 1981-2010, el periodo seco de mayor alcance espacial afectó a 20/27 subcuencas y se presentó de noviembre 1998 a mayo 1999 (7 meses) y el periodo húmedo de mayor alcance espacial afectó a 13/27 subcuencas y se presentó de enero a marzo 1993 (3 meses). En la línea base 2011-2065, el periodo seco de mayor alcance espacial afectaría a 15/27 subcuencas y se presentaría de abril a julio 2056 (4 meses) y el periodo húmedo de mayor alcance espacial afectaría a 23/27 subcuencas y se presentaría de enero a marzo 2054 (3 meses).

Según SPI 12, en la línea base 1981-2010, el periodo seco de mayor alcance espacial afectó a 26/27 subcuencas y se presentó de marzo a noviembre 1999 (9 meses) y el periodo húmedo de mayor alcance espacial afectó a 14/27 subcuencas se presentó durante abril a diciembre 1993 (9 meses) En la línea base 2011-2065, el periodo seco de mayor alcance espacial afectaría a 17/27 subcuencas y se presentaría de mayo a noviembre 2037 (8 meses) y el periodo húmedo de mayor alcance espacial afectaría a 22/27 subcuencas y se presentaría de febrero a octubre 2054 (9 meses).

8.4.1.3 Sobre escenarios de disponibilidad hídrica período 2011-2065

La estimación del cambio de cobertura para los años 1988, 2002, 2016 y el escenario proyectado hacia el año horizonte 2030, reveló que en líneas generales la persistencia es el estado predominante en todo el ámbito de estudio, no obstante se han producido cambios significativos en las áreas agrícolas debido principalmente al desarrollo urbano que se ha incrementado en los últimos años.

De la comparación del periodo presente (1981-2010) con el futuro (2011-2065) en la cuenca de río Ocoña, se presenta un ligero menor aporte de la precipitación (7.49%) y una disminución en el rendimiento hídrico (10%). Sin embargo, se estima una significativa reducción del aporte de la escorrentía superficial (69.52%) e incremento del aporte del flujo base (2.16%). Los escenarios climáticos y antropogénicos futuros (dado que se consideró el cambio de cobertura en el uso de suelo) tiene mayor incidencia en la menor disponibilidad del aporte de la escorrentía superficial.

De la comparación del periodo presente (1981-2010) y futuro (2011-2065) en la cuenca de río Camaná Majes existe un mayor aporte de la precipitación (24.87%) y un considerable incremento en el rendimiento hídrico (81.13%). Sin embargo, se estima una significativa reducción del aporte de la escorrentía superficial (74.65%) y considerable incremento del aporte del flujo base (108.2%). Se puede considerar como una cuenca susceptible al cambio de condiciones climáticas y antropogénicas, dado que se consideró el escenario de cambio de cobertura en el uso de suelo.

En la cuenca del río Ocoña basados en SPI 3 en los Niños Fuerte (**1982-83, 1991-92, 1997-1998**) y Niño Moderado (**1986-87, 1987-88, 1992-93, 1993-94, 1994-95, 2002-03, 2004-05**), Niñas fuertes (**1988-89**) y Niñas Moderadas (**1998-99, 1999-00, 2000-01**), el comportamiento de la precipitación es muy variables definiéndose como año húmedos, los años **1982-1983, 1997-1998, 1987-88, 2002-03, 2004-05, 1988-89**, y como años secos caracterizaron a los **1991-92, 1992-93, 1998-99** y como años normales fueron los años 1986-87, 1993-94, 1994-95, 1999-00, 200-01. Según el SPI 12 los niños 1982-83, 1997-98, 2002-03, 2004-05, 1988-89, 2000-01 se caracterizaron por presentar condiciones húmedas. Los años 1991-92, 1992-93, 1998-99, 199-00 fueron de características secas y los años 1986-87, 1987-88, 1993-94, 1994-95 fueron de condiciones normales.

En la cuenca del río Camana basados en SPI 3, en los Niños Fuerte (**1982-83, 1991-92, 1997-1998**) y Niño Moderado (**1986-87, 1987-88, 1992-93, 1993-94, 1994-95, 2002-03, 2004-05**), Niñas fuertes (**1988-89**) y Niñas Moderadas (**1998-99, 1999-00, 2000-01**), el comportamiento de la precipitación también es variables, caracterizando a los años 1982-83, 1987-88, 1994-95, 2002-03, 2004-05, 1988-89 de condiciones húmedas, a los años 1997-98, 1992-93, 1998-99 como secos y los años 1991-92, 1986-87, 1993-94, 1999-00, 2000-01 como normales. Según el SPI 12, los años 1982-83, 1992-93, 1993-94, 2004-05 fueron de características húmedas, los años 1997-98, 1987-88, 1998-99, 1999-00 fueron de características secas y los años 1991-92, 1988-89, 200-01 de condiciones normales.

8.4.2 Recomendaciones

La información generada de cambios futuros puede ser usada a escala regional, en grandes cuencas y en algunas localidades de interés donde existe estación meteorológica y donde se ha generado información de escenarios. Sin embargo, cuando se requiera información con mayor detalle espacio-temporal es necesario generar información más fina, que demanda para su modelización mayor costo de tiempo e infraestructura computacional. Para ello se recomienda la incorporación de 5 módulos de procesamiento para el servidor de alto rendimiento adquirido en el 2016 con que cuenta SENAMHI.

Los resultados de este estudio deben ser considerados haciendo mayor énfasis en las tendencias de aumento y/o disminución, antes que en la magnitud de los cambios, ya que la generación de los escenarios climáticos presenta incertidumbre inherente. En ese sentido plantearse escenarios hipotéticos de cambio en las variables climáticas puede ser una alternativa interesante para evaluar la respuesta hidrológica para diferentes condiciones de entrada al modelo hidrológico.

Se recomienda la actualización de este estudio con los nuevos escenarios de emisiones que serán publicados el 2021, y en su generación se tome las salidas de los modelos que mejor se aproximen al comportamiento de referencia, restringiendo a aquellos potencialmente limitados para representar plausiblemente el clima futuro de la región sudamericana y nacional.

Promover acciones de monitoreo de deficiencias hídricas en las cuencas Ocoña y Camana, medidas de conservación de suelos para recarga de acuífero, dado su alta capacidad evapotranspirativa.