

# **UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental**

**Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización**



## **“BALANCE HÍDRICO FUTURO EN LA CUENCA DEL RIO LURIN A TRAVÉS DE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO”**

**Trabajo de Titulación para Optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**Alvarez Peñaloza, Tatiana Gracia**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**Villaverde Valderrama, Raisa Lucía**

**Lima - Perú**

**2015**

# I. ÍNDICE

I.	ÍNDICE .....	I
1.1	Índice de tablas .....	
1.2	Índice de figuras.....	III
1.3	Índice de anexos.....	VIII
II.	RESUMEN.....	1
III.	INTRODUCCIÓN.....	2
IV.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
4.1	Geoestadística .....	4
4.1.1	Variograma .....	4
4.1.2	Interpolación por el método AURELHY.....	8
4.2	Modelo hidrológico STREAM .....	17
4.2.1	Simulación, calibración y validación del modelo hidrológico STREAM .....	19
4.2.2	Indicadores de eficiencia en la modelación hidrológica .....	20
4.3	Cambio climático.....	21
4.3.1	Escenarios de emisión para cambio climático .....	22
4.3.2	Modelos de circulación general (GCM) .....	25
4.3.3	Regionalización estadística de escenarios climáticos en el Perú.....	26
4.3.4	Futuro climático regional para el Perú .....	29
V.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
5.1	Zona de estudio: cuenca Lurín .....	31
5.1.1	Aspectos generales .....	31
5.1.2	Características geomorfológicas.....	32
5.1.3	Climatología .....	33
5.2	Materiales.....	35
5.3	Metodología .....	37
5.3.1	Preparación del.....	37
	modelo de elevación digital (MED) .....	37

5.3.2	Preparacion de informacion hidrométrica .....	38
5.3.3	Interpolación de la precipitación y temperatura .....	40
5.3.4	Evapotranspiración por el método Hargreaves .....	49
5.3.5	Oferta hídrica con el modelo hidrológico STREAM .....	49
5.3.6	Balance hídrico actual y futuro .....	54
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	55
6.1.	Análisis preliminar.....	55
6.1.1	Precipitación.....	55
6.1.2	Temperatura máxima.....	68
6.1.3	Temperatura mínima .....	75
6.2.	Oferta hídrica con el modelo hidrológico STREAM .....	81
6.2.1	Simulación inicial.....	81
6.2.2	Calibración .....	82
6.2.3	Validación .....	85
6.3.	Balance hídrico actual.....	86
6.4.	Oferta hídrica futura con el modelo hidrológico STREAM .....	87
6.4.1	Análisis de la variación del caudal y la temperatura futura .....	90
6.5.	Balance hídrico futuro.....	95
VII.	CONCLUSIONES.....	107
VIII.	RECOMENDACIONES .....	109
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	110
X.	ANEXOS.....	113

## 1.1 Índice de tablas

Tabla 1: Secuencia de diferencias sucesivas para 7 observaciones.....	13
Tabla 2: Parámetros calibración del modelo hidrológico STREAM.....	20
Tabla 3: Niveles de rendimiento de un modelo hidrológico en función del índice E y RSR .....	21
Tabla 4: Principales características para los cuatro escenarios de cambio climático RCP: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5 .....	23
Tabla 5: Características de modelos climáticos globales (GCMs) empleados para la regionalización estadística de escenarios climáticos en el Perú. ....	28
Tabla 6: Parámetros geomorfológicos de la cuenca Lurín .....	32
Tabla 7: Estaciones de precipitación y temperatura empleadas en el estudio. ....	33
Tabla 8: Valores recomendados para los parámetros de los variogramas de precipitación y temperatura .....	44
Tabla 9: Lista de experimentos del análisis preliminar a la precipitación en el periodo de enero de 1980 a diciembre del 2006.....	56
Tabla 10: Lista de experimentos del análisis preliminar para precipitación .....	57
Tabla 11: Lista de experimentos de análisis preliminar realizado para temperatura máxima en el periodo de enero de 1980 a diciembre del 2006. ....	69
Tabla 12: Lista de experimentos del análisis preliminar para temperatura máxima .....	70
Tabla 13: Lista de experimentos de análisis preliminares realizados para temperatura mínima en el periodo de enero de 1980 a diciembre del 2006.....	75
Tabla 14: Lista de experimentos del análisis preliminar para temperatura mínima .....	76
Tabla 15: Diferencias porcentuales para los valores de caudal para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas respecto a los valores históricos 1980-2006.....	92
Tabla 16: Diferencias porcentuales en la temperatura para los cuatros escenarios proyectados respecto a los valores históricos 1980-2006.....	94
Tabla 17: Caudales en m <sup>3</sup> /s en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 1980-2006.....	113
Tabla 18: Proyección de caudales (m <sup>3</sup> /s) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065 .	115
Tabla 19: Proyección de caudales (m <sup>3</sup> /s) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 8.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065.	117

Tabla 20: Proyección de caudales (m <sup>3</sup> /s) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065. ....	119
Tabla 21: Proyección de caudales (m <sup>3</sup> /s) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 8.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065. ....	121
Tabla 22: Proyección de temperaturas medias (°C) en el punto de la estación Manchay para el periodo 1980-2006. ....	123
Tabla 23: Proyección de temperaturas medias (°C) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065. ....	124
Tabla 24: Proyección de temperaturas medias (°C) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 8.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065. ....	126
Tabla 25: Proyección de temperaturas medias (°C) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065. ....	128
Tabla 26: Proyección de temperaturas medias (°C) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 8.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065. ....	130
Tabla 27: Demanda agrícola para el año 2006. ....	132
Tabla 28: Demanda agrícola proyectada (demanda agrícola presente incrementada en 50%). ....	132
Tabla 29: Balance hídrico mensual presente en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo de 1980 al 2006. ....	133
Tabla 30: Balance hídrico futuro mensual (caso 1) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay. ....	134
Tabla 31: Balance hídrico futuro mensual (caso 1) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 8.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay. ....	134
Tabla 32: Balance hídrico futuro mensual (caso 1) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay. ....	135
Tabla 33: Balance hídrico futuro mensual (caso 1) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay. ....	135

Tabla 34: Balance hídrico futuro mensual (caso 2) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay.....	136
Tabla 35: Balance hídrico futuro mensual (caso 2) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 8.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay.....	136
Tabla 36: Balance hídrico futuro mensual (caso 2) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay.....	137
Tabla 37: Balance hídrico futuro mensual (caso 2) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay.....	137

## 1.2 Índice de figuras

Figura 1: Elementos del variograma: pepita (Co), rango (a) y meseta (C). .....	6
Figura 2: Modelos del variograma: (a) efecto pepita; (b) exponencial; (c) esférico y (d) gaussiano. Donde $\gamma(h)$ indica la expresión matemática correspondiente al variograma. ....	7
Figura 3: Ejemplo del PCA: representación de la dispersión de veinte puntos. Derecha: representación sobre un plano. Izquierda: representación tridimensional.....	9
Figura 4: Vectores que describen diferentes tipos de paisajes. ....	15
Figura 5: Esquema conceptual vertical de la producción de escorrentía en el modelo hidrológico STREAM en cada celda. ....	18
Figura 6: Variación de la temperatura global proyectado al 2100 para cuatro escenarios de cambio climático. Siendo el escenario con emisiones más bajas el RCP 2.6 (línea azul) y el escenario con emisiones más altas el RCP 8.5 (línea roja) .....	24
Figura 7: Variación de la precipitación y temperatura media, entre los periodos de 1986-2005 y 2081-2100: para los escenarios RCP 8.5 (más altos) y RCP 2.6 (más bajos). Izquierda: Variación de temperatura media en la superficie. Derecha: Variación de precipitación media.....	25
Figura 8: Esquema de los GCM. ....	26
Figura 9: Puntos azules indican la ubicación de las 265, 105 y 102 estaciones para las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima. ....	27
Figura 10: Proyecciones para la precipitación, la temperatura máxima y la temperatura mínima con tres modelos GCMs con respecto a la información histórica 1971-2000. Cada escenario RCP 4.5 en línea sólida y RCP 8.5 en línea punteada. El sombreado en gris marca el periodo entre el fin de la simulación histórica y el inicio de los escenarios. ....	28
Figura 11: Límite y altitud de la cuenca Lurín obtenido a partir del MED de 30 m de pixel de ASTER GDEM. ....	31
Figura 12: Precipitación promedio mensual para el periodo 1980-2006.....	35
Figura 13: Descripción de los componentes del sistema MOSAICC.....	36
Figura 14: Ventanas del MOSAICC a seleccionar para ingreso del MED. Ventana superior: Selección del Upload/Grid Data. Ventana inferior: carga del DEM de la cuenca Lurín. ...	37
Figura 15: Formato excel que debe usarse para insertar la ubicación geográfica de la estación hidrométrica Manchay.....	39
Figura 16: Ventana de inserción de la ubicación geográfica de la estación hidrométrica Manchay. ....	39

Figura 17: Formato excel que debe usarse para insertar los datos de la estación hidrométrica Manchay en m <sup>3</sup> /s. ....	39
Figura 18: Ventana de selección del area de estudio. Derecha: Ventana que permite nombrar el área de estudio. Izquierda: Selección del departamento de Lima como área de estudio para la cuenca Lurín. El color rosado indica que se ha activado la correspondiente area de estudio. ....	40
Figura 19: Ventana del MOSAICC correspondiente al PCA. ....	41
Figura 20: Menú del MOSSAIC “Data Interpolation”.....	42
Figura 21: Ventana del análisis preliminar para la selección de los predictores y los parámetros del variograma. ....	43
Figura 22: Relación de archivos de salida obtenidos del análisis preliminar. ....	44
Figura 23: Diagramas de salida obtenidos del análisis preliminar: (a) histograma de componentes principales, (b) diagrama de cajas y (c) variograma.....	45
Figura 24: Menú de interpolación de datos en MOSAICC .....	46
Figura 25: Parámetros característicos de los variogramas en la interpolación con AURELHY de (a) Precipitación y (b) temperatura máxima y mínima. ....	47
Figura 26: Ventana donde figuran los predictores, las estaciones, los valores de los componentes y el tipo de variograma, tanto para precipitación como para temperaturas...	48
Figura 27: Distribución espacial obtenida con el método AURELHY para (a) precipitación, (b) temperatura mínima y (c) temperatura máxima. ....	48
Figura 28: Ventana del menú MOSAICC para la obtención de la Evapotranspiración de Referencia (PET). ....	49
Figura 29: Entorno del STREAM en MOSAICC.....	50
Figura 30: Ventanas que muestran los ítems a seleccionar para la correcta simulación hidrológica: (a) Selección del punto de aforo a simular y (b) Selección de la información climática de entrada y los parámetros de calibración manual. ....	51
Figura 31: Ejemplo de los resultados de la primera simulación realizada con el modelo STREAM para la cuenca Lurín. ....	52
Figura 32: Ejemplo de resultado de la simulación con la información climática futura para el modelo climático CANESM2-RPC4.5 en el período 2010-2100.....	53
Figura 33: Ubicación de las estaciones de precipitación en la cuenca Lurín y cercanas.....	55
Figura 34: Hidrograma del caudal observado y simulado por el modelo hidrológico STREAM en la estación hidrométrica Manchay de la cuenca Lurín. Periodo de análisis: Enero 1980 a Diciembre 2006. ....	82

Figura 35: Hidrogramas del caudal observado y simulado en las pruebas de calibración 1, 2, 3 y 4 en la estación hidrométrica Manchay para el periodo de enero 1980 a diciembre de 1984 (lado izquierdo). Indicadores de eficiencia de la calibración (lado derecho).....	83
Figura 36: Hidrogramas del caudal observado y simulado en las pruebas de calibración 5, 6 y 7 en la estación hidrométrica Manchay para el periodo de enero 1980 a diciembre de 1984 (lado izquierdo). Indicadores de eficiencia de la calibración (lado derecho). En rojo los valores finales de los parámetros calibrados del modelo hidrológico STREAM .....	84
Figura 37: Hidrograma observado y simulado de la validación temporal en la estación hidrométrica Manchay para un periodo de enero de 1985 a diciembre del 2006.....	85
Figura 38: Balance hídrico en la cuenca Lurín para el periodo de Enero de 1980 a Diciembre del 2006: (a) Oferta hídrica y demanda agrícola y (b) disponibilidad hídrica..	86
Figura 39: Balance hídrico promedio a nivel mensual de enero 1980 a diciembre 2006 para la cuenca Lurín. Izquierda: oferta hídrica y demanda agrícola. Derecha: disponibilidad hídrica .....	87
Figura 40: Caudal promedio anual para el periodo histórico (línea ploma) y futuro en las cuatro proyecciones analizadas: CANES M2 RCP 4.5 (línea azul), CANES M2 RCP 8.5 (línea roja), MPI-ESM-MR RCP 4.5 (línea celeste) y MPI-ESM-MR 8.5 (línea naranja).	88
Figura 41: Evaluación de temperatura promedio anual histórico y futuro para el modelo CANESM2 en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. Línea naranja: temperatura promedio anual del periodo histórico. Línea azul: Escenario RCP 4.5. Línea roja: Escenario RCP 8.5. ....	89
Figura 42: Evaluación de temperatura promedio anual histórico y futuro para el modelo MPI-ESM-MR en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. Línea naranja: temperatura promedio anual del periodo histórico. Línea azul: Escenario RCP 4.5. Línea roja: Escenario RCP 8.5.....	89
Figura 43: Variación del caudal a nivel mensual entre el periodo histórico y futuro para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): a) CANESM2 RCP 4.5, (b) CANESM2 RCP 8.5, (c) MPI-ESM-MR RCP 4.5 y (d) MPI-ESM-MR 8.5. Línea ploma: Caudal histórico en m <sup>3</sup> /s. Línea verde: Caudal futuro en m <sup>3</sup> /s.....	91
Figura 44: Variación de la temperatura media a nivel mensual entre el periodo histórico y futuro para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): a) CANESM2 RCP 4.5, (b) CANESM2 RCP 8.5, (c) MPI-ESM-MR RCP 4.5 y (d) MPI-ESM-MR 8.5. Línea naranja: Temperatura histórica en °C. Línea azul: Temperatura futura en °C. ....	93

Figura 45: Evaluación de la oferta hídrica futura y demanda agrícola presente para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): (a) CANESM2 RCP 4.5, (b) CANESM2 RCP 8.5, (c) MPI-ESM-MR RCP 4.5 y (d) MPI-ESM-MR 8.5. Línea naranja: Oferta hídrica futura en MMC. Línea verde: Demanda agrícola presente en MMC. ....	96
Figura 46: Evaluación de la oferta hídrica presente y futura para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): CANES M-2 RCP 4.5 (línea roja), CANESM-2 RCP 8.5 (línea verde), MPI-ESM-MR RCP 4.5 (línea naranja) y MPI-SM-MR RCP 8.5 (línea celeste). ....	97
Figura 47: Disponibilidad hídrica presente (línea azul) y futura para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): CANES M-2 RCP 4.5 (línea naranja), CANESM-2 RCP 8.5 (línea roja), MPI-ESM-MR RCP 4.5 (línea celeste) y MPI-SM-MR RCP 8.5 (línea verde).....	98
Figura 48: Evaluación de la oferta hídrica futura y demanda agrícola presente a nivel mensual para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): (a) CANESM2 RCP 4.5, (b) CANESM2 RCP 8.5, (c) MPI-ESM-MR RCP 4.5 y (d) MPI-ESM-MR 8.5. Línea naranja: Oferta hídrica futura en MMC. Línea verde: Demanda agrícola presente en MMC. ....	99
Figura 49: Disponibilidad hídrica futura a nivel mensual para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): CANESM2 RCP 4.5 (línea punteada naranja), CANESM2 RCP 8.5 (línea sólida naranja), MPI-ESM-MR RCP 4.5 (línea punteada verde), MPI-ESM-MR 8.5 (línea solida verde). ....	100
Figura 50: Evaluación de la oferta hídrica futura y demanda agrícola proyectada para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): (a) CANES M-2 RCP 4.5, (b) CANES M-2 RCP 8.5, (c) MPI-ESM-MR RCP 4.5 y (d) MPI-ESM-MR 8.5. Línea azul: oferta hídrica en MMC. ....	102
Figura 51: Disponibilidad hídrica presente (línea azul) y futura para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): CANES M-2 RCP 4.5 (línea celeste), CANESM-2 RCP 8.5 (línea roja), MPI-ESM-MR RCP 4.5 (línea naranja) y MPI-SM-MR RCP 8.5 (línea verde).....	104
Figura 52: Evaluación de la oferta hídrica futura y demanda agrícola proyectada a nivel mensual para cada uno de las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): (a) CANES M-2 RCP 4.5, (b) CANES M-2 RCP 8.5, (c) MPI-ESM-MR RCP	

4.5 y (d) MPI-ESM-MR 8.5. Línea azul: Oferta hídrica futura en MMC. Línea verde: Demanda agrícola proyectada en MMC.....	105
Figura 53: Disponibilidad hídrica futura a nivel mensual para cada uno de las cuatros proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): CANESM2 RCP 4.5 (línea punteada azul), CANESM2 RCP 8.5 (línea sólida azul), MPI-ESM-MR RCP 4.5 (línea punteada verde), MPI-ESM-MR 8.5 (línea solida verde). .....	106

### 1.3 Índice de anexos

Anexo 1: Resultado de la oferta hídrica presente en la cuenca Lurín .....	113
Anexo 2: Resultado de la oferta hídrica futura en la cuenca Lurín para los cuatro escenarios analizados (2GCMs x 2 RCPs).....	115
Anexo 3: Resultado de la temperatura media presente en la cuenca Lurín .....	123
Anexo 4: Resultado de la temperatura media futura en la cuenca Lurín para los cuatro escenarios analizados (2GCMs x 2 RCPs). .....	124
Anexo 5: Tablas de demanda agrícola presente y proyectada.....	132
Anexo 6: Cálculos para obtener el Balance hídrico mensual presente.....	133
Anexo 7: Cálculos para obtener el balance hídrico mensual futuro (caso 1: oferta agrícola proyectada vs demanda agrícola presente) en la cuenca Lurín, para los cuatro escenarios analizados (2GCMs x 2 RCPs). .....	134
Anexo 8: Cálculos para obtener el balance hídrico mensual futuro (caso 2: oferta agrícola proyectada vs demanda agrícola proyectada) en la cuenca Lurín, para los cuatro escenarios analizados (2GCMs x 2 RCPs). .....	136

## II. RESUMEN

Es sabido que han ocurrido modificaciones climáticas durante el último siglo, y que sin duda han afectado a nuestro país, en relación a las alzas sostenidas en las temperaturas medias, por el aumento de los gases de efecto invernadero, a efectos del desarrollo económico, y social, el cual se manifiesta a través del incremento de la población. Estos cambios afectan sin duda a la dinámica de las cuencas hidrográficas, dentro de variaciones del comportamiento hidrológico, expresada en términos de disponibilidad hídrica, que para el presente estudio, se encuentra enfocada en riego, relacionándolo con la producción de alimentos, lo cual es vital para asegurar la supervivencia y sostenibilidad de las futuras generaciones.

El presente trabajo de titulación tuvo el principal objetivo de obtener la disponibilidad hídrica presente y futura en la cuenca Lurín utilizando el modelo hidrológico STREAM. Para ello, se realizó un análisis preliminar de la información climática, para luego ser procesada por la interpolación y posteriormente utilizada para la simulación dentro del modelo hidrológico STREAM, a fin de obtener los balances hídricos, a través de la calibración y la validación del modelo. El balance hídrico presente, obtenido con los datos de descarga en el periodo de años de 1980-2006, y la demanda agrícola actualizada al 2006, ha servido como línea de base para observar los cambios que podrían darse según los resultados proyectados de los balances hídricos futuros, los cuales corresponden al período de años de 2010-2065, obtenidos bajo la simulación de dos modelos climáticos, CanESM2 y MPI-ESM-MR, en dos escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 8.5, los que corresponden a un nivel de radiación solar media, y mayor respectivamente. De este análisis, se han obtenido cuatro conjuntos de proyecciones, para la cuenca en estudio.

Con el resultado de este estudio se pudo determinar que en la cuenca Lurín habrá un gran incremento en la disponibilidad del recurso hídrico (aumento de caudales) así como variaciones térmicas hacia el año 2065. Cabe mencionar que existe cierta incertidumbre asociada a cada modelo climático, como también aquella asociada a los escenarios susceptibles de ocurrir.

### III. INTRODUCCIÓN

El Perú es el país con mayor disponibilidad de agua dulce por habitante en América Latina, sin embargo, tiene una aguda escasez por su limitada accesibilidad y una mala gestión del recurso (PNUD, 2013). Por lo que, la estimación de la disponibilidad del recurso hídrico de sus diferentes cuencas hidrográficas puede contribuir al desafío de una buena gobernabilidad y gestión integrada de los recursos hídricos en el país.

En este sentido, el modelamiento hidrológico permite manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza en la toma de decisiones ya sea en: (i) la determinación del caudal hídrico necesario para áreas bajo riego sometidas a efectos del cambio climático; (ii) la ordenación del territorio en torno a los ríos o (iii) para proponer criterios de diseño de obras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia.

El modelo hidrológico STREAM (Spatial Tools for Riverbasins and Environment and Analysis of Management options) es una herramienta que permite realizar el balance hídrico de la cuenca, además del análisis de los impactos del cambio climático y de uso del suelo en la hidrología con énfasis en aspectos de gestión. Este modelo se aplicó con éxito en diversas cuencas y subcuencas como: Rin (Alemania), Ganges-Brahmaputra (India), Yangtze (China) (Aerts *et al.*, 1999); Krishna (Bouwer *et al.*, 2006); Zambezi (África) (Winsemius *et al.*, 2006); Meuse (Francia) (Ward *et al.*, 2008, Ward *et al.*, 2011); Moulouya, Tensift, Sebou, entre otras cuencas de Marruecos (Balagui *et al.*, 2014).

Actualmente, este modelo ha sido incorporado como componente hidrológico al Proyecto AMICAF (Analysis & Mapping of impacts under Climate Change for Adaptation & Food Security), el cual está dirigido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés). Este proyecto se encuentra en el desarrollo de su primera fase, tiene como objetivo apoyar a los países en desarrollo de la agricultura, como Perú y Filipinas, abordando la evaluación y adaptación al cambio climático y, de esta manera, contribuir con la seguridad alimentaria.

La cuenca en estudio corresponde a la de Lurín, la cual está ubicada en la costa central del Perú, representa el 0.4 por ciento de agua del total que posee el Perú. Su principal problema es la escasez de agua en periodos de sequía, a pesar que en épocas de avenidas se pierde agua que va al Océano Pacífico, las cuales podrían ser reguladas (MINAG 2004). Asimismo, a pesar de la baja disponibilidad hídrica en la cuenca, existen áreas destinadas a la agricultura que abastecen al mercado limeño; sin embargo la expansión urbana, la sobreexplotación del agua subterránea, el uso ineficiente de este recurso y la inexistencia de obras de regulación que permitan mejorar el riego del valle de Lurín, se han convertido en una amenaza para la conservación de este recurso. Además, se sabe que el Perú es uno de los países más afectados por el cambio climático, debido a la repercusión de fenómenos hidrometeorológicos relacionados con el Fenómeno de El Niño, y la variabilidad y los extremos climáticos de la región. Por ello, el cambio climático afectará las condiciones hídricas y ambientales necesarias en el desarrollo agrícola en la zona en estudio, debido a que esta cuenca se encuentra inherentemente ligada a la disponibilidad de agua de riego.

En vista de la problemática en la cuenca Lurín, el objetivo principal de la presente investigación es obtener la disponibilidad hídrica actual y futura de la cuenca Lurín utilizando el modelo hidrológico STREAM. Esto a través de los siguientes objetivos específicos: (i) Calibrar y validar el modelo STREAM con el caudal de la estación de aforo en la cuenca Lurín, (ii) Obtener y evaluar el balance hídrico actual y futuro de la cuenca Lurín y (iii) Simular escenarios futuros de cambio climático en la cuenca para recomendar mejoras en la gestión del agua.

Los resultados del estudio son de utilidad a fin de tomar acciones frente a escenarios futuros de cambio climático, por lo tanto sirven como una línea base para futuras investigaciones, que analicen y formulen planes de adaptación en la agricultura, la cual está ligada a la seguridad alimentaria.

## **IV. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **4.1 Geoestadística**

La Geoestadística es una ciencia que comprende un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable que está distribuida en el espacio de una forma continua, es conocida también como estadística espacial. La aplicación de la geoestadística o estadística relacionada con datos geográficos, está orientada a los SIG “Sistemas de información Geográfica” (conjunto de programas informáticos que sirven para captar, almacenar, recuperar, transformar, mostrar y analizar diversos tipos de datos espaciales). Según Moral (2004) en un análisis estadístico es necesario llevar a cabo los pasos siguientes (i) análisis exploratorio de los datos (se analizan los datos puros sin tener en cuenta su distribución geográfica en el espacio, análisis de normalidad o análisis de la transformada de los datos si fuera necesario), (ii) análisis estructural (se estudia la continuidad espacial a través de los variogramas que expliquen la variabilidad espacial y posible ajuste a un variograma teórico) y (iii) Kriging (estima la variable en los puntos no muestrales, considerando la estructura de correlación espacial seleccionada e integrando la información obtenida de forma directa en los puntos muestrales).

#### **4.1.1 Variograma**

El variograma es una herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de una variable sobre una zona dada y modela como dos valores en el espacio se ponen en correlación. Es un estimador de la varianza poblacional, por lo tanto debe tener una tendencia de estacionalidad y es un soporte para las técnicas del Kriging ya que permite representar cuantitativamente la variación de un fenómeno regionalizado en el espacio. Al respecto Veliz (2006) indica que el variograma está relacionado con la dirección y la distancia (h).

Journal y Huijbregts, citado por Pacheco (2008) indica que el variograma es la media aritmética de todos los cuadrados de las diferencias entre pares de valores experimentales separados por una distancia  $h$  (o lo que es lo mismo, la varianza de los incrementos de la variable regionalizada en las localizaciones separadas por una distancia  $h$ ). A continuación se muestra la ecuación que describe al variograma:

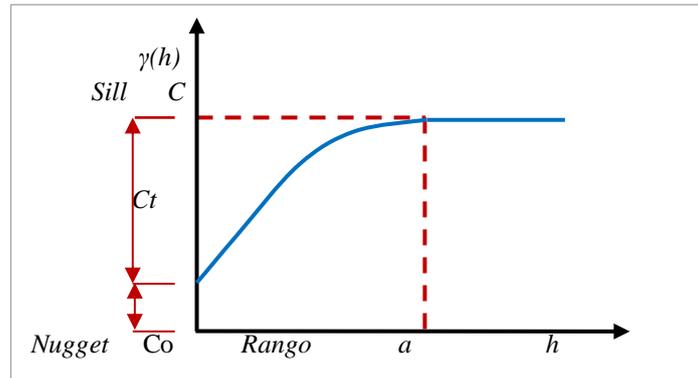
$$2\gamma(h) = \frac{1}{N_p(h)} \sum_{i=1}^{N_p(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Donde:  $2\gamma(h)$  es la expresión matemática del variograma;  $N_p(h)$  es el número de pares a la distancia  $h$ ;  $h$  es el incremento de la distancia;  $Z(x_i)$  son los valores experimentales;  $X_i$  son las localizaciones donde son medidos los valores  $Z(x_i)$ .

Cabe mencionar que de acuerdo a Ovalles (1991), la variable regionalizada es una función que describe un fenómeno natural geográficamente distribuido. La característica fundamental que distingue a este tipo de variables, además de su valor, es una posición en el espacio (Matheron, 1970). Matemáticamente, la variable regionalizada es una función  $Z(x)$  donde  $x$  es un punto o un vector en  $R^n$ . La finalidad es encontrar las características de la función  $Z(x)$  para hacer las estimaciones de posibles puntos desconocidos. Según Veliz (2006) toda variable regionalizada está formada por dos componentes, una estructurada (marca la relación entre el valor de la variable y puntos próximos) y una segunda componente aleatoria (representa un valor desconocido).

El variograma está compuesto por tres elementos: pepita o nugget, rango o alcance y meseta o sill. Ver **Figura 1**

- Pepita o nugget ( $C_0$ ): es una discontinuidad de salto en el origen, representa la discontinuidad en el semivariograma para distancias que sean menores que la menor distancia dada entre los puntos muestrales. Esta discontinuidad se puede dar también debido a errores en la medición o a una pobre precisión analítica.
- Rango o alcance ( $a$ ): es la distancia a la cual el variograma se estabiliza y las muestras se relacionan espacialmente.
- Meseta o sill ( $C$ ): es el valor máximo que alcanza el semivariograma cuando la variable es estacionaria.



**Figura 1: Elementos del variograma: pepita ( $C_0$ ), rango ( $a$ ) y meseta ( $C$ ).**

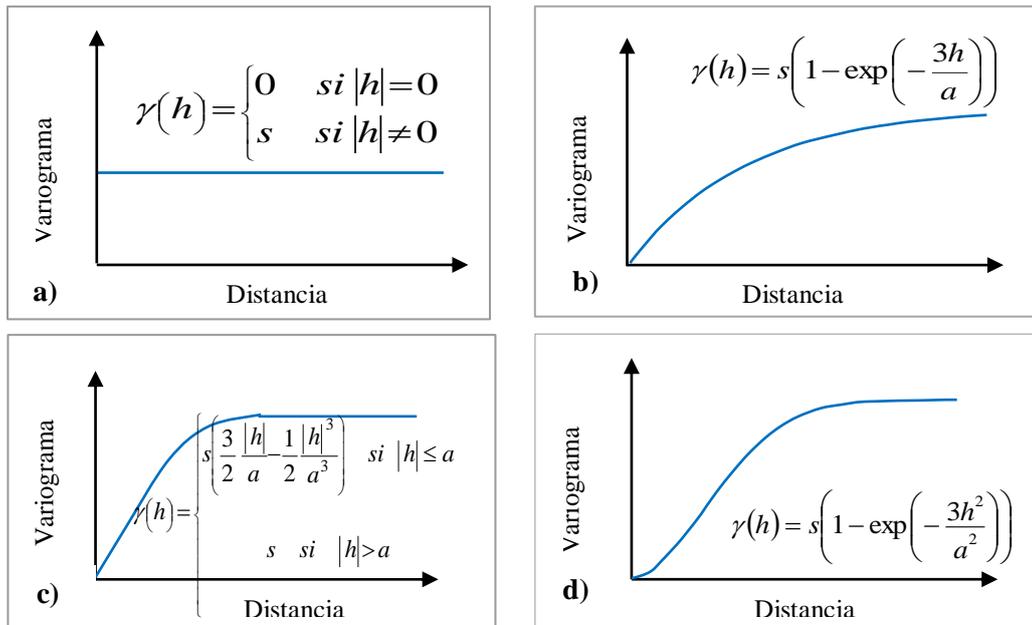
**Fuente: Adaptado de Goovaerts (1997)**

#### 4.1.1.1 Modelos del variograma

Los modelos teóricos se ajustan a un modelo de variograma experimental y son capaces de explicar los diferentes comportamientos que pueden tener las variables en el espacio. Las dos características más importantes en el modelado de variogramas son (i) su comportamiento en el origen, el cual puede ser lineal, parabólico y con efecto de pepita; y (ii) la presencia o ausencia de meseta. Los modelos más comunes se detallan a continuación, de acuerdo a la Figura 2:

- a. **Modelo efecto pepita puro:** Representa un fenómeno completamente aleatorio, conocido también como ruido blanco, en el cual no hay correlación espacial en las muestras independiente de cual sea la distancia  $h$  que las separe. “S” representa el valor del sill.
  
- b. **Modelo exponencial:** En este modelo la ecuación crece inicialmente más rápido y después se estabiliza de forma asintótica. Como la meseta no se alcanza a una distancia finita, se usa con fines prácticos el “alcance efectivo” o “alcance práctico”. Se considera que el rango “ $a$ ”, es la distancia para la cual el valor del variograma es el 95 por ciento de la meseta.
  
- c. **Modelo esférico:** Por lo general es de todos los modelos el más utilizado para análisis geoestadístico, tal que es una expresión polinomial simple. El crecimiento de su ecuación es casi lineal y después a cierta distancia finita del origen se alcanza una estabilización, la meseta.

**d. Modelo gaussiano:** Este es un modelo continuo, inicialmente presenta un comportamiento parabólico en el origen, después al igual que en el modelo Exponencial se alcanza la meseta de forma asintótica. Constituye el único modelo estacionario con un punto de inflexión.



**Figura 2: Modelos del variograma: (a) efecto pepita; (b) exponencial; (c) esférico y (d) gaussiano. Donde  $\gamma(h)$  indica la expresión matemática correspondiente al variograma.**

**Fuente: Adaptado de Goovaerts (1997)**

Cabe señalar que el objetivo no es lograr el mejor ajuste de una función a una serie de puntos; se debe seleccionar el modelo que mejor explique el patrón de variabilidad espacial de la variable investigada, aunque éste no sea el mejor desde un punto de vista estadístico. Cuando el modelo ha sido identificado, se dice que el variograma ha sido calibrado o validado (Moral, 2004).

#### **4.1.1.2 Isotropía y anisotropía**

Cuando un variograma ha sido calculado suponiendo una condición isotrópica, quiere decir que la variación es la misma en todas las direcciones del plano, lo cual generalmente no ocurre. Por el contrario, si se considera una variación de las mediciones como función de la dirección, entonces debe definirse un variograma para cada punto de los ejes del plano es decir, una condición anisotrópica.

En caso de que el variograma sea calculado en todas las direcciones posibles, se seleccionan los mejores que tengan características que reflejen el mejor comportamiento de correlación espacial entre las muestras. En ese sentido, por ejemplo para el caso de la estimación de la variabilidad de mediciones hidrológica, Gutierrez-Lopez et al., (2011) mencionan que para realizar el análisis de la precipitación en Villahermosa-México se llevó a cabo un riguroso estudio espacio-temporal de las precipitaciones en la zona de estudio para un intervalo de tiempo y espacio seleccionado, requiriendo considerar anisotropía en los registros de precipitación.

#### **4.1.2 Interpolación por el método AURELHY**

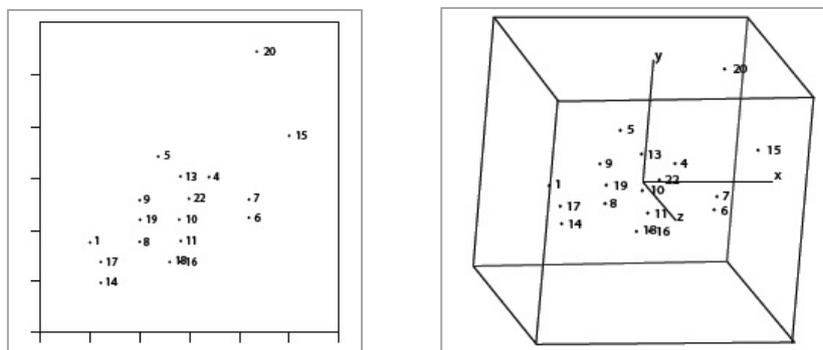
Según Bénichou y Breton (1986), el método AURELHY es un análisis que utiliza la topografía para guiar la interpolación espacial de variables climáticas como precipitación y temperatura. Este método resulta más adecuado en la interpolación de datos mensuales de series de tiempo extenso. El proceso de interpolación es sensible a la cantidad de estaciones y su ubicación geográfica, la calidad de la información disponible, y de datos faltantes (El Hairech, 2011).

Este método es utilizado dentro del sistema MOSAICC, para ello principalmente se requiere una preparación de datos de entrada, el cual se realiza mediante el análisis de componentes principales y el análisis preliminar.

#### 4.1.2.1 Análisis de componentes principales (PCA)

Guo y Mason (2009) indican que el PCA es un método general de análisis para correlacionar conjunto de datos multivariados. Se lleva a cabo una transformación lineal de un conjunto de vectores aleatorios correlacionados para que sean representados en un nuevo espacio de tal manera que no están correlacionados. El nuevo espacio de coordenadas está relacionado con el original por una rotación alrededor del origen, de tal manera que los ejes de coordenadas nuevas están alineadas con las direcciones dominantes de dispersión (los componentes principales) de datos (Unsalan y Boyer, 2011).

El objetivo más frecuente en la aplicación del PCA es el de reducir la dimensionalidad de la matriz de datos, con el fin de evitar redundancias y destacar relaciones entre variables, construir variables no observables (indicadores sintéticos) a partir de variables observables (Castro, 2002). Otros objetivos del PCA pueden ser, descubrir interrelaciones entre los datos, proponer la utilización de los componentes incorrelacionados hallados como datos de entrada para otros análisis estadísticos más apropiados. Asimismo, Villardón (2002) describe que el PCA consiste en encontrar transformaciones ortogonales de las variables originales para conseguir un nuevo conjunto de variable incorreladas (componentes). Se puede analizar mediante un ejemplo en el cual un programa de ordenador permita el movimiento de una dispersión de veinte puntos representado inicialmente en dos planos y luego en forma tridimensional, de acuerdo a la Figura 3, se puede observar las posiciones relativas de los puntos representados. Se cierta agrupación en la que la nube de puntos estará prácticamente sobre un plano en función de su relación entre sí.



**Figura 3: Ejemplo del PCA: representación de la dispersión de veinte puntos.**

**Derecha: representación sobre un plano. Izquierda: representación tridimensional**

**Fuente: Villardon (2002).**

Cuando encontremos este plano de referencia se definen dos vectores perpendiculares (ortogonales), uno de ellos (y) escogido en la dirección en que más varían los datos y el otro (x) recogiendo la mayor variabilidad posible. Sobre este plano ortogonal es factible interpretar las distancias entre los puntos en términos de similitud, buscar conjuntos de individuos similares, etc., con la garantía de que la pérdida de información es mínima y de que hemos recogido las fuentes de variabilidad más importantes en el conjunto de datos. La pérdida de información se entiende como la diferencia en las interdistancias calculadas entre los puntos del espacio original y las calculadas en la proyección sobre el plano de referencia, o sea, la variabilidad del conjunto de puntos.

Las características principales de los componentes principales, según Schlens (2014) son (i) Son mutuamente independientes (no están correlacionadas entre sí), (ii) Mantienen la misma información que las variables originales y (iii) Tienen la máxima varianza posible con las limitaciones anteriores.

Lo que se quiere lograr con el PCA es identificar las bases más significativas para re-expresar el conjunto de datos, y se espera que esta nueva base filtre el ruido y revele la estructura oculta. En este sentido, de acuerdo al PCA aplicado dentro de MOSAICC, los archivos resultantes de este análisis comprenden:

- La máscara de interpolación, que es la rejilla de referencia para todos interpolación
- La rejilla de la distancia al mar (en grados), una posible variable predictora para AURELHY
- Los componentes principales del paisaje, también es posible variables de predicción para AURELHY
- Tabla (archivo de texto) con las estadísticas sobre la PCA (contribución de cada PC a la varianza).

#### 4.1.2.2 Análisis preliminar

Dentro del sistema MOSAICC, el análisis preliminar permite llevar a cabo una serie de diagnósticos para apoyar a la selección de las estaciones y la definición de los modelos lineales y modelos de variograma para la interpolación. Los diagnósticos incluidos en el análisis preliminar son:

- Resumen de las correlaciones entre las variables de predicción y los datos a interpolar, a través de toda la serie temporal.
- Diagnóstico de multicolinealidad y el factor de inflación de la varianza (VIF), para las variables predictoras.
- Validación de los modelos de regresión: prueba de bondad de ajuste, test de Fisher, prueba de Shapiro-Wilk y análisis de distancia de Cook.
- Comparaciones de las distribuciones de los componentes principales del muestreo por las estaciones meteorológicas, para evaluar visualmente cómo se representan las distribuciones.
- Prueba de los parámetros del modelo de variograma utilizando valores medios de toda la serie temporal.

En este sentido, para optimizar y validar esta etapa previa a la interpolación, se emplean los siguientes indicadores de validación: (a) multicolinealidad, (b) factor de inflación de la varianza, (c) prueba de Fisher, (d) test de Shapiro-Wilk y (e) distancia Cook.

##### a) Multicolinealidad

El proceso o término de multicolinealidad es una situación en la que se presenta una fuerte correlación entre variables explicativas del modelo. La correlación ha de ser fuerte, ya que siempre existirá correlación entre dos variables explicativas en un modelo, es decir, la no correlación de dos variables es un proceso idílico, que sólo se podría encontrar en condiciones de laboratorio.

En el modelo:  $Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon_t$ , la multicolinealidad (o colinealidad) se presenta cuando hay correlación lineal entre las variables explicativas  $X_1$  y  $X_2$ , de modo que ambas variables, en el fondo, están midiendo el mismo fenómeno.

La presencia de alta colinealidad entre las variables explicativas X1 y X2 impide que se pueda estimar con precisión los coeficientes de la regresión, es decir, el efecto de cada una de estas variables sobre Y, debido a que no se puede "separar" el efecto de X1 sobre Y, y el efecto de X2 sobre Y. Así, se esperan relativamente altos errores estándar para los coeficientes (Zúñiga, 2004).

#### **b) Factor de inflación de la varianza (VIF)**

El VIF permite diagnosticar la multicolinealidad de las variables, valorar la falta de independencia entre ellas, y medir la redundancia entre las variables explicativas. Si las variables explicativas no son redundantes, entonces el VIF es igual a la unidad. Valores del VIF mayores que 4 sugieren la existencia de multicolinealidad, y valores mayores a 10 indican la existencia de multicolinealidad grave. Como regla práctica, las variables explicativas asociadas con los valores del VIF mayores que 7,5 deben quitarse (de a uno por vez) del modelo de regresión. Por ejemplo, se tiene una variable de población (la cantidad de personas) y una variable de empleo (la cantidad de personas con empleo) en el modelo de regresión, probablemente estas variables están asociadas con valores altos de VIF, lo que indicaría que ambas variables están proporcionando la misma información, y que se debe quitar una del modelo de regresión (Cohen *et al.*, 2013).

#### **c) Test de Fisher**

La prueba F de Fisher se utiliza para probar la consistencia o homogeneidad en la variancia de una muestra con respecto a otra. La prueba consiste en determinar en primer lugar los valores de  $S_1^2$  y  $S_2^2$ .

Los estadísticos serán:

$$F_{cal} = S_1^2/S_2^2 \ ; \ \text{si } S_1^2 > S_2^2 \ \text{ó}$$

$$F_{cal} = S_2^2/S_1^2 \ ; \ \text{si } S_2^2 > S_1^2$$

El valor de F tabla se obtiene con alfa =0.05

Grados de libertad del numerador =  $n_1-1$  Grados de libertad del denominador =  $n_2-1$

Los criterios de decisión serán:

Si:  $F_{cal} \leq F_{tabla}$   $S_1$  equivalente  $S_2$  (Existe consistencia en la variancia)

$F_{cal} > F_{tabla}$   $S_1 \nabla S_2$  (No existe consistencia en la variancia)

#### d) Test de Shapiro – Wilk

Delgado (2004) afirma que esta prueba de normalidad se basa en estudiar el ajuste de los datos graficados sobre un gráfico probabilístico, en el que cada dato es un punto, cuyo valor de abscisa es el valor observado de probabilidad para un valor determinado de la variable, y el de ordenada es el valor esperado de probabilidad.

El test de Shapiro-Wilk ( $W_c$ ) es un contraste de ajuste que se utiliza para comprobar si unos datos determinados ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) han sido extraídos de una población normal. Los parámetros de la distribución no tienen por qué ser conocidos, y está adecuado para muestras de pequeños grupos de datos, así como para grandes grupos de datos. Un contraste de ajuste tiene como objetivo comprobar si con base en la información suministrada por una muestra se puede aceptar que la población de origen sigue una determinada distribución de probabilidad, en nuestro caso, la distribución normal.

La Hipótesis que sigue el Test de Shapiro Wilk es:

- $H_0$  (hipótesis nula): La variable aleatoria no tiene una distribución normal
- $H_1$  (hipótesis alterna): La variable aleatoria tiene una distribución normal;

Estadístico de prueba:

$$W_c = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

**Tabla 1: Secuencia de diferencias sucesivas para 7 observaciones**

Observación i	Valores $X_i$ ordenados en orden ascendente	$(X_{(n-i+1)} - X_1)$
1	$X_1$	$X_7 - X_1$
2	$X_2$	$X_6 - X_2$
3	$X_3$	$X_5 - X_3$
4	$X_4$	$X_4 - X_4$
5	$X_5$	$X_3 - X_5$
6	$X_6$	$X_2 - X_6$
7	$X_7$	$X_1 - X_7$

**Fuente: Delgado (2004)**

La zona de aceptación (ZA) para  $H_0$  está formada por todos los valores del estadístico de prueba  $W_c$  menores al valor esperado o tabulado  $W_{(1-\alpha; n)}$ .

$$ZA = \{W/W \text{ calculado} \leq W_{(1-\alpha; n)}\}$$

Donde  $W_n$ ,  $\alpha$  es un valor de la tabla de Shapiro-Wilk correspondiente a un tamaño muestral  $n$  y a un nivel de significación  $\alpha$ .

### e) Distancia Cook

La distancia Cook mide el cambio que se produce en las estimaciones de los coeficientes de regresión al ir eliminando cada caso de la ecuación de regresión. Una distancia de Cook grande (mayor a 1) indica que ese caso tiene un peso considerable en la estimación de coeficientes de regresión. Para evaluar estas distancias puede utilizarse la distribución, con  $p+1$  y  $n-p-1$  grados de libertad ( $p$  se refiere al número de variables independientes y  $n$  al tamaño de la muestra). En general, una distancia de Cook superior a 1 debe ser revisado (Cook, 1997).

### 4.1.2.3 AURELHY

Este método se explica mediante la ecuación  $P(S_i)$ , que describe la descomposición de la precipitación observada ( $P$ ) en las correspondientes coordenadas geográficas de su posición  $S_i(x,y)$ , considerando los parámetros topográficos (simbolizados por el vector  $R$ ).

$$P(S_i) = P(x_i, y_i, R_i) = \underbrace{f(R_i)}_{\text{regresión}} + \underbrace{\varepsilon(x_i, y_i)}_{\text{residuos}}$$

Para la explicación de este método, se tomará como ejemplo el caso aplicado en Francia por Bénichou y Breton (1987), donde se realizó los siguientes cuatro pasos:

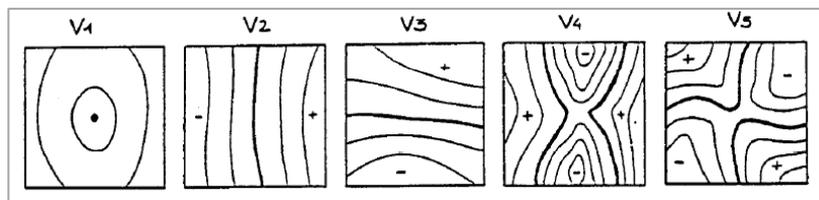
#### i. Análisis de terreno por componentes principales

Se mapea las diferencias relativas de altitud para homogenizar las topografías locales. Las variables del paisaje corresponden a la diferencia de altura entre cada punto de la cuadrícula y los puntos vecinos distribuido regularmente alrededor del punto de la cuadrícula.

Se realiza el análisis de componentes principales (PCA) de las variables topográficas locales con fin de proporcionar un sistema reducido de parámetros con una pérdida mínima de información (ver sección 4.1.2.1). Para ello se utiliza predictores ortogonales (las puntuaciones de PC) como insumos para la predicción estadística; y requiere el ajuste de sólo un número relativamente pequeño de parámetros (Gyalistras, 2003).

Supongamos que se tiene un punto G, debido a que el paisaje no se puede describir directamente, se utiliza el término paisaje relativo para describir las variables topográficas locales, siendo:  $Paisaje\ relativo\ en\ G = \sum_{j=1}^N c_j(G) \cdot v_j$

Dónde: N es el número de componente principales; Cj es el componente principal del paisaje; Vj es el vector propio aparece como un tipo de paisaje (Ver ).



**Figura 4: Vectores que describen diferentes tipos de paisajes.**

**Fuente: Benichou y Breton (1987)**

Por lo que cada sitio G es ahora codificado por un vector que contiene N+1 predictores:

- La elevación media Z de punto G
- Los primeros N componentes principales  $C_1, \dots, C_N$  paisaje con respecto a G.

Análogamente para el caso aplicado en Suiza por Gyalistras (2003), los predictores utilizados para el ajuste a las regresiones orográficas fueron (1) Elevación del punto, (2) superficie media elevación; y (3) un número variable de Componente principal.

## **ii. La regresión de la variable climática con relación al relieve**

Del paso anterior, donde se realiza la homogenización en la base y en el relieve a través de los parámetros seleccionados, se obtiene la ecuación de regresión P (Si) por lo que esta técnica de regresión debe: (i) reducir del número de predictores, (ii) garantizar la significancia de los coeficientes de la regresión y (iii) garantizar la normalidad de los residuales, que es una condición importante para Kriging.

Por consiguiente, para asegurar el procedimiento anterior se debe hacer uso de términos estadísticos como la multicolinealidad, para ello se puede aplicar las herramientas como la distancia Cook, el factor de inflación de la varianza (VIF), el test de Shapiro – Wilk (ver sección 4.1.1.2).

### **iii. La interpolación espacial de los residuos por Kriging**

El Kriging es un método de interpolación geoestadístico (Kriging en la literatura inglesa, en honor de Danie Krige, quien formuló por primera vez esta metodología en 1951), tiene la ventaja de asegurar que el error de estimación sea cero y desviación estándar sea mínima. Como resultado, el conocimiento de esta desviación estándar permite ver de una manera racional la separación de las isolíneas del mapa dibujado. Se considera la siguiente fórmula para el cálculo de kriging:

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i$$

Dónde: n es el número de muestras obtenidas,  $f_i$  es el valor obtenido en el punto i y  $w_i$  es el peso designado al punto i. A fin de obtener los pesos de cada uno de los n puntos, para cada uno de ellos se realiza un cálculo de  $w_1, w_2, \dots, w_n$ . Tal procedimiento depende del tipo de kriging que está siendo utilizado (ordinario o simple).

### **iv. Obtención del mapa final**

Finalmente se obtiene un mapa por la adición de la grilla predicha por la regresión y la grilla de residuales obtenida a través del método Kriging (El Hairech, 2011).

En la aplicación del método original de AURELHY por Gyalistras (2003) en Suiza, el autor se adaptó a las dos principales desventajas respecto al método, las cuales son (1) que considera una única escala de variabilidad orográfica, tal como se define por el tamaño y la geometría de las pequeñas áreas utilizadas para el Análisis de Componentes Principales y (2) que asume una relación de relieve - predictor constante a lo largo todo el dominio. Con respecto al primer problema, ya que la calidad orográfica de los vectores de elevación utilizados para el Análisis de Componentes Principales, varían fuertemente con la temporada y la región, el autor decide subdividir la región suiza en pequeños subsectores (40 subsectores de 50 a 50 km aplicada a 3 escalas espaciales diferentes). Con relación al segundo problema (2), en vista que tiempo atrás Neidhöfer (2002) enfrentó a esta misma

incógnita definiendo 7 subregiones y utilizando regresiones variables regionales, no logró capturar la variabilidad espacial de la relación relieve–precipitación suficientemente bien, ya encontró grandes discontinuidades en la interpolación de la precipitación en los límites subregión; por lo que Gyalistras (2003) realizó unas ecuaciones de regresión por cada sitio específico, determinados por separado por cada punto objetivo de la malla de cada interpolación de media a largo plazo. Esta aproximación fue adoptada tanto para la temperatura y la precipitación, obteniendo como conclusión de aquella investigación que los patrones espaciales de largo plazo, como también la variabilidad temporal de los campos de anomalías es capturada generalmente bien por las interpolaciones.

En conclusión, el método AURELHY se basa en los siguientes tres puntos: (1) Detección automática de la relación estadística entre la lluvia y el terreno circundante existente, (2) El uso óptimo de estas estadísticas puntos de conexión donde no hay valor medido y (3) Generación de un mapa de precipitaciones regionales, con la incorporación de los efectos debidos al relieve (El Hairech, 2014).

#### **4.2 Modelo hidrológico STREAM**

Es un modelo distribuido de lluvia - escorrentía que se basa en la utilización del SIG que permite la simulación de las descargas de los ríos para la obtención de la disponibilidad de hídrica en las cuencas fluviales. Este modelo permite el cálculo del balance hídrico a partir del balance de agua de cada celda de la cuadrícula de la cuenca bajo estudio, la cual se acumula en la dirección local del drenaje, derivados del modelo de elevación digital (MED) hasta el punto de salida, donde se encuentra la estación de medición) (Aerts *et al.*, 1999).

Este modelo hidrológico consta de tres depósitos de almacenamiento: almacenamiento de nieve, almacenamiento de humedad del suelo y las aguas subterráneas de almacenamiento, dividiendo al flujo de salida en un componente rápido y un componente lento. El componente rápido se ve afectado por el almacenamiento de humedad del suelo y el componente lento por el almacenamiento de agua del suelo, ambos se comportan como reservorios lineales. Asimismo la acumulación de nieve es igual a la precipitación cuando la temperatura está por debajo de cero grados centígrados, el derretimiento de la nieve depende linealmente de la temperatura. Los flujos rápido y lento, se encaminan a la salida

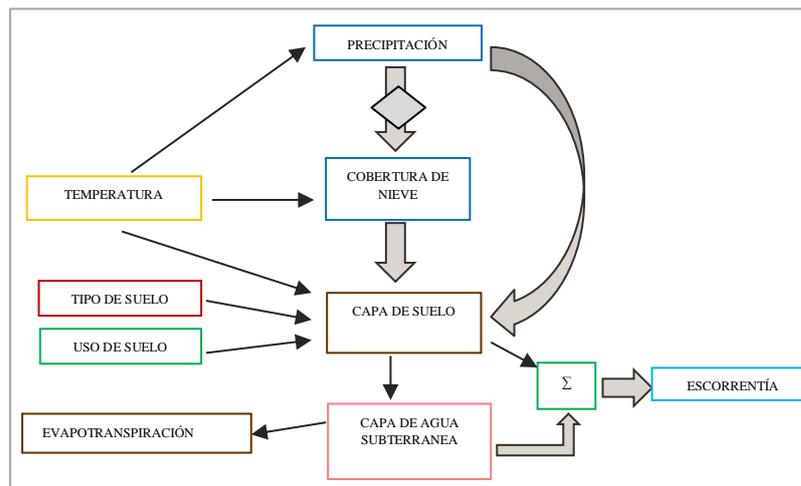
de la cuenca por la acumulación de flujo bajo el supuesto de una velocidad constante de flujo (Hurkmans *et al.*, 2008).

Aerts *et al.*, (1999) indicaron que el balance hídrico en el modelo hidrológico STREAM se calcula en la posición (x, y) en el mes (t) a través de las ecuaciones:

- $R_{x,y,t} = P_{x,y,t} - \Delta E_{x,y,t} + dS_{x,y,t}$
- $S_{x,y,t} = SS_{x,y,t} - GWS_{x,y,t} + SNS_{x,y,t}$ .

Dónde: R es la escorrentía (mm/mes); P es la precipitación (mm/mes); S es el volumen de agua almacenada en el suelo, la nieve y el agua subterránea (mm/mes);  $\Delta E$  es la pérdida de agua debido a la evapotranspiración real (mm/mes); DS es el cambio en el volumen de agua almacenada (mm/mes); SS es el agua almacenada en el suelo como las aguas subterráneas poco profundas (mm/mes); GWS es el agua almacenada en acuíferos y aguas subterráneas profundas (mm/mes); SNS es la cantidad de agua almacenada en la cobertura de nieve (mm/mes). El carácter espacial del modelo hidrológico STREAM permite el análisis de los patrones de disponibilidad de agua y los cambios en estos patrones, de acuerdo con las medidas artificiales (cambios de uso del suelo como la deforestación y el riego) y las influencias externas como el cambio climático.

En la Figura 5 se puede visualizar los principales compartimientos de almacenamiento y los flujos de agua, que en conjunto determinan la disponibilidad de hídrica por cada celda de la cuadrícula obtenida del MED.



**Figura 5: Esquema conceptual vertical de la producción de escorrentía en el modelo hidrológico STREAM en cada celda.**

**Fuente: Aerts *et al.* (1999).**

La FAO (2006) indica que la ecuación Hargreaves es una alternativa para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), ya que toma en consideración solo la temperatura como el principal parámetro de entrada; su cálculo se obtiene con la siguiente ecuación:

$$ET_o = 0.0023(T_{media} + 17,8)(T_{max} - T_{min})^{0,5}R_o$$

Dónde: R<sub>o</sub> es la radiación solar extraterrestre, en mm/día (tabulada); T<sub>media</sub> es temperatura media; T<sub>max</sub> es la temperatura máxima.

Con la información pluviométrica y de evapotranspiración obtenida de la ecuación de Hargreaves, el modelo hidrológico STREAM comienza a realizar los balances de agua, celda por celda, siguiendo las ecuaciones para cada punto (x,y) pertenecientes a la cuenca, mencionados líneas arriba. Así es como finalmente, cada resultado del análisis celda a celda, seguirá el flujo de drenaje de la cuenca obtenido del MED, para obtener finalmente la escorrentía total en el punto final de la cuenca, dato que corresponde a la disponibilidad hídrica final.

#### **4.2.1 Simulación, calibración y validación del modelo hidrológico STREAM**

La simulación parte de un "sistema" en cual presenta una posible realidad, y a través de cálculos o intercambio de valores en las variables, se pueden tomar decisiones según el comportamiento que tenga el "sistema" en la simulación.

Este proceso consiste en conocer si existe proximidad entre el comportamiento del sistema real (caudales observados) y el modelo hidrológico STREAM, de manera que este último pueda sustituir al sistema real en cualquier punto de aforo de la cuenca.

El proceso de calibración está orientado a obtener un orden aceptable de confiabilidad en los resultados obtenidos con el modelo hidrológico STREAM, mediante el ajuste de sus parámetros de calibración. Este proceso resulta muy importante en la metodología de la estimación de los parámetros hidrológicos, ya que involucra una serie de incertidumbres, debido a la cantidad, calidad y grado de definición espacial de la información básica empleada (Ramos, 2013).

Los parámetros de calibración del modelo hidrológico STREAM, así como los efectos de ajustar dichos parámetros se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2: Parámetros calibración del modelo hidrológico STREAM**

Parámetro	Significado	Ajuste	Efecto
CropF	Factor de cultivo, es decir lo que refleja el efecto de la cobertura de la tierra en la Evapotranspiración potencial.	Superior	Descarga inferior
		Inferior	Descarga más alta
C	Parámetro de calibración relacionado a la capacidad de retención de la descarga en el tiempo.	Superior	Baja pico
			Cola superior
		Inferior	Pico más alto
			Bajo la cola
WATERH	Capacidad de retención de agua del suelo	Superior	Descarga inferior
		Inferior	Descarga más alta
TOGW	(to Relacionado al flujo de las aguas subterráneas.		Pico comienza antes
		Superior	Pico más alto
factor ground water)			Bajo la cola
		Inferior	Baja pico
			Cola superior

**Fuente: Aerts, Bouwer y Van (2005)**

La validación del modelo hidrológico STREAM determina la credibilidad del modelo, y cuando resulte aceptable es posible obtener conclusiones aceptables al nivel de toma de decisiones acerca del sistema real.

#### 4.2.2 Indicadores de eficiencia en la modelación hidrológica

Estos indicadores, permiten evaluar el desempeño del modelo hidrológico, es decir que tan cerca está el funcionamiento del modelo del funcionamiento del sistema real.

El coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe (1970), es uno de los más usados en Hidrología. Es la relación entre el error cuadrático medio de los valores simulados y la varianza en los modelos observados, restados de la unidad. Sus valores adimensionales varían de menos infinito uno y se calcula con la siguiente ecuación:

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{obs,t} - Q_{sim})^2}{\sum_{t=1}^n (Q_{obs,t} - \bar{Q})^2}$$

Dónde:  $Q_{obs}$  y  $Q_{sim}$  son los caudales observados y simulados en el tiempo  $t$ ;  $\bar{Q}$  es el valor promedio de los datos observados;  $n$  es el número de intervalos temporales.

Otro estadístico normalizado es el índice RSR relaciona la raíz del error cuadrático medio y la desviación estándar de las observaciones; cuyos valores adimensionales varían de cero al infinito (Moriassi, citado por Ramos, 2013). El RSR se calcula con la siguiente ecuación:

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_t^{obs} - Q_t^{sim})^2}}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_t^{obs} - Q^{prom})^2}}$$

Donde:  $Q^{obs}$  y  $Q^{sim}$  son los datos observados y simulados en el tiempo  $t$ ;  $Q^{prom}$  es el valor promedio de los datos observados;  $n$  es el número de intervalos temporales.

De acuerdo a los dos índices estadísticos mencionados anteriormente, a continuación se presenta la clasificación del nivel de rendimiento de estos índices con el fin que sean utilizados para medir la eficiencia de cualquier modelo hidrológico. Ver Tabla 3.

**Tabla 3: Niveles de rendimiento de un modelo hidrológico en función del índice E y RSR**

Rendimiento	RSR <sup>a</sup>	E
Muy bueno	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	$0.75 < E \leq 1.00$
Bueno	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$0.65 < E \leq 0.75$
Satisfactorio	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$0.50 < E \leq 0.65$
Insatisfactorio	$RSR > 0.70$	$E \leq 0.50$

**Fuente: Moriassi et. Al. (2007) y Donigian y Inmhoff (2002), citados por Ramos (2013).**

### 4.3 Cambio climático

Las proyecciones de los cambios en el sistema climático se elaboran empleando una jerarquía de modelos climáticos, que van desde modelos climáticos sencillos a otros integrales. Estos modelos climáticos son simuladores del sistema climático (Atmósfera,

Hidrosfera, Criósfera, Biósfera y Litósfera) mediante la resolución de las ecuaciones de las leyes y principios de la física que gobiernan los procesos en cada componente del sistema y los intercambios de energía y masa entre sí (SENAMHI, 2015).

Estos modelos climáticos se encuentran en pleno desarrollo desde el AR4 (Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el cambio climático - 2007) y sus avances permiten los cálculos pertinentes para adecuarse a las políticas medioambientales, como por ejemplo para el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), compatible con una meta de estabilización climática especificada.

Luego del AR4, el último avance que el IPCC ha aprobado en su XXXVI reunión plenaria realizada en setiembre 2013, fue la contribución al Quinto Informe de Evaluación (AR5, de sus siglas en inglés) del Grupo de Trabajo I, dedicado a las bases científicas físicas del cambio climático. En términos generales, se puede decir que, en lo referente a las bases físicas, el AR5 confirma y refuerza, los resultados del anterior informe. Este informe se basa en nuevas evidencias extraídas de un mayor número de observaciones, modelos climáticos mejorados, una mejor comprensión de los procesos y retroalimentaciones del sistema climático, y un mayor número de proyecciones de cambio climático.

#### **4.3.1 Escenarios de emisión para cambio climático**

Un escenario climático futuro es una representación plausible que indica cómo posiblemente se comportará el clima en una región en una cierta cantidad de años, tomando en cuenta datos históricos y usando modelos matemáticos de proyección, generalmente para precipitación y temperatura (IPCC, 2007). El uso de múltiples escenarios y modelos climáticos han permitido describir una amplia gama de posibles evoluciones futuras del clima de la Tierra.

Para las nuevas simulaciones de modelos climáticos, realizados en el marco de la quinta fase del Proyecto de comparación de modelos acoplados (CMIP5) del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas, se ha utilizado un nuevo conjunto de escenarios: las rutas representativas de concentración (RCP, de sus siglas en inglés), cabe señalar que algunos nuevos RCP pueden contemplar efectos de las políticas orientadas a limitar el cambio climático del siglo XXI, a diferencia de los escenarios de emisión utilizados en el AR4 (denominados SRES, de sus siglas en inglés). En todas las RCP, las concentraciones

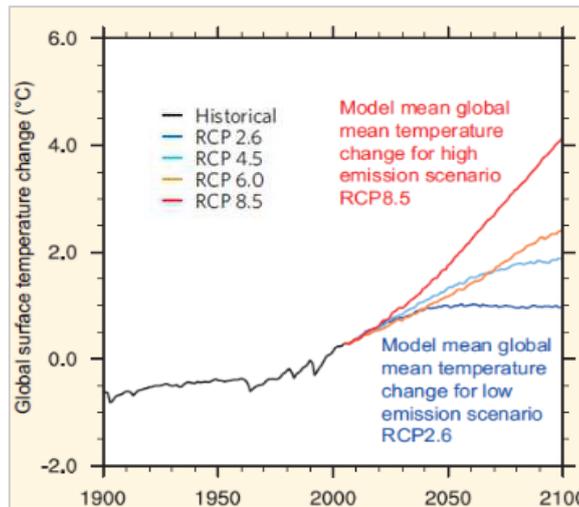
atmosféricas de CO<sub>2</sub> son más elevadas en el 2100 respecto al día de hoy, como resultado de un mayor aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> acumuladas en la atmósfera durante el siglo XXI. En este nuevo tipo de escenarios se han definido fijar los niveles de forzantes radiativas hacia el año 2100, en vez de considerarse ciertos niveles futuros de emisión de GEI. La forzante radiativa (FR) se define como la diferencia entre la radiación entrante a la Tierra versus la radiación que se entrega de vuelta al espacio, lo que implica que si la diferencia es positiva se tendrá calentamiento, producto de la acumulación de energía en la superficie terrestre. La FR total para el año 2100 varía desde 2,6 a 8,5 W/m<sup>2</sup>, tal como se aprecia en la Tabla 4. De igual modo se observa según el tipo de RCP un cambio de temperatura superficial media muy significativa, con rangos desde 0.4°C hasta 2.6°C para el periodo de 2046 -2065 y de 0.3°C hasta 4.8°C para el periodo de 2081-2100.

Según el Quinto informe de evaluación del IPCC (2013), cada RCP tiene asociada una base de datos de alta resolución espacial de emisiones de sustancias contaminantes (clasificadas por sectores), de emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero y de usos de suelo hasta el año 2100, basada en una combinación de modelos de distinta complejidad de la química atmosférica y del ciclo del carbono. De acuerdo a la **Figura 6** **Tabla 4**, se visualiza los cuatro escenarios que comprenden las RCP, uno donde los esfuerzos en mitigación conducen a un nivel de forzamiento muy bajo (RCP 2.6), dos escenarios de estabilización (RCP 4.5 y RCP 6.0) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de GEI (RCP 8.5).

**Tabla 4: Principales características para los cuatro escenarios de cambio climático  
RCP: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5**

RCP	FR	Tendencia del FR	[CO <sub>2</sub> ]en 2100	Rango probable para el Cambio de temperatura superficial media (°C)	
				2046 -2065	2081-2100
<b>RCP 2.6</b>	2.6 W/m <sup>2</sup>	Decreciente en 2100	421 ppm	0.4 – 1.6	0.3 -1.87
<b>RCP 4.5</b>	4.5 W/m <sup>2</sup>	Estable en 2100	538 ppm	0.9 -2.0	1.1 – 2.6
<b>RCP 6.0</b>	6,0 W/m <sup>2</sup>	creciente	670 ppm	0.8 – 1.8	1.4 – 3.1
<b>RCP 8.5</b>	8.5 W/m <sup>2</sup>	creciente	936 ppm	1.4 – 2.6	2.6 – 4.8

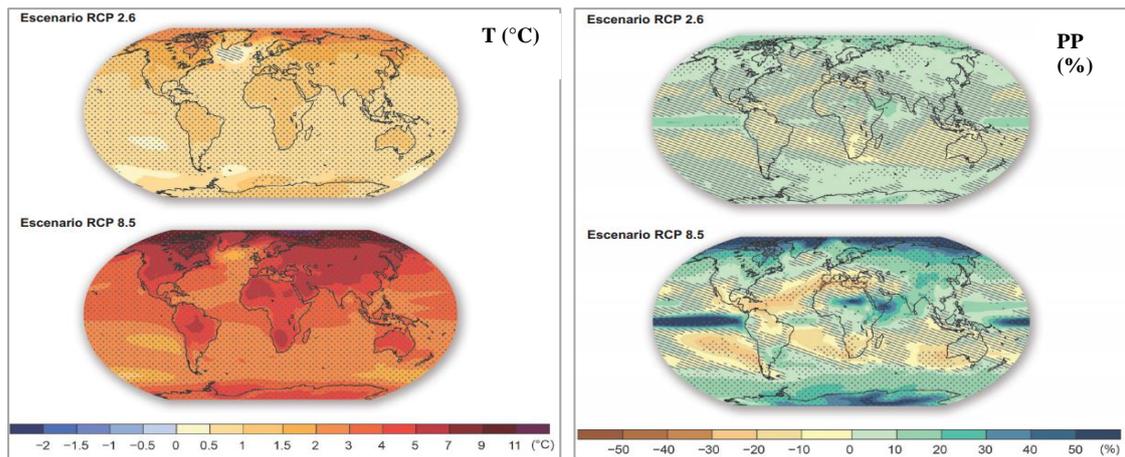
**Fuente: IPCC (2013)**



**Figura 6: Variación de la temperatura global proyectado al 2100 para cuatro escenarios de cambio climático. Siendo el escenario con emisiones más bajas el RCP 2.6 (línea azul) y el escenario con emisiones más altas el RCP 8.5 (línea roja)**

**Fuente: IPPCC (2013)**

De acuerdo a la Figura 7 (izquierda), se visualiza que en la mayoría de las regiones habrá más episodios relacionados con extremos de altas temperaturas y menos relacionados con extremos de bajas temperaturas, causando que la tierra se va a calentar más rápido que el océano, y el Ártico se calentará más rápido que los trópicos. Por otro lado, de acuerdo a la misma Figura 7 (derecha), se observa que el contraste en la precipitación estacional media entre las regiones secas y húmedas aumentará en la mayor parte del globo. Las regiones situadas en latitudes altas y en el océano Pacífico ecuatorial verán incrementarse sus precipitaciones.



**Figura 7: Variación de la precipitación y temperatura media, entre los periodos de 1986-2005 y 2081-2100: para los escenarios RCP 8.5 (más altos) y RCP 2.6 (más bajos). Izquierda: Variación de temperatura media en la superficie. Derecha: Variación de precipitación media.**

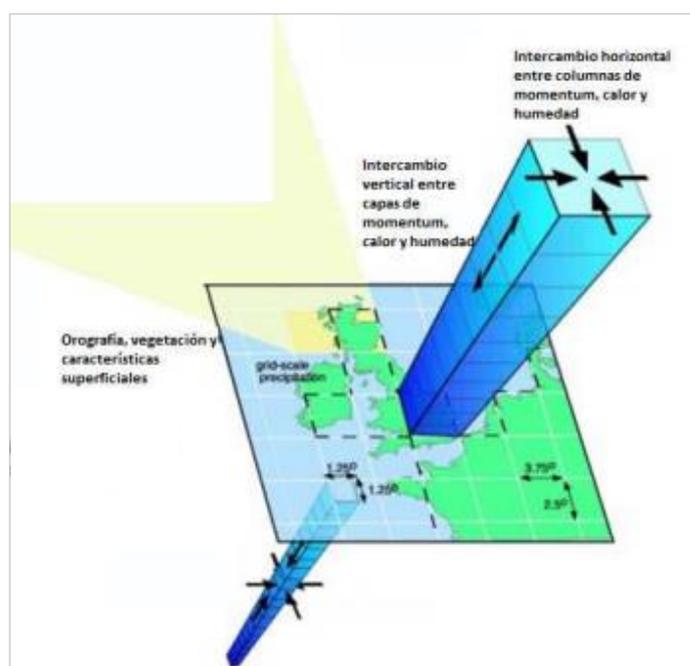
**Fuente: IPCC (2013)**

Por consiguiente, el aumento en las forzantes radiactivas para las próximas décadas y decenios hace imperante la necesidad de modelar los posibles efectos a nivel hidrológico y la consecuente modificación en la disponibilidad de recursos hídricos en las cuencas a nivel global, herramientas necesarias en la gestión y explotación de los recursos hídricos en el mediano y largo plazo.

#### **4.3.2 Modelos de circulación general (GCM)**

Según la definición del IPCC (2007), los modelos de circulación general (GCM, de sus siglas en inglés) constituyen una simplificación e idealización del sistema climático, por lo que es considerada como la herramienta más avanzada disponible en la simulación de la respuesta global a las concentraciones de gases de efecto invernadero cada vez mayores.

Estos modelos tienen como resultados series de tiempo de variables meteorológicas como temperatura y precipitación. Para ello, los GCM representan procesos físicos en la atmósfera, criósfera y superficie terrestre; utilizando una grilla tridimensional del globo, con resoluciones horizontales típicas del orden de 250 a 600 km y de 10 a 20 capas verticales en la atmósfera, llegando incluso a 30 capas en el océano (ver Figura 8). La grilla es por tanto bastante gruesa, siendo imposible de modelar los procesos que ocurren a menores escalas (como formación de nubes y procesos hidrológicos a nivel de cuenca).



**Figura 8: Esquema de los GCM.**

**Fuente: Data Distribution Centre - IPCC (2013)**

Entonces los GCM muestran buena habilidad para simular la evolución de las circulaciones de escala global, esta bondad no es muy útil para el estudio de impactos locales debido a que la resolución espacial de esos modelos está por encima de la escala de los impactos locales que se desean analizar. Existen dos aproximaciones para lidiar con esta diferencia de escala e información: los métodos de reducción de escala estadística y dinámica (Amador et al., 2008).

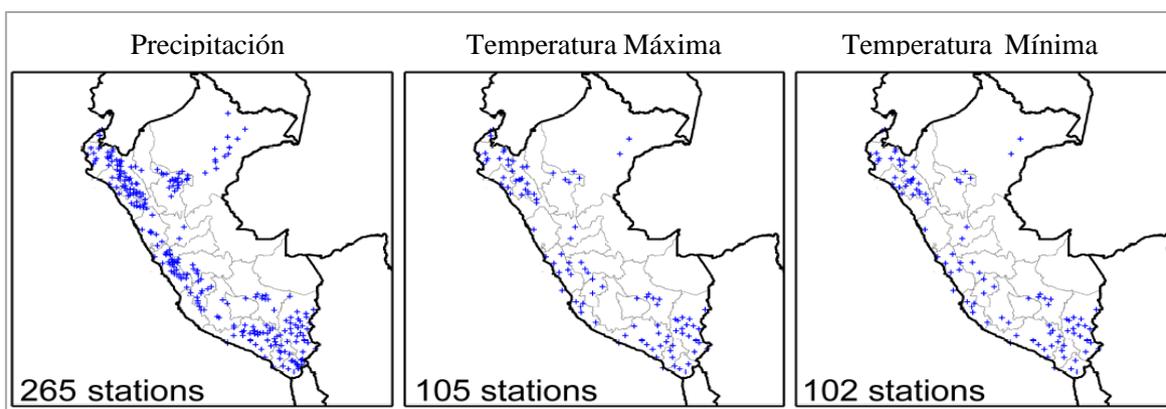
La regionalización estadística asume una relación entre las variables a una gran escala espacial y el clima local, como precipitación y temperatura. Se utiliza la ecuación de transferencia (por ejemplo regresión lineal) para determinar esa relación. Por otra parte con respecto al segundo método, la regionalización dinámica usa la información de modelos globales pero se ejecuta con una mayor resolución espacial en un proceso llamado anidación (SENAMHI, 2015).

### **4.3.3 Regionalización estadística de escenarios climáticos en el Perú**

En contraste con la resolución grosera de los actuales GCMs (~200 km), casi todos los impactos climáticos ocurren a escala local (100 m – 1 km) y su modelación requiere

resolución de mesoescala. Este ajuste de escala es particularmente importante en regiones de topografía compleja: montañas, zonas costeras, lagos, etc. como es el caso del Perú.

La regionalización climática son técnicas las cuales permiten derivar información a escala más fina desde las salidas de los GCM para estudios de impacto. Por lo tanto, considerando la experiencia desarrollada en la regionalización de escenarios de cambio climático en el Perú, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, en adelante) de acuerdo al Marco conceptual del Proyecto “AMICAF”, ha usado de técnicas de regionalización o de disminución de escala “downscaling”, lo que ha permitido obtener información adaptadas a las características específicas del Perú. En este sentido, para el desarrollo de dicha técnica fue necesario una base de datos observacionales para desarrollar y validar los diferentes modelos de regionalización estadística, por lo que el SENAMHI proporcionó la información diaria de las variables climáticas: precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, para el conjunto de estaciones a nivel nacional (Ver **Figura 9**).



**Figura 9: Puntos azules indican la ubicación de las 265, 105 y 102 estaciones para las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima.**

**Fuente: SENAMHI (2015)**

El SENAMHI proporcionó proyecciones de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, hacia el período 2050 (media centrada del periodo 2036-2065) para

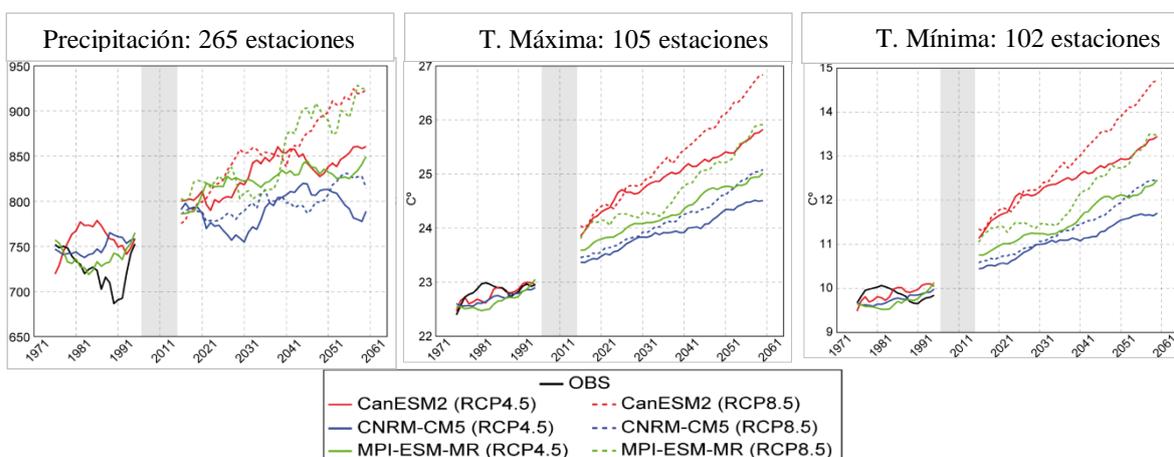
un conjunto de 6 posibles escenarios (3 GCM X 2 RCPs). Para ello usó tres GCMs (CanESM, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR, ver Tabla 5) y dos RCPs (RCP4.5 y RCP8.5).

**Tabla 5: Características de modelos climáticos globales (GCMs) empleados para la regionalización estadística de escenarios climáticos en el Perú.**

Nombre GCM	Instituto	Resolución	Referencia
CanESM2	CCCMA	2.8° x 2.8°	Chylek et al (2011)
CNRM-CM5	CNRM-CERFACS	1.4° x 1.4°	Voldoire et al (2011)
MPI-ESM-MR	MPI	1.8° x 1.8°	Raddatz et al (2007); Jungclaus et al (2010)

**Fuente: SENAMHI (2015)**

En los resultados obtenidos por el SENAMHI, de acuerdo a la Figura 10, se observa que se tiene un incremento medio (respecto a 1971-2000) en todo el país entre 2°C a 3°C y 4°C a 6°C para la temperatura máxima y mínima, respectivamente. En relación a la precipitación, a pesar de su variabilidad espacial, se proyecta un incremento medio a nivel nacional de entre 10 a 20 por ciento.



**Figura 10: Proyecciones para la precipitación, la temperatura máxima y la temperatura mínima con tres modelos GCMs con respecto a la información histórica 1971-2000. Cada escenario RCP 4.5 en línea sólida y RCP 8.5 en línea punteada. El sombreado en gris marca el periodo entre el fin de la simulación histórica y el inicio de los escenarios.**

**Fuente: SENAMHI (2015)**

#### **4.3.4 Futuro climático regional para el Perú**

En el estudio del IPCC (2013) se muestran las evaluaciones regionales de cambio climático, principalmente sobre temperatura de aire superficial y precipitaciones, basado en un conjunto de múltiples modelos de proyecciones. Según el estudio, para el caso de Sur América se ve afectado por varios fenómenos climáticos. Todas las variaciones del clima que el Perú exhibe de un año a otro es conocido como variabilidad interanual, están determinadas en gran medida por la presencia de El Niño/Oscilación Sur (ENOS) y los eventos extremos asociados a éste, los que causan grandes pérdidas económicas por sus impactos.

SENAMHI (2009) indica que los eventos ENOS más intensos modulan el comportamiento interanual, generando anomalías positivas de diferente intensidad a lo largo del Perú. De manera que en la Sierra Central y Sur muestran una variabilidad interanual muy similar, pero con tendencias opuestas, donde los eventos ENOS parecen ser la principal fuente dinámica que modula, con mayor intensidad, estas regiones. Las tendencias lineales de la temperatura máxima media anual y estacional muestran un predominio de valores positivos (aumento) sobre todo el territorio con valores de  $+0,2^{\circ}\text{C}/\text{década}$  en promedio y, en general, estos son estadísticamente significativos en las zonas altas del sur del Perú. De igual modo las tendencias anuales y estacionales de las temperaturas mínimas promedio son en su mayoría positivas con valores de  $0,1- 0,2^{\circ}\text{C}/\text{década}$ , con excepción de varias estaciones ubicadas al norte del lago Titicaca.

La distribución temporal de la temperatura mínima muestra su dependencia de las fases del fenómeno ENOS, que altera la variabilidad interanual, dependiendo de su intensidad. Las tendencias de las temperaturas mínimas medias se incrementaron, en promedio, ligeramente en menor proporción que las temperaturas máximas. Estas tendencias observadas se encuentran dentro del rango estimado por el IPCC4 para toda la Tierra, entre los años de 1981 a 2005 ( $0,18^{\circ}\text{C}/\text{década}$ ). Asimismo también se analiza que estas tendencias de las temperaturas presentan valores regionales muy particulares que, posiblemente, además de la influencia antropogénica, existan otros aspectos tales como las islas de calor, crecimiento de las ciudades, alteraciones de las propiedades del suelo, deforestación, etc., las que originan comportamientos diferenciados en las tendencias observadas en las estaciones meteorológicas de una misma región (SENAMHI, 2009).

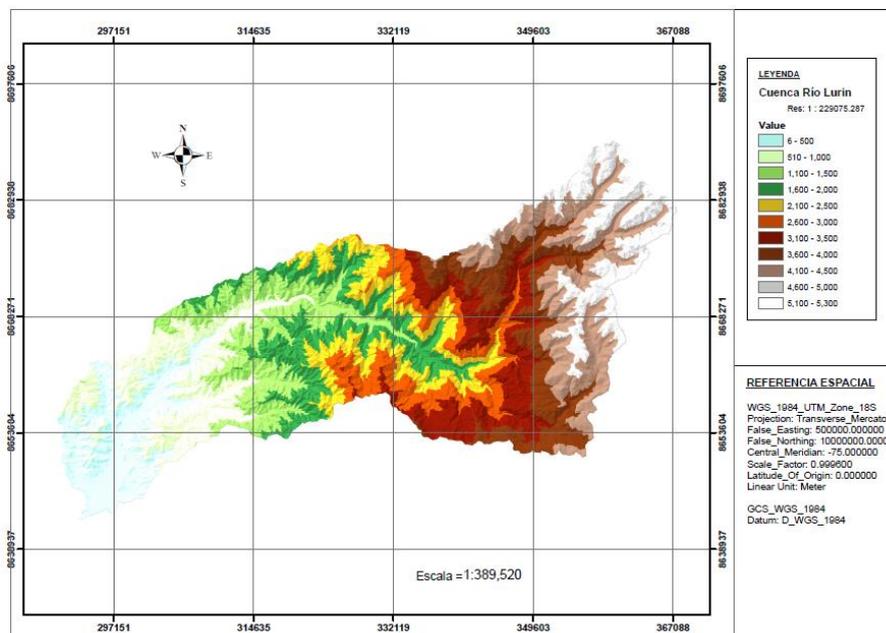
En el caso de la precipitación total anual para el Perú se presenta incrementos (tendencias positivas) en el período de 1965 al 2006, marcados sobre la costa norte, con valores entre 30 y 40 por ciento sobre sus promedios, mientras que la selva norte presenta disminuciones (tendencias negativas) desde la década de 1960 hasta fines del siglo pasado, con valores entre 20 y 30 por ciento sobre sus promedios con significancia estadística. (SENAMHI, 2009).

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Zona de estudio: cuenca Lurín

#### 5.1.1 Aspectos generales

La cuenca Lurín se encuentra localizada en la costa central del Perú. Geográficamente, se encuentra entre los paralelos 11° 50'31" y 12° 16'34" de Latitud Sur, y meridianos 76°17'11" y 76°54'33" de Longitud Oeste, extendiéndose entre el nivel del mar y los 5300 msnm; hidrográficamente pertenece a la vertiente del Pacífico y tiene una dirección Sur-Oeste, limitando por Norte, con la cuenca del río Rímac, por el Este, con la cuenca del río Mala, por el Sur, con la cuenca del río Chilca y, por el Sur-Oeste, con el Océano Pacífico. Ver Figura 11.



**Figura 11: Límite y altitud de la cuenca Lurín obtenido a partir del MED de 30 m de pixel de ASTER GDEM.**

**Fuente: Elaboración propia**

La cuenca Lurín tiene su origen en los deshielos del nevado Surococha de la cordillera de los Andes a 5300 msnm, desemboca en el océano pacífico. Cuenta con un área aproximada de 1659 Km<sup>2</sup>. Esta cuenca, recibe en su recorrido, el aporte de numerosos ríos o quebradas, siendo las más importantes: Taquia, Lahuaytambo, Langa, Sunicancha y Tinajas, por la margen izquierda y Chamacha, por la margen derecha (MINAG, 2004).

La principal actividad económica de la cuenca Lurín es la agricultura – ganadería, siendo la producción de cultivos como la chala verde, frutales, maíz choclo y chala y hortaliza, los que juegan un rol importante en el mercado mayorista del área de Lima Metropolitana. Cabe mencionar que el turismo en esta cuenca no reviste mayor importancia desde el punto de vista económico, muy a pesar que la cuenca tiene recursos gran de valor, orientados al turismo científico como de esparcimiento y ecológico (Alfaro y Claverías, 2010).

### 5.1.2 Características geomorfológicas

La respuesta hidrológica de la cuenca está influenciada por sus características geomorfológicas, las cuales se resumen en la Tabla 6, a partir del MED y la red hidrográfica de la cuenca. Por ello, se puede concluir que la cuenca Lurín tiene una pendiente de 4.76 por ciento. Presenta la forma general de un cuerpo alargado, es decir tiene una baja capacidad receptora de precipitaciones pluviales, de acuerdo al valor 0,13 del factor de forma. Asimismo la cuenca está bien drenada, y por consiguiente tiene una respuesta hidrológica satisfactoria frente a las precipitaciones pluviales, de acuerdo al valor de 0.81 Km/Km<sup>2</sup> de la densidad de drenaje.

**Tabla 6: Parámetros geomorfológicos de la cuenca Lurín**

Descripción	Medida
Área (km <sup>2</sup> )	1659
Longitud (km)	78.23
Perímetro (km)	236.54
Cota máxima	5300
Cota mínima	0
Factor de forma	0.13
Coefficiente de compacidad	1.16
Pendiente %	4.76
Área total de drenaje (km <sup>2</sup> )	1113.35
Densidad de drenaje	0.81

**Fuente: Obtenida a partir del MED**

### 5.1.3 Climatología

La información de precipitación y temperatura empleada en el estudio, corresponden a 25 estaciones pluviométricas y 13 estaciones termométricas proporcionadas por el SENAMHI para el periodo de enero de 1980 a diciembre del 2006. La ubicación geográfica y altitud de estas estaciones, se detallan en la Tabla 7.

**Tabla 7: Estaciones de precipitación y temperatura empleadas en el estudio.**

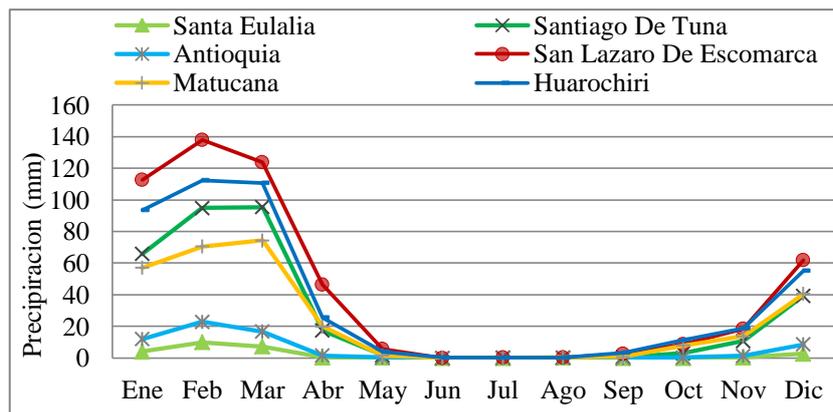
Estación Meteorológica	Longitud	Latitud	Altitud	Periodo	Variable climática		
					PP	Tmáx	Tmin
Alcantarilla	-77.55	-11.05	120	1980-2006		x	x
Hacienda Bernales	-75.97	-13.76	294	1980-2006		x	x
Huánuco	-76.24	-9.97	2090	1980-2006		x	x
Huarochirí	-76.23	-12.13	3182	1980-2006	x	x	
Huayan	-77.12	-11.45	350	1980-2006	x	x	x
Huayao	-75.32	-12.04	3360	1980-2006		x	x
Jauja	-75.48	-11.78	3360	1980-2006	x	x	
Marcapomacocha	-76.33	-11.40	4479	1980-2006	x	x	x
Matucana	-76.38	-11.84	2431	1980-2006	x	x	x
Ñaña	-76.84	-11.99	523	1980-2006		x	x
Picoy	-76.73	-10.92	3075	1980-2006		x	x
Tarma	-75.69	-11.40	3200	1980-2006		x	x
Tunel Cero	-75.08	-13.25	4475	1980-2006		x	x
Pilchaca	-75.08	-12.41	3650	1980-2006			x
Pariacancha	-76.50	-11.38	4146	1980-2006	x		
Carhuacayan	-76.28	-11.20	4150	1980-2006	x		
Yantac	-76.40	-11.33	4684	1980-2006	x		
Santa Cruz	-76.63	-11.20	3590	1980-2006	x		
Pallac	-76.80	-11.35	2570	1980-2006	x		
Huamantanga	-76.75	-11.50	3368	1980-2006	x		
Santa Eulalia	-76.67	-11.92	945	1980-2006	x		
Pirca	-76.65	-11.23	3300	1980-2006	x		
Lachaqui	-76.62	-11.55	3895	1980-2006	x		
Huaros	-76.57	-11.40	3741	1980-2006	x		
Carampoma	-76.52	-11.66	3426	1980-2006	x		
Santiago De Tuna	-76.52	-11.98	3230	1980-2006	x		
Ricran	-75.53	-11.54	3687	1980-2006	x		
Antioquia	-76.50	-12.08	1839	1980-2006	x		
San Lazaro De Escomarca	-76.35	-12.18	3840	1980-2006	x		
Huanec	-76.14	-12.29	3194	1980-2006	x		
Ayaviri	-76.13	-12.38	3228	1980-2006	x		
Tanta	-76.02	-12.12	4355	1980-2006	x		
Carania	-75.87	-12.34	3875	1980-2006	x		
Vilca	-75.83	-12.11	3810	1980-2006	x		

**Fuente: SENAMHI a través del Sistema MOSAICC**

Las temperaturas promedio de la cuenca Lurín, registradas en las estaciones disponibles, presentan dos épocas bien marcadas durante el año: son mayores en verano (para los meses de Enero a Marzo), siendo el valor más alto en el mes de febrero (24.6°C) y decrecen en invierno (considerado de Junio a Setiembre), con un valor más bajo en los meses de Julio y Agosto (14.9°C). Tomando en consideración la altitud en metros sobre el nivel del mar de la ubicación de las estaciones, se puede decir que la temperatura en estas áreas varía en promedio, entre 10 °C a nivel de los 3,500 m.s.n.m. y 3°C por encima de los 4,500 m.s.n.m. La latitud interviene como un factor decisivo en la ocurrencia de temperaturas bajas o heladas, las que, gradualmente, conforme se asciende hacia el área de paredes naturales, van limitando la actividad agrícola de la zona

La precipitación en la cuenca de estudio es fundamentalmente orográfica, ocasionada por el traslado de masas de aire que impulsa el Anticiclón del Atlántico sur y llegan a sobrepasar la Cordillera Andina (MINAG , 2004).

En la Figura 12 se puede visualizar los registros de precipitación promedio mensual para el periodo de 1980-2006 de las estaciones San Lazaro de Escomarca, Santiago De Tuna, Huarochiri, Matucana, Antioquia, Santa Eulalia. Se observa que las estaciones pluviométricas con mayores precipitaciones son las de San Lazaro de Escomarca (con altitud sobre los 3848 msnm) y Huarochiri (con altitud sobre los 3182 msnm) con una precipitación mensual promedio de 137.81 mm y 112.13 mm en el mes de Febrero, respectivamente. Asimismo se observa que las estaciones pluviométricas que registran las precipitaciones mensuales menores son: Antioquia (con altitud sobre los 1839 msnm) con 22.82 mm y Santa Eulalia (con altitud sobre los 945 msnm) con 9.86 mm para el mes de Febrero. Por otro lado, de acuerdo a la misma figura se puede visualizar que las lluvias tienen sus inicios en los meses primaverales y van cobrando mayor intensidad en el mes de Febrero, para luego decrecer casi bruscamente durante el mes de Abril, en que se inicia un periodo de estiaje que se caracteriza por la ocurrencia de precipitaciones muy escasas o por la ausencia definitiva de estas en algunos meses, especialmente durante los meses más fríos de Junio y Agosto.



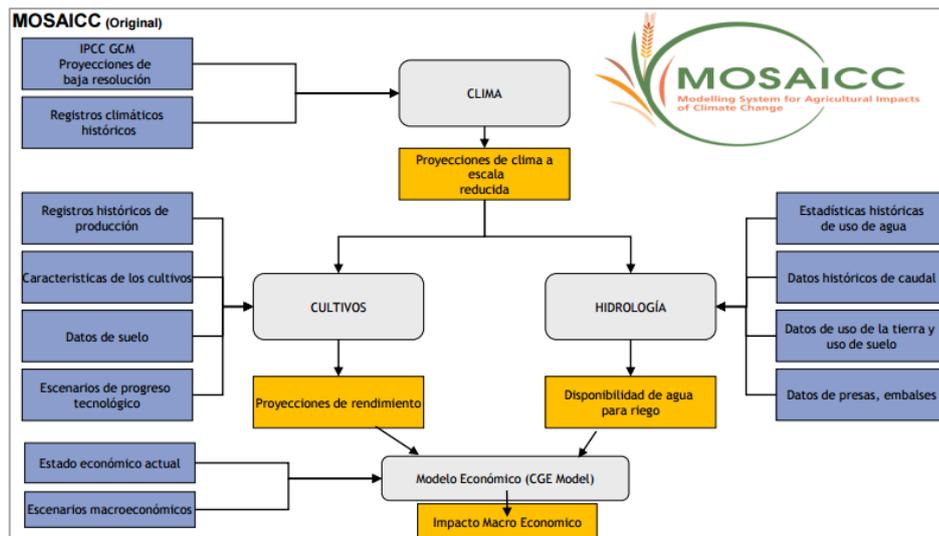
**Figura 12: Precipitación promedio mensual para el periodo 1980-2006.**

**Fuente: Elaborado con información de SENAMHI a través del Sistema MOSAICC**

## 5.2 Materiales

- Sistema MOSAICC, creado por la FAO en asociación con otras instituciones europeas especializadas, es un paquete integrado de modelos para la realización de estudios de evaluación de los impactos del cambio climático en la agricultura a nivel nacional. MOSAICC puede ser utilizado para llevar a cabo diversos tipos de análisis: impactos del cambio climático en los recursos hídricos, rendimiento de los cultivos, etc; siendo su objetivo primordial la evaluación de los efectos las variaciones de rendimiento de los cultivos y su relación con la economía nacional. Ver Figura 13.

El acceso al sistema MOSAICC se encuentra disponible en el siguiente enlace: <http://190.102.144.105/mosaicc/index.php?q>; para acceder al sistema se debe solicitar un usuario a la oficina de la FAO en Perú.



**Figura 13: Descripción de los componentes del sistema MOSAICC.**

**Fuente: Portal FAO (2011)**

Del sistema MOSAICC, se empleó el módulo referido a "Interpolación climática con AURELHY" y "Modelación hidrológica STREAM"

- Mapa de uso de la tierra y uso del suelo proporcionados por la FAO.
- Información hidrometeorológica de la zona de estudio: datos de precipitación y temperatura proporcionados por SENAMHI; e información hidrométrica proporcionados por el ANA.
- Modelo de elevación digital (MED) de la cuenca Lurín, el cual se descargó en el siguiente enlace: <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>.
- Información de precipitación y temperatura futura para diferentes modelos climáticos y escenarios de simulación. Proporcionados por SENAMHI (2015).
- Software de análisis de imágenes satelitales: ArcGIS 10.0.

## 5.3 Metodología

### 5.3.1 Preparación del modelo de elevación digital (MED)

Se siguió las siguientes instrucciones:

- i. Preparar al MED en formato tiff , para luego ser comprimido en formato zip
- ii. Ingresar al sistema MOSAICC y seleccionar del menú la opción DATA/Upload y elegir el tipo dato grid (Work Mode “Grid”). Ver Figura 14 (Ventana superior).
- iii. Ingresar el nombre del experimento (“LURINX”).
- iv. Seleccionar en la opción “Content type” al DEM .
- v. Activar “Upload” para cargar al MED automáticamente al sistema. Ver Figura 14 (ventana inferior).

The screenshot displays the MOSAICC web interface. The top navigation bar includes 'Home', 'Functions', 'Data', 'Tools', and 'Documents'. The left sidebar contains categories like 'Geographic Data', 'Climate Data', 'Downscaling Portal', 'Crop Data', and 'Support Files'. The main content area is titled 'CCI - Data Mng' and 'Data Upload'. It features a 'Work Mode(s)' section with 'Grid' and 'Points' options. The 'Grid' section lists data types such as 'AIRELHY principal component grids', 'Cultivated area raster map', 'DEM', and 'Gridded observation time series'. The 'Points' section lists 'AQUACROP Crop parameters file', 'Dam hydrological observations', 'Gauging station hydrological observations', and 'Outlet characteristics file'. Below this is the 'Data Definition' section, where the 'Data-set Name' is 'LURINX'. The 'Content type' is set to 'DEM'. The 'Data Reference' is 'Test (FAO)'. The 'Upload method' section shows 'ZIP Archive' selected, with a file name 'c etc hment.tif.zip' and a note: 'If you select a FTP file the ZIP Archive will be ignored'. An 'Upload' button is at the bottom right.

**Figura 14: Ventanas del MOSAICC a seleccionar para ingreso del MED. Ventana superior: Selección del Upload/Grid Data. Ventana inferior: carga del DEM de la cuenca Lurín.**

**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**

### 5.3.2 Preparacion de informacion hidrométrica

Se preparó los datos de la estacion hidrómetrica Manchay con las siguientes instrucciones:

- i. Preparar el punto de ubicación geografica de la estación mediante una hoja de cálculo Excel en formato “delimitado por comas” y comprimirla a formato zip. Ver Figura 15. Figura 15
- ii. Ingresar al sistema MOSAICC y seleccionar del menú la opción DATA/Upload y elegir el tipo dato points (Work Mode “Points”).
- iii. Ingresar el nombre de la estación (M1\_LURIN).
- iv. Seleccionar “Weather station location” en la opcion “Content type”.
- v. Seleccionar en la opción “Data Reference” a “FAOCLIM –NET (FAO)” e indicar el periodo de años (1980 -2006) de datos observados de precipitación mensual que se ingresaran al sistema. Ver Figura 16.
- vi. Activar “Upload” para cargar la ubicación de la estación automáticamente al sistema.
- vii. Preparar los datos observados de la estación Manchay mediante una hoja de cálculo excel en formato .csv y comprimirla a formato zip. Ver Figura 17.
- viii. Repetir los pasos ii y iii.
- ix. Seleccionar “Weather observations at station level” en la opción “Content type”,
- x. Repetir los pasos v y vi.

	A	B	C	D	E
1	latitude	longitude	elevation	name	code
2	-12.1419444	-76.8294444	206	M1_LURIN	1404
3					

**Figura 15: Formato excel que debe usarse para insertar la ubicación geográfica de la estación hidrométrica Manchay.**

**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 16: Ventana de inserción de la ubicación geográfica de la estación hidrométrica Manchay.**

**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**

	A	B	C
1	id_station	date	discharge
2	1404	01/01/1980	2.588
3	1404	01/02/1980	2.346
4	1404	01/03/1980	7.459

**Figura 17: Formato excel que debe usarse para insertar los datos de la estación hidrométrica Manchay en m3/s.**

**Fuente: Elaboración propia**

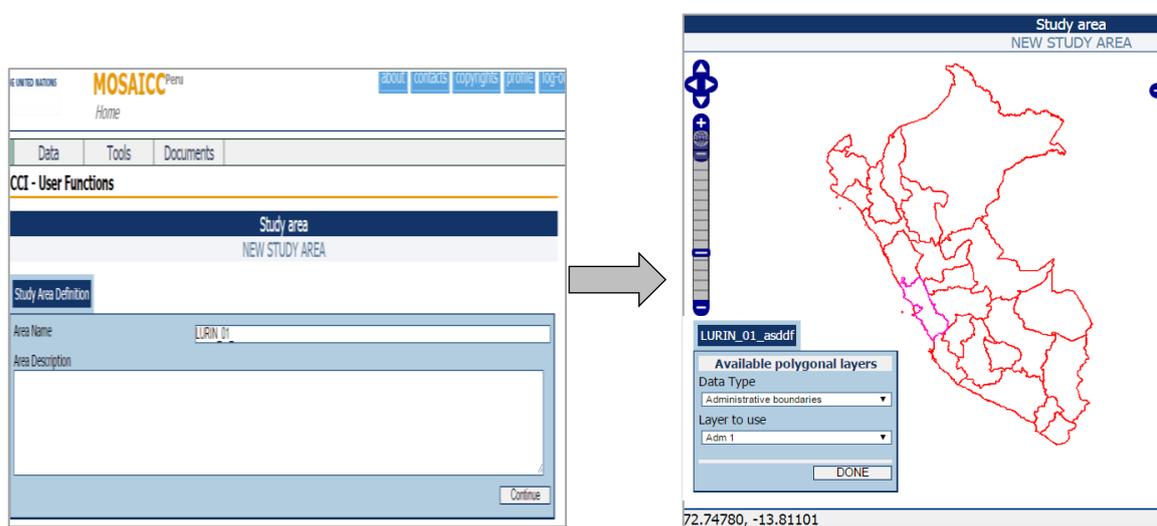
Respecto a la información climática de precipitación para la cuenca Lurín, la sistema MOSAICC cuenta con la información proveniente de 45 estaciones climáticas que el SENAMHI insertó para el período de 1980-2006. En relación a las variables de temperatura máxima y mínima se ha contado con 13 y 12 estaciones respectivamente. La lista de estaciones se detalló en la sección de 5.1.3.

### 5.3.3 Interpolación de la precipitación y temperatura

Para el proceso de información se realizaron los siguientes pasos: selección del área de estudio, análisis PCA, análisis preliminar, interpolación con AURELHY. A continuación se detalla el procedimiento:

#### 5.3.3.1 Selección del área de estudio:

- i. Seleccionar en la columna de opciones del MOSAICC, el item “Study Area”
- ii. Ingresar el nombre del area de estudio (“LURIN\_01\_”)
- iii. Seleccionar al departamento de Lima como área de estudio de la cuenca Lurín (Ver Figura 18).

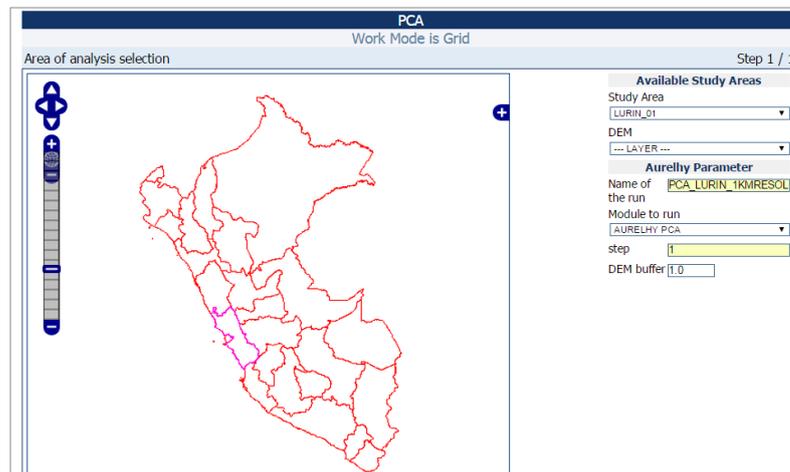


**Figura 18: Ventana de selección del area de estudio. Derecha: Ventana que permite nombrar el área de estudio. Izquierda: Selección del departamento de Lima como área de estudio para la cuenca Lurín. El color rosado indica que se ha activado la correspondiente area de estudio.**

**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**

### 5.3.3.2 Análisis de componentes principales (PCA)

- i. Seleccionar en la columna de opciones del MOSAICC el item “PCA” y dar click en la opción “Star working with Grid”.
- ii. Elegir el DEM y el Área de estudio establecido en los paso anteriores,
- iii. Ingresar el nombre del area de la corrida PCA (“PCA\_LURIN\_1KMRESOLUCION”)
- iv. Definir la resolución espacial del área de estudio (1 Km).
- v. Ingresar el valor de 1.0 en la opcion “step” , este termino resulta ser un multiplicador para la resolución del MED inicial utilizado para ajustar la resolución de la máscara de la interpolación. Ver Figura 19.



**Figura 19: Ventana del MOSAICC correspondiente al PCA.**

**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**

### 5.3.3.3 Análisis preliminar

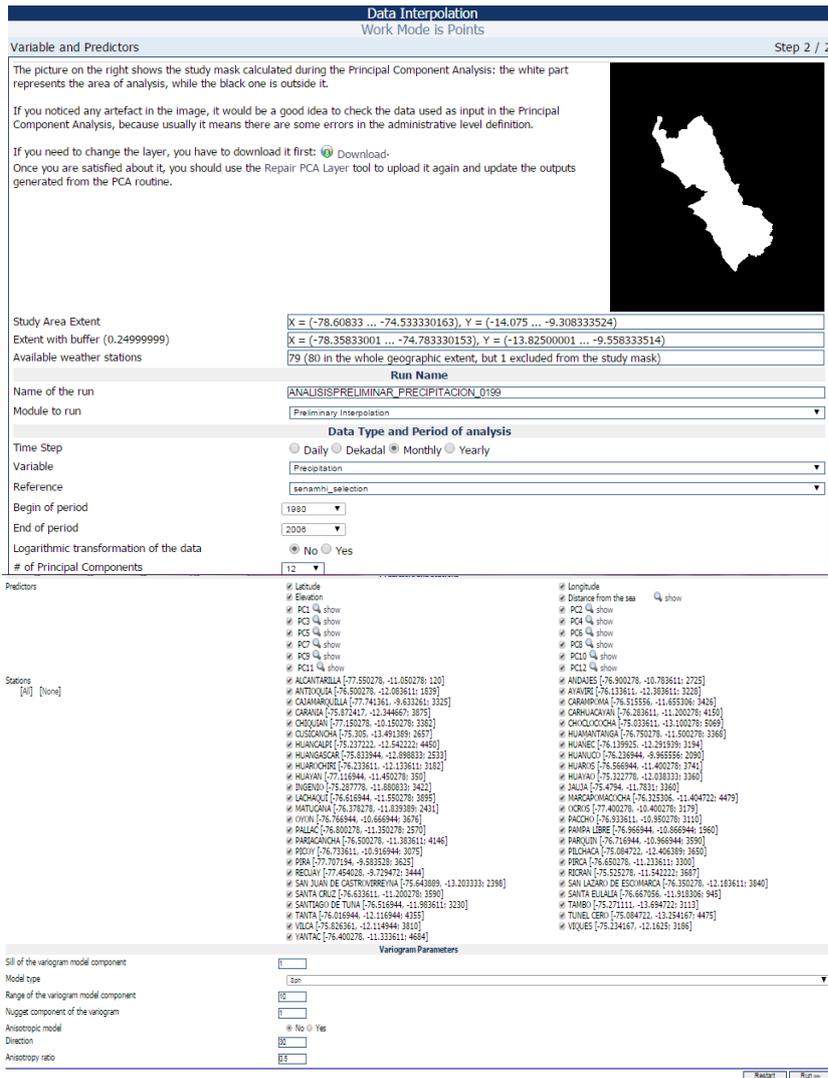
Este procedimiento se realizó primero para la precipitación, luego, para las temperaturas máximas y mínimas que posteriormente fueron utilizadas para el cálculo de la evapotranspiración con el método Hargreaves. A continuación se detalla el procedimiento:

- i. Seleccionar en la columna de opciones del MOSAICC el item “Data Interpolation” y dar click en la opción “Star working with points”.
- ii. Seleccionar la opción “Preliminary Analysis of the data” y escoger el experimento correspondiente al PCA del paso anterior (Ver Figura 20).
- iii. Ingresar el nombre del experimento.
- iv. Seleccionar el tipo de variable a analizar (Precipitación), la serie temporal a evaluar “monthly”, la referencia que proviene de la base de datos climática del SENAMHI, el periodo de años a evaluar (1980 -2006), el total de variables predictoras a considerar (latitud, longitud, elevación, distancia al mar y componentes principales), y las estaciones meteorológicas a considerar para el análisis. Ver Figura 21.
- v. Seleccionar los parámetros para el modelo de variograma: el tipo de modelo (esférico, exponencial, gaussiano), los componentes del variograma (nugget, sill y range), y el modelo anisotrópico opcional (ver sección 4.1.1).
- vi. Repetir los pasos de i al v, para las variables de temperatura máxima y mínima.

Administrative Layer		4270
Basin Layer		4270

Figura 20: Menú del MOSSAIC “Data Interpolation”.

Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)



**Figura 21: Ventana del análisis preliminar para la selección de los predictores y los parámetros del variograma.**

**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**

Como punto de partida para la optimización del análisis preliminar se seleccionaron todas las opciones por defecto, de manera que de acuerdo a la evaluación de los resultados, se fueron desactivando los componentes principales y estaciones que no cumplieron con el rango estadístico, así como también se fueron variando los valores de los parámetros del variograma. Cabe mencionar que estos valores fueron ajustados de acuerdo a la Tabla 8, la cual indica el rango de valores de acuerdo al tipo de variable climática (Precipitación y Temperaturas).

**Tabla 8: Valores recomendados para los parámetros de los variogramas de precipitación y temperatura**

Parámetro	Valores (Temperaturas)	Valores para precipitación	
		Clima árido	Clima tropical
Pepita	0.2 to 1	0.02 to 0.2	0.5 to 2
Meseta	1 to 3	0.1 to 1	1 to 5
Rango	2 to 4	2 to 4	2 to 4

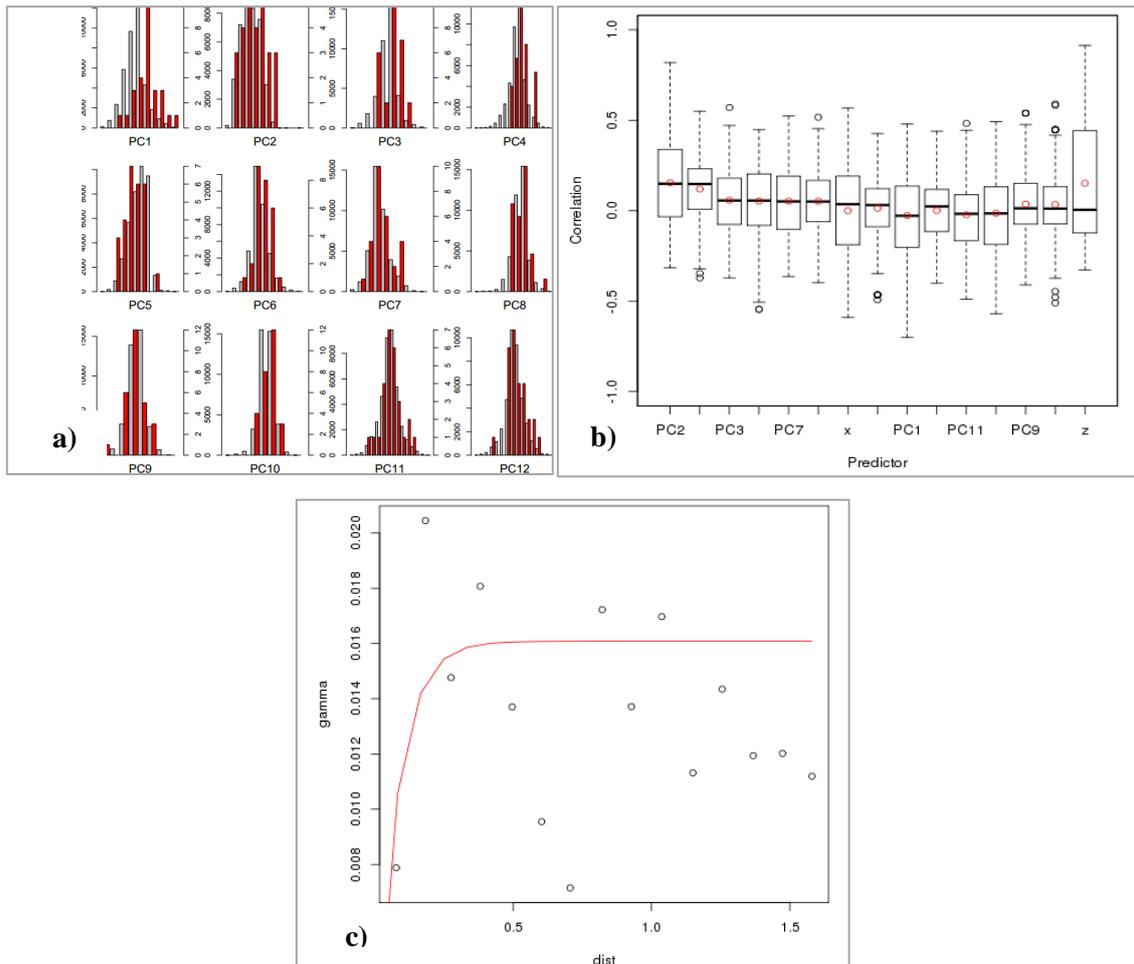
**Fuente: Delobel (2014)**

Como resultado de cada experimento se obtiene los archivos de salida (ver **Figura 22**), donde figuran las distribuciones de los componentes principales, los diagramas de caja de la distribución de los predictores, el variograma y el archivo prec\_prelim\_out.txt, este último corresponde al archivo que resume el análisis estadístico. Estos archivos se pueden visualizar en la Figura 23, tal que (a) son las distribuciones de componentes principales, la cual contiene los histogramas que se trazan para cada componente principal (barras grises), y los valores de las estaciones (barras rojas); (b) representa la distribución de las puntuaciones de correlación entre las variables de predicción y los datos para interpolar; y (c) corresponde al variograma que se obtiene de acuerdo al tipo y los parámetros elegidos durante la ejecución del análisis preliminar de cada variable climática.

Input Data		Output Data	
prec.csv	38.7 KB	prec_PCdistributions.pdf	8.6 KB
prec_CntMinMax.csv	8.3 KB	prec_adjrsq.txt	43.0 KB
<b>2 files</b>	<b>47.0 KB</b>	prec_correlations.png	18.3 KB
		prec_correlations.txt	92.1 KB
		prec_fitted.txt	144.7 KB
		prec_initval.txt	107.4 KB
		prec_prelim_out.txt	12.3 KB
		prec_resid.txt	151.7 KB
		prec_variogram.png	4.6 KB
		<b>9 files</b>	<b>582.8 KB</b>

**Figura 22: Relación de archivos de salida obtenidos del análisis preliminar.**

**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**



**Figura 23: Diagramas de salida obtenidos del análisis preliminar: (a) histograma de componentes principales, (b) diagrama de cajas y (c) variograma.**

**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**

### 5.3.3.4 Aplicación del método AURELHY

Una vez concluido el análisis preliminar, se procedió a realizar la interpolación de los datos (precipitación, temperatura máxima y mínima) utilizando el método AURELHY. Para ello se siguieron las siguientes instrucciones:

- i. Seleccionar en la columna de opciones del MOSAICC el item “Data Interpolation”, dar click en la opción “Interpolation of the data starting from a preliminary analysis” y elegir el experimento proveniente del Análisis Preliminar (Ver Figura 24).
- ii. Ingresar el nombre del experimento.
- iii. Seleccionar el método de interpolación AURELHY.
- iv. Si la variable climática a interpolar corresponde a la de precipitación, escoger el valor máximo y mínimo para los valores resultantes de la interpolación de los datos (ver Figura 25) . En contraste, si la variable climática a interpolar corresponde a la temperatura máxima (mínima) seleccionar el experimento de la variable análoga temperatura mínima (máxima) proveniente del Análisis preliminar correspondiente a la variable análoga (ver Figura 25).
- v. Activar “Run” para la interpolación automática al sistema.

Related Information	
PCA Layer	PCA_LURIN_1KMRESOLUCION
Administrative Layer	4270
Basin Layer	4270
Data Type	10D Observed
Period	1980 - 2006
Variable	prec

**Figura 24: Menú de interpolación de datos en MOSAICC**

**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**

**Data Interpolation**  
Work Mode is Points

Step 2 / 2

**Interpolation parameters**

**Run Name**

Name of the run: PRECIPITACIÓN\_AURELHY\_LURIN  
 Module to run: Aurelhy Interpolation  
 Max value allowed for the interpolation: 6000  
 Min value allowed for the interpolation: 0  
 Switch for the low-pass filter:  No  Yes

Preliminary Analysis

**Run Name**

Preliminary Name: Analisis\_pre\_pp\_ani\_exp  
 Module Name: Preliminary Interpolation

**Data Type and Period of analysis**

Data Type: Observed  
 Variable: prec (Precipitation)  
 Data Source: SENAMHI  
 Data Reference: senamhi\_selection  
 Begin of Period: 1980  
 End of Period: 2006  
 Logarithmic transformation of the data: FALSE  
 # of Principal Components: 12

**a)**

---

**Data Interpolation**  
Work Mode is Points

Step 2 / 2

**Interpolation parameters**

**Run Name**

Name of the run: TEMPERATURA\_MAXIMA\_AURELHY\_LURIN  
 Module to run: Aurelhy Interpolation  
 PET Calculation (a):  No  Yes  
 TMIN Preliminary: enero4\_tmin\_8

Preliminary Analysis

**Run Name**

Preliminary Name: enero23\_tmax\_ani\_gau\_todo\_A  
 Module Name: Preliminary Interpolation

**Data Type and Period of analysis**

Data Type: Observed  
 Variable: tmax (Max Temperature)  
 Data Source: SENAMHI  
 Data Reference: senamhi\_selection  
 Begin of Period: 1980  
 End of Period: 2006  
 Logarithmic transformation of the data: FALSE  
 # of Principal Components: 12

**Predictors and Stations**

Predictors: ...  
 Stations: 14: HUAYNUCO (000404), ALCANTARILLA (000501), JAUJA (000503), HUAYAN (000539), PICOY (000542), MATUCANA (000548), MARCAPOMACCOCHA (000549), TARMA (000554), HUAROCHIRI (000633), TUNEL CERO (000647), PILCHACA (000648), HACIENDA BERNALES (000650), NANA (000543), HUAYAO (000635)

**Variogram Parameters**

Sill of the variogram model component: 1  
 Model type: Gau  
 Range of the variogram model component: 2  
 Nugget component of the variogram: 0.2  
 Anisotropic model: 1  
 Orientation: -90

**b)**

**Figura 25: Parámetros característicos de los variogramas en la interpolación con AURELHY de (a) Precipitación y (b) temperatura máxima y mínima.**

**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**

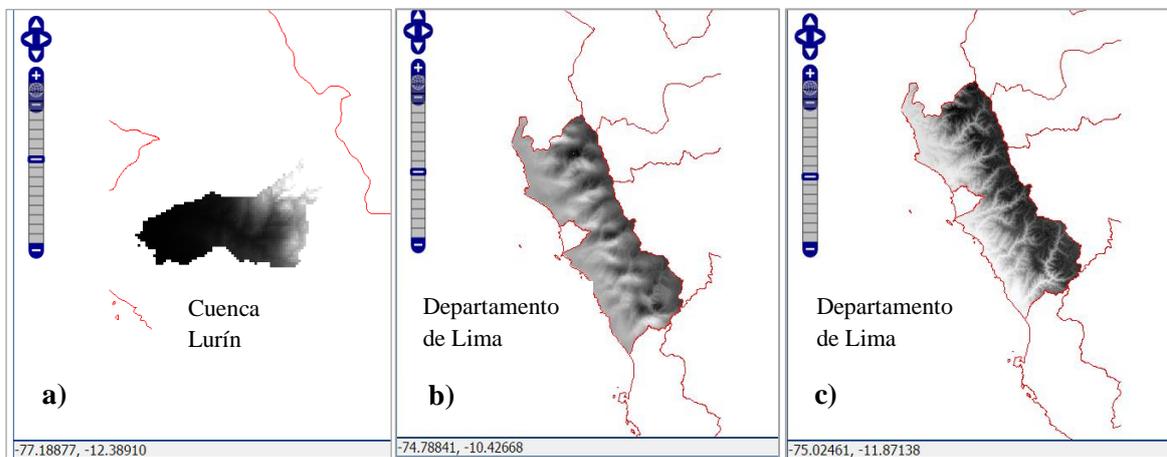
Cabe mencionar que en la misma ventana, tanto para precipitación como para las temperaturas, aparecen los predictores, las estaciones, los valores de los componentes y el tipo de variograma que fue utilizado para la interpolación de los datos con AURELHY. Ver Figura 26.

Como resultado de la interpolación, se obtendrán los mapas de precipitación, temperatura mínima y temperatura, los cuales representan los valores obtenidos en cada una de sus celdas. Ver Figura 27.

Predictors and Stations	
Predictors	...
Stations	52: HUANUCO (000404), RECUJAY (000441), ALCANTARILLA (000501), JAUJA (000503), HUAYAN (000539), PICOY (000542), NAÑA (000543), MATUCANA (000548), MARCAPOMACOCOA (000549), TARMA (000554), VIQUES (000608), HUAROCHIRI (000633), TUNEL CERO (000647), PILCHACA (000648), HACIENDA BERNALES (000650), CAJAMARQUILLA (154108), OCROS (155105), PAMPA LIBRE (155107), PARIACANCHA (155112), CARHUACAYAN (155115), YANTAC (155121), PACCHO (155200), ANDAJES (155201), SANTA CRUZ (155202), PALLAC (155205), HUAMANTANGA (155209), PARQUIN (155212), SANTA EULALIA (155213), PIRCA (155214), LACHAQUI (155217), HUAROS (155218), CARAMPOMA (155223), SANTIAGO DE TUNA (155224), RICRAN (155229), INGENIO (155231), ANTIOQUIA (156100), SAN LAZARO DE ESCOMARCA (156102), HUANEĆ (156103), AYAVIRI (156104), TANTA (156106), CARANIA (156109), HUANGASCAR (156110), VILCA (156111), SAN JUAN DE CASTROVIRREYNA (156114), TAMBO (156122), CHOCCOCOCHA (156130), CHIQUIAN (000538), OYON (000541), PIRA (154110), CUSICANCHA (156121), HUANCALPI (156126), HUAYAO (000635)
Variogram Parameters	
Sill of the variogram model component	<input type="text" value="1"/>
Model type	<input type="text" value="Exp"/>
Range of the variogram model component	<input type="text" value="10"/>
Nugget component of the variogram	<input type="text" value="1"/>
Anisotropic model	<input type="text" value="1"/>
Direction	<input type="text" value="30"/>
Anisotropy ratio	<input type="text" value="0.5"/>
<input type="button" value="Restart"/> <input type="button" value="Run &gt;&gt;"/>	

**Figura 26:** Ventana donde figuran los predictores, las estaciones, los valores de los componentes y el tipo de variograma, tanto para precipitación como para temperaturas.

**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**



**Figura 27:** Distribución espacial obtenida con el método AURELHY para (a) precipitación, (b) temperatura mínima y (c) temperatura máxima.

**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**

### 5.3.4 Evapotranspiración por el método Hargreaves

Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizó el método Hargreaves, para ello se siguió las siguientes instrucciones:

- i. Seleccionar en la columna de opciones del MOSAICC el item “PET-Hargreaves” y dar click en con la opción “Work mode is Grid”.
- ii. Ingresar el nombre del experimento.
- iii. Seleccionar “monthly” como la serie temporal a evaluar.
- iv. Seleccionar como datos de entrada, las interpolaciones de temperatura máxima y mínima realizadas con el método AURELHY (Ver Figura 28).
- v. Activar “Next” para el calculo de la Evapotranspiracion en el sistema.

CCI - User Functions	
PET Hargreaves	
Work Mode is Grid	
Temperature grid selection <span style="float: right;">Step 1 / 1</span>	
Run Name	
Name of the run	PET_LURIN
Module to run	PET Hargreaves
Temperature Grids	
Time Step	<input type="radio"/> Daily <input type="radio"/> Dekadal <input checked="" type="radio"/> Monthly
Min Temperature	LURIN_TMAX_AURELHY_FILTRADO [TMIN_###]
	Period: 1980 - 2006
	Resolution: 0.008333332999999999
	Lon range: -77.83333 ... -75.08333
	Lat range: -13.76667 ... -10.31667
Max Temperature	AURELHY_TMAX_3 [TMAX_###]
	Period: 1980 - 2006
	Resolution: 0.008333332999999999
	Lon range: -77.83333 ... -75.08333
	Lat range: -13.76667 ... -10.31667
--- Coherence Check	
Period	OK
Resolution	OK
Area overlap	OK
Next >>	

**Figura 28: Ventana del menú MOSAICC para la obtención de la Evapotranspiración de Referencia (PET).**

**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**

### 5.3.5 Oferta hídrica con el modelo hidrológico STREAM

Para el presente análisis, se utilizó una resolución espacial de 1km y resolución temporal de un mes. Asimismo, se contó con información hidrométrica de la estación Manchay para un periodo de tiempo de enero 1980 a diciembre del 2006. Para obtener la oferta hídrica se utilizó la interpolación de la precipitación, obtenida por el método AURELHY, y la evapotranspiración, obtenida por el método Hargreaves.

### 5.3.5.1 Simulación del modelo STREAM en el tiempo presente

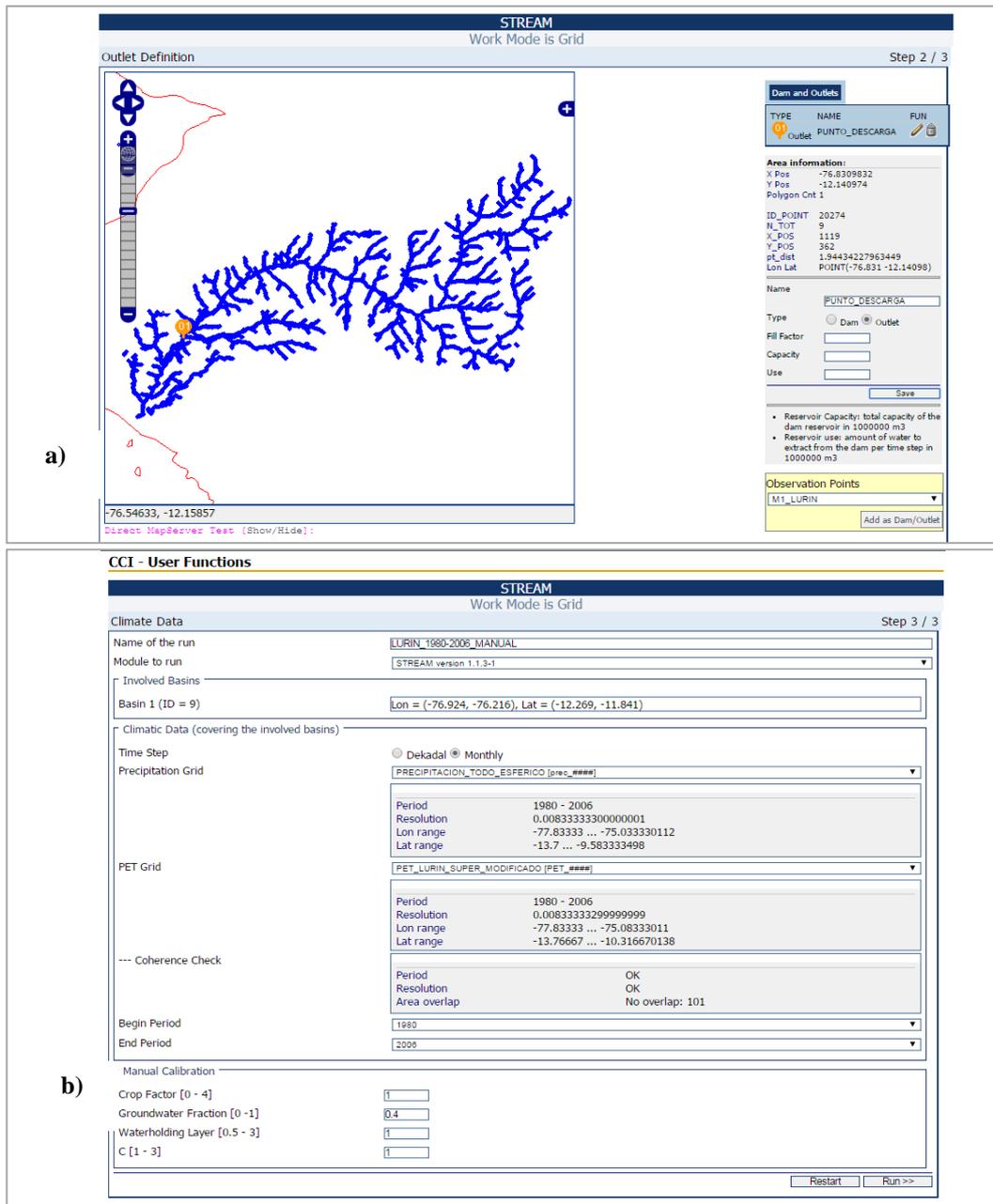
La simulación se realizó en la estación hidrométrica Manchay para el periodo de tiempo de enero de 1980 a diciembre del 2006, para ello se siguió las siguientes instrucciones:

- i. Seleccionar en la columna de opciones del MOSAICC el item “STREAM”, dar click en la opción “Simulation from the scratch”, elegir el MED correspondiente a la cuenca en estudio, y verificar la zona geográfica a la que pertenece la cuenca (18, para la cuenca Lurín). Ver **Figura 29**.
- ii. Seleccionar el punto de la cuenca a simular (estación hidrométrica Manchay), activar la opción “Add as a Dam/Outlet”, colocar el nombre del punto a simular (“Punto\_descarga”) y activar “save”. Ver Figura 30 (a).
- iii. Ingresar el nombre al experimento y seleccionar “monthly” como la serie temporal a evaluar.
- iv. Seleccionar la información climática obtenida previamente, correspondiendo a la precipitación generada por el comando AURELHY y la Evapotranspiración generada por el comando PET-HARGREAVES. Ver Figura 30 (b).
- v. Colocar los valores para los parámetros de calibración manual del modelo STREAM, tales como Crop Factor, Groundwater Fraction, Waterholding layer, C el factor de calibración, de manera que sus valores permanecieron por defecto para la primera simulación. Ver Figura 30 (b).

The screenshot displays the MOSAICC web interface for the STREAM simulation. The top navigation bar includes 'Home', 'Functions', 'Data', 'Tools', and 'Documents'. The left sidebar lists various functions, with 'STREAM' selected. The main panel, titled 'CCI - User Functions', shows the 'STREAM' simulation configuration. Under 'Calibration choice', the 'Simulation from scratch' option is selected. The 'Method 3: start directly from data' section contains several input fields: 'DEM layer' is set to 'LURINX', 'Land cover layer' is 'Land Use map Peru from Globcover', 'Soil water holding capacity' is set to 'SELECT', and 'UTM Zone for DEM re-projection' is '18'. A 'Next >>' button is located at the bottom right of the configuration area.

**Figura 29: Entorno del STREAM en MOSAICC.**

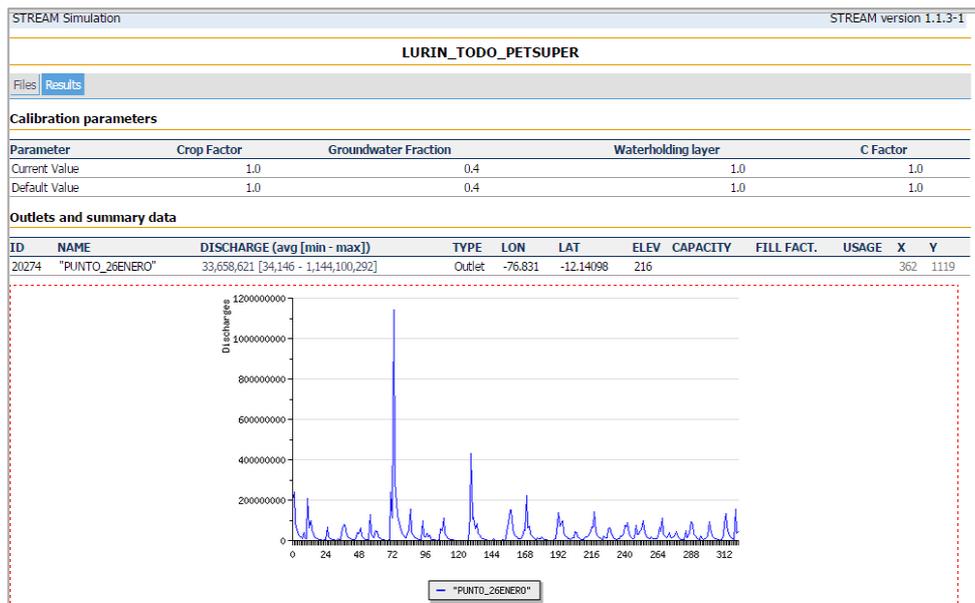
**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**



**Figura 30: Ventanas que muestran los ítems a seleccionar para la correcta simulación hidrológica: (a) Selección del punto de aforo a simular y (b) Selección de la información climática de entrada y los parámetros de calibración manual.**

**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**

Como resultado de la simulación (Ver Figura 31), se obtiene una gráfica de descarga en  $m^3/s$  de acuerdo al periodo de años evaluados del punto seleccionado. Asimismo se obtiene una tabla de descargas en  $m^3/s$ , precipitación (mm/mes) y temperatura media ( $^{\circ}C$ ).



**Figura 31: Ejemplo de los resultados de la primera simulación realizada con el modelo STREAM para la cuenca Lurín.**

**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**

### 5.3.5.2 Calibración y validación temporal

La calibración se realizó en el periodo de años en que la simulación del punto de la estación hidrométrica Manchay, se ajustó más a la tendencia real de descargas.

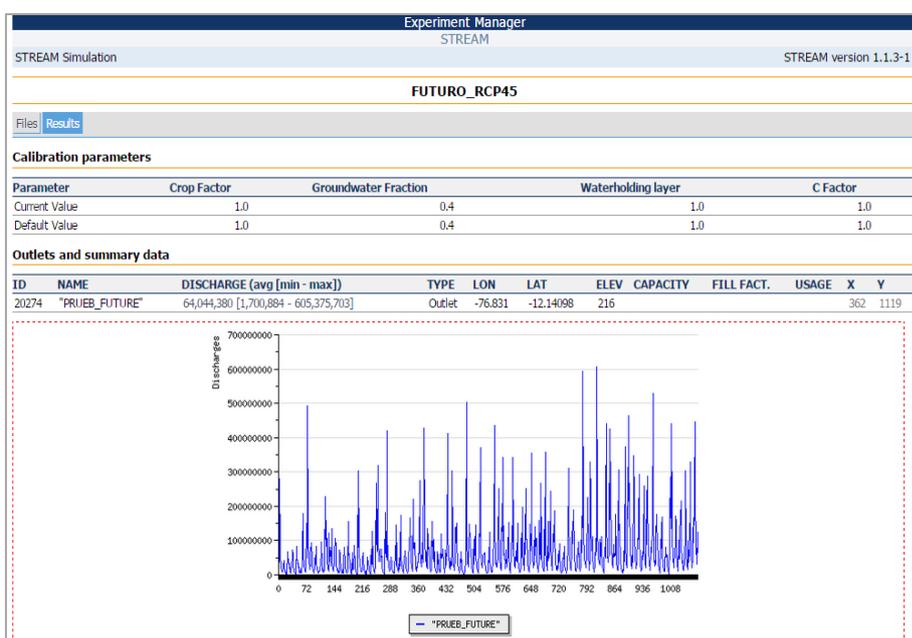
El procedimiento de calibración ha conestado en cambiar los valores de los parámetros de calibración (Crop Factor, Groundwater Fraction, Waterholding layer, C) con el fin que el modelo hidrológico STREAM pueda adaptarse a las condiciones de campo de la cuenca Lurín. La calibración fue un proceso iterativo de comparar el comportamiento del modelo y el sistema real utilizando las diferencias observadas entre los dos, hasta que el caudal simulado se acerque a los valores observados, evaluando la eficiencia de los modelos a través de indicadores de eficiencia: de forma visual, gráfica y el coeficiente de Nash-Sutcliffe (E) y el índice RSR (ver sección 4.2.2)

La validación temporal se realizó en la estación hidrométrica Manchay para todo el periodo de tiempo no utilizado por la calibración, para ello se usó los parámetros resultantes de la calibración manual. Asimismo al igual que el proceso de calibración, se evaluó la eficiencia del modelo con los indicadores: coeficiente de Nash-Sutcliffe (E) y el índice RSR.

Una vez aplicada la validación, se procedió a obtener la simulación final en la estación Hidrométrica de Manchay, para ello se realizó una nueva simulación con los parámetros obtenidos de la calibración manual para todo el periodo de años de estudio (1980-2006). Como resultado, se obtuvo la información de descarga, precipitación y temperatura media, siendo la información necesaria para el balance hídrico presente.

### 5.3.5.3 Simulación con la data futura

Una vez terminado el análisis de los datos presentes, se procedió a realizar la simulación de la información climática futura para el periodo 2010- 2065, utilizando las mismas características usadas para la precipitación y evapotranspiración obtenidas del Análisis preliminar e interpolación de datos, así como el uso de los parámetros optimizados de la calibración para los modelos climáticos CANESM2-RCP4.5, CANESM2-RCP8.5, MPI-ESM-MR-RCP4.5, y MPI-ESM-MR-RCP8.5 (ver Figura 32)



**Figura 32: Ejemplo de resultado de la simulación con la información climática futura para el modelo climático CANESM2-RPC4.5 en el período 2010-2100.**

**Fuente: Sistema MOSSAIC (2015)**

### **5.3.6 Balance hídrico actual y futuro**

Con los datos obtenidos de la simulación presente y futura de la simulación hidrológica, se procedió a efectuar los cálculos tanto para el balance hídrico actual y futuro.

Se utilizó como oferta hídrica a la información del punto de final de descarga de la cuenca Lurín, tanto para realizar la simulación con la información presente como la futura. Por otra parte, para el caso de la demanda presente, se tomó en consideración sólo la demanda agrícola presente de la cuenca, procedente del estudio de PROFODUA (2006); ya que el consumo de agua poblacional en la cuenca de estudio se realiza mediante pozos subterráneos. Asimismo, respecto a la demanda agrícola proyectada se tomó en cuenta una demanda incrementada en 50 por ciento, tomando en consideración el crecimiento exponencial de la población, la cual conlleva mayores requerimientos de alimentos, evaluando la disponibilidad hídrica, la ampliación de la frontera agrícola, para elaborar propuestas y toma de decisiones donde se busque principalmente asegurar la nutrición de la población manteniendo el concepto de seguridad alimentaria bajo escenarios de cambio climático.

Se procedió a realizar el balance hídrico presente y futuro, hallando la diferencia entre la oferta y demanda para la cuenca Lurín.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y discusión se presentan teniendo en consideración la siguiente secuencia: análisis preliminar, oferta hídrica presente (simulación, calibración validación), balance hídrico presente, oferta hídrica futura y balance hídrico futuro.

### 6.1. Análisis preliminar

#### 6.1.1 Precipitación

En el análisis preliminar de la precipitación, se trabajó con 25 estaciones dentro y fuera de la cuenca. Ver Figura 33.

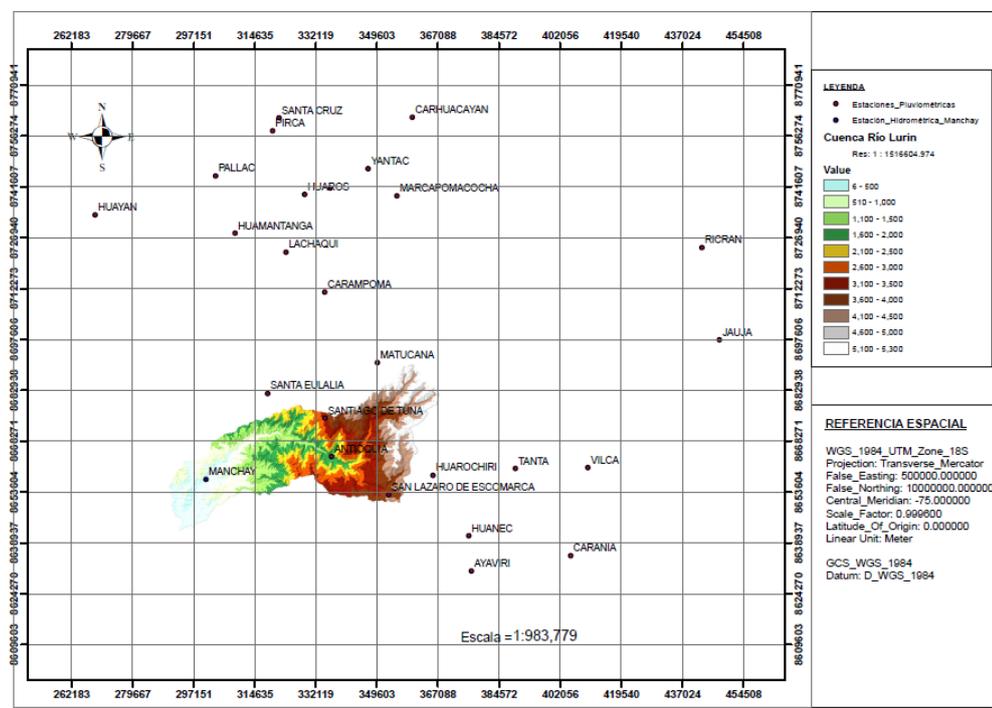


Figura 33: Ubicación de las estaciones de precipitación en la cuenca Lurín y cercanas.

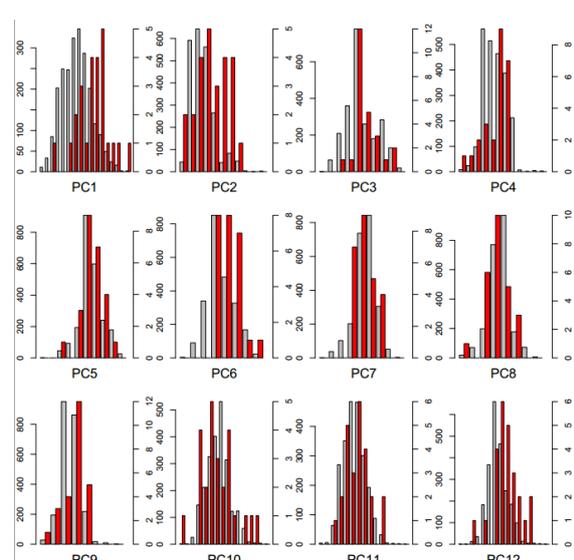
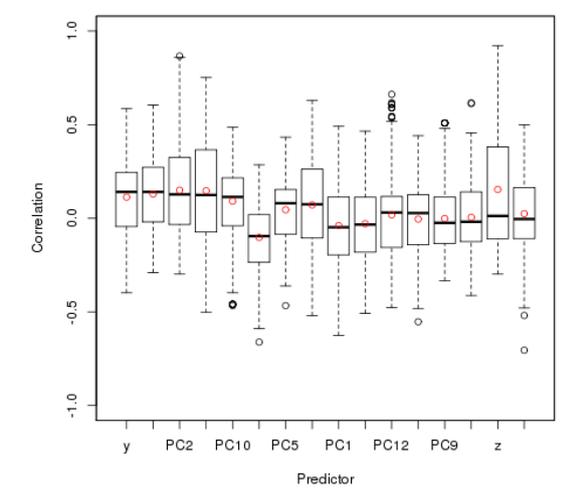
Se realizaron un total de veinte experimentos para la optimización del análisis preliminar de la variable precipitación, sin embargo fueron nueve de ellos los que más se ajustaron a los indicadores estadísticos. Ver Tabla 9.

**Tabla 9: Lista de experimentos del análisis preliminar a la precipitación en el periodo de enero de 1980 a diciembre del 2006**

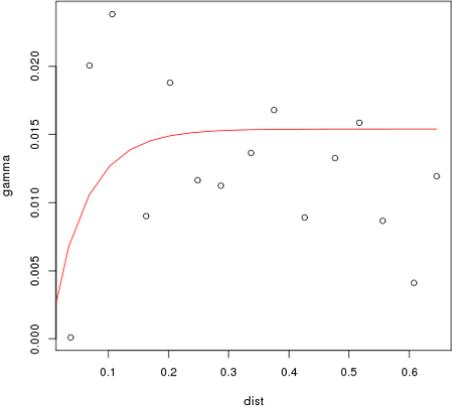
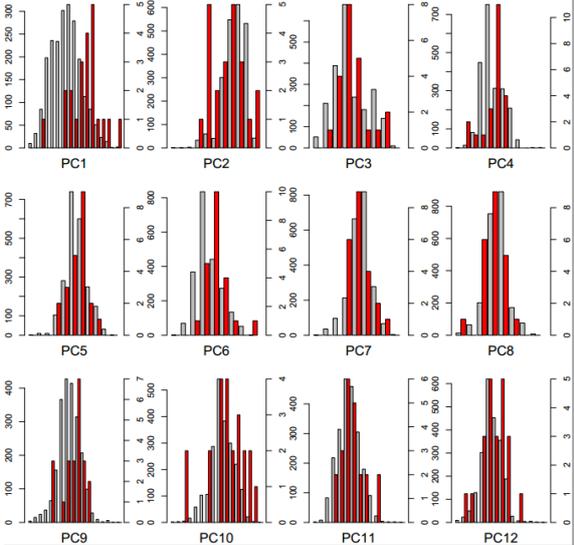
Código	Nombre	Tipo
5561	PRE_AREA_TODO	Mensual, 25 estaciones
5562	PRE_AREA_ROSA	Mensual. 23 estaciones
5563	PRE_AREA_ROSA_MOD	Mensual, 24 estaciones
5708	ANALISIS_PRE_VERDE	Mensual, 20 estaciones
5710	ANALISIS_PRE_VERDE_CLARO	Mensual, 20 estaciones.
5578	ANALISIS_FUCSIA	Mensual, 21 estaciones
5580	ANALISIS_FUCSIA_ESFERICO	Mensual, 21 estaciones

A continuación, en la se muestran a detalle los siete experimentos que se han realizado para ajustar los modelos de regresión y el variograma como parte del análisis preliminar realizado para la precipitación. Se pueden apreciar los diagramas de cajas y los histogramas del análisis de componentes principales.

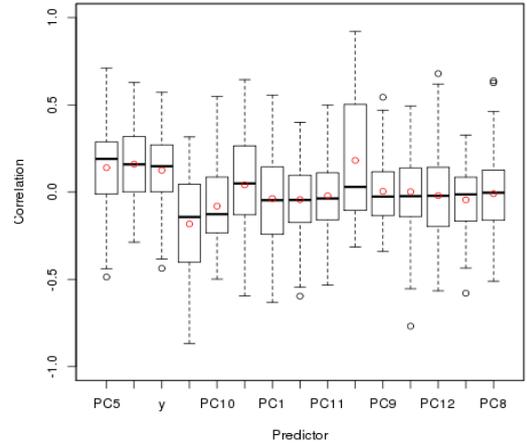
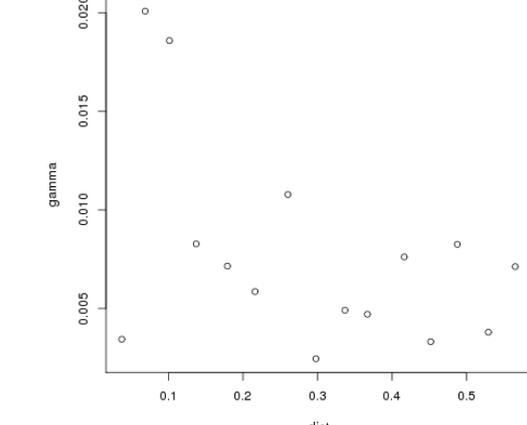
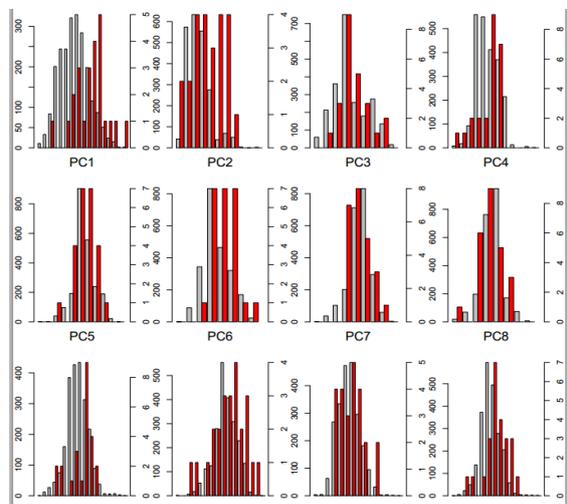
**Tabla 10: Lista de experimentos del análisis preliminar para precipitación**

Experimento N° 5561																																																	
N° Estaciones: 25 N° Componentes principales: 12	Parámetros del variograma exponencial: Sill 1, Range 10, Nugget 0.5																																																
Perfil de la regresión (análisis estadístico)	Gráficas resultantes de los predictores																																																
<p>Modelos de regresión: resumen del ajuste del R<sup>2</sup></p> <p>"Min." 0.07083                      "1st Qu." 0.5889                      "Median" 0.7324                      "Mean" 0.7067                      "3rd Qu." 0.8489                      "Max." 0.985</p> <p>Test de Fisher:                      Percentage of significant model: 98.5                      Percentage of non-significant model: 1.5</p> <p>Test de Shapiro Wilk:                      Percentage of normal residual: 90.6                      Percentage of non-normal residual: 9.4</p> <p>Factor de Inflación de la Varianza (VIF) para cada variable predictiva:</p> <table border="0"> <tr> <td>"x" 588.142</td> <td>"PC6" 6.13</td> </tr> <tr> <td>"y" 191.388</td> <td>"PC7" 15.671</td> </tr> <tr> <td>"z" 10.194</td> <td>"PC8" 9.113</td> </tr> <tr> <td>"PC1" 3.629</td> <td>"PC9" 3.116</td> </tr> <tr> <td>"PC2" 4.735</td> <td>"PC10" 5.555</td> </tr> <tr> <td>"PC3" 2.95</td> <td>"PC11" 10.082</td> </tr> <tr> <td>"PC4" 12.335</td> <td>"PC12" 2.599</td> </tr> <tr> <td>"PC5" 6.699</td> <td>"seadist" 464.721</td> </tr> </table> <p>Distancia de Cook sobre 0.5 y 1 Km. por estación</p> <table border="0"> <tr> <td>Jauja</td> <td>3-1</td> </tr> <tr> <td>Huayan</td> <td>94-57</td> </tr> <tr> <td>Matucana</td> <td>6-1</td> </tr> <tr> <td>Marcapomacocha</td> <td>0-0</td> </tr> <tr> <td>Huachochiri</td> <td>2-2</td> </tr> <tr> <td>Pariacancha</td> <td>0-0</td> </tr> <tr> <td>Carhuacayan</td> <td>0-0</td> </tr> <tr> <td>Yantac</td> <td>0-0</td> </tr> <tr> <td>Santa Cruz</td> <td>0-0</td> </tr> <tr> <td>Pallac</td> <td>12-3</td> </tr> <tr> <td>Huamantanga</td> <td>22-4</td> </tr> <tr> <td>Santa Eulalia</td> <td>53-23</td> </tr> <tr> <td>Pirca</td> <td>4-1</td> </tr> <tr> <td>Lachaqui</td> <td>2-0</td> </tr> <tr> <td>Huaros</td> <td>1-0</td> </tr> <tr> <td>Carampoma</td> <td>6-2</td> </tr> </table>	"x" 588.142	"PC6" 6.13	"y" 191.388	"PC7" 15.671	"z" 10.194	"PC8" 9.113	"PC1" 3.629	"PC9" 3.116	"PC2" 4.735	"PC10" 5.555	"PC3" 2.95	"PC11" 10.082	"PC4" 12.335	"PC12" 2.599	"PC5" 6.699	"seadist" 464.721	Jauja	3-1	Huayan	94-57	Matucana	6-1	Marcapomacocha	0-0	Huachochiri	2-2	Pariacancha	0-0	Carhuacayan	0-0	Yantac	0-0	Santa Cruz	0-0	Pallac	12-3	Huamantanga	22-4	Santa Eulalia	53-23	Pirca	4-1	Lachaqui	2-0	Huaros	1-0	Carampoma	6-2	<p>Análisis de componentes principales</p>  <p>Diagrama de Cajas</p> 
"x" 588.142	"PC6" 6.13																																																
"y" 191.388	"PC7" 15.671																																																
"z" 10.194	"PC8" 9.113																																																
"PC1" 3.629	"PC9" 3.116																																																
"PC2" 4.735	"PC10" 5.555																																																
"PC3" 2.95	"PC11" 10.082																																																
"PC4" 12.335	"PC12" 2.599																																																
"PC5" 6.699	"seadist" 464.721																																																
Jauja	3-1																																																
Huayan	94-57																																																
Matucana	6-1																																																
Marcapomacocha	0-0																																																
Huachochiri	2-2																																																
Pariacancha	0-0																																																
Carhuacayan	0-0																																																
Yantac	0-0																																																
Santa Cruz	0-0																																																
Pallac	12-3																																																
Huamantanga	22-4																																																
Santa Eulalia	53-23																																																
Pirca	4-1																																																
Lachaqui	2-0																																																
Huaros	1-0																																																
Carampoma	6-2																																																

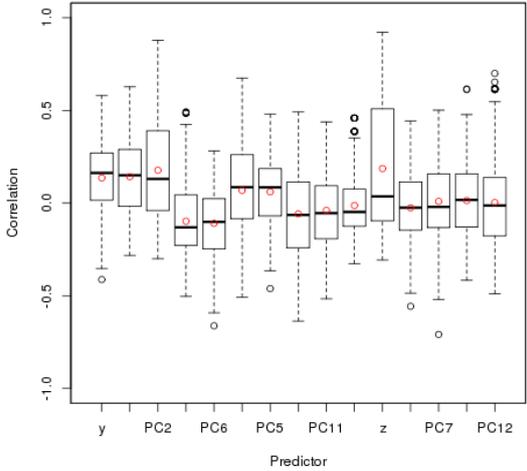
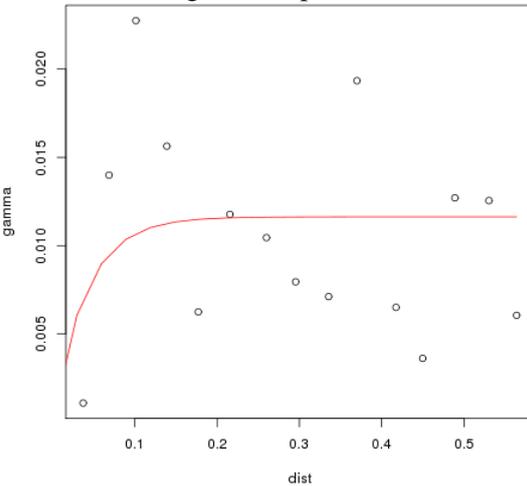
**“...Continuación”**

<table border="0"> <tr><td>Santiago De Tuna</td><td>12-2</td></tr> <tr><td>Ricran</td><td>19-8</td></tr> <tr><td>Antioquia</td><td>34-10</td></tr> <tr><td>San Lazaro de Escomarca</td><td>11-2</td></tr> <tr><td>Huañec</td><td>9-7</td></tr> <tr><td>Ayaviri</td><td>5-0</td></tr> <tr><td>Tanta</td><td>1-0</td></tr> <tr><td>Carania</td><td>11-2</td></tr> <tr><td>Vilca</td><td>7-2</td></tr> </table>	Santiago De Tuna	12-2	Ricran	19-8	Antioquia	34-10	San Lazaro de Escomarca	11-2	Huañec	9-7	Ayaviri	5-0	Tanta	1-0	Carania	11-2	Vilca	7-2	<p style="text-align: center;"><b>Variograma</b></p> 																										
Santiago De Tuna	12-2																																												
Ricran	19-8																																												
Antioquia	34-10																																												
San Lazaro de Escomarca	11-2																																												
Huañec	9-7																																												
Ayaviri	5-0																																												
Tanta	1-0																																												
Carania	11-2																																												
Vilca	7-2																																												
<p><b>Experimento N° 5562</b></p>																																													
<p>N° Estaciones:22 N° Componentes principales: 12</p>	<p><b>Parámetros del variograma exponencial:</b> Sill 1, Range 10, Nugget 0.5</p>																																												
<p><b>Perfil de la regresión (análisis estadístico)</b></p>	<p><b>Gráficas resultantes de los predictores</b></p>																																												
<p>Modelos de regresión: resumen del ajuste del R<sup>2</sup></p> <table border="0"> <tr><td>"Min."</td><td>0.1786</td></tr> <tr><td>"1st Qu."</td><td>0.5853</td></tr> <tr><td>"Median"</td><td>0.7188</td></tr> <tr><td>"Mean"</td><td>0.6897</td></tr> <tr><td>"3rd Qu."</td><td>0.8347</td></tr> <tr><td>"Max."</td><td>0.9698</td></tr> </table> <p>Test de Fisher: Percentage of significant model: 95.4 Percentage of non-significant model: 4.6</p> <p>Test de Shapiro Wilk: Percentage of normal residual: 95.1 Percentage of non-normal residual: 4.9</p> <p>Factor de Inflación de la Varianza (VIF) para cada variable predictiva:</p> <table border="0"> <tr><td>"x"</td><td>22.775</td><td>"PC6"</td><td>8.439</td></tr> <tr><td>"y"</td><td>17.733</td><td>"PC7"</td><td>38.229</td></tr> <tr><td>"z"</td><td>21.831</td><td>"PC8"</td><td>6.853</td></tr> <tr><td>"PC1"</td><td>12.6</td><td>"PC9"</td><td>6.745</td></tr> <tr><td>"PC2"</td><td>19.991</td><td>"PC10"</td><td>10.081</td></tr> <tr><td>"PC3"</td><td>3.321</td><td>"PC11"</td><td>13.111</td></tr> <tr><td>"PC4"</td><td>19.043</td><td>"PC12"</td><td>3.275</td></tr> <tr><td>"PC5"</td><td>9.967</td><td></td><td></td></tr> </table>	"Min."	0.1786	"1st Qu."	0.5853	"Median"	0.7188	"Mean"	0.6897	"3rd Qu."	0.8347	"Max."	0.9698	"x"	22.775	"PC6"	8.439	"y"	17.733	"PC7"	38.229	"z"	21.831	"PC8"	6.853	"PC1"	12.6	"PC9"	6.745	"PC2"	19.991	"PC10"	10.081	"PC3"	3.321	"PC11"	13.111	"PC4"	19.043	"PC12"	3.275	"PC5"	9.967			<p style="text-align: center;"><b>Análisis de componentes principales</b></p> 
"Min."	0.1786																																												
"1st Qu."	0.5853																																												
"Median"	0.7188																																												
"Mean"	0.6897																																												
"3rd Qu."	0.8347																																												
"Max."	0.9698																																												
"x"	22.775	"PC6"	8.439																																										
"y"	17.733	"PC7"	38.229																																										
"z"	21.831	"PC8"	6.853																																										
"PC1"	12.6	"PC9"	6.745																																										
"PC2"	19.991	"PC10"	10.081																																										
"PC3"	3.321	"PC11"	13.111																																										
"PC4"	19.043	"PC12"	3.275																																										
"PC5"	9.967																																												

“...Continuación”

<p>Distancia de Cook sobre 0,5 y 1 Km. por estación</p> <table border="0"> <tr><td>Jauja</td><td>44-29</td></tr> <tr><td>Matucana</td><td>21-7</td></tr> <tr><td>Marcapomacocha</td><td>0-0</td></tr> <tr><td>Huarochari</td><td>13-4</td></tr> <tr><td>Pariacancha</td><td>0-0</td></tr> <tr><td>Carhuacayan</td><td>2-0</td></tr> <tr><td>Yantac</td><td>0-0</td></tr> <tr><td>Santa Cruz</td><td>1-0</td></tr> <tr><td>Pallac</td><td>23-6</td></tr> <tr><td>Santa Eulalia</td><td>57-31</td></tr> <tr><td>Pirca</td><td>5-2</td></tr> <tr><td>Lachaqui</td><td>3-1</td></tr> <tr><td>Huaros</td><td>2-1</td></tr> <tr><td>Carampoma</td><td>13-5</td></tr> <tr><td>Santiago De Tuna</td><td>27-6</td></tr> <tr><td>Antioquia</td><td>55-29</td></tr> <tr><td>San Lazaro De Escomarca</td><td>18-8</td></tr> <tr><td>Huañec</td><td>12-7</td></tr> <tr><td>Ayaviri</td><td>8-1</td></tr> <tr><td>Tanta</td><td>3-2</td></tr> <tr><td>Carania</td><td>23-5</td></tr> <tr><td>Vilca</td><td>23-7</td></tr> </table>	Jauja	44-29	Matucana	21-7	Marcapomacocha	0-0	Huarochari	13-4	Pariacancha	0-0	Carhuacayan	2-0	Yantac	0-0	Santa Cruz	1-0	Pallac	23-6	Santa Eulalia	57-31	Pirca	5-2	Lachaqui	3-1	Huaros	2-1	Carampoma	13-5	Santiago De Tuna	27-6	Antioquia	55-29	San Lazaro De Escomarca	18-8	Huañec	12-7	Ayaviri	8-1	Tanta	3-2	Carania	23-5	Vilca	23-7	<p style="text-align: center;"><b>Diagrama de cajas</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Variograma exponencial</b></p> 
Jauja	44-29																																												
Matucana	21-7																																												
Marcapomacocha	0-0																																												
Huarochari	13-4																																												
Pariacancha	0-0																																												
Carhuacayan	2-0																																												
Yantac	0-0																																												
Santa Cruz	1-0																																												
Pallac	23-6																																												
Santa Eulalia	57-31																																												
Pirca	5-2																																												
Lachaqui	3-1																																												
Huaros	2-1																																												
Carampoma	13-5																																												
Santiago De Tuna	27-6																																												
Antioquia	55-29																																												
San Lazaro De Escomarca	18-8																																												
Huañec	12-7																																												
Ayaviri	8-1																																												
Tanta	3-2																																												
Carania	23-5																																												
Vilca	23-7																																												
<p><b>Experimento N°5563</b></p>																																													
<p>N° Estaciones:24 N° Componentes principales: 12</p>	<p>Parámetros del variograma exponencial: Sill 1, Range 4, Nugget 0.2</p>																																												
<p>Perfil de la regresión (análisis estadístico)</p>	<p>Gráficas resultantes de los predictores</p>																																												
<p>Modelos de regresión: resumen del ajuste del R<sup>2</sup></p> <table border="0"> <tr><td>"Min."</td><td>0.1515</td></tr> <tr><td>"1st Qu."</td><td>0.5726</td></tr> <tr><td>"Median"</td><td>0.7172</td></tr> <tr><td>"Mean"</td><td>0.6796</td></tr> <tr><td>"3rd Qu."</td><td>0.8282</td></tr> <tr><td>"Max."</td><td>0.9464</td></tr> </table> <p>Test de Fisher: Percentage of significant model: 95.7 Percentage of non-significant model: 4.3</p> <p>Test de Shapiro Wilk: Percentage of normal residual: 92.6 Percentage of non-normal residual: 7.4</p>	"Min."	0.1515	"1st Qu."	0.5726	"Median"	0.7172	"Mean"	0.6796	"3rd Qu."	0.8282	"Max."	0.9464	<p style="text-align: center;"><b>Análisis de componentes principales</b></p> 																																
"Min."	0.1515																																												
"1st Qu."	0.5726																																												
"Median"	0.7172																																												
"Mean"	0.6796																																												
"3rd Qu."	0.8282																																												
"Max."	0.9464																																												

**“...Continuación”**

<p>Factor de Inflación de la Varianza (VIF) para cada variable predictiva:</p> <table border="0"> <tr><td>"x"</td><td>13.95</td><td>"PC6"</td><td>5.821</td></tr> <tr><td>"y"</td><td>7.797</td><td>"PC7"</td><td>19.337</td></tr> <tr><td>"z"</td><td>14.533</td><td>"PC8"</td><td>8.466</td></tr> <tr><td>"PC1"</td><td>7.32</td><td>"PC9"</td><td>3.769</td></tr> <tr><td>"PC2"</td><td>12.391</td><td>"PC10"</td><td>6.339</td></tr> <tr><td>"PC3"</td><td>3.026</td><td>"PC11"</td><td>9.798</td></tr> <tr><td>"PC4"</td><td>12.866</td><td>"PC12"</td><td>2.30</td></tr> <tr><td>"PC5"</td><td>5.776</td><td></td><td></td></tr> </table> <p>Distancia de Cook sobre 0,5 y 1 Km. por estación</p> <table border="0"> <tr><td>Jauja</td><td>8-0</td></tr> <tr><td>Matucana</td><td>18-3</td></tr> <tr><td>Marcapomacocha</td><td>0-0</td></tr> <tr><td>Huachochiri</td><td>6-2</td></tr> <tr><td>Pariacancha</td><td>0-0</td></tr> <tr><td>Carhuacayan</td><td>1-0</td></tr> <tr><td>Yantac</td><td>1-0</td></tr> <tr><td>Santa Cruz</td><td>1-0</td></tr> <tr><td>Pallac</td><td>22-8</td></tr> <tr><td>Huamantanga</td><td>21-3</td></tr> <tr><td>Santa Eulalia</td><td>52-37</td></tr> <tr><td>Pirca</td><td>5-2</td></tr> <tr><td>Lachaqui</td><td>2-0</td></tr> <tr><td>Huaros</td><td>2-0</td></tr> <tr><td>Carampoma</td><td>4-1</td></tr> <tr><td>Santiago De Tuna</td><td>15-2</td></tr> <tr><td>Ricran</td><td>22-6</td></tr> <tr><td>Antioquia</td><td>49-28</td></tr> <tr><td>San Lazaro de Escomarca</td><td>17-2</td></tr> <tr><td>Huañec</td><td>10-6</td></tr> <tr><td>Ayaviri</td><td>11-1</td></tr> <tr><td>Tanta</td><td>2-0</td></tr> <tr><td>Carania</td><td>17-5</td></tr> <tr><td>Vilca</td><td>9-1</td></tr> </table>	"x"	13.95	"PC6"	5.821	"y"	7.797	"PC7"	19.337	"z"	14.533	"PC8"	8.466	"PC1"	7.32	"PC9"	3.769	"PC2"	12.391	"PC10"	6.339	"PC3"	3.026	"PC11"	9.798	"PC4"	12.866	"PC12"	2.30	"PC5"	5.776			Jauja	8-0	Matucana	18-3	Marcapomacocha	0-0	Huachochiri	6-2	Pariacancha	0-0	Carhuacayan	1-0	Yantac	1-0	Santa Cruz	1-0	Pallac	22-8	Huamantanga	21-3	Santa Eulalia	52-37	Pirca	5-2	Lachaqui	2-0	Huaros	2-0	Carampoma	4-1	Santiago De Tuna	15-2	Ricran	22-6	Antioquia	49-28	San Lazaro de Escomarca	17-2	Huañec	10-6	Ayaviri	11-1	Tanta	2-0	Carania	17-5	Vilca	9-1	<p style="text-align: center;"><b>Diagrama de cajas</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Variograma Exponencial</b></p> 
"x"	13.95	"PC6"	5.821																																																																														
"y"	7.797	"PC7"	19.337																																																																														
"z"	14.533	"PC8"	8.466																																																																														
"PC1"	7.32	"PC9"	3.769																																																																														
"PC2"	12.391	"PC10"	6.339																																																																														
"PC3"	3.026	"PC11"	9.798																																																																														
"PC4"	12.866	"PC12"	2.30																																																																														
"PC5"	5.776																																																																																
Jauja	8-0																																																																																
Matucana	18-3																																																																																
Marcapomacocha	0-0																																																																																
Huachochiri	6-2																																																																																
Pariacancha	0-0																																																																																
Carhuacayan	1-0																																																																																
Yantac	1-0																																																																																
Santa Cruz	1-0																																																																																
Pallac	22-8																																																																																
Huamantanga	21-3																																																																																
Santa Eulalia	52-37																																																																																
Pirca	5-2																																																																																
Lachaqui	2-0																																																																																
Huaros	2-0																																																																																
Carampoma	4-1																																																																																
Santiago De Tuna	15-2																																																																																
Ricran	22-6																																																																																
Antioquia	49-28																																																																																
San Lazaro de Escomarca	17-2																																																																																
Huañec	10-6																																																																																
Ayaviri	11-1																																																																																
Tanta	2-0																																																																																
Carania	17-5																																																																																
Vilca	9-1																																																																																
<p><b>Experimento N°5708</b></p>																																																																																	
<p>N° Estaciones:20 N° Componentes principales: 12</p>	<p>Parámetros del variograma exponencial: Sill 1, Range 4, Nugget 0.2</p>																																																																																
<p>Perfil de la regresión (análisis estadístico)</p>	<p>Gráficas resultantes de los predictores</p>																																																																																
<p>Modelos de regresión, resumen del ajuste del R<sup>2</sup></p> <table border="0"> <tr><td>"Min."</td><td>0</td></tr> <tr><td>"1st Qu."</td><td>0.4897</td></tr> <tr><td>"Median"</td><td>0.6293</td></tr> <tr><td>"Mean"</td><td>0.6003</td></tr> <tr><td>"3rd Qu."</td><td>0.7328</td></tr> <tr><td>"Max."</td><td>0.962</td></tr> </table>	"Min."	0	"1st Qu."	0.4897	"Median"	0.6293	"Mean"	0.6003	"3rd Qu."	0.7328	"Max."	0.962																																																																					
"Min."	0																																																																																
"1st Qu."	0.4897																																																																																
"Median"	0.6293																																																																																
"Mean"	0.6003																																																																																
"3rd Qu."	0.7328																																																																																
"Max."	0.962																																																																																

“...Continuación”

Test de Fisher:  
 Percentage of significant model: 92  
 Percentage of non-significant model: 8

Test de Shapiro Wilk:  
 Percentage of normal residual: 92  
 Percentage of non-normal residual: 8

Factor de Inflación de la Varianza (VIF)  
 para cada variable predictiva

"x"	96.29	"PC5"	9.803
"y"	85.046	"PC6"	9.7
"z"	64.406	"PC7"	93.043
"PC1"	24.976	"PC8"	8.866
"PC2"	153.596	"PC9"	12.541
"PC3"	5.049	"PC10"	18.927
"PC4"	15.161	"PC11"	13.53
		"PC12"	5.92

Distancia de Cook sobre 0,5 y 1 Km. por  
 estación

Jauja	20-12
Matucana	37-21
Marcapomacocha	0-0
Huachochiri	23-6
Pariacancha	0-0
Carhuacayan	3-0
Yantac	0-0
Santa Cruz	1-0
Pallac	33-14
Pirca	10-6
Lachaqui	10-4
Huaros	3-3
Carampoma	9-5
Santiago De Tuna	24-10
San Lazaro de Escomarca	19-8
Huañec	
Ayaviri	19-9
Tanta	25-11
Carania	3-1
Vilca	18-6
	22-7

Análisis de componentes principales

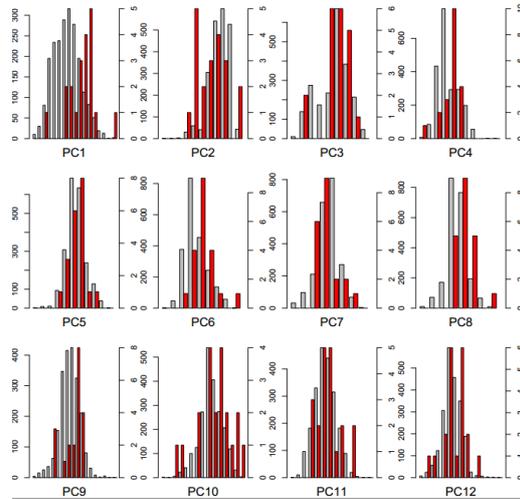
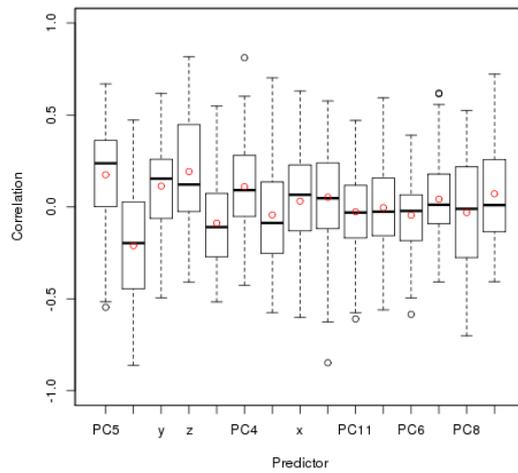
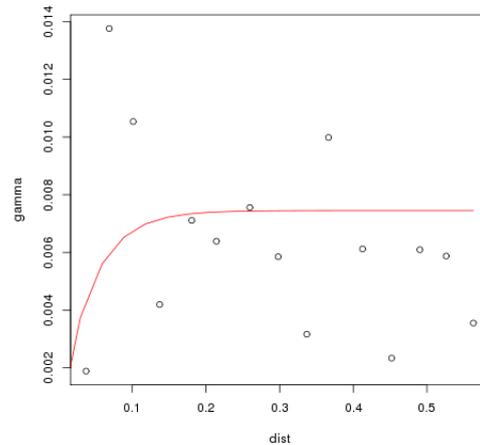


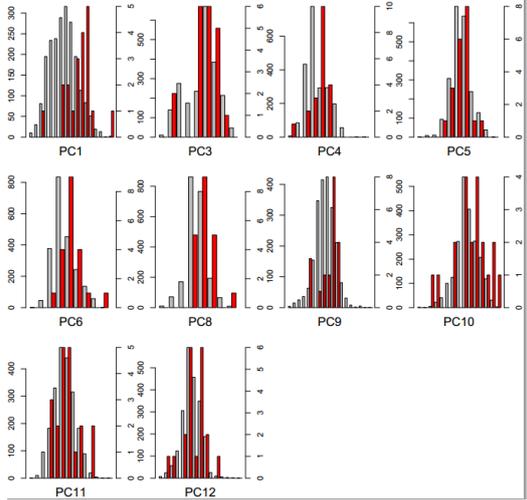
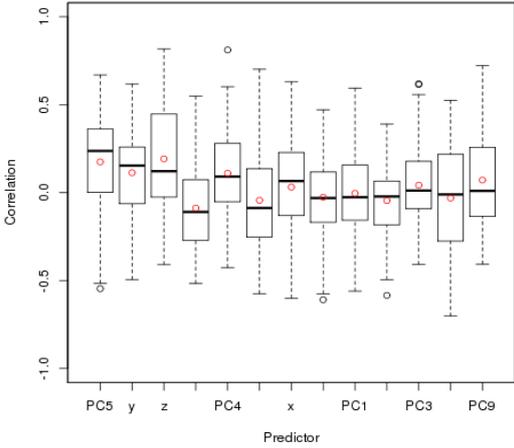
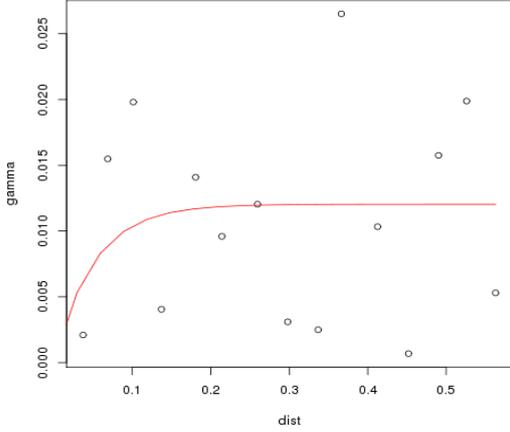
Diagrama de Cajas



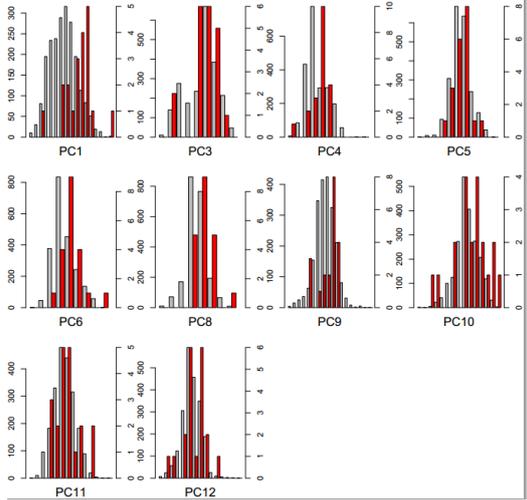
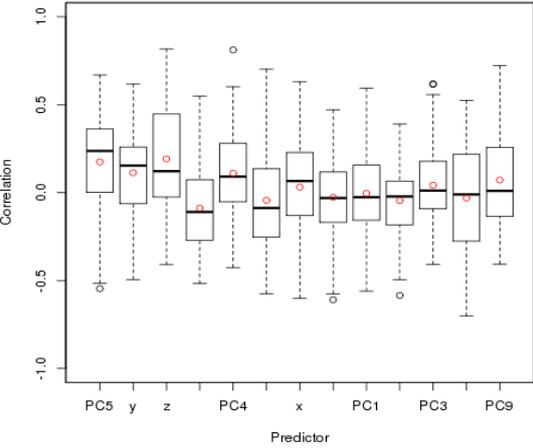
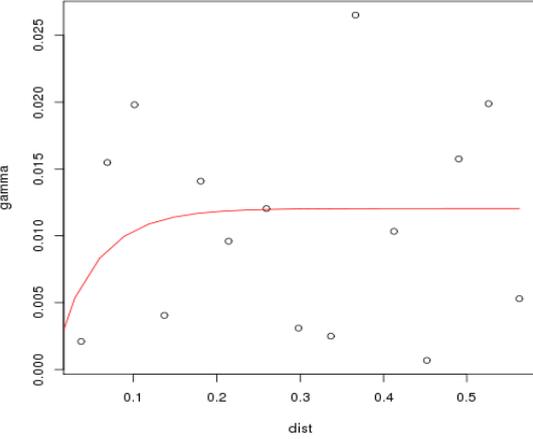
Variograma



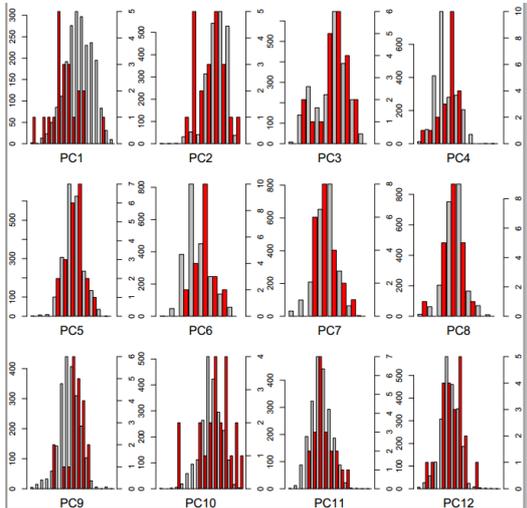
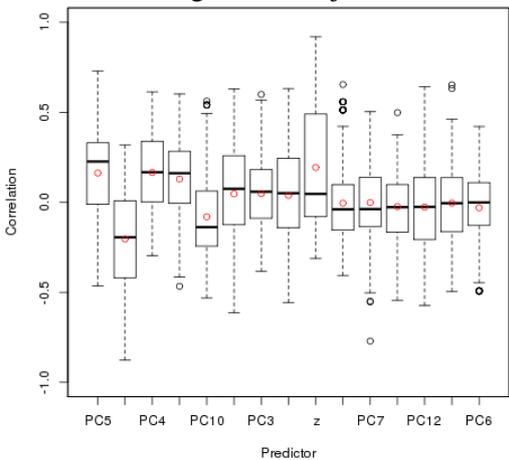
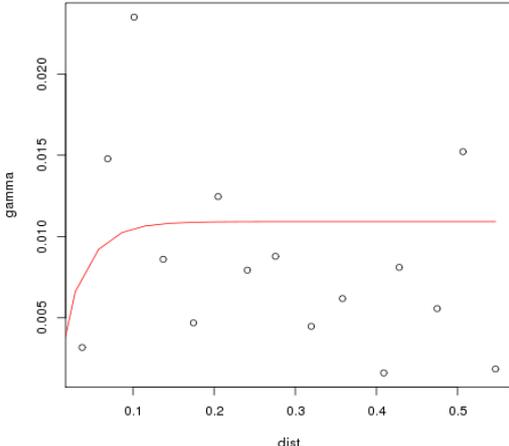
“...Continuación”

Experimento N°5710																																																							
N° Estaciones:20 N° Componentes principales: 10	Parámetros del variograma exponencial: Sill 1, Range 4, Nugget 0.2																																																						
Perfil de la regresión (análisis estadístico)	Gráficas resultantes de los predictores																																																						
<p>Modelos de regresión: resumen del ajuste del R<sup>2</sup></p> <p>"Min." 0            "1st Qu." 0.4714            "Median" 0.6053            "Mean" 0.5822            "3rd Qu." 0.7241            "Max." 0.9462</p> <p>Test de Fisher:            Percentage of significant model: 91            Percentage of non-significant model: 9</p> <p>Test de Shapiro Wilk:            Percentage of normal residual: 92.2            Percentage of non-normal residual: 7.8</p> <p>Factor de Inflación de la Varianza (VIF)</p> <table border="0"> <tr> <td>"x" 7.219</td> <td>"PC6" 5.253</td> </tr> <tr> <td>"y" 3.562</td> <td>"PC8" 6.28</td> </tr> <tr> <td>"z" 11.85</td> <td>"PC9" 5.028</td> </tr> <tr> <td>"PC1" 9.486</td> <td>"PC10" 2.835</td> </tr> <tr> <td>"PC3" 2.335</td> <td>"PC11" 7.773</td> </tr> <tr> <td>"PC4" 3.554</td> <td>"PC12" 5.862</td> </tr> <tr> <td>"PC5" 6.637</td> <td></td> </tr> </table> <p>Distancia de Cook sobre 0,5 y 1 Km. por estación</p> <table border="0"> <tr> <td>Jauja</td> <td>28-11</td> </tr> <tr> <td>Matucana</td> <td>28-14</td> </tr> <tr> <td>Marcapomacocha</td> <td>0-0</td> </tr> <tr> <td>Huaroquiri</td> <td>17-6</td> </tr> <tr> <td>Pariacancha</td> <td>0-0</td> </tr> <tr> <td>Carhuacayan</td> <td>0-0</td> </tr> <tr> <td>Yantac</td> <td>2-0</td> </tr> <tr> <td>Santa Cruz</td> <td>1-1</td> </tr> <tr> <td>Pallac</td> <td>42-21</td> </tr> <tr> <td>Pirca</td> <td>11-6</td> </tr> <tr> <td>Lachaqui</td> <td>6-3</td> </tr> <tr> <td>Huaros</td> <td>4-3</td> </tr> <tr> <td>Carampoma</td> <td>10-6</td> </tr> <tr> <td>Santiago De Tuna</td> <td>18-8</td> </tr> <tr> <td>San Lazaro de Escomarca</td> <td>16-7</td> </tr> <tr> <td>Huañec</td> <td>15-9</td> </tr> <tr> <td>Ayaviri</td> <td>33-15</td> </tr> <tr> <td>Tanta</td> <td>3-1</td> </tr> <tr> <td>Carania</td> <td>11-6</td> </tr> <tr> <td>Vilca</td> <td>17-5</td> </tr> </table>	"x" 7.219	"PC6" 5.253	"y" 3.562	"PC8" 6.28	"z" 11.85	"PC9" 5.028	"PC1" 9.486	"PC10" 2.835	"PC3" 2.335	"PC11" 7.773	"PC4" 3.554	"PC12" 5.862	"PC5" 6.637		Jauja	28-11	Matucana	28-14	Marcapomacocha	0-0	Huaroquiri	17-6	Pariacancha	0-0	Carhuacayan	0-0	Yantac	2-0	Santa Cruz	1-1	Pallac	42-21	Pirca	11-6	Lachaqui	6-3	Huaros	4-3	Carampoma	10-6	Santiago De Tuna	18-8	San Lazaro de Escomarca	16-7	Huañec	15-9	Ayaviri	33-15	Tanta	3-1	Carania	11-6	Vilca	17-5	<p>Análisis de componentes principales</p>  <p>Diagrama de Cajas</p>  <p>Variograma</p> 
"x" 7.219	"PC6" 5.253																																																						
"y" 3.562	"PC8" 6.28																																																						
"z" 11.85	"PC9" 5.028																																																						
"PC1" 9.486	"PC10" 2.835																																																						
"PC3" 2.335	"PC11" 7.773																																																						
"PC4" 3.554	"PC12" 5.862																																																						
"PC5" 6.637																																																							
Jauja	28-11																																																						
Matucana	28-14																																																						
Marcapomacocha	0-0																																																						
Huaroquiri	17-6																																																						
Pariacancha	0-0																																																						
Carhuacayan	0-0																																																						
Yantac	2-0																																																						
Santa Cruz	1-1																																																						
Pallac	42-21																																																						
Pirca	11-6																																																						
Lachaqui	6-3																																																						
Huaros	4-3																																																						
Carampoma	10-6																																																						
Santiago De Tuna	18-8																																																						
San Lazaro de Escomarca	16-7																																																						
Huañec	15-9																																																						
Ayaviri	33-15																																																						
Tanta	3-1																																																						
Carania	11-6																																																						
Vilca	17-5																																																						

“...Continuación”

Experimento N°5710																																																									
N° Estaciones:20 N° Componentes principales: 10	Parámetros del variograma exponencial: Sill 1, Range 4, Nugget 0.2																																																								
Perfil de la regresión (análisis estadístico)	Gráficas resultantes de los predictores																																																								
<p>Modelos de regresión: resumen del ajuste del R<sup>2</sup></p> <p>"Min." 0            "1st Qu." 0.4714            "Median" 0.6053            "Mean" 0.5822            "3rd Qu." 0.7241            "Max." 0.9462</p> <p>Test de Fisher:            Percentage of significant model: 91            Percentage of non-significant model: 9</p> <p>Test de Shapiro Wilk:            Percentage of normal residual: 92.2            Percentage of non-normal residual: 7.8</p> <p>Factor de Inflación de la Varianza (VIF)</p> <table border="0"> <tr> <td>"x" 7.219</td> <td>"PC6" 5.253</td> </tr> <tr> <td>"y" 3.562</td> <td>"PC8" 6.28</td> </tr> <tr> <td>"z" 11.85</td> <td>"PC9" 5.028</td> </tr> <tr> <td>"PC1" 9.486</td> <td>"PC10" 2.835</td> </tr> <tr> <td>"PC3" 2.335</td> <td>"PC11" 7.773</td> </tr> <tr> <td>"PC4" 3.554</td> <td>"PC12" 5.862</td> </tr> <tr> <td>"PC5" 6.637</td> <td></td> </tr> </table> <p>Distancia de Cook sobre 0,5 y 1 Km. por estación</p> <table border="0"> <tr> <td>Jauja</td> <td>28-11</td> </tr> <tr> <td>Matucana</td> <td>28-14</td> </tr> <tr> <td>Marcapomacocha</td> <td>0-0</td> </tr> <tr> <td>Huaroquiri</td> <td>17-6</td> </tr> <tr> <td>Pariacancha</td> <td>0-0</td> </tr> <tr> <td>Carhuacayan</td> <td>0-0</td> </tr> <tr> <td>Yantac</td> <td>2-0</td> </tr> <tr> <td>Santa Cruz</td> <td>1-1</td> </tr> <tr> <td>Pallac</td> <td>42-21</td> </tr> <tr> <td>Pirca</td> <td>11-6</td> </tr> <tr> <td>Lachaqui</td> <td>6-3</td> </tr> <tr> <td>Huaros</td> <td>4-3</td> </tr> <tr> <td>Carampoma</td> <td>10-6</td> </tr> <tr> <td>Santiago De Tuna</td> <td>18-8</td> </tr> <tr> <td>San Lazaro De</td> <td>16-7</td> </tr> <tr> <td>Escomarca</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Huañec</td> <td>15-9</td> </tr> <tr> <td>Ayaviri</td> <td>33-15</td> </tr> <tr> <td>Tanta</td> <td>3-1</td> </tr> <tr> <td>Carania</td> <td>11-6</td> </tr> <tr> <td>Vilca</td> <td>17-5</td> </tr> </table>	"x" 7.219	"PC6" 5.253	"y" 3.562	"PC8" 6.28	"z" 11.85	"PC9" 5.028	"PC1" 9.486	"PC10" 2.835	"PC3" 2.335	"PC11" 7.773	"PC4" 3.554	"PC12" 5.862	"PC5" 6.637		Jauja	28-11	Matucana	28-14	Marcapomacocha	0-0	Huaroquiri	17-6	Pariacancha	0-0	Carhuacayan	0-0	Yantac	2-0	Santa Cruz	1-1	Pallac	42-21	Pirca	11-6	Lachaqui	6-3	Huaros	4-3	Carampoma	10-6	Santiago De Tuna	18-8	San Lazaro De	16-7	Escomarca		Huañec	15-9	Ayaviri	33-15	Tanta	3-1	Carania	11-6	Vilca	17-5	<p>Análisis de componentes principales</p>  <p>Diagrama de cajas</p>  <p>Variograma</p> 
"x" 7.219	"PC6" 5.253																																																								
"y" 3.562	"PC8" 6.28																																																								
"z" 11.85	"PC9" 5.028																																																								
"PC1" 9.486	"PC10" 2.835																																																								
"PC3" 2.335	"PC11" 7.773																																																								
"PC4" 3.554	"PC12" 5.862																																																								
"PC5" 6.637																																																									
Jauja	28-11																																																								
Matucana	28-14																																																								
Marcapomacocha	0-0																																																								
Huaroquiri	17-6																																																								
Pariacancha	0-0																																																								
Carhuacayan	0-0																																																								
Yantac	2-0																																																								
Santa Cruz	1-1																																																								
Pallac	42-21																																																								
Pirca	11-6																																																								
Lachaqui	6-3																																																								
Huaros	4-3																																																								
Carampoma	10-6																																																								
Santiago De Tuna	18-8																																																								
San Lazaro De	16-7																																																								
Escomarca																																																									
Huañec	15-9																																																								
Ayaviri	33-15																																																								
Tanta	3-1																																																								
Carania	11-6																																																								
Vilca	17-5																																																								

“...Continuación”

Experimento N°5578	
N° Estaciones:21 N° Componentes principales: 12	Parámetros del variograma exponencial: Sill 1, Range 4, Nugget 0.2
Perfil de la regresión (análisis estadístico)	Gráficas resultantes de los predictores
Modelos de regresión: resumen del ajuste del R <sup>2</sup> "Min." 0.206 "1st Qu." 0.5774 "Median" 0.7237 "Mean" 0.6939 "3rd Qu." 0.8378 "Max." 0.9831  Test de Fisher: Percentage of significant model: 97.5 Percentage of non-significant model: 4.3  Test de Shapiro Wilk: Percentage of normal residual: 94.8 Percentage of non-normal residual: 5.2  Factor de Inflación de la Varianza (VIF) : "x" 63.273 "PC6" 16.312 "y" 56.671 "PC7" 82.498 "z" 73.918 "PC8" 19.463 "PC1" 27.255 "PC9" 5.557 "PC2" 24.31 "PC10" 12.838 "PC3" 3.449 "PC11" 13.621 "PC4" 53.243 "PC12" 4.294 "PC5" 13.427  Distancia de Cook sobre 0,5 y 1 Km. por estación Jauja 36-20 Matucana 17-4 Marcapomacocha 0-0 Huarochiri 14-3 Pariacancha 0-0 Carhuacayan 3-0 Yantac 1-0 Santa Cruz 1-0 Santa Eulalia 68-38 Pirca 6-2 Lachaqui 9-0 Huaros 4-1 Carampoma 11-2 Santiago De Tuna 45-22 Antioquia 64-40 San Lazaro de Escomarca 21-8 Huañec 19-14 Ayaviri 16-4 Tanta 2-1 Carania 27-7 Vilca 21-8	<p>Análisis de componentes principales</p>  <p>Diagrama de cajas</p>  <p>Variograma</p> 

“...Continuación”

Experimento N°5580	
N° Estaciones:21	Parámetros del variograma exponencial: Sill 1, Range 4, Nugget 0.2
N° Componentes principales: 12	
Perfil de la Regresión (análisis estadístico)	Gráficas resultantes de los predictores
Modelos de regresión: resumen del ajuste del R <sup>2</sup>	Análisis de Componentes Principales
"Min." 0.206	
"1st Qu." 0.5774	
"Median" 0.7237	
"Mean" 0.6939	
"3rd Qu." 0.8378	
"Max." 0.9831	
Test de Fisher:	
Percentage of significant model: 97.5	
Percentage of non-significant model: 4.3	
Test de Shapiro Wilk:	
Percentage of normal residual: 94.8	
Percentage of non-normal residual: 5.2	
Factor de Inflación de la Varianza (VIF)	Diagrama de cajas
"x" 63.273 "PC6" 16.312	
"y" 56.671 "PC7" 82.498	
"z" 73.918 "PC8" 19.463	
"PC1" 27.255 "PC9" 5.557	
"PC2" 24.31 "PC10" 12.838	
"PC3" 3.449 "PC11" 13.621	
"PC4" 53.243 "PC12" 4.294	
"PC5" 13.427	
Distancia de Cook sobre 0,5 y 1 Km. por estación	Variograma
Jauja 36-20	
Matucana 17-4	
Marcapomacocha 0-0	
Huachochiri 14-3	
Pariacancha 0-0	
Carhuacayan 3-0	
Yantac 1-0	
Santa Cruz 1-0	
Santa Eulalia 68-38	
Pirca 6-2	
Lachaqui 9-0	
Huaros 4-1	
Carampoma 11-2	
Santiago De Tuna 45-22	
Antioquia 64-40	
San Lazaro de Escomarca 21-8	
Huañec 19-14	
Ayaviri 16-4	
Tanta 2-1	
Carania 27-7	
Vilca 21-8	

El experimento N° 5561 fue considerado como una línea de base de los parámetros y aspectos estadísticos para la optimización del análisis preliminar, dando inicio a la realización de experimentos adicionales, en los cuales se han ido modificando los ítems que caracterizan al experimento, como el número de estaciones, componentes principales, así como el tipo y parámetros de variograma. Se puede observar que en este experimento se obtienen buenos porcentajes para el test de Fisher y Shapiro – Wilk (debido a que van arriba del 90 por ciento en el porcentaje de significancia), siendo sus valores respectivos de 98.5 por ciento para la significancia del modelo y 90.6 por ciento para la normalidad de residuales. Estos valores nos indican que la información que ha sido procesada en el análisis preliminar, por parte de las variables predictoras (“X”, “Y”, “Z”, distancia al mar y los componentes principales) se encuentra bastante ajustada en su distribución respecto a los residuales. Asimismo la mediana obtenida del ajuste de regresión  $R^2$  fue de 0.7324, lo que resulta un valor bastante aceptable debido a que este valor se encuentra por encima de 0.5. Sin embargo, con respecto al factor de inflación de la varianza (VIF), se visualiza que las variables predictoras distancia al mar, “X” e “Y”; presentan un valor muy por encima de lo normal o aceptable, que en este caso es el valor de 10. El hecho que estos predictores mantengan un VIF elevado, indican una redundancia de información en las variables predictoras, es decir, se tiene la misma información (de datos para la interpolación) con alta variabilidad en estos componentes principales.

La distancia de Cook para 0.5 y 1 Km. es un parámetro que indica cuan variable en información es una estación respecto a las demás y ha sido evaluado para cada una de las estaciones pluviométricas. Es así que las estaciones Huayán, Huamantanga, Santa Eulalia, Ricran, Antioquia, presentan un índice de Cook mayor al aceptable, notándose alta variabilidad respecto al total de las estaciones. Lo ideal es que los valores que se obtengan para las estaciones oscilen en un rango de 0 a 1, sin embargo por la gran cantidad de información (324 meses para el período de 1980 al 2006) así como por la sugerencia del equipo MOSAICC - Marruecos que trabajó con anterioridad el modelo, se consideró el cinco por ciento de la totalidad de datos mensuales como parámetro adecuado para distancia Cook. Del cálculo del cinco por ciento de 324 datos, se obtuvo un valor máximo de 16 para dicho parámetro.

En el análisis de componentes principales, se observaron que los histogramas que se han obtenido tras los experimentos, reflejan cuanta de la información de las estaciones se han contenido en cada uno de los componentes principales, sirviendo como guía referencial

para tomar sólo a aquellos componentes principales que aglomeren en un porcentaje mayor el total de la información. Asimismo, en el diagrama de cajas se puede considerar como guía referencial de los componentes principales a utilizar, ya que refleja la distribución de las puntuaciones de correlación entre las variables de predicción y los datos, tal que las variables predictoras han sido ordenadas según el valor absoluto de su correlación mediana. En cuanto a un buen ajuste, la mediana deberá encontrarse al centro de las cajas y si tienden a alejarse de cero indicaran una buena correlación y simetría de la distribución de los datos.

Los aspectos mencionados han sido tomados en cuenta para realizar los experimentos adicionales. Como primer paso a tomar, se eliminó el predictor "distancia al mar" ya que se ha probado el comportamiento como variable redundante, haciendo que los valores de "X" e "Y" se disparen. Como segundo punto de partida se tomó en consideración quitar aquellas estaciones que han obtenido una distancia Cook superior al indicado por el equipo de Marruecos, pero teniendo cuidado de no vulnerar la información disponible de la Cuenca Lurín. Por ello, las estaciones Santa Eulalia y Antioquía se mantuvieron en el análisis a pesar de tener un valor de distancia Cook elevado, ya que la primera estación se encuentra muy cercana a la cuenca, mientras que la segunda forma parte de las cuatro estaciones que se localizan dentro de la cuenca. Con respecto al modelo de variograma a utilizar, fue el variograma exponencial el que se ajustó mejor a la correlación de los datos, tomando en consideración el intervalo de los parámetros descritos en la Tabla 8 de la sección 0.3. Asimismo, se consideró el modelo anisotrópico para la representación de la información, debido a que toma en cuenta la distribución espacial y temporal, reflejando un mejor comportamiento de correlación espacial entre las muestras a diferencia del modelo isotrópico (ver sección 4.1.1.2).

Las mejores correlaciones se muestran en los experimentos N°5562, N° 5563 y N° 5578, dado que las cajas se tienden a alejar del cero, tanto para el lado positivo y negativo. Este detalle es un indicador de que las correlaciones se han ajustado mejor al modelo de regresión, evitando una fuerte multicolinealidad de datos que hará redundancia en la información de las estaciones meteorológicas.

En los experimentos N° 5708, N° 5710, N° 5578, N° 5580, se ha considerado restar en su totalidad a las estaciones que habían resultado con un alto índice de distancia Cook, sin embargo no representaban un mejor ajuste de los variogramas, como sí lo representa el

experimento elegido N° 5563. Cabe mencionar que a pesar que las estaciones que se encuentran dentro de la cuenca Lurín, que por términos de variabilidad en altitud y característica de los datos, generaban altos valores de distancia de Cook, se consideraron importantes para el para la interpolación con el método AURELHY, adecuando mejor a las características reales de la cuenca; por consiguiente se optó por escoger el experimento que haya considerado un mayor número de estaciones meteorológicas.

Del análisis de los parámetros estadísticos, el experimento N°5563 fue el que mejor se ajustó en cuanto a la información de la cuenca Lurín. Este experimento fue formulado con las variables predictoras: “X”, “Y” y los doce componentes principales, de manera que se omitió la variable predictora “distancia al mar”, ya que esta se comportaba como una variable redundante al tener un elevado valor de VIF. Asimismo, se consideró un total de 24 estaciones, omitiéndose la estación Huayán, la cual presentaba el mayor valor para el parámetro de distancia de Cook en el primer experimento. Respecto al variograma, se utilizó el tipo de variograma exponencial con los parámetros modificados (Sill 1, Range 4, Nugget 0.2), considerándose el más óptimo respecto al variograma esférico y gaussiano. Como resultado del experimento se obtuvo una mediana del ajuste de regresión  $R^2$  de 0.712, test de Fisher de 95.7 por ciento para la significancia del modelo, y test de Shapiro – Wilk igual a 92.6 por ciento.

### **6.1.2 Temperatura máxima**

Para el análisis preliminar de la temperatura máxima, se trabajó con 13 estaciones meteorológicas alrededor de la cuenca, en el periodo de 1980 al 2006.

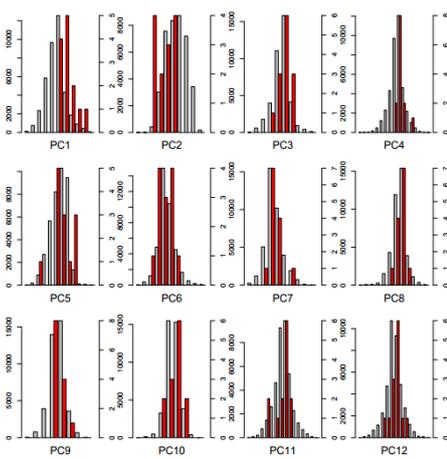
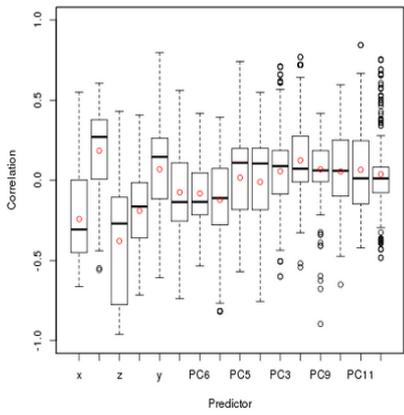
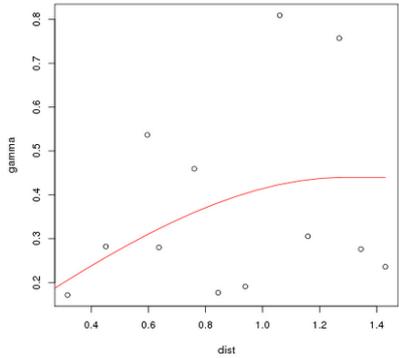
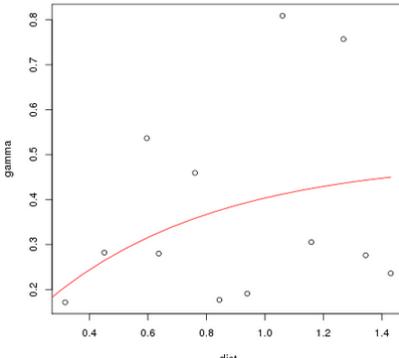
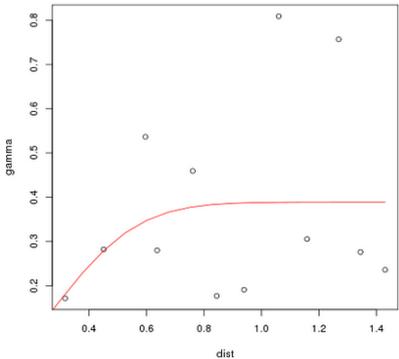
Se realizaron un total de treinta experimentos para la optimización del análisis preliminar de la variable temperatura máxima, sin embargo fueron nueve de ellos los que más se ajustaron a los indicadores estadísticos (ver Tabla 11).

**Tabla 11: Lista de experimentos de análisis preliminar realizado para temperatura máxima en el periodo de enero de 1980 a diciembre del 2006.**

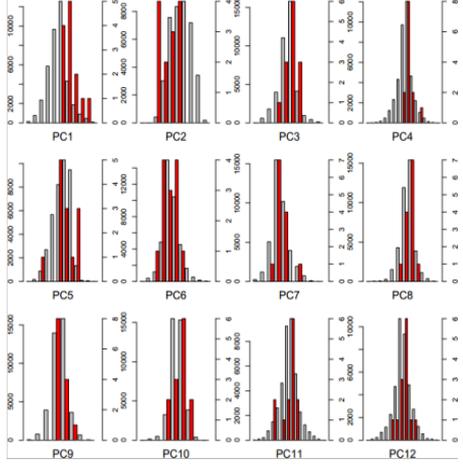
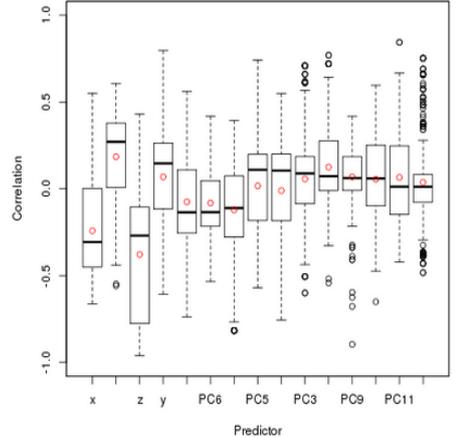
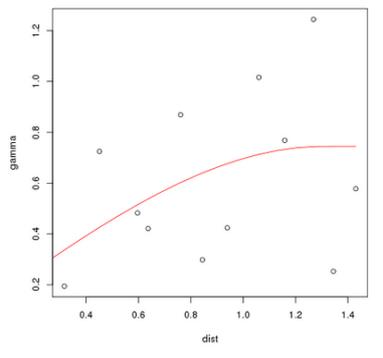
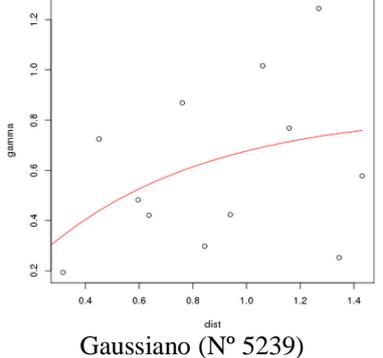
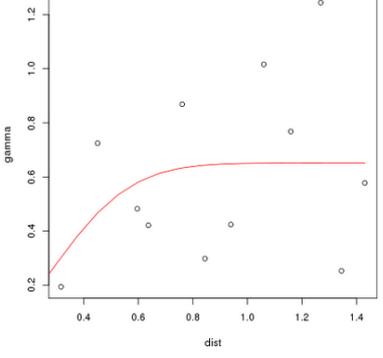
Código	Nombre	Tipo
5249	enero7_tmax_ani_esf_todo_A	Mensual, 14 estaciones
5251	enero7_tmax_ani_exp_todo_A	Mensual, 14 estaciones
5252	enero7_tmax_ani_gau_todo_A	Mensual, 14 estaciones
5238	enero7_tmax_ani_sferic_sdist_A	Mensual, 14 estaciones
5241	enero7_tmax_ani_exp_sdist_A	Mensual, 14 estaciones
5239	enero7_tmax_ani_gau_sdist_A	Mensual, 14 estaciones
5226	enero6_tmax_ani_sferic_sdist_huanc	Mensual, 13 estaciones
5247	enero7_tmax_ani_exp_sdist_huanc_A	Mensual, 13 estaciones
5245	enero7_tmax_ani_gau_sdist_huanc_A	Mensual, 13 estaciones

A continuación en la Tabla 12, se muestran a detalle los siete experimentos que se han realizado para ajustar los modelos de regresión y el variograma como parte del análisis preliminar realizado para la temperatura máxima. Se pueden apreciar los diagramas de cajas y los histogramas del análisis de componentes principales.

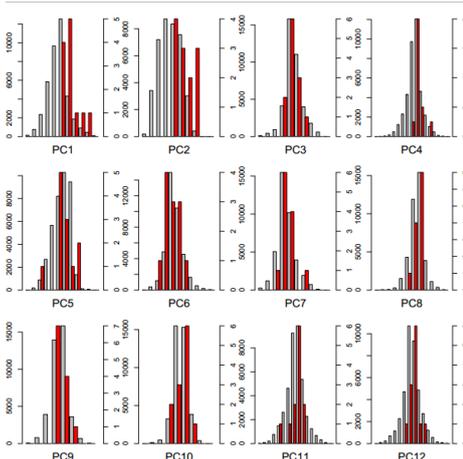
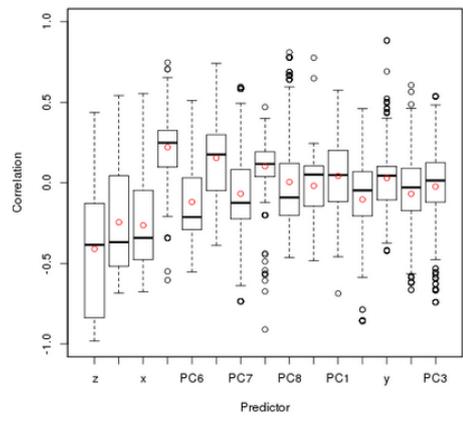
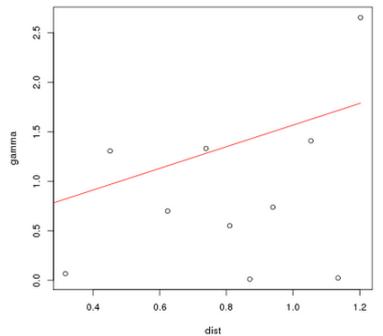
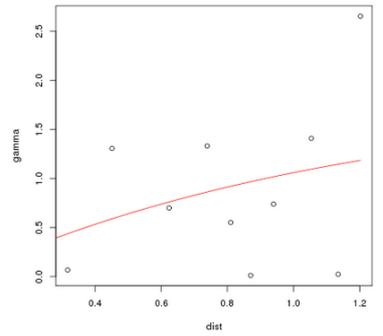
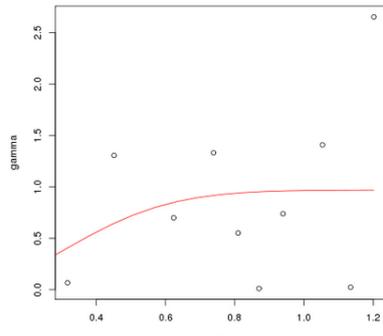
**Tabla 12: Lista de experimentos del análisis preliminar para temperatura máxima**

Experimento N° 5249, 5251 y 5252		
N° Estaciones: 13 N° Componentes principales: 12 Tipo de variograma: esférico (N° 5249), exponencial (N°5251) y gaussiano (N° 5252). Parámetros del variograma: Sill 1, Range 2, Nugget 0.2		
Perfil de la regresión (análisis estadístico)	Variogramas	
Modelos de regresión: resumen del ajuste del $R^2$  "Min." 0.2676 "1st Qu." 0.8756 "Median" 0.9341 "Mean" 0.8972 "3rd Qu." 0.9678 "Max." 0.9964  Test de Fisher Percentage of significant model: 99.1 Percentage of non-significant model: 0.9  Test de Shapiro-Wilk Percentage of normal residuals: 96.6 Percentage of non-normal residual: 3.4  Distancia de Cook sobre 0,5 y 1 Km. por estación  Huánuco 44-22 Alcantarilla 16-3 Jauja 6 - 1 Huayan 9 -3 Picoy 29-12 Ñaña 6 - 0 Matucana 65- 31 Marcapomac 57 -24 ocha Tarma 18 - 5 Huarochiri 27 - 7 Tunel Cero 50- 8 Hacienda 52 - 20 Bernales 24 - 11 Huayao 8 - 0	Análisis de componentes principales    Diagrama de cajas  	Esférico (N° 5249)    Exponencial (N° 5251)    Gaussiano (N° 5152)  

“...Continuación”

Experimento N° 5238, 5241 y 5239		
N° Estaciones: 14 N° Componentes principales: 12 Tipo de variograma: esférico (N° 5238), exponencial (N°5241) y gaussiano (N° 5239). Parámetros del variograma: Sill 1, Range 2, Nugget 0.2		
Perfil de la regresión (análisis estadístico)		Variogramas
Modelos de regresión: resumen del ajuste del $R^2$  "Min." 0.2676 "1st Qu." 0.8256 "Median" 0.8916 "Mean" 0.8644 "3rd Qu." 0.9387 "Max." 0.9953  Test de Fisher Percentage of significant model: 98.8 Percentage of non-significant model: 1.2  Test de Shapiro-Wilk Percentage of normal residuals: 97.5 Percentage of non-normal residuals: 2.5  Distancia de Cook sobre 0,5 y 1 Km. por estación  Huanuco 26-11 Alcantarilla 12-3 Jauja 0-0 Huayan 1-0 Picoy 25-12 Ñaña 6-1 Matucana 81-41 Marcapomac ocha 66-25 Tarma 15-4 Huarochiri 15-4 Tunnel Cero 61-8 Hacienda Bernales 78-30 Huayao 8-0	<b>Análisis de componentes principales</b>    <b>Diagrama de cajas</b>  	<b>Esférico (N° 5238)</b>    <b>Exponencial (N° 5241)</b>    <b>Gaussiano (N° 5239)</b>  

“...Continuación”

Experimento N° 5226, 5247 y 5245		
N° Estaciones: 13 N° Componentes principales: 12 Tipo de variograma: esférico (N° 5226), exponencial (N°5247) y gaussiano (N° 5245). Parámetros del variograma: Sill 1, Range 2, Nugget 0.2		
Perfil de la regresión (análisis estadístico)		Variogramas
Modelos de regresión: resumen del ajuste del R <sup>2</sup>  "Min." 0.3845 "1st Qu." 0.7959 "Median" 0.8785 "Mean" 0.8519 "3rd Qu." 0.9334 "Max." 0.996  Test de Fisher Percentage of significant model: 97.5 Percentage of non-significant model: 2.5  Test de Shapiro-Wilk Percentage of normal residuals: 98.1 Percentage of non-normal residuals: 1.9  Distancia de Cook sobre 0,5 y 1 Km. por estación  Alcantarilla 7-0 Jauja 7-0 Huayan 1-0 Picoy 43-26 Ñaña 6-2 Matucana 72-35 Marcapomac ocha 55-28 Tarma 40-18 Huarochiri 27-13 Tunel Cero 118-20  Hacienda Bernales 36-13 Huayao 13-0	<b>Análisis de componentes principales</b>   <b>Diagrama de cajas</b> 	<b>Esférico (N° 5226)</b>   <b>Exponencial (N° 5247)</b>   <b>Gausiano (N° 5245)</b> 

Los experimentos N° 5249, N° 5251 y N° 5252 han sido considerados como línea de partida, ya que se han seleccionado a todas las estaciones que se encontraban dentro del área de estudio, como también el total de las variables predictoras: “X”, “Y”, “Z”, distancia al mar y los doce componentes principales. Asimismo se utilizaron los mismos parámetros de variograma (Sill 1, Range 2, Nugget 0.2) para los tres experimentos, los cuales fueron elegidos de acuerdo a los criterios de la Tabla 8 en la sección 5.3.3.3. Cabe señalar que la única diferencia entre los tres experimentos fue el tipo de variograma utilizado: esférico (N° 5249), exponencial (N°5251) y gaussiano (N°5252).

Se han obtenido muy buenos porcentajes para el Test Fisher y Shapiro – Wilk en los resultados estadísticos de los tres experimentos, (debido a que van arriba de 95 por ciento en el porcentaje de significancia), tal que sus valores corresponden 99.1 por ciento para la significancia del modelo de Fisher y a 96.6 por ciento para la normalidad de residuales de Shapiro-Wilk. Estos valores nos indican que la información por parte de las variables predictoras se encuentra bastante ajustada en su distribución respecto a los residuales. Asimismo la mediana obtenida del ajuste de regresión  $R^2$  es de 0.934, por lo que resulta ser un valor bastante aceptable debido a que este valor se encuentra muy por encima de 0.5.

Con respecto al resultado del parámetro estadístico distancia Cook, este resultó ser muy elevado para la mayoría de estaciones, lo cual se traduce en que la información de los datos mensuales de temperatura máxima presentó una alta variabilidad. Las estaciones con un mayor valor para este parámetro son: Matucana, Ñana, Huarochiri, Tunel Cero y Huánuco, donde las tres primeras estaciones mencionadas son las más cercanas a la cuenca. Es preciso señalar que el sistema MOSAICC para esta variable, no registró ninguna estación meteorológica dentro de la cuenca Lurín, por ello se consideraron a las estaciones más cercanas como las más importantes, ya que estas contienen datos que describen mejor las características reales de la cuenca. Por consiguiente, si bien la distancia Cook no fue un parámetro determinante para la elección del experimento, ya que sus valores registrados fueron muy elevados, si fue un indicador clave para observar la variabilidad de la información.

Respecto a las gráficas resultantes de los mismos experimentos, se puede observar en el histograma de componentes principales que el PC6 es el componente que mejor representa la variable predictora al tener sus barras grises y rojas distribuidas similarmente. Este indicador estadístico sirvió como una guía referencial del contenido y distribución de

información en cada componente principal, por lo que no se eliminó ningún componente principal en los posteriores análisis. De igual modo se observa en el diagrama de cajas, que los rectángulos se encuentran alejados de cero, tanto para el lado positivo y negativo, esto indica que las correlaciones se han ajustado bien al modelo de regresión, evitando la multicolinealidad.

Los aspectos mencionados han sido tomados en cuenta para realizar los experimentos posteriores. Como primer paso a tomar, se eliminó el predictor "distancia al mar", como se hizo con la optimización de la variable precipitación, ya que se quería probar el comportamiento de la ausencia de esta variable predictora. Como resultado de estos experimentos (N° 5238, 5241 y 5239) se obtuvo una mediana de la regresión de  $R^2$  de 0.8916, Test de Fisher de 98.8 por ciento para la significancia del modelo, y Test de Shapiro – Wilk igual a 97.5 por ciento para la normalidad de residuales, siendo este último indicador estadístico el que se incrementó con respecto a los primeros experimentos realizados. Asimismo para el parámetro distancia Cook, se observa que el valor se incrementa ligeramente para las estaciones que obtuvieron un mayor valor en los experimentos anteriores y disminuye significativamente para las otras estaciones. Asimismo, respecto a los variogramas, se observa que estos mejoraron, siendo el tipo gaussiano (N°5239) el que mejor se ajustó a la correlación de los datos.

Seguidamente se tomó en consideración descartar aquellas estaciones que han obtenido una distancia Cook superior, pero teniendo cuidado de no vulnerar la información disponible de la cuenca Lurín; por ello en los experimentos N° 5526, 5247 y 5245 se eliminó la estación Huánuco, la cual es la más lejana entre todas las estaciones consideradas por el sistema MOSAICC. Como resultado de estos experimentos, se obtuvo una mediana de la regresión de  $R^2$  de 0.8785, Test de Fisher de 97.5 por ciento para la significancia del modelo, y Test de Shapiro – Wilk igual a 98.1 por ciento para la normalidad de residuales, siendo este último indicador estadístico el que se incrementó aún más con respecto a los primeros experimentos realizados. Respecto al parámetro distancia Cook, se observa que el valor se incrementa ligeramente para las estaciones con mayor valor y disminuye para las otras estaciones.

Del análisis de los experimentos, se optó por escoger el experimento N°5245, si bien se obtuvieron valores estadísticos muy buenos en todos los experimentos, el parámetro determinante fue el variograma; por consiguiente el variograma gaussiano de este

Experimento fue el que alcanzó el mejor ajuste de una función a una serie de puntos así como también fue el que mejor explicó el patrón de variabilidad espacial de la variable investigada. Este experimento fue formulado con 12 componentes principales en total, donde no se ha considerado la variable predictora distancia al mar, así como a la estación Huánuco debido a que al inicio del experimento, se obtuvo un valor elevado de distancia Cook y además es la estación más lejana de la cuenca. Se utilizó el tipo de variograma exponencial con los parámetros modificados (Sill 1, Range 2, Nugget 0.2).

### 6.1.3 Temperatura mínima

Para el análisis preliminar de la variable climática temperatura mínima, se trabajó con 12 estaciones meteorológicas alrededor de la cuenca.

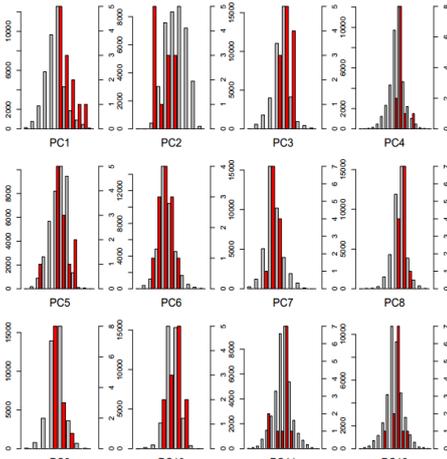
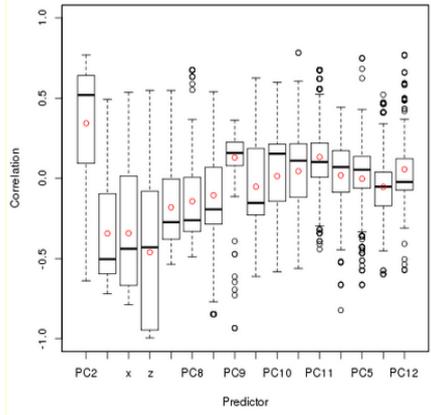
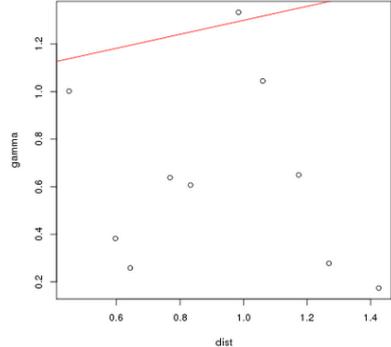
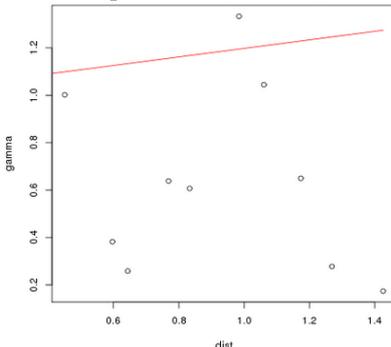
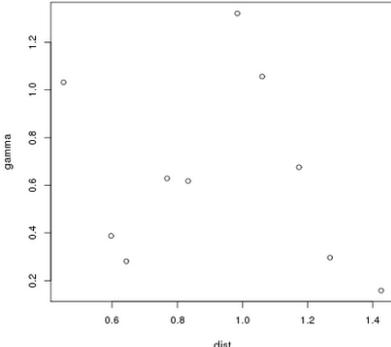
Se realizaron un total de veinte experimentos para la optimización del análisis preliminar de la variable temperatura mínima, sin embargo fueron nueve de ellos los que más se ajustaron a los indicadores estadísticos (ver Tabla 13).

**Tabla 13: Lista de experimentos de análisis preliminares realizados para temperatura mínima en el periodo de enero de 1980 a diciembre del 2006.**

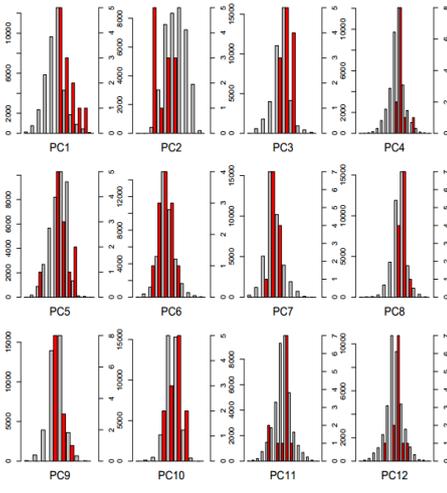
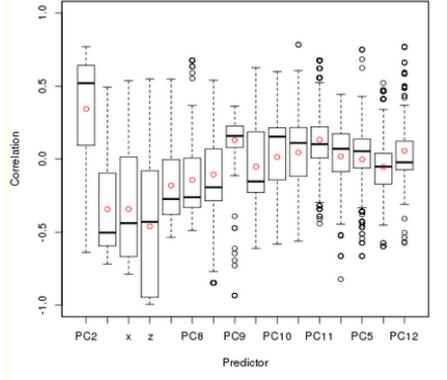
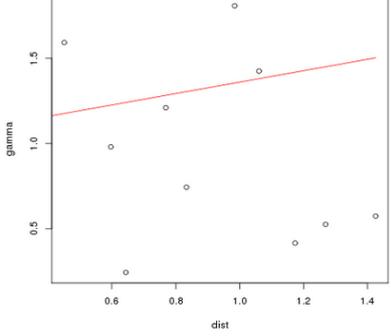
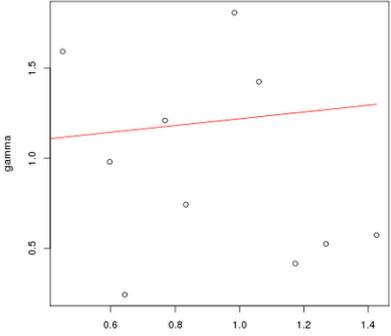
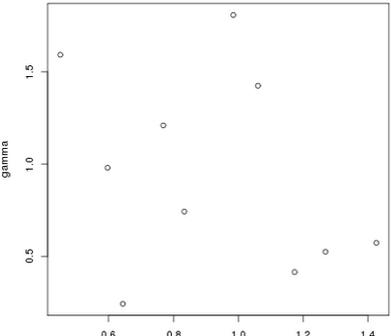
Código	Nombre	Tipo
5133	enero3_tmin_ani_esfr_T	Mensual, 12 estaciones
5134	enero3_tmin_ani_exp_T	Mensual, 12 estaciones
5135	enero3_tmin_ani_gau_T	Mensual, 12 estaciones
5278	enero8_Tmin_ani_esf_sdist_R4	Mensual, 12 estaciones
5281	enero8_tmin_ani_exp_sdist_R4	Mensual, 12 estaciones
5143	enero3_tmin_ani_gau_sdist	Mensual, 12 estaciones
5181	enero5_tmin_ani_esf_sdist_alcant_huanuc_R	Mensual, 11 estaciones
5291	enero8_tmin_ani_exp_sdist_huanc_alcantar_D	Mensual, 11 estaciones
5262	enero8_tmin_ani_gau_sdist_alcantarilla_huanc	Mensual, 11 estaciones

A continuación en la Tabla 14 se muestran a detalle los siete experimentos que se han realizado para ajustar los modelos de regresión y el variograma como parte del análisis preliminar realizado para la temperatura mínima. Se pueden apreciar los diagramas de cajas y los histogramas del análisis de componentes principales.

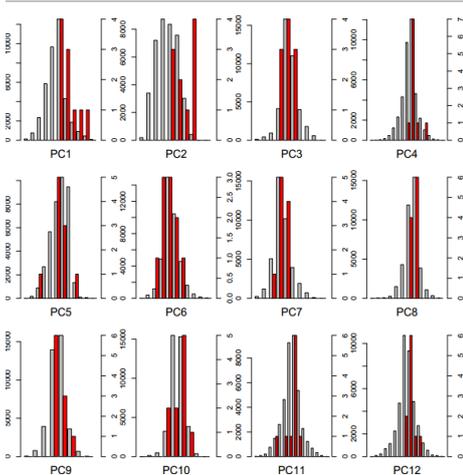
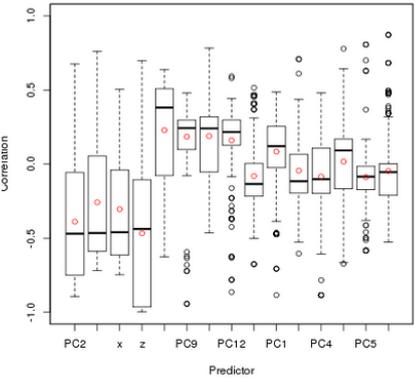
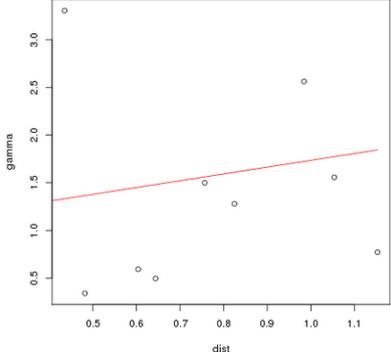
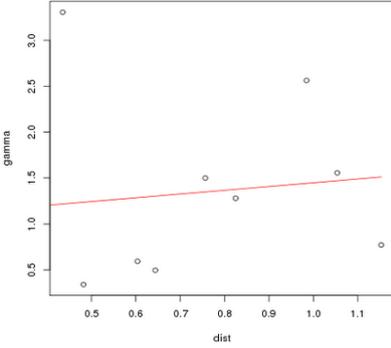
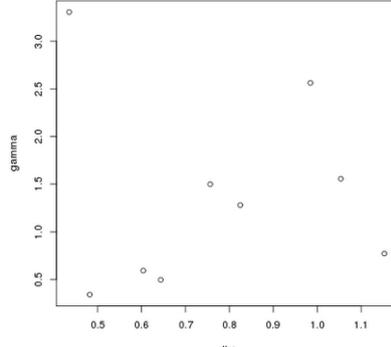
**Tabla 14: Lista de experimentos del análisis preliminar para temperatura mínima**

Experimento N° 5133, 5134 y 5135																												
N° Estaciones: 12 N° Componentes principales: 12 Tipo de variograma: esférico (N° 5133), exponencial (N°5134) y gaussiano (N° 5135) Parámetros del variograma: Sill 1, Range 4, Nugget 1																												
Perfil de la regresión (análisis estadístico)	Variogramas																											
<p>Modelos de regresión: resumen del ajuste del R<sup>2</sup></p> <p>"Min." 0.7601                      "1st Qu." 0.9311                      "Median" 0.9569                      "Mean" 0.9459                      "3rd Qu." 0.9754                      "Max." 0.9987</p> <p>Test de Fisher                      Percentage of significant model: 100                      Percentage of non-significant model: 0</p> <p>Test de Shapiro-Wilk                      Percentage of normal residuals: 95.1                      Percentage of non-normal residuals: 4.9</p> <p>Distancia de Cook sobre 0,5 y 1 Km. por estación</p> <table border="1"> <tr><td>Huánuco</td><td>95-41</td></tr> <tr><td>Alcantarilla</td><td>10-1</td></tr> <tr><td>Huayan</td><td>2-0</td></tr> <tr><td>Picoy</td><td>31-22</td></tr> <tr><td>Ñaña</td><td>21-3</td></tr> <tr><td>Matucana</td><td>83-21</td></tr> <tr><td>Marcapomacocha</td><td>94-46</td></tr> <tr><td>Tarma</td><td>28-3</td></tr> <tr><td>Tunel Cero</td><td>13-1</td></tr> <tr><td>Pilchaca</td><td></td></tr> <tr><td>Hacienda</td><td>22-1</td></tr> <tr><td>Bernales</td><td>22-1</td></tr> <tr><td>Huayao</td><td></td></tr> </table>	Huánuco	95-41	Alcantarilla	10-1	Huayan	2-0	Picoy	31-22	Ñaña	21-3	Matucana	83-21	Marcapomacocha	94-46	Tarma	28-3	Tunel Cero	13-1	Pilchaca		Hacienda	22-1	Bernales	22-1	Huayao		<p>Análisis de componentes principales</p>  <p>Diagrama de cajas</p> 	<p>Esférico (N° 5133)</p>  <p>Exponencial (N° 5134)</p>  <p>Gaussiano (N° 5135)</p> 
Huánuco	95-41																											
Alcantarilla	10-1																											
Huayan	2-0																											
Picoy	31-22																											
Ñaña	21-3																											
Matucana	83-21																											
Marcapomacocha	94-46																											
Tarma	28-3																											
Tunel Cero	13-1																											
Pilchaca																												
Hacienda	22-1																											
Bernales	22-1																											
Huayao																												

“...Continuación”

Experimento N° 5278, 5281 y 5143		
N° Estaciones: 11 N° Componentes principales: 12 Tipo de variograma: esférico (N° 5278), exponencial (N°5281) y gaussiano (N° 5143) Parámetros del variograma: Sill 1, Range 4, Nugget 0.5		
Perfil de la regresión (análisis estadístico)	Variogramas	
Modelos de regresión: resumen del ajuste del R <sup>2</sup>  "Min." 0.7701 "1st Qu." 0.9011 "Median" 0.9363 "Mean" 0.9262 "3rd Qu." 0.959 "Max." 0.9941  Test de Fisher Percentage of significant model:100 Percentage of non-significant model: 0  Test de Shapiro-Wilk Percentage of normal residuals: 95.4 Percentage of non-normal residuals:4.6  Distancia de Cook sobre 0,5 y 1 Km. por estación Huánuco 93-45 Alcantarill 14-9 a 8-0 Huayan 71-54 Picoy 24-8 Ñaña 73-43 Matucana 43-13 Marcapom acocha 2-1 Tarma 17-1 Tunnel Cero 10-0 Pilhaca Hacienda 32-5 Bernales 4-1 Huayao	<b>Análisis de componentes principales</b>   <b>Diagrama de cajas</b> 	<b>Esférico (N° 5278)</b>   <b>Exponencial (N° 5281)</b>   <b>Gaussiano (N° 5143)</b> 

“...Continuación”

Experimento N° 5181, 5291 y 5262		
N° Estaciones: 12 N° Componentes principales: 12 Tipo de variograma: esférico (N° 5181), exponencial (N°5291) y gaussiano (N° 5262) Parámetros del variograma: Sill 1, Range 4, Nugget 1		
Perfil de la regresión (análisis estadístico)	Variogramas	
Modelos de regresión: resumen del ajuste del R <sup>2</sup>  "Min." 0.7025 "1st Qu." 0.8983 "Median" 0.9319 "Mean" 0.9235 "3rd Qu." 0.9619 "Max." 0.9979  Test de Fisher Percentage of significant model: 99.7 Percentage of non-significant model: 0.3  Test de Shapiro-Wilk Percentage of normal residuals: 93.2 Percentage of non-normal residuals: 6.8  Distancia de Cook sobre 0,5 y 1 Km. por estación Huayan 14-7 Picoy 38-26 Naña 20-1 Matucana 48-13 Marcapomacocha 27-9 Tarma 20-2 Tunel Cero 74-14 Pilchaca 17-0 Hacienda Bernales 46-8 Huayao 14-4	<b>Análisis de componentes principales</b>    <b>Diagrama de cajas</b>  	<b>Esférico (N° 5181)</b>    <b>Exponencial (N° 5291)</b>    <b>Gaussiano (N° 5262)</b>  

Los experimentos N° 5133, N°5134 y N°5135 han sido considerados como una línea base de los parámetros y aspectos estadísticos, ya que fue realizado con todas las estaciones y variables predictoras. Para los tres experimentos se utilizaron los mismos parámetros de variograma (Sill 1, Range 4, Nugget 1), los cuales fueron elegidos de acuerdo a los criterios de la Tabla 8 de la sección 5.3.3.3; cabe señalar que se utilizó el tipo de variograma esférico para el N° 5133, exponencial para el N° 5134 y gaussiano para el N° 5135. Pues bien, se puede observar en los resultados de estos experimentos que se obtuvieron elevados porcentajes para el Test de Fisher un porcentaje de significancia del modelo de 100 por ciento y para la normalidad de los residuales de Shapiro – Wilk 95.1 por ciento, estos valores elevados nos indican que la información que ha sido procesada en el análisis preliminar, por parte de las variables predictoras (“X”, “Y”, “Z”, distancia al mar y los componentes principales) se encuentran bastante ajustados en su distribución respecto a los residuales. Asimismo la mediana obtenida del ajuste de regresión  $R^2$  es de 0.9569 lo que resulta un valor bastante aceptable debido a que este valor se encuentra muy por encima de 0.5.

En el caso del parámetro estadístico distancia Cook, este resultó elevado para la mayoría de estaciones, siendo los valores más altos para las estaciones de Huánuco, Matucana y Marcapomacocha, lo cual indica que estas estaciones presentan alta variabilidad en sus datos con respecto a los datos mensuales de las demás estaciones. El sistema MOSAICC no identificó ninguna estación meteorológica dentro de la cuenca Lurín, al igual que para la realización del análisis preliminar de la variable de temperatura máxima, por ello se consideró a las estaciones más cercanas como las más importantes, ya que estas describen mejor las características reales de la cuenca. Por consiguiente, si bien la distancia Cook no fue el parámetro estadístico determinante para la elección del experimento, ya que sus valores registrados fueron muy elevados, si fue un indicador clave para observar la variabilidad de la información. De igual modo se observa en el diagrama de cajas, que los rectángulos se encuentran alejados de cero, tanto para el lado positivo y negativo, esto indica que las correlaciones se han ajustado bien al modelo de regresión, evitando la multicolinealidad. Respecto al variograma, se observa que ninguno de los tres tipos de variograma se ajustó bien a la correlación de los datos.

El Factor de inflación de la varianza no ha sido presentado en la **Tabla 14**, debido que el sistema MOSAICC presenta a este parámetro de forma no convencional; sin embargo, es importante mencionar que el predictor distancia al mar presentó un elevado valor (mayor a

90), por lo que, se decidió excluir, para evitar la redundancia de los datos de la información.

Los aspectos mencionados han sido tomados en cuenta para realizar los experimentos posteriores. Como primer paso a tomar, se eliminó el predictor "distancia al mar", como se hizo con la optimización de la variable precipitación, ya que se quería probar el comportamiento de la ausencia de esta variable predictora. Como resultado de los experimentos N° 5278, N° 5281 y N° 5143, se obtuvo una mediana de la regresión de  $R^2$  de 0.9363, test de Fisher de 100 por ciento para la significancia del modelo, y Test de Shapiro – Wilk igual a 95.1 por ciento para la normalidad de residuales, siendo los valores de estos dos últimos parámetros estadísticos iguales a la serie de experimentos anteriores. Asimismo para el parámetro distancia Cook, se observa que los valores de algunas estaciones se elevan ligeramente, con excepción de Huayan y Ñana, sin embargo los valores de otras estaciones bajan significativamente como es el caso de Matucana y Marcapomacocha. Asimismo, respecto a los variogramas se observa que estos mejoraron, siendo el tipo exponencial (N°5281) el que mejor se ajustó a la correlación de los datos.

Para los siguientes experimentos, se consideró descartar aquellas estaciones que han obtenido un distancia Cook elevado, sin embargo ya que la mayoría de estaciones tiene este parámetro elevado, se eliminó las estaciones más lejanas a la cuenca (estaciones Huánuco y Alcantarilla) con el fin de no vulnerar la información disponible de la Cuenca Lurín. Por ello, como resultado de estos experimentos N° 5181, N° 5291 y N° 5262 se obtuvo una mediana de la regresión de  $R^2$  de 0.9319, test de Fisher de 99.7 por ciento para la significancia del modelo, y test de Shapiro – Wilk igual a 93.2 por ciento para la normalidad de residuales, sin embargo a pesar que haya disminuido estos valores estadísticos con respecto a los anteriores experimentos, se aprecia una mejora con el parámetro distancia Cook, se observa que los valores de algunas estaciones se elevan ligeramente, con excepción de Tarma; sin embargo los valores de otras estaciones bajan significativamente como es el caso de las que se encuentran más cercanas a la cuenca: Matucana, Marcapomacocha y Ñana. También observa una mejora en los variogramas resultantes, respecto a los variogramas obtenidos en el inicio del análisis, se puede señalar que estos mejoraron, siendo el variograma tipo exponencial (N°5291) el que mejor se ajustó a la correlación de los datos de todos los experimentos realizados.

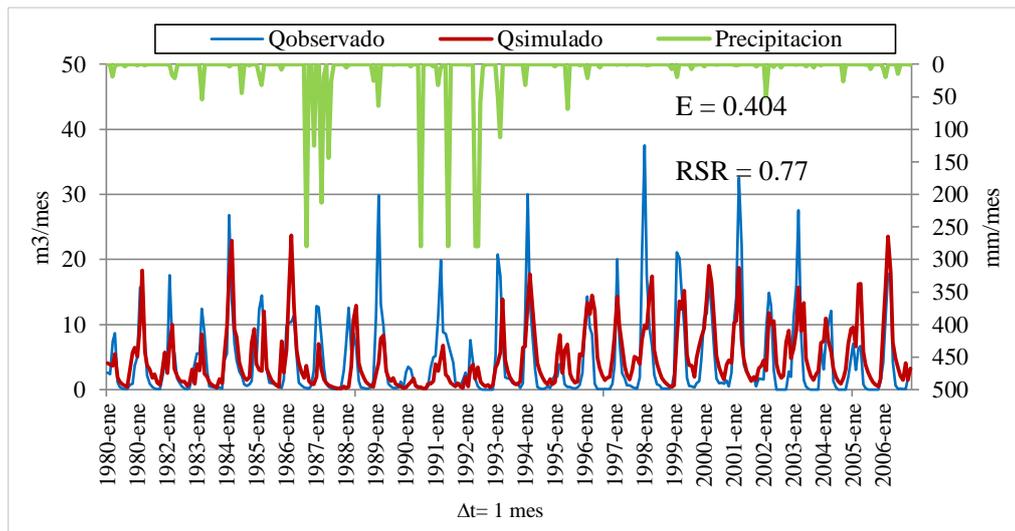
El experimento N°5291 fue el que mejor ajusto en cuanto a la información de la cuenca. Este experimento ha sido formulado con 12 componentes principales en total, donde no se ha considerado la variable predictora distancia al mar. Asimismo no se tomaron en cuenta las estaciones Huánuco y Alcantarilla, ya que estas al inicio, presentaban valores elevados del parámetro distancia Cook además que estas son las estaciones que se encuentran más alejadas de la cuenca. Se utilizó el tipo de variograma exponencial con los parámetros modificados (Sill 1, Range 4, Nugget 1), considerándose el variograma exponencial más óptimo respecto a los otros tipos de modelos de variograma.

Cabe indicar que para realizar la interpolación para las variables precipitación, temperatura máxima y mínima con el método AURELHY, se utilizaron las características optimizadas del análisis preliminar. Del mismo modo, para el cálculo de la evapotranspiración se utilizaron los experimentos correspondientes a la interpolación AURELHY de temperatura máxima y mínima. Estos archivos se encontraban internamente en el Sistema MOSAICC para su selección posterior.

## **6.2. Oferta hídrica con el modelo hidrológico STREAM**

### **6.2.1 Simulación inicial**

Una primera simulación del modelo se realizó en la estación Manchay para el periodo de enero 1980 a diciembre del 2006, obteniéndose la Figura 34, en que se visualiza el caudal simulado ( $m^3/mes$ ), el caudal observado ( $m^3/mes$ ) y la precipitación ( $mm/mes$ ). Se observa que, aunque si bien es notorio que algunos de los picos de los caudales observados son muy elevados respecto a los del caudal simulado en las siguientes fechas: 1982-02, 1987-02, 1989-02, 1991-03, 1993-02, 1994-02, 1997-02, 1998-01, 1993-03 y 2001-03; el caudal simulado mantiene la misma tendencia que el del observado a lo largo de todo el periodo. Asimismo, se obtuvo un índice de Nash de 0.404 y RSR de 0.77, lo cual refleja una simulación muy cercana ser “satisfactoria” según Tabla 3.



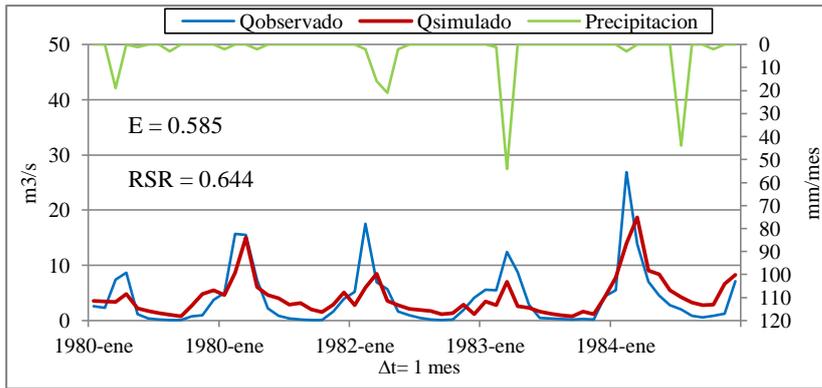
**Figura 34: Hidrograma del caudal observado y simulado por el modelo hidrológico STREAM en la estación hidrométrica Manchay de la cuenca Lurín. Periodo de análisis: Enero 1980 a Diciembre 2006.**

### 6.2.2 Calibración

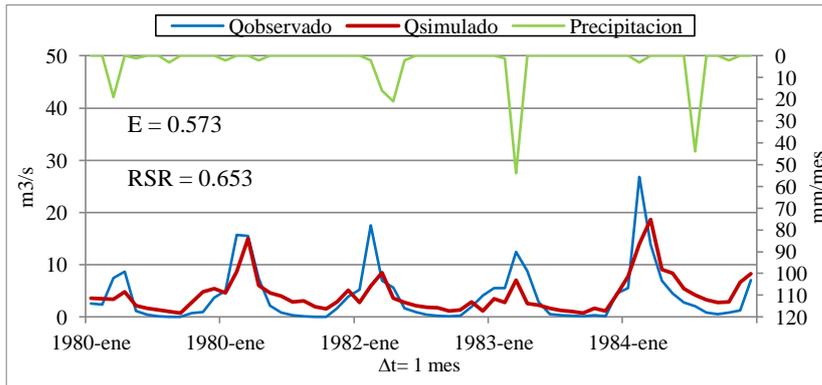
Se calibraron los cuatro parámetros del modelo hidrológico STREAM en la estación hidrométrica Manchay para un periodo de duración de Enero de 1980 a Diciembre de 1984. Los parámetros se fueron ajustando a través de la mejora de los índices de Nash y RSR. Para ello se realizaron siete pruebas, utilizando en cada una, diferentes valores de parámetros de calibración. Ver Figura 35 y **Figura 36**.

En las siete pruebas se ha mantenido el valor del parámetro CropFactor igual a 1, debido a que su influencia dentro de la simulación con el modelo hidrológico STREAM no es significativa, pues, este parámetro se ha recalculado automáticamente cuando se efectuó el cálculo de la evapotranspiración con Hargreaves, de modo que el modelo ya lo ha incorporado.

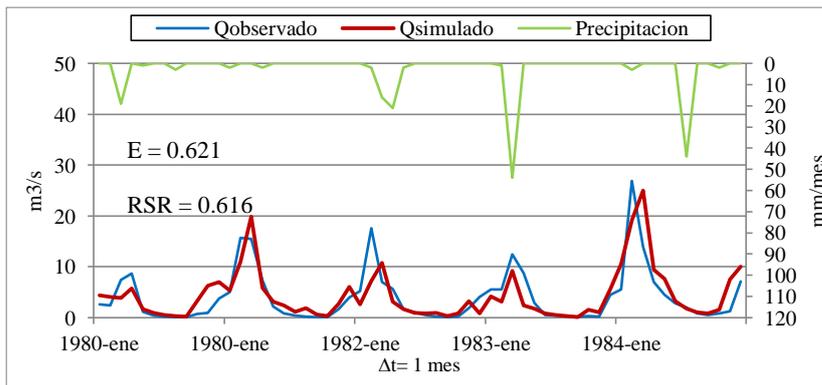
La última prueba (N° 7) resultó ser la más ajustada para el proceso de calibración, pues obtuvo el más alto índice de Nash igual a 0.631 y RSR 0.608, estos valores indican que la simulación fue “satisfactoria” bajo los parámetros de calibración seleccionados. Por consiguiente los valores de estos parámetros (CropFactor = 1, Groundwater fraction= 0.4, Waterholding layer = 1, y C Factor = 1), fueron utilizados para validar la simulación en el siguiente paso.



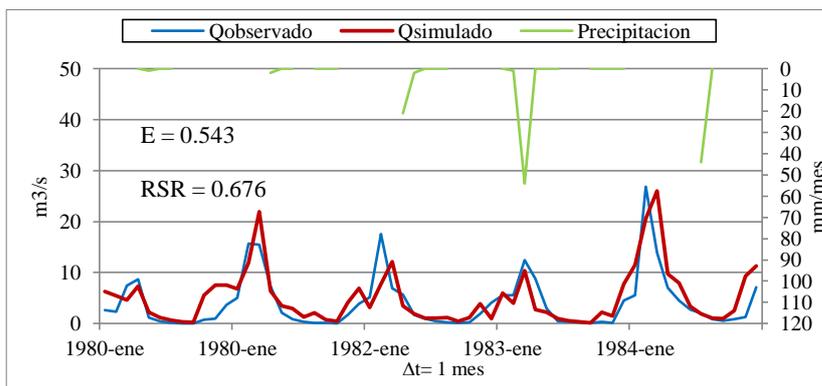
Prueba N°1 -Parámetros de calibración	
CropFactor	1
Groundwater	0.3
Waterholding Layer	1
C	1.5



Prueba N°2 -Parámetros de calibración	
CropFactor	1
Groundwater	0.3
Waterholding Layer	0.8
C	1.5

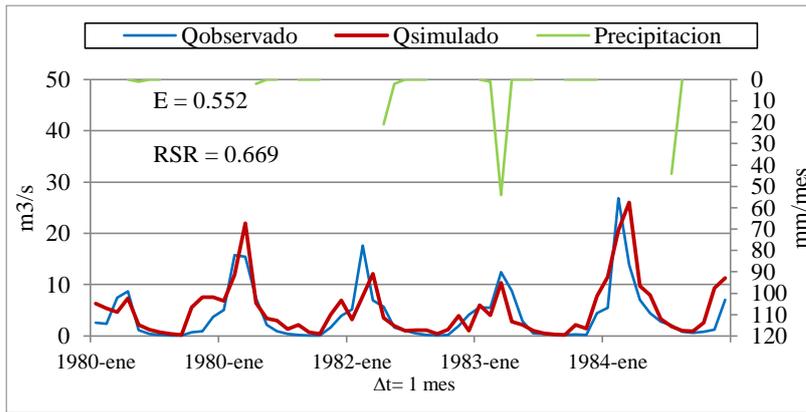


Prueba N°3 -Parámetros de calibración	
CropFactor	1
Groundwater	0.4
Waterholding Layer	1
C	0.8

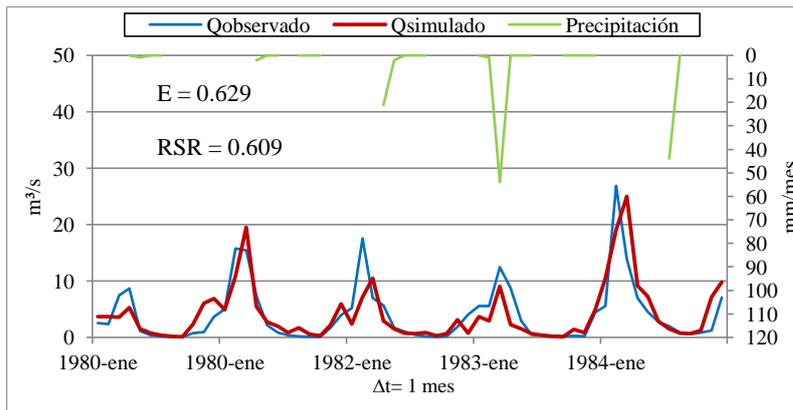


Prueba N°4 -Parámetros de calibración	
CropFactor	1
Groundwater	0.4
Waterholding Layer	0.8
C	0.8

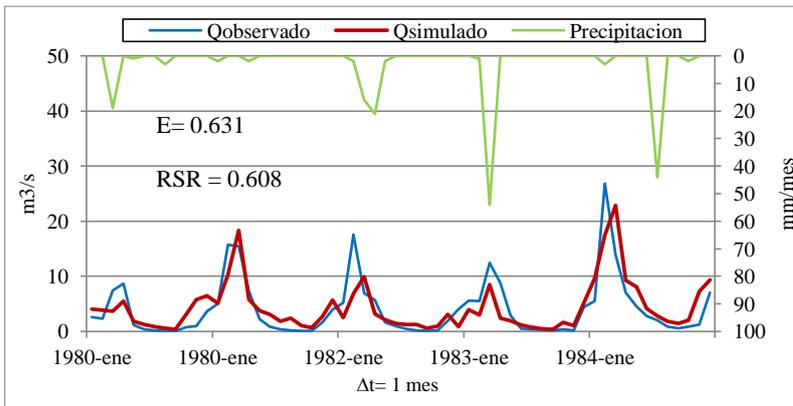
**Figura 35: Hidrogramas del caudal observado y simulado en las pruebas de calibración 1, 2, 3 y 4 en la estación hidrométrica Manchay para el periodo de enero 1980 a diciembre de 1984 (lado izquierdo). Indicadores de eficiencia de la calibración (lado derecho).**



Prueba N°5 -Parámetros de calibración	
CropFactor	1
Groundwater	0.4
Waterholding Layer	0.8
C	0.7



Prueba N°6 -Parámetros de calibración	
CropFactor	1
Groundwater	0.4
Waterholding Layer	1.1
C	0.7

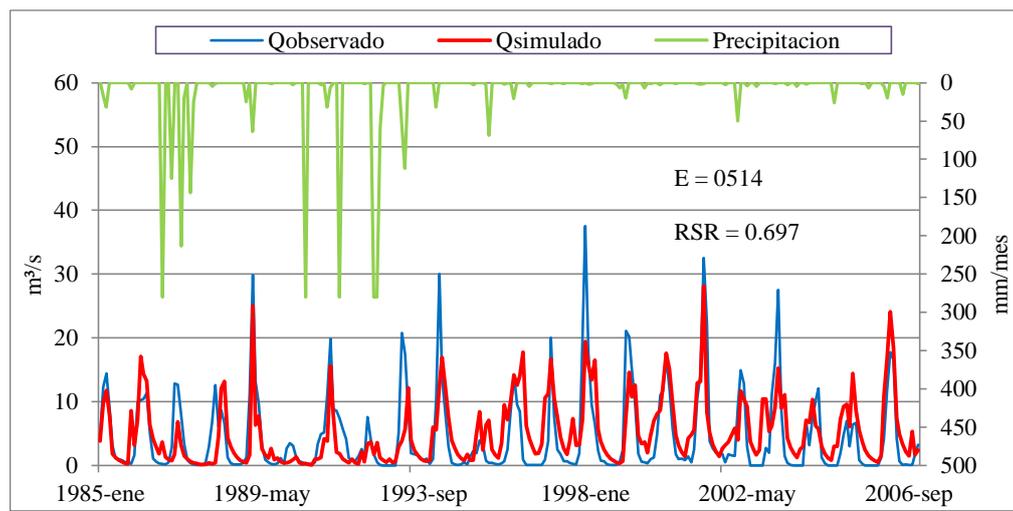


Prueba N°7 -Parámetros de calibración	
CropFactor	1
Groundwater	0.4
Waterholding Layer	1
C	1

**Figura 36: Hidrogramas del caudal observado y simulado en las pruebas de calibración 5, 6 y 7 en la estación hidrométrica Manchay para el periodo de enero 1980 a diciembre de 1984 (lado izquierdo). Indicadores de eficiencia de la calibración (lado derecho). En rojo los valores finales de los parámetros calibrados del modelo hidrológico STREAM**

### 6.2.3 Validación

Se realizó la validación temporal del modelo hidrológico STREAM en la estación hidrométrica Manchay para un periodo de enero de 1985 a diciembre del 2006 obteniéndose los hidrogramas que se visualizan en la Figura 37. Los parámetros empleados en la validación, son los obtenidos de la calibración: CropFactor = 1, Groundwater fraction= 0.4, Waterholding layer = 1, y C Factor = 1.

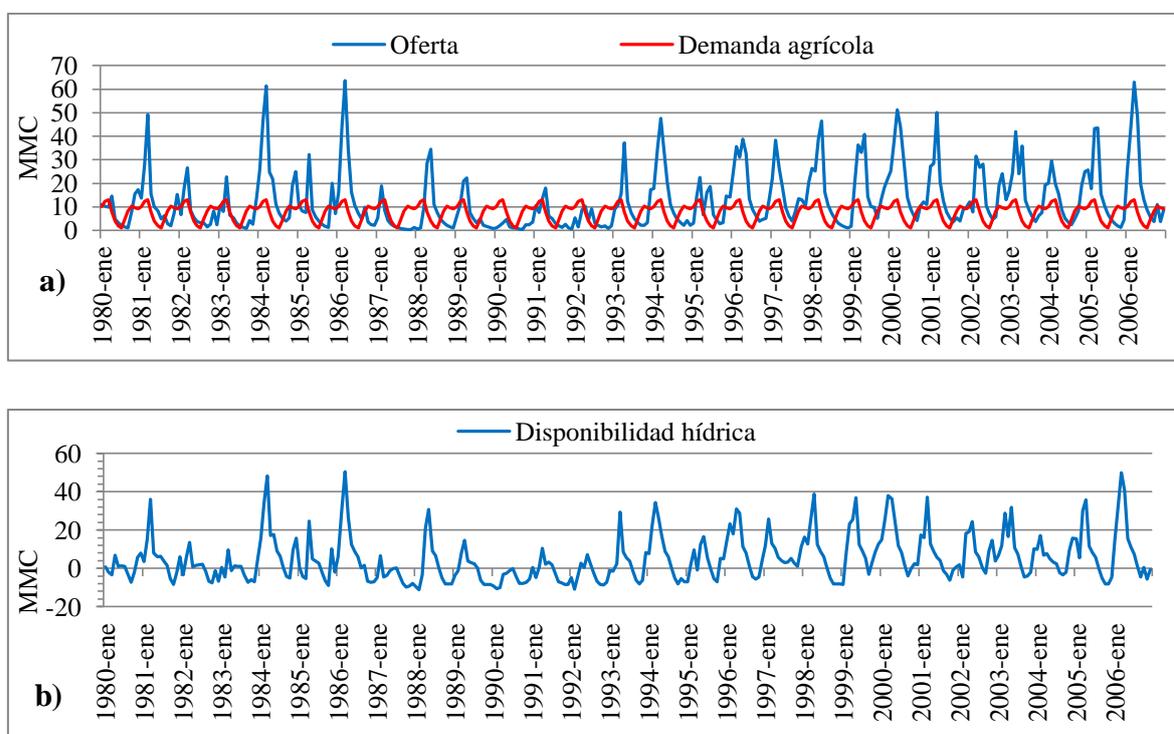


**Figura 37: Hidrograma observado y simulado de la validación temporal en la estación hidrométrica Manchay para un periodo de enero de 1985 a diciembre del 2006.**

Se obtuvo un valor del índice de Nash de 0.514 y un índice RSR igual a 0.697, los cuales se encuentran dentro del rango “satisfactorio”. Por otro lado, se tienen caudales mensuales simulados que van desde 0.11 a 24.34 m³/s.

### 6.3. Balance hídrico actual

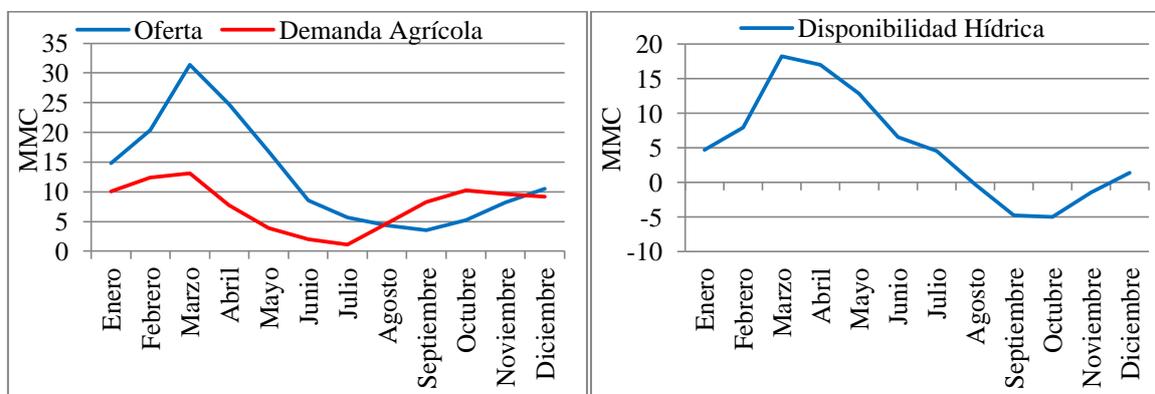
El resultado de la simulación final en el punto de aforo de la estación hidrométrica Manchay para el periodo de Enero de 1980 a Diciembre del 2006, se puede visualizar en la Figura 38 (a), donde se observa la oferta hídrica y la demanda agrícola presente. Por lo que se calculó la diferencia entre la oferta y demanda, obteniendo el balance hídrico para dicho periodo. De acuerdo a la Figura 38 (b), se observa que en promedio los mayores valores de déficit hídrico han sido durante los años 1988 (-53.46 MMC), 1990 (-67.28 MMC) y 1992 (-43.55 MMC). Los años con superávit hídrico debido a eventos de Fenómeno del niño han sido: 1982 (23.71 MMC) y 1983 (18.1 MMC), 1997 (108.54 MMC) y 1998 (100.39 MMC).



**Figura 38: Balance hídrico en la cuenca Lurín para el periodo de Enero de 1980 a Diciembre del 2006: (a) Oferta hídrica y demanda agrícola y (b) disponibilidad hídrica**

En general, de acuerdo al comportamiento de la oferta hídrica y demanda agrícola a nivel mensual, así como del balance hídrico (ver Figura 39) se observa que para el periodo de años evaluado (1980-2006) se mantiene una mayor disponibilidad hídrica durante los meses de Enero a Marzo, tal que su valor máximo de 18.27 MMC. Asimismo se observa

que el déficit hídrico se inicia partir de finales de Julio a inicios de Diciembre, siendo su valor máximo de  $-5\text{MMC}$ .

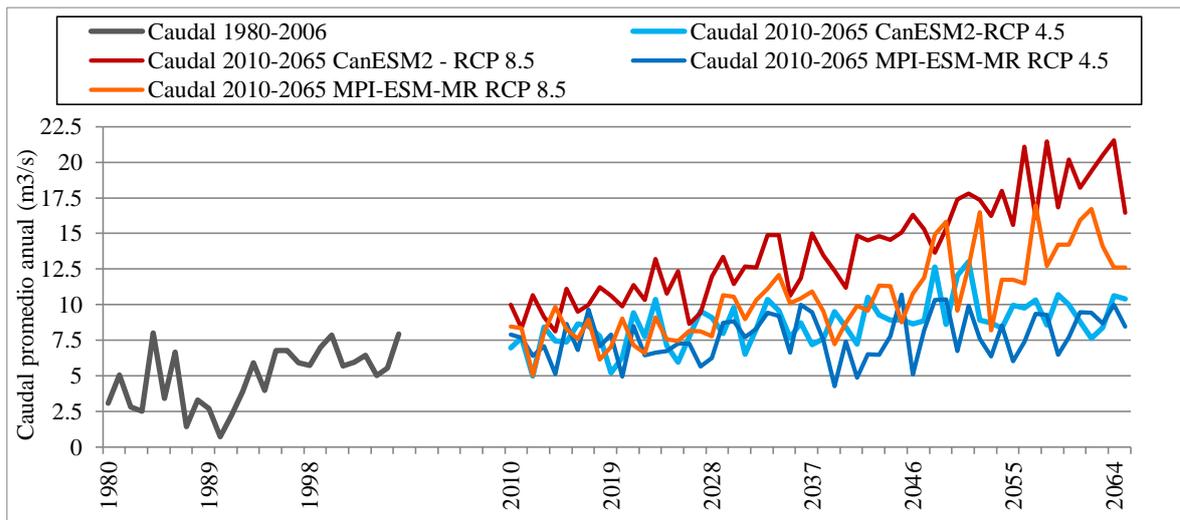


**Figura 39: Balance hídrico promedio a nivel mensual de enero 1980 a diciembre 2006 para la cuenca Lurín. Izquierda: oferta hídrica y demanda agrícola. Derecha: disponibilidad hídrica.**

#### 6.4. Oferta hídrica futura con el modelo hidrológico STREAM

Un escenario climático futuro es una representación plausible, que indica cómo posiblemente se comportará el clima en una región en una cierta cantidad de años, tomando en cuenta datos históricos y usando modelos climáticos de proyección (IPCC, 2007). Para el presente estudio, el periodo futuro a proyectar fue de Enero del 2010 a Diciembre del 2065 con los modelos climáticos CANESM2 y MPI-ESM-MR y dos escenarios de emisión RCP4.5 y RCP8.5. Por lo que se obtuvieron un conjunto de cuatro (4) proyecciones “pausibles”.

Se han utilizado los datos de precipitación y evapotranspiración interpolados, ajustados con los mismos parámetros obtenidos de la calibración del período de 1980-1984, para el punto de descarga ubicado en la estación hidrométrica Manchay. Es preciso mencionar que las proyecciones resultantes no son una declaración férrea de lo que va a ocurrir en el intervalo de años futuros evaluados, sino que pretende dar una idea de las condiciones que podrían presentarse dentro de la cuenca Lurín para efecto de toma de decisiones rápidas en referencia al contexto del cambio climático por parte de los actores principales de la cuenca. A continuación se muestran los resultados, en la Figura 40.



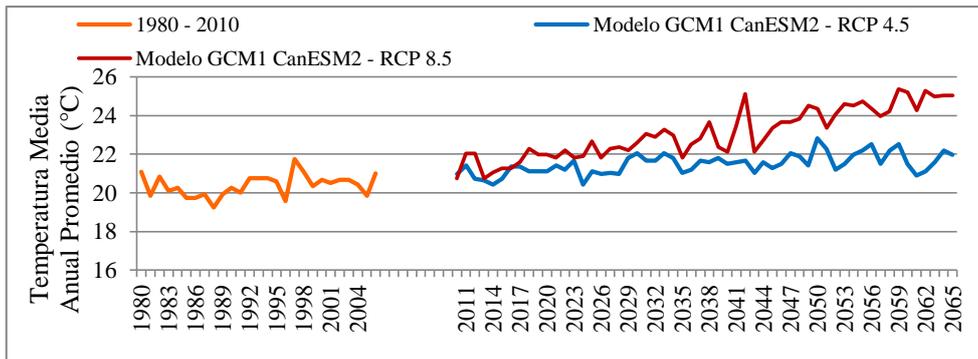
**Figura 40: Caudal promedio anual para el periodo histórico (línea ploma) y futuro en las cuatro proyecciones analizadas: CANES M2 RCP 4.5 (línea azul), CANES M2 RCP 8.5 (línea roja), MPI-ESM-MR RCP 4.5 (línea celeste) y MPI-ESM-MR 8.5 (línea naranja).**

De acuerdo a la figura anterior, se observa un incremento del caudal promedio anual hacia el periodo 2065 en 2.8 m<sup>3</sup>/s. dentro de lo que corresponde al escenario CANESM2- RCP 4.5. En dicho escenario, el caudal mantiene la misma tendencia hacia el periodo 2040, siendo a partir de este año que se incrementa ligeramente, tal que llega a un caudal máximo de 13.01 m<sup>3</sup>/s. Con respecto al escenario CANESM2-RCP 8.5, este resultó ser el escenario con el caudal mayor entre los cuatro analizados, evidenciándose un máximo valor de 15 m<sup>3</sup>/s en el periodo 2025-2040 y de 21.5 m<sup>3</sup>/s el periodo 2040-2065, siendo este último periodo en el que se observa un mayor incremento.

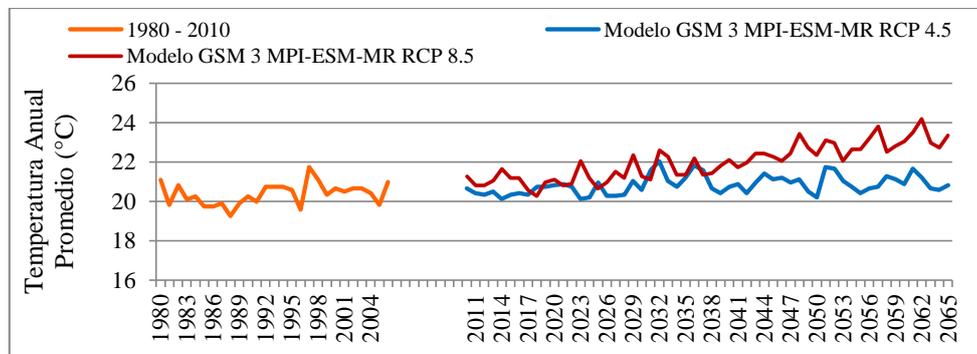
En contraste, en el modelo climático MPI-ESM-MR para el escenario RCP 8.5, se observó un menor incremento de caudal anual promedio respecto al modelo CANESM2 - RCP 8.5, siendo su máximo valor de caudal 12,1 m<sup>3</sup>/s durante el periodo 2025-2040, y de 17 m<sup>3</sup>/s el periodo 2040-2065, siendo este último tramo donde se observa un mayor incremento. Finalmente, respecto al escenario MPI-ESM-MR-RCP 4.5, se visualiza que el caudal promedio anual crece ligeramente respecto al caudal anual máximo histórico, manteniendo la misma tendencia durante todo el periodo 2025-2065. Cabe señalar que el presente escenario resultó tener los menores incrementos de caudales, entre los cuatro escenarios analizados, siendo el valor de su caudal anual promedio máximo y mínima de 10.7 m<sup>3</sup>/s y 4.2 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

Para el caso de las temperaturas en la cuenca Lurín, se analizaron las temperaturas medias promedio anual (°C) histórico y futuro para los cuatro proyecciones (CANESM2 RCP 4.5, CANESM2-RCP 4.5, MPI-ESM-MR- RCP 4.5 y MPI-ESM-MR RCP 8.5), tal como se muestra en la

Figura 41 y Figura 42.



**Figura 41: Evaluación de temperatura promedio anual histórico y futuro para el modelo CANESM2 en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. Línea naranja: temperatura promedio anual del periodo histórico. Línea azul: Escenario RCP 4.5. Línea roja: Escenario RCP 8.5.**



**Figura 42: Evaluación de temperatura promedio anual histórico y futuro para el modelo MPI-ESM-MR en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. Línea naranja: temperatura promedio anual del periodo histórico. Línea azul: Escenario RCP 4.5. Línea roja: Escenario RCP 8.5.**

De acuerdo a la Figura 41, en el escenario CANESM2 -RCP 4.5 se observa un incremento de 1.5 °C respecto al promedio histórico hasta el año 2029. En el tramo de años del 2030 al 2038 se aprecia un incremento en promedio de 0.7 °C, luego regresa al comportamiento inicial hasta el año 2050, donde las temperaturas se vuelven a incrementar ligeramente con

un valor máximo registrado de 22.82 °C para el año 2050 y mínimo de 21.96 °C para el año 2065.

En el caso del escenario CANESM2 - RCP 8.5 (ver Figura 41) la tendencia es constante hasta el año 2038, con una temperatura media promedio mínima de 20.73 °C y máxima de 23.6 °C. A partir del año 2040, la tendencia de temperaturas medias se incrementa con un mayor gradiente, llegando a una temperatura máxima de 25 °C para el año 2061. Lógicamente los incrementos de temperatura media han sido mayores para este escenario en comparación al escenario RCP 4.5 por las condiciones de aumento constante de emisiones de CO<sub>2</sub> hacia el año 2100, que representa el escenario climático.

De acuerdo a la **Figura 42**, en el escenario MPI-ESM-MR - RCP 4.5, los valores de temperatura promedio mantienen un comportamiento estable hasta el año 2028, con valores que oscilan entre 20 y 21.7 °C. En el periodo proyectado de 2029-2049 se observa el incremento de 0.6 °C respecto al tramo anterior, con una temperatura mínima de 20.6 y máxima de 22.3. A partir del año 2050 al 2065 las temperaturas medias anuales llegan a un pico de 21.7°C, evidenciándose un incremento promedio de 1°C respecto al tramo inicial comprendido del 2010-2028.

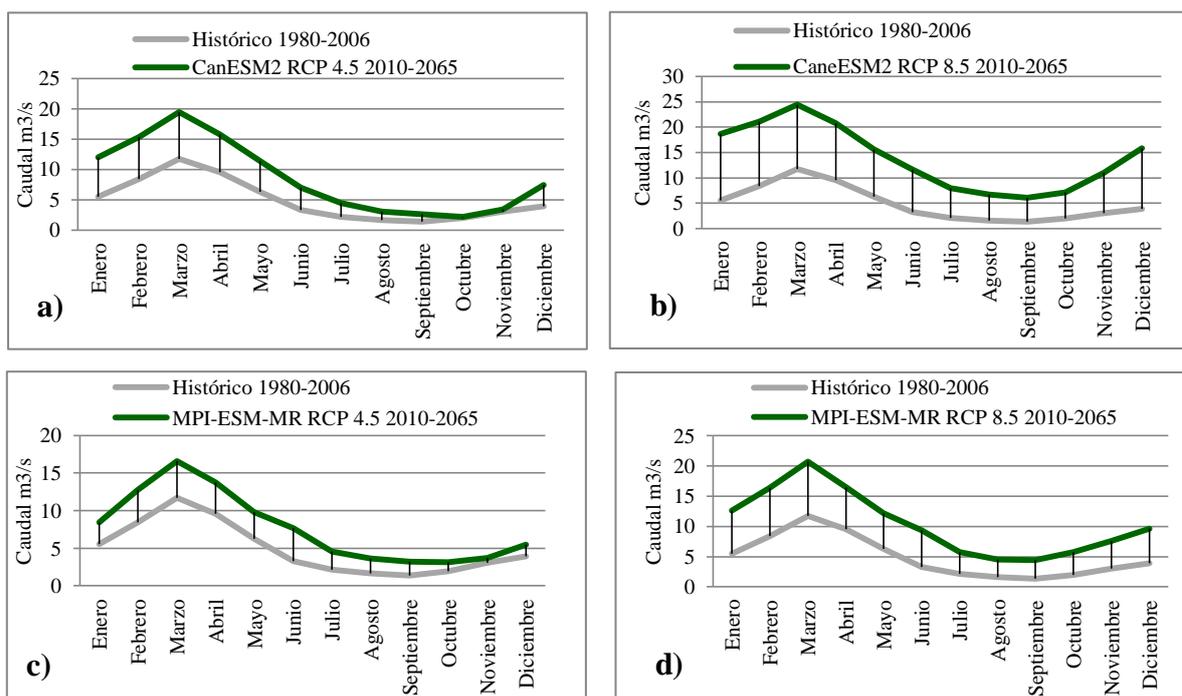
En el caso del escenario MPI-ESM-MR RCP 8.5 (ver **Figura 42**), la tendencia de incremento es bastante constante, comenzando con valores de temperatura promedio anual de 21.3°C para el año 2010 y 22.6 °C para el año 2034. Durante el año 2035 la temperatura promedio tiende a descender 0.5 °C, manteniendo un ritmo inestable térmico hasta el año 2043, siendo el año 2042 donde se alcanzaría un pico de 22.12 °C. Hacia el año 2044 en adelante, los incrementos de temperatura son más constantes, estando alrededor de los 23 °C hasta alcanzar 24.2 °C hacia el año 2062.

#### **6.4.1 Análisis de la variación del caudal y la temperatura futura**

Para un análisis más exhaustivo de los resultados, se calculó las diferencias porcentuales para los datos mensuales de caudales y temperatura media, obtenidos del periodo 1980-2006 frente a los resultados mensuales de 2010-2065 obtenidos para los cuatro escenarios analizados: CANESM2 - RCP 4.5, CANESM2 - RCP 8.5 y MPI-ESM-MR - RCP 4.5 y MPI-ESM-MR - RCP 8.5.

## Caudales

Se puede observar en la Figura 43 el contraste que se presenta para el caudal en la serie histórica 1980-2006 frente al escenario futuro 2010- 2065. Asimismo en la **Tabla 15**, se visualiza el cálculo de la diferencia porcentual entre el valor histórico y los cuatro escenarios evaluados (CANESM2 RCP 4.5, CANESM2 RCP 8.5 y MPI-ESM-MR RCP 4.5 y MPI-ESM-MR RCP 8.5).



**Figura 43: Variación del caudal a nivel mensual entre el periodo histórico y futuro para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): a) CANESM2 RCP 4.5, (b) CANESM2 RCP 8.5, (c) MPI-ESM-MR RCP 4.5 y (d) MPI-ESM-MR 8.5. Línea ploma: Caudal histórico en m<sup>3</sup>/s. Línea verde: Caudal futuro en m<sup>3</sup>/s.**

**Tabla 15: Diferencias porcentuales para los valores de caudal para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas respecto a los valores históricos 1980-2006**

Meses	Q (%) CaneESM2 RCP 4.5	Q (%) CaneESM2 RCP 8.5	Q (%) MPI- ESM-MR RCP 4.5	Q (%) MPI- ESM-MR RCP 8.5
Enero	118.11	237.91	53.32	128.39
Febrero	82.41	149.58	51.71	94.60
Marzo	66.16	108.85	41.54	77.13
Abril	65.09	117.12	44.31	72.81
Mayo	81.36	149.52	55.82	94.04
Junio	112.57	252.55	131.42	183.67
Julio	109.95	273.34	113.56	168.74
Agosto	86.49	312.22	125.27	175.81
Septiembre	91.21	346.52	135.34	224.60
Octubre	10.20	264.35	59.99	193.34
Noviembre	12.15	259.47	21.67	148.96
Diciembre	89.07	303.69	40.10	145.95

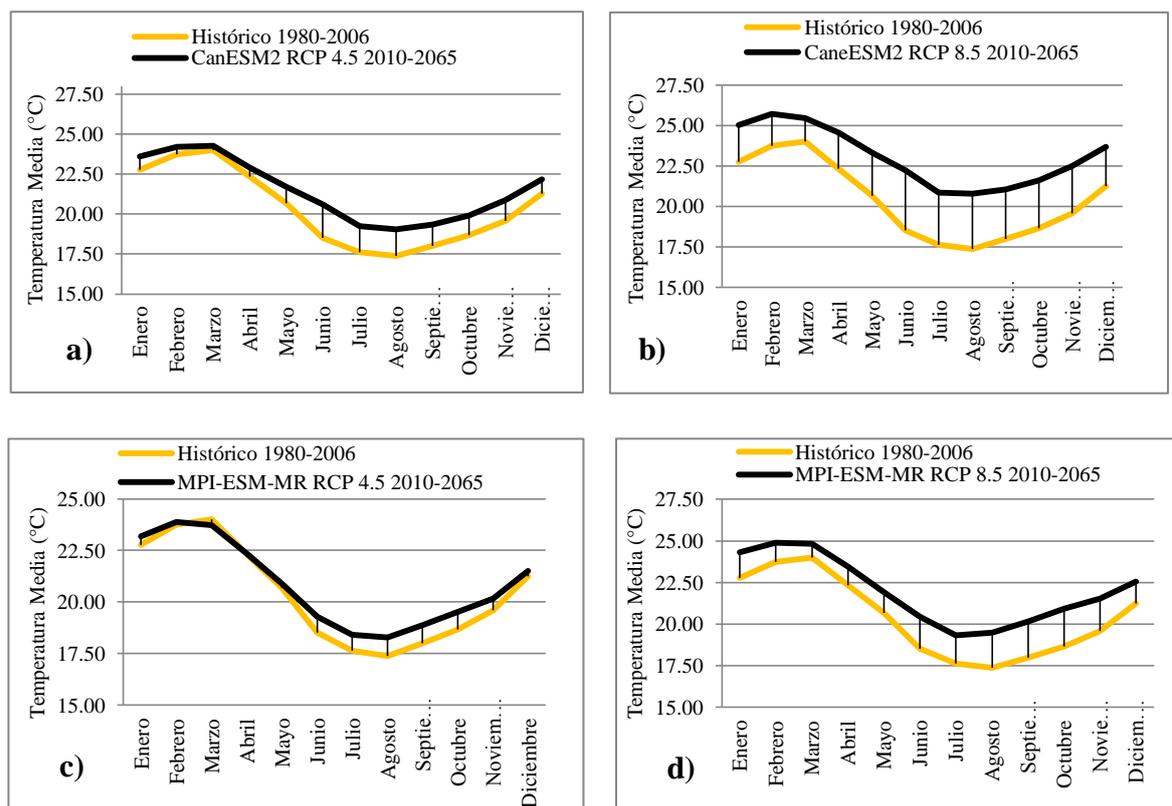
Para el escenario RCP 4.5 del Modelo CanESM2, se observa un incremento de los caudales proyectados para los meses de Enero a Junio, siendo la máxima diferencia porcentual de 118 por ciento. En contraste, durante los meses de Agosto a Noviembre si bien también se tiende a un incremento de caudales, este es más moderado respecto a los anteriores meses, registrándose la menor diferencia porcentual para los meses de Octubre (10 por ciento) y Noviembre (12 por ciento). Con respecto a la comparación del escenario RCP 8.5 del Modelo CanESM2 con la data histórica, se observa que el incremento de caudales durante toda la serie mensual es el mayor respecto a los demás escenarios analizados, la diferencia porcentual corresponde desde 108 por ciento para el mes de Marzo hasta 346 por ciento para el mes de Setiembre; esto se evidencia con la diferencia de los valores del caudal proyectado respecto a valores históricos van de 5 a 18 m<sup>3</sup>/s y de 1.4 a 6 m<sup>3</sup>/s.

Por otro lado, para el escenario RCP 4.5 modelo MPI-ESM-MR, se han registrado incrementos que van desde 21.7 por ciento para el mes de Diciembre hasta 135.5 por ciento para el mes de Setiembre. Ello indica un aumento sustancial de las recargas para los meses en donde no se solía disponer de mucho recurso hídrico. Además, se observa que el incremento de caudales en general ha sido menor para todos los meses de la serie en este escenario, comparándolo con el total de escenarios analizados.

En lo que concierne al escenario RCP 8.5 del mismo modelo, se observa que los incrementos porcentuales varían desde 72.8 por ciento para Abril hasta 224.6 por ciento para setiembre. Es este último escenario (RCP 8.5) donde se mantiene en constante incremento de emisiones de CO<sub>2</sub>, las tendencias de incremento son mayores de Junio a Noviembre, coincidiendo también el aumento de caudales en los meses secos, realizando un contraste con la información procesada para el período de 1980-2006.

## Temperatura

Realizado el análisis de diferencias porcentuales para los valores de temperatura media promedio anual, se puede apreciar de la Figura 44. el contraste que se presenta para la variable en la serie histórica 1980-2006 frente al escenario futuro 2010- 2065.



**Figura 44: Variación de la temperatura media a nivel mensual entre el periodo histórico y futuro para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): a) CANESM2 RCP 4.5, (b) CANESM2 RCP 8.5, (c) MPI-ESM-MR RCP 4.5 y (d) MPI-ESM-MR 8.5. Línea naranja: Temperatura histórica en °C. Línea azul: Temperatura futura en °C.**

**Tabla 16: Diferencias porcentuales en la temperatura para los cuatros escenarios proyectados respecto a los valores históricos 1980-2006.**

Meses	T (%) CaneESM2 RCP 4.5	T (%) CaneESM2 RCP 8.5	T (%) MPI- ESM-MR RCP 4.5	T (%) MPI- ESM-MR RCP 8.5
Enero	3.70	9.94	1.74	6.75
Febrero	2.00	8.26	0.54	4.85
Marzo	1.10	6.13	-1.17	3.44
Abril	2.58	10.05	0.07	4.95
Mayo	5.02	12.85	1.03	6.06
Junio	11.23	20.06	4.18	10.34
Julio	9.25	18.34	4.37	9.62
Agosto	9.64	19.63	5.27	12.11
Septiembre	7.46	16.91	4.80	12.05
Octubre	6.72	15.83	4.50	12.03
Noviembre	6.56	14.83	2.94	9.85
Diciembre	4.27	11.34	1.16	6.06

La temperatura media en la serie histórica presenta incrementos desde 1.1 por ciento para el mes de Marzo, hasta 11.23 por ciento para el mes de Junio. En general, viendo el contraste que se presenta para la serie de 1980-2006 frente al escenario futuro 2010- 2065 en el escenario RCP 4.5 del modelo climático CanESM2, se observa un incremento de 1.3 °C aproximadamente para los meses de Junio a Noviembre. En el escenario RCP 8.5 del modelo climático CanESM2, se observa un incremento que varía desde 6.13 por ciento en el mes de Marzo hasta 19.63 por ciento durante el mes de Agosto. Para este escenario el incremento de temperatura en general es de 2.4 °C. Para el modelo climático MPI-ESM-MR RCP 4.5 las diferencias porcentuales van desde - 1.17 por ciento para el mes de Marzo, hasta 4.8 por ciento para el mes de Septiembre. El incremento promedio de temperatura en relación al periodo histórico es de 0.8 °C.

Dentro de lo observado en el escenario climático RCP 8.5 para el mismo modelo, se tiene una variación porcentual máxima de 12.11 por ciento para el mes de Agosto, y una mínima de 3.44 por ciento para el mes de Marzo, respecto al periodo histórico. Esto quiere decir en general que los meses con menor temperatura que son de Junio a Octubre, se harán más cálidos, respecto a los meses de Enero a Marzo, cuyos incrementos porcentuales son menores. Esto indudablemente afectaría todo lo que respecta al periodo de siembra los tipos de cultivos, que se desarrollen futuramente en la cuenca, así como los rendimientos de cultivos.

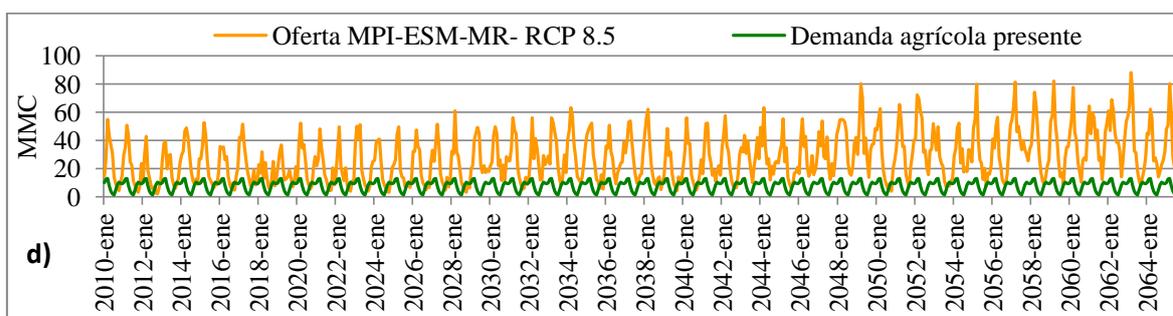
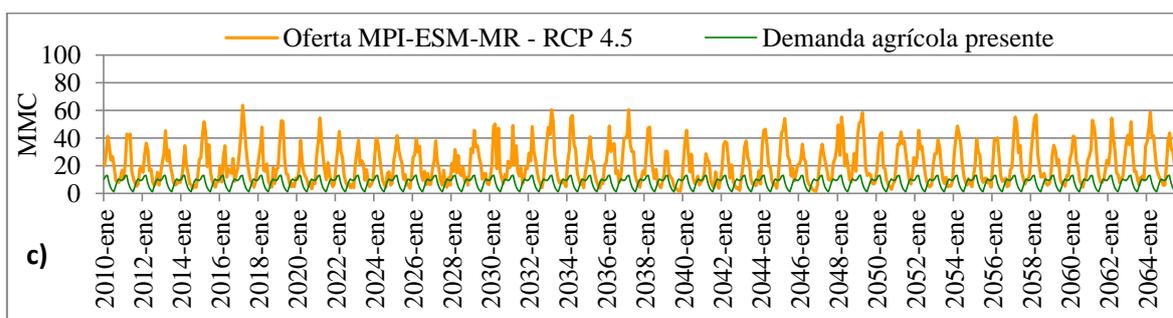
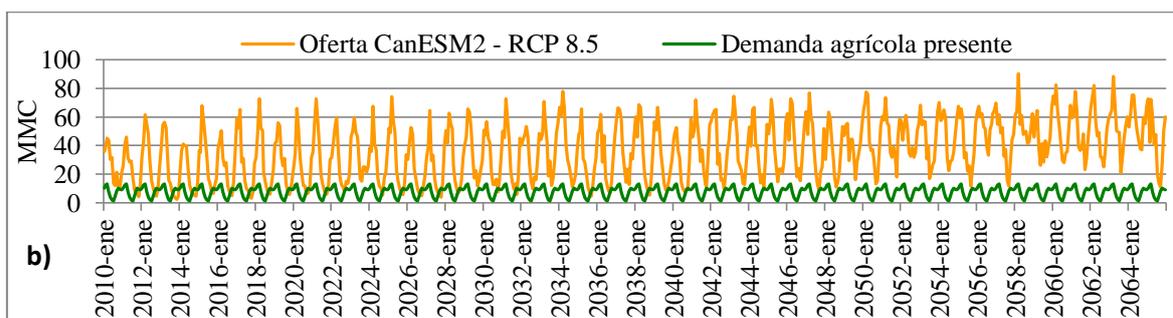
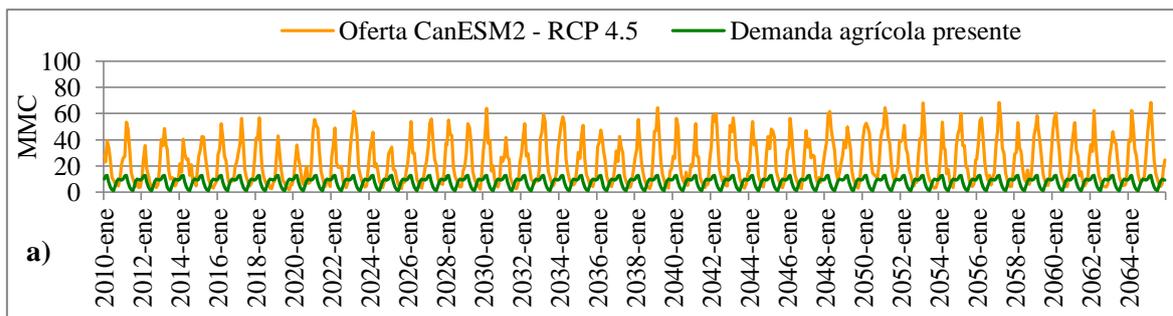
## **6.5. Balance hídrico futuro**

Se realizó el balance hídrico futuro en el punto de aforo correspondiente al punto estación hidrométrica Manchay, para dos casos en particular:

- Caso 1: La oferta futura corresponde al caudal mensual obtenido de la simulación del periodo 2010-2065 frente a la demanda hídrica futura considerada igual a la demanda agrícola presente, tal como se describe en el estudio de PROFODUA (2006), suponiendo que esta se mantiene en el tiempo.
- Caso 2: La oferta futura corresponde al caudal mensual obtenido de la simulación del periodo 2010-2065 frente a la demanda hídrica futura considerada igual a la demanda agrícola presente incrementada al 50 por ciento.

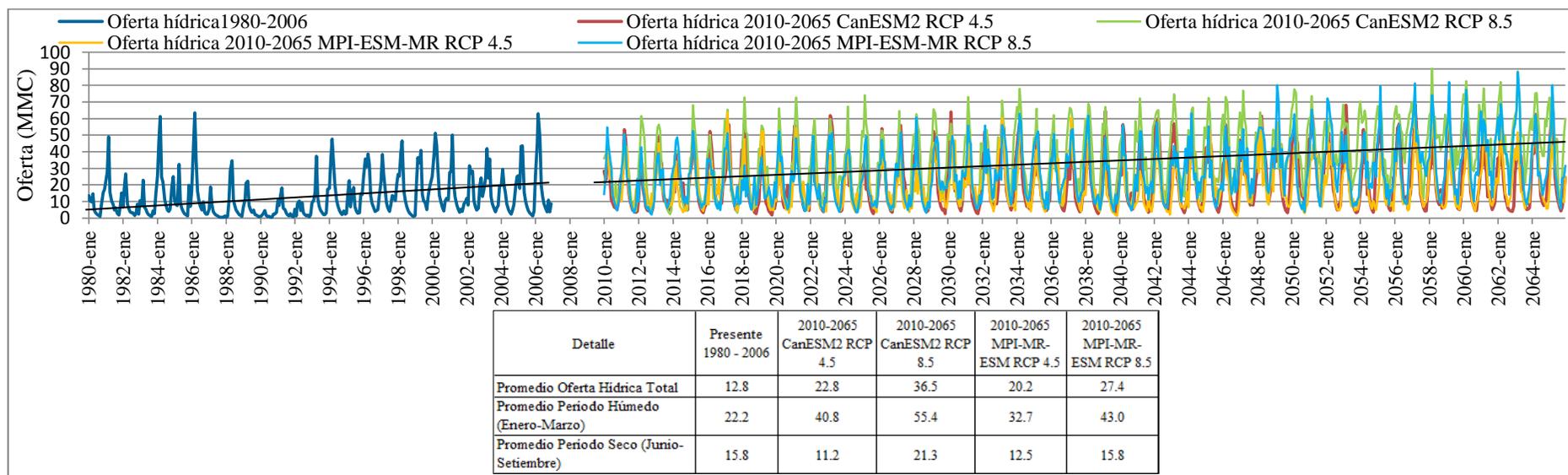
### **6.5.1 Caso 1: Oferta hídrica futura y demanda agrícola constante**

Se puede visualizar en la Figura 45 el comportamiento de la Oferta hídrica futura y la demanda agrícola futura, considerando que esta última se mantiene igual desde la actualidad. Asimismo se puede observar el comportamiento de estos componentes para las cuatro proyecciones de cambio climáticos analizadas: CANESM2 RCP 4.5, CANESM2 RCP 8.5 y MPI-ESM-MR RCP 4.5 y MPI-ESM-MR RCP 8.5. Se observa que en el periodo 2040-2065, el escenario que tuvo una mayor Oferta hídrica fue el de CANESM2 RCP 8.5, alcanzando un valor máximo de 77.9 MMC. En el periodo 2041-2065, se observa un incremento de los valores de oferta hídrica del escenario MPI-ESM-MR RCP 8.5, registrando valores en algunos años más altos respecto al escenario CANESM2 RCP 8.5, tal que su valor máximo en dicho periodo fue de 88.1 MMC. En contraste, las menores Ofertas hídricas futuras fueron registradas por los escenarios CANESM2 RCP 4.5 y MPI-ESM-MR RCP 4.5, estos escenarios mantienen una tendencia similar en el periodo 2025-2040, alcanzando un valor máximo de 63.6 MMC y 64 MMC respectivamente. Cabe mencionar que en el periodo 2041-2065, el escenario MPI-ESM-MR RCP 4.5 fue el que registro las menores descargas (ofertas) respecto a los cuatros escenarios analizados, de manera que su máximo valor alcanzado para dicho periodo fue de 58.36 MMC.



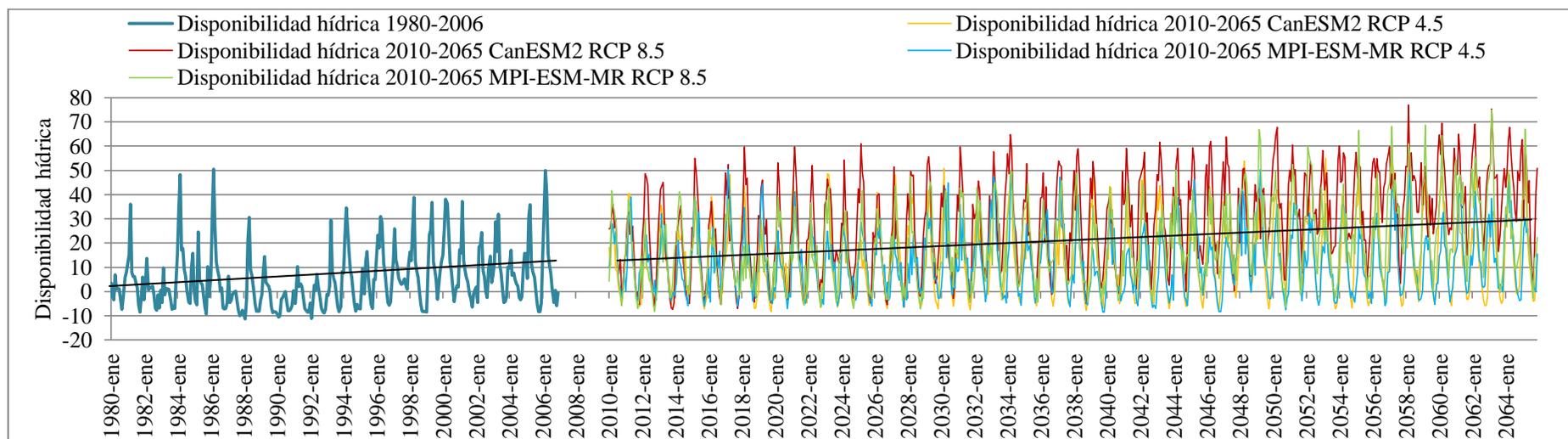
**Figura 45: Evaluación de la oferta hídrica futura y demanda agrícola presente para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): (a) CANESM2 RCP 4.5, (b) CANESM2 RCP 8.5, (c) MPI-ESM-MR RCP 4.5 y (d) MPI-ESM-MR 8.5. Línea naranja: Oferta hídrica futura en MMC. Línea verde: Demanda agrícola presente en MMC.**

De acuerdo a la Figura 46, se observa el crecimiento del promedio de la oferta total hídrica anual de las proyecciones en los cuatro escenarios analizados (2010 al 2065) respecto a del histórico (1980 al 2006), siendo los escenarios RCP 8.5 los que tendrían un mayor crecimiento. Se proyecta un periodo más húmedo en los próximos 55 años, evaluado dentro de los de Enero, Febrero y Marzo, debido al gran incremento de la oferta hídrica total que variará de 22.12 MMC hasta 55.44 MMC (escenario CanESM2 RCP 8.5). Para el periodo seco histórico, evaluado dentro de los meses de Junio, Julio, Agosto y Setiembre, se observa una oferta hídrica anual promedio de 15.79 MMC, sin embargo en la proyección de los escenarios CanESM2 RCP 4.5 y MPI-ESM-MR RCP 4.5 tendrían una disminución por debajo de este valor, alcanzando un valor de 11.24 MMC y de 12.55 MMC, respectivamente; esto quiere decir que en el futuro, bajo estos escenarios, se tendrían periodos más secos.



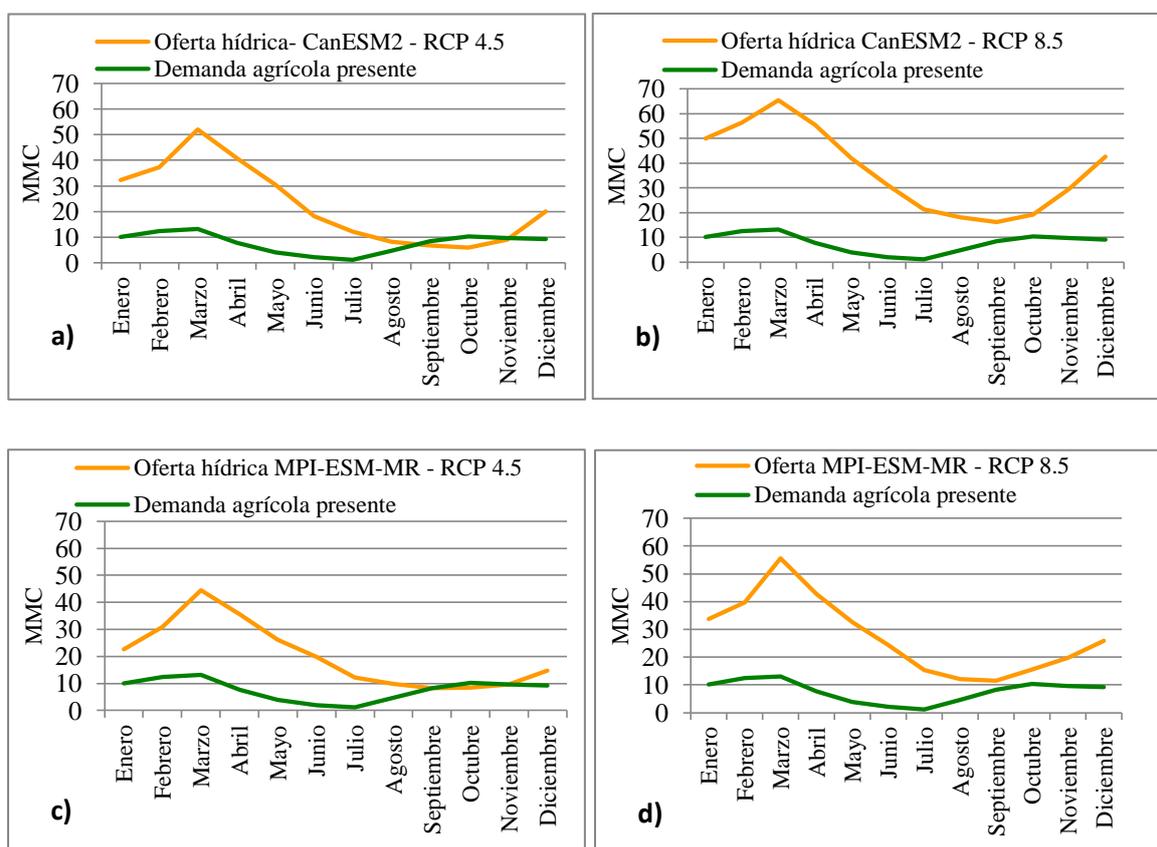
**Figura 46: Evaluación de la oferta hídrica presente y futura para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): CANES M-2 RCP 4.5 (línea roja), CANESM-2 RCP 8.5 (línea verde), MPI-ESM-MR RCP 4.5 (línea naranja) y MPI-SM-MR RCP 8.5 (línea celeste).**

Del cálculo de la diferencia de la oferta hídrica futura y la demanda agrícola futura, se obtuvo el balance hídrico para los cuatro escenarios analizados. El resultado se puede visualizar en la Figura 47, de acuerdo a esta se observa que en el futuro predominará el superávit con respecto al déficit del recurso agua debido a que de acuerdo a la proyección 2020-2065 habrá una mayor descarga futura. Asimismo, se observa que a partir del año 2040, de acuerdo al escenario CANESM2 RCP 8.5, no existirá déficit en este punto de la cuenca Lurín; mientras que de acuerdo al escenario MPI-ESM-MR RCP 8.5, el déficit se presentará esporádicamente. Por otro lado, los escenarios CANESM2 RCP 4.5 y MPI-ESM-MR RCP 4.5 mantendrán una tendencia similar, en donde si bien predominará el Superávit del recurso agua, también habrá meses de déficit de dicho recurso.



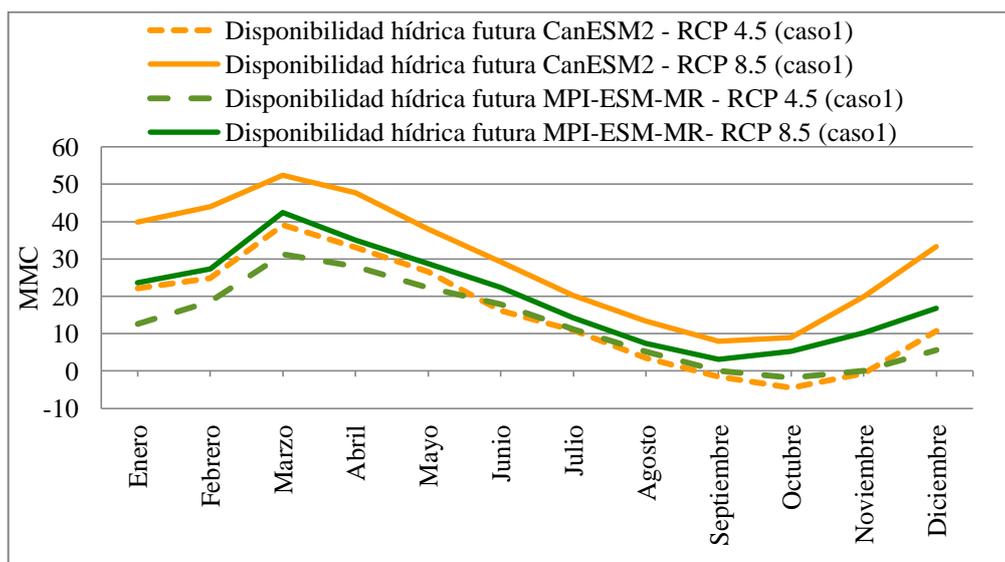
**Figura 47: Disponibilidad hídrica presente (línea azul) y futura para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): CANES M-2 RCP 4.5 (línea naranja), CANESM-2 RCP 8.5 (línea roja), MPI-ESM-MR RCP 4.5 (línea celeste) y MPI-SM-MR RCP 8.5 (línea verde).**

El resultado del comportamiento estacional de la oferta hídrica futura y la demanda agrícola futura para los cuatro escenarios analizados, se puede visualizar en la Figura 48. Se observa que el comportamiento de oferta hídrica tiene un mayor valor durante los meses de Febrero a Abril, siendo su disminución de esta a partir de finales de Julio a inicios de Diciembre, es decir el ciclo hidrológico para la cuenca se atrasará un mes para los cuatro escenarios futuros. Asimismo, se aprecia que en los escenarios CANESM2 RCP 4.5 y MPI-ESM-MR RCP 4.5, la oferta hídrica futura no satisface la demanda agrícola durante los meses de agosto a noviembre, sobre todo para el primer escenario mencionado. Por otro lado, se observa que en los escenarios CANESM2 RCP 8.5 y MPI-ESM-MR RCP 8.5, la demanda agrícola es cubierta totalmente por la oferta hídrica futura, sobre todo para el escenario CANESM2 RCP 8.5, ya que éste dispone de una mayor oferta hídrica.



**Figura 48: Evaluación de la oferta hídrica futura y demanda agrícola presente a nivel mensual para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): (a) CANESM2 RCP 4.5, (b) CANESM2 RCP 8.5, (c) MPI-ESM-MR RCP 4.5 y (d) MPI-ESM-MR 8.5. Línea naranja: Oferta hídrica futura en MMC. Línea verde: Demanda agrícola presente en MMC.**

En la Figura 49, se puede visualizar el balance hídrico futuro para las proyecciones analizadas (CANESM2 RCP 4.5, CANESM2 RCP 8.5 y MPI-ESM-MR RCP 4.5 y MPI-ESM-MR RCP 8.5), en donde se aprecia que Marzo es el mes donde ocurre el mayor superávit, análogamente para los meses Setiembre-Octubre ocurre el mayor déficit de agua en la Cuenca. Se obtuvo como resultado que para los escenarios más optimistas de impacto climático CanESM2- RCP 4.5 y MPI-ESM-MR- RCP 4.5 se tendría un superávit de hasta 39 y 31.3 MMC de agua disponible en promedio para los meses de avenida y un déficit de -4.48 y -1.85 MMC en promedio para los meses de estiaje, respectivamente; por lo que el superávit y déficit del recurso agua será mayor en el escenario CANES M-2 RCP 4.5. Con respecto al escenario pesimista RCP 8.5, donde las emisiones continuarán en aumento, los modelos CanESM2 y MPI-ESM-MR tendrían un superávit de hasta 55.41 y 42.46 MMC de Agua en promedio disponible para los meses de avenida, y un déficit de -3.13 MMC de agua en promedio para los meses de estiaje para ambos modelos.



**Figura 49: Disponibilidad hídrica futura a nivel mensual para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): CANESM2 RCP 4.5 (línea punteada naranja), CANESM2 RCP 8.5 (línea sólida naranja), MPI-ESM-MR RCP 4.5 (línea punteada verde), MPI-ESM-MR 8.5 (línea solid verde).**

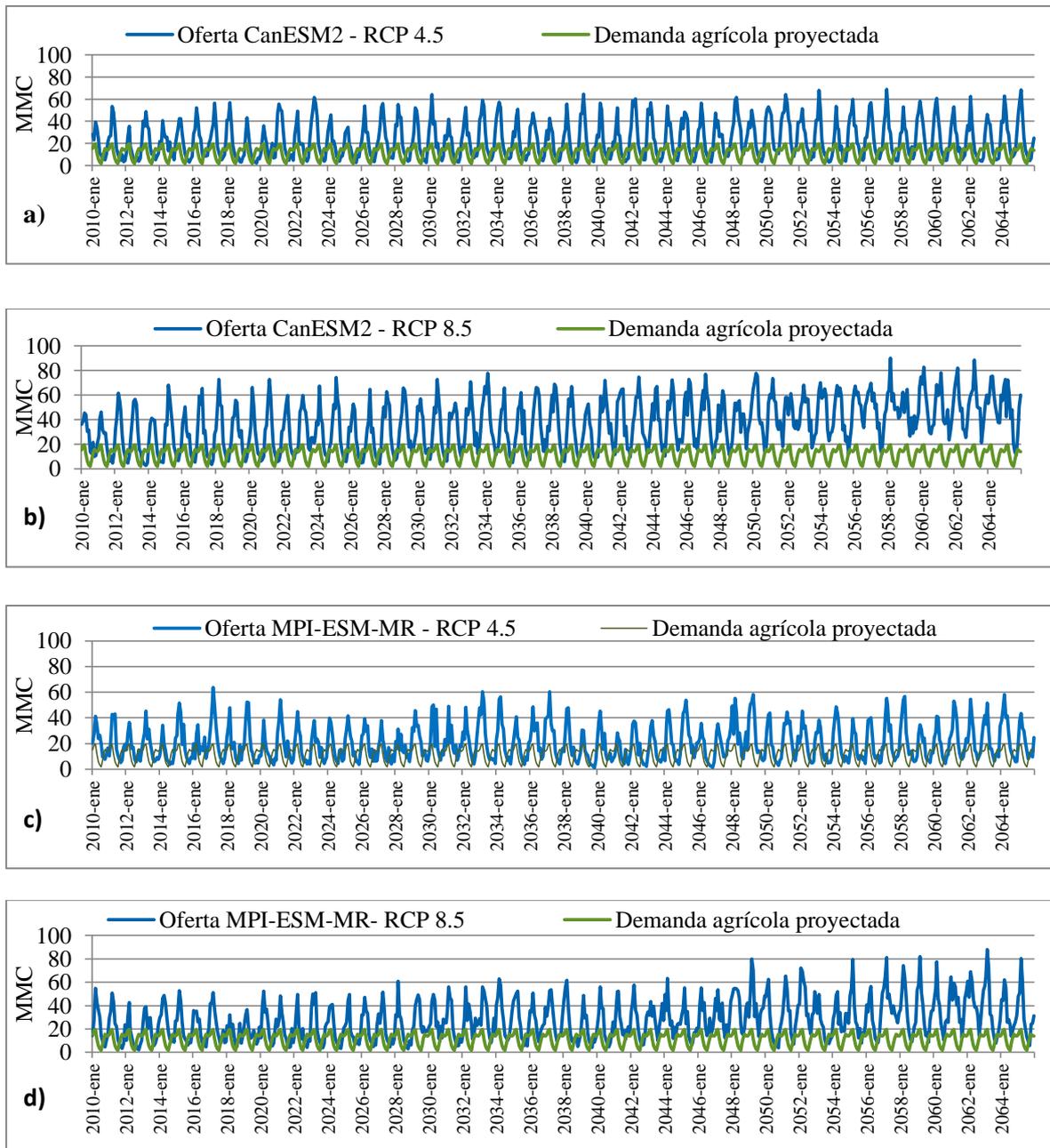
### 6.5.2 Caso 2: Oferta hídrica futura y demanda agrícola proyectada

En la Figura 50. se observa el comportamiento de la oferta hídrica futura, obtenida por la simulación del modelo hidrológico STREAM, respecto a la demanda agrícola futura, la cual representa a la demanda agrícola presente con un incremento del 50 por ciento, elaborado para los escenarios: CANESM2 RCP 4.5, CANESM2 RCP 8.5 y MPI-ESM-MR RCP 4.5 y MPI-ESM-MR RCP 8.5.

La oferta hídrica para el escenario CanESM2-RCP 4.5 respecto a la demanda proyectada, para todos los meses de Mayo a Setiembre presentarán un déficit, debido a que la línea de oferta se encuentra por debajo de la línea de demanda. Ahora bien, los años con mayor proyección de oferta hídrica para los meses de Marzo, son 2030 (63.9 MMC), 2053 (68 MMC), 2057 (68.6 MMC) y 2065 (68.4). Los años que presentan menor oferta hídrica son 2018-2021 (en los meses de Mayo a Setiembre). La oferta hídrica en menores proporciones para dichos meses, es bastante compensada por los meses de elevada oferta hídrica, superando en más del 100 por ciento a lo necesitado por la demanda agrícola. Para la simulación del mismo modelo climático CanESM2 en el escenario RCP 8.5, se visualizan mayores valores de oferta hídrica a partir del año 2018, manteniéndose estable hasta el año 2050 con valores de hasta 67.4 y 77.9 MMC ofertados para los meses de Marzo. A partir del año 2050, la oferta hídrica proyectada supera totalmente a la demanda agrícola proyectada con un valor de 90 MMC mensual para el período húmedo y 19.63 MMC para el período seco.

Para el escenario MPI-ESM-MR RCP 4.5 las ofertas identificadas son menores que las encontradas en el anterior modelo, pues el valor máximo encontrado es de 60 MMC para el mes de Marzo del año 2033. Cabe mencionar que los valores de oferta hídrica se mantienen mayores en los meses de mayor demanda agrícola proyectada, cubriéndola por completo, considerando que el valor máximo de demanda agrícola es de 15 MMC. Los años 2016, 2028, 2031, 2037, 2039, 2041, 2046, 2047, y 2059 se proyectan como los años con menor oferta hídrica para todo el período evaluado, con 30 MMC en promedio para sus meses de mayor oferta hídrica y 7 MMC para los meses de menor oferta hídrica, evidenciándose un déficit de 8 MMC frente al valor máximo de demanda agrícola proyectada. Por otra parte, respecto al escenario MPI-ESM-MR RCP 8.5, se observa un comportamiento proyectado creciente constante del 2010-2047, con valores máximos de oferta hídrica para los meses de Marzo en los años 2028 (60.80 MMC), 2034 (62.96

MMC), 2038 (61.83 MMC) y 2044 (63.19 MMC). A partir del año 2048 los valores de oferta hídrica para todos los meses en la mayoría de los años del período superan a los valores de demanda agrícola proyectada, a diferencia de los meses de estiaje de los años 2050, 2053, 2055, 2058 y 2065.



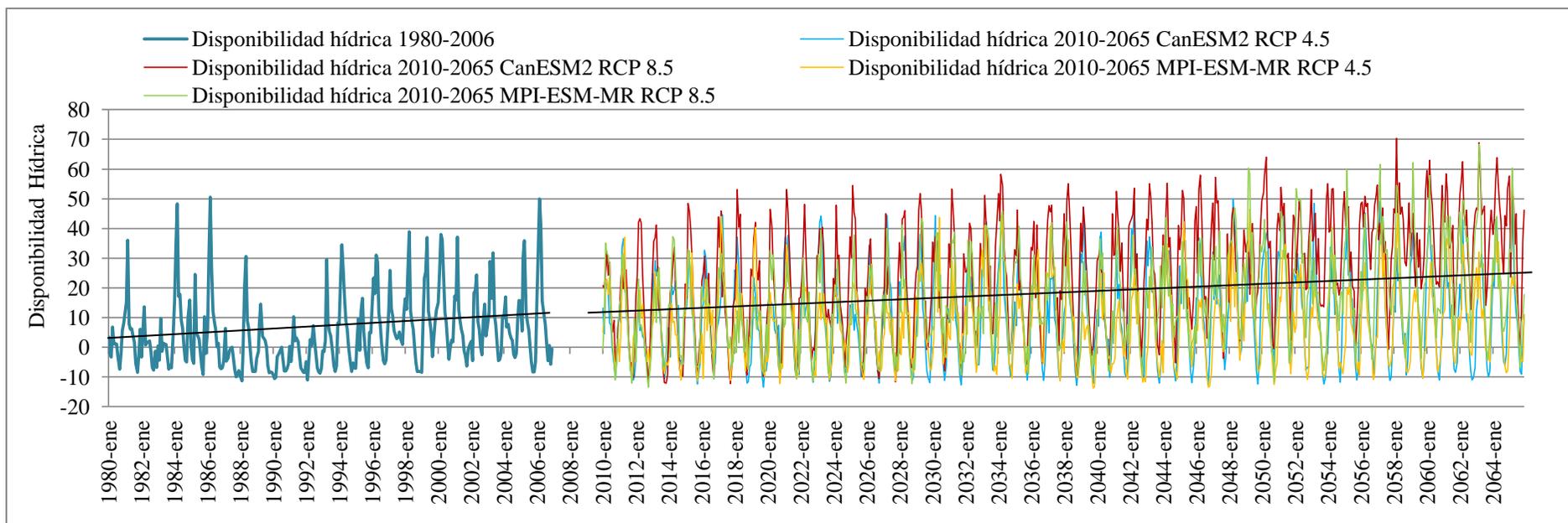
**Figura 50: Evaluación de la oferta hídrica futura y demanda agrícola proyectada para las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): (a) CANES M-2 RCP 4.5, (b) CANES M-2 RCP 8.5, (c) MPI-ESM-MR RCP 4.5 y (d) MPI-ESM-MR 8.5. Línea azul: oferta hídrica en MMC.**

**Línea verde: demanda agrícola proyectada en MMC.**

Del cálculo de la diferencia de la oferta hídrica futura y la demanda agrícola proyectada, se obtuvo el balance hídrico para los cuatro escenarios analizados. El resultado del balance hídrico se puede visualizar en la Figura 51.

De acuerdo a la figura mencionada, se observa que en el escenario CanESM2 – RCP 4.5, los meses de estiaje se presentan desde Mayo hasta Noviembre, tal que se tiene un déficit mayor para los años 2015, 2018, 2019, 2031, 2049, 2053, 2060, con – 10 MMC en promedio, y los años que se proyectan con mayor oferta hídrica son 2017, 2023, 2042, 2053, 2057 y 2065, entre los meses de Febrero – Abril con valores por encima de 40 MMC. Para el escenario RCP 8.5 del Modelo CanESM2, se mantiene un comportamiento similar en el rango de años del 2010 – 2044, con déficits de -5 MMC en los meses de octubre y ofertas de 55 MMC en promedio para los meses de Marzo. A partir del año 2048 al 2065 el déficit se reduce en el intervalo de 0 a -0.7 MMC, aumentando la oferta hasta en 70 MMC.

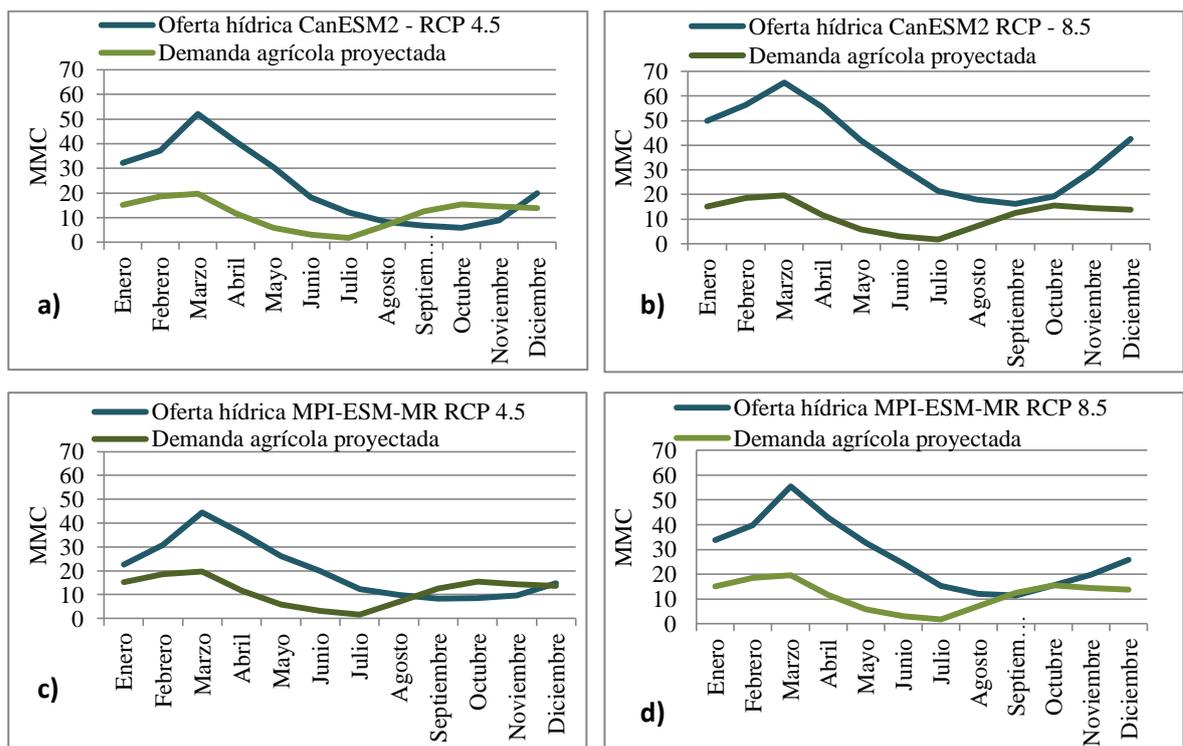
Asimismo se observa en el escenario MPI-ESM-MR – RCP 4.5, menores valores proyectados para la oferta hídrica, teniéndose 40 MMC como valor máximo de oferta hídrica mensual durante todo el periodo. Los valores de déficit hídrico en todo el periodo proyectado oscilan entre 0 y -10 MMC. En lo que respecta al escenario RCP 8.5 para el mismo modelo climático, el comportamiento estacional de la oferta y la demanda con valores en promedio de 40 MMC y – 6MMC se mantienen hasta el año 2048, con la excepción de los años 2017-2020, cuyas ofertas hídricas fueron menores de 20 MMC. A partir del año 2048 las ofertas hídricas aumentaron en el orden de los 60 MMC, evidenciándose que no habría mayor déficit hídrico, salvo en los años 2058, 2059, 2063 y 2065. Como se observa, ambos modelos climáticos, proyectan a la obtención de mayores caudales en lo que respecta a la cuenca Lurín, cambios en los comportamientos de las descargas en los meses, prolongando las descargas elevadas hasta abril y retrasando el período de sequía en algunos años hasta el mes de Enero



**Figura 51: Disponibilidad hídrica presente (línea azul) y futura para las cuatros proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): CANES M-2 RCP 4.5 (línea celeste), CAN ESM-2 RCP 8.5 (línea roja), MPI-ESM-MR RCP 4.5 (línea naranja) y MPI-SM-MR RCP 8.5 (línea verde).**

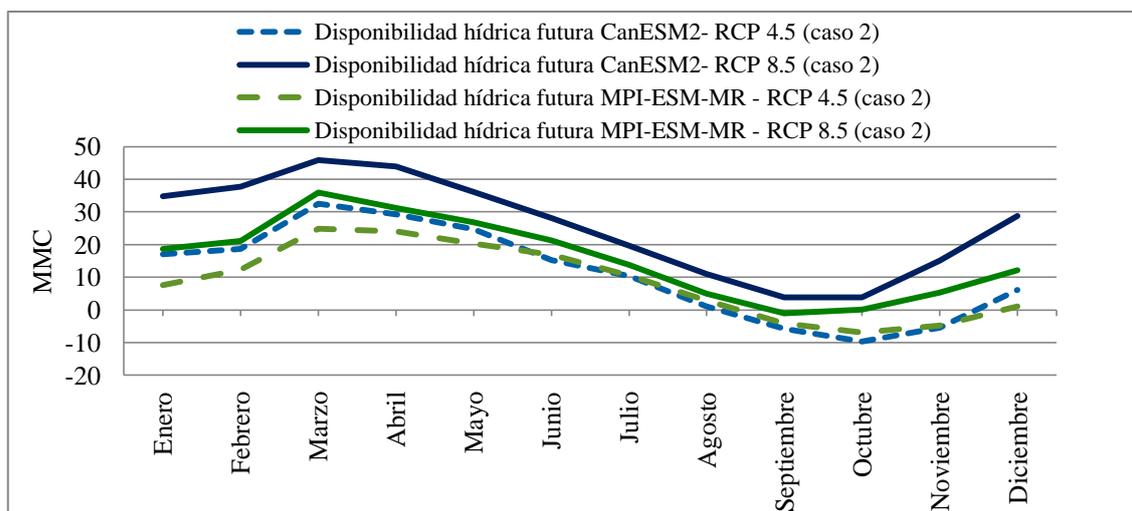
En la Figura 52, se puede visualizar el balance hídrico futuro estacional para los escenarios analizados (CANES M-2 RCP 4.5, CANES M-2 RCP 8.5 y MPI-ESM-MR RCP 4.5 y MPI-ESM-MR RCP 8.5), donde se proyectó a Marzo como el mes donde ocurrirá el mayor superávit. Del mismo modo, desde fines de Agosto a inicio de Diciembre se proyecta el mayor déficit de agua en la cuenca, considerando el escenario RCP 4.5 para ambos modelos climáticos.

Para el caso del escenario RCP 8.5 para ambos modelos, el incremento de la oferta se aprecia desde Enero a Marzo, decreciendo hasta finales de Agosto, aun así cubriría la demanda agrícola proyectada para dichos meses en el caso del modelo climático CanESM2, pero en el caso del modelo climático MPI-RSM-MR, quedaría igualada la demanda con la oferta para los meses de Setiembre, Octubre y Noviembre.



**Figura 52: Evaluación de la oferta hídrica futura y demanda agrícola proyectada a nivel mensual para cada uno de las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): (a) CANES M-2 RCP 4.5, (b) CANES M-2 RCP 8.5, (c) MPI-ESM-MR RCP 4.5 y (d) MPI-ESM-MR 8.5. Línea azul: Oferta hídrica futura en MMC. Línea verde: Demanda agrícola proyectada en MMC.**

De la Figura 53 se puede visualizar el balance hídrico mensual futuro estacional para los escenarios analizados. El balance hídrico proyectado con menor déficit y mayor oferta, ha sido el simulado bajo es el CanESM2 RCP 8.5, y el balance hídrico con menor oferta ha sido obtenido bajo el modelo climático MPI-ESM-MR RCP 4.5. Se obtuvo una proyección con un superávit y déficit promedio para los meses de avenida y estiaje de 32.48 y -5.51 MMC de agua para el escenario CanesM2 RCP 4.5; y de 24.75 y -6.99 MMC de agua para el escenario MPI-MR- RCP 4.5. Para el caso del escenario RCP 8.5, se tendrá un superávit de 45.9 y 3.79 MMC de agua en promedio para los meses de avenida y estiaje para el modelo CanesM2, y de 35.9 y 0.03 MMC de agua en promedio para el modelo MPI-ESM-MR.



**Figura 53: Disponibilidad hídrica futura a nivel mensual para cada uno de las cuatro proyecciones de cambio climático analizadas (2 GCM x 2 RCP): CANESM2 RCP 4.5 (línea punteada azul), CANESM2 RCP 8.5 (línea sólida azul), MPI-ESM-MR RCP 4.5 (línea punteada verde), MPI-ESM-MR 8.5 (línea solida verde).**

## VII. CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente trabajo son producto del análisis a partir de la obtención de la disponibilidad hídrica presente y futura de la cuenca Lurín a través de la simulación del modelo hidrológico STREAM.

Este modelo utiliza el modelo de elevación digital de la cuenca hidrográfica en estudio y el análisis preliminar para la interpolación de los datos de precipitación, temperatura máxima y mínima (para efectos del cálculo de la Evapotranspiración utilizó el método Hargreaves) como requerimientos principales, por lo que los resultados de estos análisis fueron de vital importancia para el logro de los objetivos planteados. Cabe mencionar que este modelo, al igual que cualquier otro, simula los fenómenos que ocurren en la realidad, por lo que no existe un modelo hidrológico excelente ni tampoco ineficiente, o que represente a la perfección los procesos complejos que involucra a la hidrología, debido a errores que se pueden cometer desde la toma de datos de la estación meteorológica, factores de calibración del modelo, calidad del MED, afinamiento de las interpolaciones de los principales predictores; sin embargo gracias al modelo hidrológico STREAM se pudo realizar un bosquejo rápido de la situación hídrica presente y futura de la Cuenca, tomando en cuenta los cambios climáticos que modifican el comportamiento hidrológico, permitiendo así, una evaluación rápida de los recursos hídricos disponibles, principalmente, para uso agrícola con proyección a futuro, gracias a los modelos climáticos que se encontraban disponibles dentro de su interface. Las conclusiones del presente trabajo de titulación se presentan a continuación:

**7.1.** Se calibró el periodo de enero del 1980 a diciembre del 1984, obteniéndose un índice de Nash igual a 0.631 y RSR igual a 0.608, los cuales indican un rendimiento “satisfactorio” para el modelo. Asimismo, se realizó la validación temporal para el periodo de años desde enero del 1985 a diciembre del 2006, obteniéndose un valor de Nash de 0.514 y un índice RSR igual a 0.697.

**7.2.** La disponibilidad hídrica presente (1980-2006) en el punto de aforo de la estación hidrométrica de Manchay, alcanzó un valor máximo de 18.27 MMC en el mes de Marzo, así como un valor mínimo de -5.02 MMC para el mes de Octubre.

**7.3.** Los resultados de la proyección del caudal mensual (2010-2065) en los cuatro escenarios climáticos analizados reflejan un gran incremento respecto a los caudales presentes, tal que varían desde 10 y 135 por ciento para el escenario más optimista RCP 4.5; y de 73 y 347 por ciento para el escenario pesimista RCP 8.5. Los periodos húmedos tienden a proyectarse como más intensos en el futuro, sucediendo del mismo modo con los periodos secos. Entonces se infiere que en el futuro los ecosistemas podrían sufrir alteraciones, ocasionando un incremento de plagas en los cultivos así como problemas de infiltración en suelos, por exceso de aplicación en la lámina de riego. En consecuencia, probablemente disminuiría progresivamente el rendimiento de los cultivos, así como se incrementarían los costos de inversión en plaguicidas o en medidas de control biológico, y con ello se afectaría el desarrollo sustentable de la cuenca.

**7.4.** Pico de Lurín valores máximo entonces La proyección de la gran disponibilidad hídrica podría aumentar el riesgo de ocurrencia de desastres naturales como huaycos, deslizamientos, etc. e inundaciones en zonas costeras por la elevación del mar, a causa de desborde del río Lurín; considerando que al ser una zona costera, existen suelos sin protección. Por esta razón no deben desestimarse acciones preventivas de protección de defensas ribereñas así como la ubicación adecuada de cultivos para el desarrollo agrícola.

**7.5.** Con el fin de compensar el déficit hídrico de la cuenca Lurín durante los meses de Julio a Diciembre, se recomienda la construcción infraestructura de captación de escorrentía superficial, tomando en cuenta las altas descargas (m<sup>3</sup>/s) en los meses de Enero a Abril, las cuales deberían ser aprovechadas. Complementario a ello, para asegurar el bienestar económico del Valle, se recomienda la realización de talleres participativos donde se pueda brindar información y capacitación continua a los agricultores de la cuenca, con el objetivo de mejorar las condiciones de riego durante los meses de déficit adaptándose a las condiciones del cambio climático.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

- 8.1.** Debido a que el modelo hidrológico STREAM se encuentra en su fase preliminar, se recomienda la mejora del modelo con el fin de dar continuidad al presente estudio y optimizar los resultados, por lo que se incide en la activación de todas las opciones que brinda el modelo, como la “calibración automática”, pues gracias a esta, se reduciría sustancialmente el tiempo de calibración manual, obteniendo calibraciones de mejor calidad en respuesta a la sensibilidad de los parámetros.
  
- 8.2.** Se recomienda desarrollar una metodología para proyectar las demandas hídricas futuras en la cuenca, considerando no sólo a la demanda agrícola, sino también a la demanda poblacional, industrial, así como realizar el cálculo del caudal ecológico, con el fin de realizar un análisis comparativo de la disponibilidad hídrica con mayor exactitud, para hacer frente a los impactos climáticos que afectaran a la cuenca Lurín.
  
- 8.3.** Utilizar otro modelo hidrológico "distribuido" (por ejemplo el “Tetis”) a fin de comparar los resultados entre modelos, debido que es la primera vez que el modelo hidrológico STREAM se aplica en el Perú. Estos modelos alternativos se encuentran disponibles en: <http://llovias.dihma.upv.es/ES/software/software.html>

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aerts, J.; Bouwer, L.; Van, G y Ward, P. 2005. STREAM MANUAL. Version 3.0. 53 p.
2. Aerts, J.; Kriek, M. y Schepel, M. 1999. STREAM (Spatial Tools for River Basins and Environment and Analysis of Managements Options): “Set up and Requirements”. *Phys. Chem. Earth (B)* 24(6): 591-595
3. Alfaro, J; Claverías R. 2010. Diagnostico Socio Económico de la Cuenca del Río Lurín CGGD-CIED. Lima. 53 p.
4. Amador, J.; Alfaro, E. 2009. Métodos de reducción de escala: Aplicaciones al tiempo, clima, variabilidad climática y cambio climático. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 11: 39-52.
5. Balaghi, R.; El Hairech,T.; Arrach, R.; Alaouri, M.; Moutaouakkil, S.; Benabdelouahab, T.; Abderrafik, M.; Delobel, F. 2014. Rapport d'évaluation et d'utilisation du système MOSAICC au Maroc. 72 p.
6. Bénichou, P. y Le Breton, O. 1987. Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. *La Météorologie (7<sup>o</sup> série)* no. 19: 23-34.
7. Castro, J. 2002. Indicadores de Desarrollo Sostenible: Una aplicación para Andalucía. Tesis doctoral. Málaga, España. Universidad de Málaga. 540 p
8. Cohen, J.; Cohen, P.; West, S. y Aiken, L. 2003. *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*. 3 ed. Lawrence Erlbaum Associates. Inc. Publishers, Mahwah, NJ, USA.736 p.
9. Cook, R.D. 1977. Detection of Influential Observations in Linear Regression. *Technometrics* 19:15-18.
10. Delgado, R. 2004. *Iniciación a la probabilidad y la estadística*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. 315 p.
11. Delobel, F. 2014. La interpolación de datos agro-climático de MOSAICC: tutorial Francois. 8 p.

12. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).2006. Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) (en línea). Consultado 4 ene. 2015. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/x0490s/x0490s01.pdf>
13. Goovaerts, P. 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. New York. Oxford University Press. 483 p.
14. Guo, J. y Mason, P. 2009. Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing. Oxford, UK. Wiley-Blackwell.462 p.
15. Gutierrez-Lopez, A.; Ramirez, A.; Lebel, T.; Santillan, O. y Fuentes, C. 2011. El variograma y el correlograma, dos estimadores de la variabilidad de mediciones hidrológicas. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia no. 59:193-202.
16. Gyalistras, D. 2003. Development and validation of a high-resolution monthly gridded temperature and precipitation data set for Switzerland (1951–2000). Climate Research 25: 55–83.
17. Hurkmans, R.; De Moel, H.; Aerts, J. y Troch, P. 2008. Water Balance versus land Surface model in the simulation of Rhine river discharges. Water Resources Research 44: 1-14.
18. IPCC (Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2013. Cambio Climático 2013 Bases Físicas. Universidad de Cambridge, USA. 1535 p.
19. Data Distribution Centre - IPPC. 2013. What is a GCM (en línea). Consultado 4 ene. 2015. Disponible en [http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm\\_guide.html](http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html).
20. Matheron, G. 1970. La Theorie des Variables Regionalisees et ses applications “Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleau, Fascile 5, Ecole de Mines de Paris, 212 p.
21. MINAG (Ministerio de Agricultura). 2004. Estudio Hidrológico de la cuenca del río Lurín, Informe Final. Lurín, Perú. 141 p.
22. Moral, F. J. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. Ecosistemas XIII (1): 1-11.
23. Nash, J. y Sutcliffe, J. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. Journal of Hidrology, 10: 282-290.
24. Neidhöfer, F. 2000. Interpolation and downscaling of precipitation in the Alps. PhD thesis, Institute of Geography, University of Bern.
25. Ovalles, F. 1991. Evaluación de la variabilidad de suelos a nivel de parcela, para el establecimiento en lotes experimentales en el estado de Cojedes. Agronomía Tropical 41(1-2):5-22. Consultado 6 ene. 2015. Disponible en

[http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_ci/Agronomia%20Tropical/at4112/Arti/ovalles\\_f.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at4112/Arti/ovalles_f.htm).

26. Pacheco, P. 2008. Análisis Estadístico de Datos de Contaminación Ambiental del Lago Valencia. Tesis para optar al grado de Magister Scientiarum en Modelos Aleatorios. Universidad Central de Venezuela, facultad de ciencias. 135 p.
27. PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2013. Informe de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Humano. Nueva York. 216 p.
28. PROFODUA (Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua). 2006. Propuesta de Asignación de Agua Superficial Valle Medio y Alto Lurín. 117 p.
29. Ramos F, L. 2013. Estudio de la utilidad de la lluvia estimada de satélite en la modelación hidrológica distribuida. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medioambiente. UPV. España. 216 p.
30. Schlens, J. 2014. A tutorial on principal components. Cornell University Library. 20 p.
31. SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2009. Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030, Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático. Lima, Perú. 15 p.
32. SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2015. Regionalización estadística de escenarios climáticos en el Perú. 10 p
33. Shapiro, S. y Wilk, M. 1965. An analysis of variance for normality (complete samples). *Biometrika* 52: 1-20.
34. Ünsalan, C. y Boyer, K. 2011. *Multispectral Satellite Image Understanding*. New York, US. Springer. 203 p.
35. Véliz, E. 2006. Análisis espacial para medir el índice de infección de la sigatoka negra (*mycosphaerella fijiensis*) en una hacienda bananera en el último trimestre del año 2005. Tesis De Grado. Escuela superior politécnica del litoral, Instituto de Ciencias Matemáticas, Ingeniería en Estadística Informática. 168 p.
36. Villardon, J. 2002. *Análisis de Componentes Principales*. Cataluña: UOC, Departamento de Estadística. 32 p.
37. Wigge, P. 2013. *Temperature and Plant Development*. John Wiley & Sons, UK 2014. 240 p.
38. Zúñiga, S. 2004. *Econometría práctica con Excel*. Universidad Católica del Norte. Chile. 168 p.

## X. ANEXOS

### Anexo 1: Resultado de la oferta hídrica presente en la cuenca Lurín

**Tabla 17: Caudales en m<sup>3</sup>/s en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 1980-2006.**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual (m <sup>3</sup> /s)
1980	4.08	3.86	3.65	5.45	1.84	1.23	0.82	0.55	0.36	3.03	5.75	6.44	3.09
1981	5.08	10.31	18.33	5.82	3.74	3.10	1.80	2.36	1.06	0.70	2.70	5.69	5.06
1982	2.53	6.81	9.97	3.17	2.10	1.40	1.23	1.23	0.58	0.98	3.10	0.86	2.83
1983	3.95	2.98	8.51	2.41	1.96	1.15	0.77	0.51	0.34	1.60	1.01	5.19	2.53
1984	9.63	17.42	22.88	9.25	8.11	4.17	2.78	1.85	1.46	1.98	7.20	9.34	8.01
1985	3.90	3.06	2.85	12.04	3.28	2.19	1.46	0.97	0.65	0.43	7.44	2.63	3.41
1986	6.02	16.21	23.74	12.79	6.07	4.05	2.70	1.80	3.65	1.34	0.90	0.84	6.67
1987	1.99	7.04	3.17	1.53	1.02	0.68	0.45	0.30	0.20	0.13	0.13	0.51	1.43
1988	0.22	0.43	3.61	10.69	12.90	4.10	2.87	1.85	1.23	0.82	0.55	0.37	3.30
1989	2.39	4.14	7.81	8.30	2.85	1.90	1.27	1.82	0.78	0.64	0.48	0.27	2.72
1990	0.35	0.70	1.13	1.71	0.54	0.36	0.41	0.20	0.13	0.86	0.90	1.31	0.72
1991	3.92	2.82	5.04	6.75	2.25	1.95	1.09	0.73	0.49	0.99	0.42	0.26	2.22
1992	3.35	4.06	5.75	13.88	4.60	2.76	1.84	1.23	0.82	0.78	1.24	6.49	3.90
1993	6.65	13.11	17.76	12.60	7.68	4.07	2.72	1.81	1.21	0.80	1.61	0.84	5.90
1994	1.11	5.43	8.44	2.50	6.05	6.94	2.47	1.65	1.10	1.23	5.47	5.26	3.97
1995	9.14	13.33	11.62	14.45	12.17	5.01	3.34	2.23	1.49	1.75	1.94	4.89	6.78
1996	9.14	13.33	11.62	14.45	12.17	5.01	3.34	2.23	1.49	1.75	1.94	4.89	6.78
1997	8.24	14.28	9.77	6.81	3.56	2.27	1.51	3.00	5.06	4.84	3.95	7.63	5.91
1998	9.86	9.40	14.57	17.38	6.05	4.01	2.68	1.78	1.19	0.81	0.53	0.38	5.72
1999	0.63	7.81	13.60	12.41	15.24	5.37	3.79	3.66	1.93	4.90	6.82	8.13	7.02
2000	9.38	14.10	19.09	16.40	10.47	5.19	3.46	2.31	1.57	3.84	4.50	4.12	7.87
2001	10.22	10.57	18.73	7.66	4.73	2.95	1.97	1.31	1.97	1.48	3.24	3.67	5.71
2002	4.50	2.95	11.74	10.02	10.54	3.97	2.64	1.76	2.16	7.25	9.03	4.84	5.95
2003	6.31	9.05	15.67	9.03	13.35	4.82	3.21	2.14	1.43	2.33	2.84	7.20	6.45
2004	7.44	10.98	7.43	5.76	3.25	1.93	1.29	0.86	1.80	3.07	7.11	9.31	5.02

**“...Continuación”**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual (m3/s)
2005	9.57	6.66	16.16	16.26	5.80	3.87	2.58	1.72	1.15	0.76	0.51	1.65	5.56
2006	9.40	16.72	23.52	18.10	7.28	4.86	3.24	2.16	1.44	4.06	1.43	3.23	7.95
Promedio Mensual (m3/s)	5.52	8.43	11.71	9.54	6.28	3.31	2.14	1.63	1.36	1.97	3.06	3.93	

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo 2: Resultado de la oferta hídrica futura en la cuenca Lurín para los cuatro escenarios analizados (2GCMs x 2 RCPs)**

**Tabla 18: Proyección de caudales (m<sup>3</sup>/s) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual (m <sup>3</sup> /s)
2010	10.58	9.58	14.73	13.29	9.16	4.33	3.45	2.40	2.53	1.87	3.85	7.97	6.98
2011	9.78	11.18	19.97	18.53	12.39	5.86	3.88	2.59	1.72	3.61	1.33	1.49	7.69
2012	4.25	10.80	13.27	6.65	4.78	2.56	1.79	1.55	2.84	1.42	2.40	7.35	4.97
2013	14.94	14.66	18.21	13.73	12.34	6.41	3.80	4.20	4.04	1.81	3.03	3.96	8.43
2014	8.17	6.36	15.09	11.30	9.38	9.85	4.84	7.89	3.03	4.13	1.89	7.34	7.44
2015	10.27	13.33	15.84	16.32	10.78	7.30	3.89	2.59	1.73	1.15	2.35	3.05	7.38
2016	10.70	13.61	19.53	16.11	10.23	9.25	4.32	2.88	3.34	3.11	3.47	7.36	8.66
2017	8.80	12.64	13.88	21.70	14.24	6.50	4.23	2.82	1.90	2.61	3.72	9.01	8.50
2018	15.37	17.06	21.16	15.07	6.93	4.76	3.04	2.05	3.00	1.27	1.07	2.65	7.79
2019	3.53	11.18	16.10	11.32	6.19	3.46	2.69	1.62	1.08	0.72	2.63	2.14	5.22
2020	4.01	9.63	13.40	10.00	7.43	3.46	2.31	4.97	7.68	2.50	2.84	7.53	6.31
2021	17.31	23.02	19.01	19.00	11.57	6.21	4.01	2.67	1.78	3.60	3.52	1.67	9.45
2022	10.17	15.07	18.35	8.57	7.14	7.42	7.36	3.10	2.06	1.37	2.83	9.57	7.75
2023	14.97	20.71	23.03	21.55	16.57	7.40	4.93	3.29	2.19	1.46	1.89	6.60	10.38
2024	11.64	16.12	17.13	7.55	8.22	6.44	3.14	2.08	1.41	3.04	3.20	5.36	7.11
2025	10.96	13.24	12.84	6.70	6.34	4.16	2.41	1.54	1.03	3.47	3.01	5.96	5.97
2026	8.62	14.84	20.14	11.52	11.14	6.57	3.63	2.73	1.68	1.27	3.99	6.84	7.75
2027	8.86	14.31	19.68	21.56	14.69	9.75	7.86	4.02	2.68	2.60	2.40	6.31	9.56
2028	13.90	14.88	20.53	17.01	16.20	7.46	4.60	3.42	2.18	1.43	1.76	5.98	9.11
2029	7.27	12.16	19.50	19.16	14.07	6.20	4.14	2.76	1.84	1.93	0.97	5.65	7.97
2030	12.10	17.93	23.89	14.37	14.84	6.30	7.52	3.53	2.35	1.57	3.31	10.02	9.81
2031	8.79	11.18	15.66	10.30	9.33	4.60	2.85	1.90	1.27	1.04	2.94	8.44	6.53
2032	11.11	17.48	19.57	10.56	11.03	7.32	3.77	3.17	2.59	3.56	3.30	6.39	8.32
2033	15.35	18.90	22.02	20.78	11.36	6.10	4.40	2.78	1.85	3.03	5.79	12.23	10.38
2034	15.80	21.20	21.44	20.15	9.50	6.24	3.90	2.62	2.62	2.15	2.82	6.35	9.57
2035	11.39	10.72	16.36	19.64	9.56	5.31	3.96	2.42	3.46	1.66	3.63	3.85	7.66
2036	13.01	15.74	17.66	15.45	11.82	9.50	4.50	3.00	2.00	1.60	3.50	7.11	8.74
2037	11.80	9.68	15.96	13.33	11.17	4.83	3.22	2.15	1.43	1.69	4.72	6.33	7.19
2038	9.95	13.59	20.77	14.17	8.34	5.56	3.26	2.17	1.56	0.99	2.26	8.74	7.61
2039	17.39	19.46	24.05	16.95	8.74	5.24	3.50	2.33	2.38	1.22	6.04	6.87	9.51

**“...Continuación”**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual (m3/s)
2040	10.35	10.63	21.08	19.43	8.59	5.09	3.40	2.57	5.89	2.01	4.05	7.90	8.42
2041	7.44	14.12	19.52	10.78	10.10	4.55	3.03	2.02	1.35	2.10	2.46	9.23	7.23
2042	13.05	24.11	20.12	23.21	14.47	7.02	4.68	3.12	4.54	1.93	1.86	7.90	10.50
2043	19.03	19.04	21.21	16.96	9.19	8.21	4.14	2.76	1.88	1.24	2.57	5.35	9.30
2044	6.35	15.97	20.11	13.96	14.35	9.41	4.69	3.13	2.08	1.51	4.31	11.16	8.92
2045	15.88	13.79	17.95	17.97	15.65	6.50	4.33	2.89	1.93	1.28	3.15	6.06	8.95
2046	11.90	14.25	21.09	17.33	9.92	5.25	3.50	2.34	1.56	1.04	4.34	11.14	8.64
2047	17.62	14.31	15.19	10.09	10.54	10.61	4.41	2.92	4.42	2.93	5.00	8.28	8.86
2048	11.56	15.80	22.02	23.75	17.61	15.23	11.92	5.67	3.78	5.44	8.46	10.44	12.64
2049	14.61	14.06	18.67	15.80	11.93	6.55	3.90	2.62	1.74	1.16	3.33	8.97	8.61
2050	15.39	20.77	19.70	19.11	16.84	9.86	5.42	5.03	4.66	3.93	8.46	15.21	12.03
2051	17.68	19.98	24.01	22.12	15.75	14.22	7.76	4.58	3.06	5.12	7.39	14.49	13.01
2052	14.60	16.61	19.11	13.01	10.99	6.64	5.02	2.81	1.86	3.21	2.97	9.88	8.89
2053	15.27	16.96	25.41	19.37	8.59	5.45	3.63	2.92	1.72	1.15	1.45	2.92	8.74
2054	5.84	12.44	19.91	12.93	12.29	5.43	6.45	3.04	2.01	1.34	5.35	13.15	8.35
2055	16.68	19.96	22.36	13.83	13.31	7.65	6.69	3.50	2.29	1.67	2.43	9.27	9.97
2056	9.42	14.85	20.23	21.91	15.64	9.29	5.15	3.43	5.07	2.14	4.34	5.55	9.75
2057	13.09	19.28	25.62	21.75	12.60	11.40	5.47	3.64	2.43	1.62	1.68	5.42	10.33
2058	10.89	12.55	19.84	13.10	11.51	6.72	3.76	3.02	6.60	2.26	3.67	8.99	8.58
2059	15.99	20.21	21.77	18.69	14.52	10.10	5.18	3.45	2.30	1.90	3.96	10.52	10.72
2060	17.09	23.52	22.60	16.99	11.89	5.97	3.98	2.65	1.77	1.66	4.98	6.78	9.99
2061	12.81	18.32	19.82	12.38	10.36	4.90	5.96	3.19	1.94	2.63	3.61	9.78	8.81
2062	13.55	12.98	23.36	14.90	8.60	4.83	3.55	2.22	1.86	1.64	1.52	2.61	7.63
2063	10.17	14.65	17.29	14.97	13.90	8.83	4.50	3.00	2.00	2.02	2.40	7.10	8.40
2064	14.95	16.12	23.38	19.74	12.06	10.63	5.09	3.39	2.94	3.53	4.78	10.87	10.62
2065	17.15	24.03	25.57	17.60	9.17	5.57	3.71	2.48	1.65	2.41	6.55	9.16	10.42
Promedio Mensual (m3/s)	12.13	15.53	19.57	15.79	11.35	7.00	4.47	3.03	2.58	2.17	3.49	7.47	

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 19: Proyección de caudales (m<sup>3</sup>/s) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 8.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065.**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual (m <sup>3</sup> /s)
2010	13.41	15.94	16.90	16.83	11.26	12.20	5.09	4.49	8.31	3.73	4.15	7.75	10.00
2011	9.66	16.76	17.16	12.07	10.67	11.21	6.61	3.52	2.35	3.85	1.67	4.89	8.37
2012	12.07	17.56	23.03	21.19	17.78	9.74	5.51	3.68	2.45	1.63	3.86	9.48	10.66
2013	14.49	22.48	21.04	20.37	11.42	6.09	4.98	2.91	1.94	1.29	0.90	1.68	9.13
2014	8.02	15.19	15.29	15.36	14.74	9.43	4.69	3.13	2.09	2.15	1.83	5.46	8.12
2015	13.64	14.55	25.42	22.19	16.95	12.69	6.50	4.90	3.22	2.45	4.75	6.28	11.13
2016	14.03	17.98	18.75	12.14	9.57	10.76	4.46	2.98	2.42	1.90	5.60	13.46	9.51
2017	22.07	21.57	24.44	11.02	11.61	5.91	3.73	3.20	1.82	1.21	2.79	10.37	9.98
2018	11.82	20.65	27.16	20.04	18.95	8.20	5.44	3.63	2.40	2.25	5.54	8.45	11.21
2019	15.51	17.53	20.85	20.70	11.94	9.94	10.65	4.56	3.04	2.03	3.67	7.01	10.62
2020	10.26	14.45	24.68	20.07	11.83	8.16	4.52	4.29	2.29	2.60	3.74	11.74	9.89
2021	13.22	23.10	27.16	21.98	14.83	7.44	4.89	3.26	2.17	2.34	4.68	11.27	11.36
2022	11.92	17.27	19.59	23.05	14.45	7.17	4.84	4.12	3.11	5.63	5.17	7.43	10.31
2023	17.16	20.69	22.23	19.05	17.28	13.67	6.28	5.58	9.73	9.41	8.18	9.39	13.22
2024	14.30	14.76	25.16	15.86	13.76	6.70	4.25	3.82	2.11	6.46	8.24	13.84	10.77
2025	19.58	20.23	27.69	21.97	18.32	8.71	5.53	3.69	2.48	2.07	5.30	12.54	12.34
2026	11.30	17.48	19.69	18.54	8.80	6.48	3.73	2.49	1.88	1.81	4.50	7.00	8.64
2027	11.91	16.04	24.11	11.35	12.38	6.58	3.86	2.64	2.95	1.42	5.40	14.53	9.43
2028	18.85	17.35	23.42	21.35	19.38	10.10	5.81	3.87	2.58	3.15	6.04	11.66	11.96
2029	15.00	18.97	24.52	24.42	19.33	12.62	6.51	8.43	4.51	5.89	8.95	11.10	13.35
2030	18.89	19.56	21.24	17.40	15.56	7.91	4.74	4.75	6.33	2.77	6.17	12.08	11.45
2031	18.63	18.79	27.21	22.48	16.39	8.41	5.27	3.59	5.15	2.19	7.00	16.90	12.67
2032	15.07	18.36	17.72	20.57	17.12	10.28	5.48	3.73	6.90	6.02	11.78	18.17	12.60
2033	16.41	19.81	26.40	20.72	15.21	7.21	10.87	4.55	6.38	11.43	18.73	20.74	14.87
2034	24.97	25.24	29.09	25.47	15.21	11.59	9.04	6.88	4.21	5.41	7.64	13.86	14.88
2035	17.92	20.41	24.58	11.88	10.63	7.91	4.15	2.74	1.83	4.47	9.17	11.71	10.62
2036	18.21	21.22	23.15	10.93	17.60	6.64	4.43	2.95	2.77	5.55	11.87	17.22	11.88
2037	21.60	27.42	24.36	22.90	13.25	9.49	5.29	8.86	4.97	12.88	11.76	17.18	15.00
2038	22.41	19.04	25.68	25.70	19.48	13.07	6.75	4.50	3.04	2.01	6.50	13.38	13.46
2039	21.23	20.93	24.96	20.39	13.11	9.49	5.08	3.39	3.77	5.87	8.97	11.56	12.40
2040	16.55	20.19	19.65	14.21	11.74	5.51	3.66	2.97	3.59	3.50	10.59	21.90	11.17
2041	17.18	20.62	26.93	21.63	16.39	11.06	13.76	8.26	4.99	4.28	12.60	20.41	14.84
2042	21.44	25.61	24.06	25.13	10.07	13.31	5.88	6.16	3.59	8.19	14.30	16.32	14.50

**“...Continuación”**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual (m3/s)
2043	21.77	24.05	27.88	24.05	17.85	11.29	9.04	8.35	3.98	4.48	10.24	14.89	14.82
2044	19.71	16.29	24.28	25.74	14.78	15.39	9.32	5.20	7.52	3.80	11.91	20.47	14.54
2045	17.94	23.44	27.07	23.89	14.20	9.94	5.51	8.84	9.09	8.00	11.93	21.08	15.08
2046	23.31	17.99	27.22	26.86	19.24	12.53	6.69	9.00	6.01	10.55	15.67	20.41	16.29
2047	23.78	19.83	28.70	23.23	20.64	14.04	8.18	4.95	3.34	8.02	9.66	19.35	15.31
2048	11.29	19.45	23.75	22.60	15.78	11.56	6.72	4.14	5.64	8.24	14.81	19.90	13.66
2049	17.63	22.31	20.71	11.38	16.62	17.21	12.15	5.99	11.11	12.85	15.85	20.06	15.32
2050	24.11	29.19	28.99	29.14	15.80	14.07	13.98	10.01	4.98	5.49	12.93	19.90	17.38
2051	22.49	23.89	27.45	21.55	20.25	13.58	11.87	14.45	12.64	6.68	17.10	21.75	17.81
2052	21.61	18.05	20.30	23.63	19.28	13.39	12.21	14.43	12.30	13.20	19.28	20.68	17.36
2053	25.49	22.47	21.36	21.87	11.42	15.32	6.26	7.80	10.28	10.84	17.96	23.81	16.24
2054	26.20	23.72	22.02	25.05	22.15	12.27	8.41	10.73	11.61	13.16	18.24	22.14	17.98
2055	25.21	24.53	24.53	22.77	11.71	13.56	8.31	9.67	4.54	8.73	13.01	20.57	15.60
2056	23.66	27.88	22.42	24.10	19.88	19.87	14.44	12.42	19.75	20.66	24.05	24.10	21.10
2057	26.03	22.66	22.94	18.85	19.69	12.51	13.94	5.95	4.51	10.81	16.98	17.91	16.07
2058	23.05	26.43	33.63	21.23	22.85	18.47	18.27	18.72	15.83	16.02	19.78	23.28	21.46
2059	17.12	23.91	24.15	14.84	9.85	16.04	10.67	16.11	12.43	14.69	17.58	24.75	16.84
2060	27.87	28.53	30.83	24.79	20.09	16.00	10.99	10.53	13.36	13.34	20.48	25.50	20.19
2061	22.22	25.11	29.17	24.64	14.64	14.13	14.08	17.93	9.03	11.56	15.84	20.30	18.22
2062	24.89	30.78	30.65	22.03	17.45	19.01	11.23	11.61	9.59	13.63	19.89	21.85	19.38
2063	23.14	26.74	33.02	26.42	18.86	18.99	18.40	7.88	12.44	16.82	20.67	22.38	20.48
2064	19.81	25.49	28.07	29.12	22.73	19.58	16.48	14.05	14.34	22.23	21.33	25.15	21.53
2065	27.19	17.45	27.04	23.46	15.15	18.49	7.49	4.99	4.22	10.16	19.52	22.39	16.46
Promedio Mensual (m3/s)	18.65	21.03	24.46	20.72	15.68	11.66	7.98	6.72	6.07	7.18	11.01	15.88	

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 20: Proyección de caudales (m<sup>3</sup>/s) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065.**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual (m <sup>3</sup> /s)
2010	7.53	11.38	15.39	13.36	8.86	10.26	7.45	3.51	3.63	2.87	4.45	6.19	7.91
2011	3.86	9.12	15.93	15.81	16.02	6.08	4.05	2.81	1.96	2.54	6.68	7.26	7.68
2012	5.56	11.54	13.58	11.98	5.99	6.72	3.02	2.01	2.96	5.60	2.31	5.47	6.39
2013	8.35	11.77	16.85	9.07	11.62	7.78	5.36	2.91	2.23	2.43	3.57	2.86	7.07
2014	4.03	7.94	12.80	7.68	5.49	2.75	2.15	1.29	2.05	1.63	4.55	9.10	5.12
2015	9.68	17.65	19.28	17.00	7.19	13.46	5.65	3.49	2.33	1.56	3.48	3.15	8.66
2016	7.36	3.36	10.13	13.27	4.31	6.84	5.80	5.40	9.68	3.18	5.36	6.95	6.80
2017	11.35	17.92	23.76	18.98	12.68	8.50	5.32	3.35	2.81	1.60	3.17	6.49	9.66
2018	9.47	13.90	17.83	6.34	5.89	8.13	3.27	2.14	1.71	6.98	2.71	6.40	7.07
2019	6.86	15.26	19.52	20.09	9.70	5.56	5.00	2.72	1.82	2.60	1.80	4.02	7.91
2020	3.81	7.06	14.25	8.62	5.50	4.62	3.69	1.85	2.85	1.22	3.40	2.56	4.95
2021	10.56	15.60	20.22	14.95	9.73	6.17	3.57	8.23	5.36	2.95	1.79	2.67	8.48
2022	7.64	12.84	16.70	11.79	9.66	5.14	3.09	2.06	2.85	1.53	2.48	1.48	6.44
2023	7.83	12.40	14.18	8.09	8.72	8.14	3.44	6.29	2.72	1.68	2.58	3.41	6.62
2024	9.52	16.42	13.65	10.70	6.49	3.52	2.35	1.57	5.70	5.70	2.31	2.88	6.73
2025	8.96	12.89	15.51	12.24	9.58	8.33	3.81	5.00	2.24	2.45	1.39	4.96	7.28
2026	9.72	11.42	14.68	11.42	12.67	5.55	3.42	5.91	2.33	5.29	2.36	2.49	7.27
2027	6.60	9.57	14.16	8.92	6.48	3.39	2.18	6.26	2.27	1.55	4.30	2.19	5.65
2028	8.12	6.62	11.74	5.63	10.15	5.50	4.74	7.03	3.38	4.34	2.26	5.57	6.26
2029	12.05	12.18	17.02	12.99	12.78	10.08	7.96	3.80	5.34	5.32	2.70	2.33	8.71
2030	4.36	9.00	18.11	19.36	6.63	18.07	5.98	3.99	2.66	4.99	4.21	8.59	8.83
2031	6.88	8.76	18.27	7.96	12.78	6.16	4.66	6.95	2.69	3.76	7.29	6.58	7.73
2032	10.78	9.52	17.97	11.81	9.11	6.19	3.75	2.49	1.57	3.75	9.37	13.66	8.33
2033	17.89	17.53	22.62	20.26	10.11	6.82	4.10	2.73	3.39	2.75	3.11	1.68	9.42
2034	8.31	12.52	20.37	21.71	13.04	12.13	5.48	3.77	2.47	3.56	1.52	5.45	9.19
2035	8.03	12.77	15.31	9.47	8.54	5.01	3.40	2.01	1.42	3.49	2.68	7.69	6.65
2036	8.17	13.15	18.14	11.53	13.10	13.85	5.40	6.21	2.98	3.66	9.05	14.59	9.99
2037	14.92	17.22	22.56	13.56	11.19	11.59	4.96	3.30	2.20	1.54	4.60	6.03	9.47
2038	5.11	12.30	17.59	18.43	10.24	6.70	3.91	6.47	2.79	2.07	1.58	3.14	7.53
2039	5.03	12.62	11.25	5.49	4.45	4.05	1.99	1.30	1.20	0.65	0.46	2.70	4.27
2040	8.50	15.38	16.96	11.51	5.70	10.85	4.06	2.67	3.38	4.65	2.24	3.05	7.41
2041	3.616	6.176	10.591	9.393	8.142	3.375	2.250	1.500	5.981	2.475	1.435	3.464	4.866

**“...Continuación”**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual (m3/s)
2042	6.46	14.47	13.99	13.95	8.51	4.24	7.59	2.99	2.13	1.35	1.57	0.81	6.50
2043	4.33	7.92	12.47	14.57	9.64	8.44	3.80	2.53	2.86	2.06	3.12	6.01	6.48
2044	2.47	14.11	16.96	17.88	12.95	7.59	7.19	3.48	2.32	2.56	1.43	4.50	7.79
2045	10.31	17.93	17.17	20.78	15.12	10.27	8.99	4.64	7.02	3.30	5.41	7.69	10.72
2046	7.63	10.08	13.27	9.67	8.31	3.69	2.46	1.64	1.10	0.73	0.51	2.00	5.09
2047	6.42	11.90	13.24	10.72	8.27	6.26	3.60	3.51	4.25	8.38	9.69	12.29	8.21
2048	18.43	11.24	20.61	16.89	7.31	10.85	7.42	3.64	3.13	7.07	11.22	5.94	10.31
2049	15.49	20.78	19.47	22.40	15.39	7.08	4.72	5.39	5.16	2.81	2.56	3.03	10.36
2050	6.53	13.45	15.83	16.90	6.94	6.85	3.41	2.27	1.74	1.06	2.61	3.13	6.73
2051	7.99	14.72	13.08	17.12	13.37	14.54	10.50	6.89	3.70	2.47	5.14	9.65	9.93
2052	7.53	10.64	16.91	12.35	12.61	9.19	4.99	3.02	2.02	1.73	2.45	7.78	7.60
2053	10.71	11.76	14.35	12.65	7.16	3.83	2.60	4.40	1.75	2.03	1.99	3.37	6.38
2054	10.51	16.11	18.10	16.83	13.77	8.66	4.70	3.07	2.19	3.88	2.82	1.79	8.54
2055	4.52	8.32	14.64	11.39	10.29	4.44	2.89	4.02	4.11	2.77	3.66	1.58	6.05
2056	7.56	15.86	14.45	15.45	9.73	4.72	3.15	3.48	4.18	1.69	2.10	6.37	7.39
2057	6.86	16.65	20.56	19.13	10.95	13.39	5.73	4.07	2.55	3.35	3.87	5.31	9.37
2058	11.55	17.79	20.22	21.88	10.52	7.49	4.27	4.54	5.55	2.73	2.29	2.41	9.27
2059	3.87	11.30	12.97	11.87	7.89	9.34	3.75	2.56	2.87	1.89	4.95	4.71	6.50
2060	9.26	11.92	15.45	15.57	8.46	7.59	3.69	2.45	1.63	3.63	4.32	8.77	7.73
2061	9.89	12.97	19.75	18.61	14.53	8.13	4.68	3.09	2.93	3.74	6.42	8.94	9.47
2062	7.84	12.82	20.33	15.71	11.38	5.69	4.85	2.69	3.88	4.76	9.86	13.41	9.43
2063	15.69	14.47	19.29	11.50	5.92	6.10	3.76	2.24	4.34	4.59	3.67	12.69	8.69
2064	14.00	19.33	21.79	15.51	15.49	10.76	6.36	5.02	3.94	3.34	2.23	2.19	10.00
2065	7.53	15.73	16.27	12.39	11.13	8.12	5.33	2.93	4.86	4.16	3.69	9.24	8.45
Promedio Mensual (m3/s)	8.46	12.79	16.57	13.77	9.79	7.65	4.57	3.67	3.20	3.15	3.73	5.51	

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 21: Proyección de caudales (m<sup>3</sup>/s) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 8.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065.**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prome dio Anual (m <sup>3</sup> /s)
2010	5.39	11.39	20.44	16.65	13.71	11.78	5.23	3.48	2.45	1.60	3.87	5.63	8.47
2011	10.97	14.40	18.94	16.56	9.16	8.63	4.10	2.83	1.84	1.23	2.82	8.78	8.36
2012	3.78	12.54	15.95	7.19	5.02	2.95	1.96	2.57	1.14	0.76	2.57	3.85	5.02
2013	9.65	15.60	14.63	7.67	10.86	11.53	4.44	2.96	2.15	3.08	5.08	8.85	8.04
2014	11.02	13.23	17.33	18.84	15.68	11.34	5.45	4.05	3.33	4.63	3.27	9.94	9.84
2015	10.09	14.82	19.62	16.86	9.49	5.47	4.35	3.50	2.38	3.28	3.25	6.35	8.29
2016	13.28	14.18	13.15	10.05	10.69	5.52	3.17	2.11	3.80	1.77	5.78	7.66	7.60
2017	15.65	17.27	19.15	14.09	9.97	6.97	3.75	2.50	4.49	6.95	3.13	3.31	8.94
2018	8.50	6.96	11.91	5.05	9.02	5.32	2.63	1.94	4.81	9.29	3.01	5.18	6.14
2019	8.31	13.10	13.71	8.62	4.45	4.80	5.25	6.97	5.15	2.56	3.78	8.00	7.06
2020	4.61	16.00	19.51	13.23	13.82	9.88	4.70	3.16	2.09	2.90	7.96	10.62	9.04
2021	8.22	11.03	18.00	13.13	9.79	5.88	3.36	2.24	1.49	1.63	7.85	3.04	7.14
2022	5.93	13.74	18.52	8.38	6.02	4.43	7.59	2.81	2.44	1.50	4.33	3.49	6.60
2023	13.98	20.66	15.40	19.70	7.14	4.96	3.22	2.24	1.45	2.71	8.25	9.28	9.08
2024	9.69	15.88	15.02	15.84	9.33	4.75	3.16	2.11	1.41	1.25	4.48	7.83	7.56
2025	8.53	10.84	16.49	19.05	7.05	5.47	4.93	2.63	2.89	3.82	2.53	5.02	7.44
2026	12.03	13.32	17.63	13.77	12.46	5.89	3.66	3.00	1.94	2.86	2.47	8.93	8.16
2027	12.29	10.30	14.15	19.89	13.66	6.21	4.03	2.87	1.83	5.11	2.70	4.34	8.12
2028	12.03	12.58	22.71	12.32	10.73	7.64	3.91	2.61	1.74	1.17	3.74	2.34	7.79
2029	7.22	9.21	14.93	17.43	18.34	17.44	8.32	6.37	8.52	6.36	7.27	6.69	10.68
2030	8.25	10.16	16.31	19.09	16.62	8.55	9.71	4.31	8.62	4.55	11.00	9.44	10.55
2031	9.47	14.08	20.85	18.04	16.67	7.83	4.93	3.22	2.14	2.25	5.28	3.26	9.00
2032	5.60	11.74	20.84	10.44	15.48	13.31	8.65	4.36	4.77	10.87	8.73	9.33	10.34
2033	10.81	9.60	20.96	20.29	17.12	15.27	8.10	4.70	3.14	5.51	11.35	6.43	11.11
2034	14.95	19.38	23.51	22.09	13.91	10.63	5.43	4.57	3.93	4.97	8.75	13.09	12.10
2035	16.33	19.48	18.73	20.16	11.06	8.61	4.52	3.98	2.23	5.74	2.04	8.39	10.11
2036	13.37	14.19	18.95	12.32	10.16	6.02	3.45	6.13	7.83	8.74	9.48	14.46	10.42
2037	11.55	16.27	19.72	20.66	14.49	10.20	6.05	3.66	4.38	5.67	6.27	11.99	10.91
2038	16.68	22.98	23.08	15.08	8.53	5.74	3.52	3.18	4.91	5.25	2.00	3.63	9.55
2039	5.74	12.60	18.15	11.27	11.82	6.28	3.55	2.40	1.59	5.30	3.38	4.79	7.24
2040	8.30	13.81	20.97	14.63	14.08	5.99	3.94	2.63	1.75	2.93	5.82	9.74	8.71
2041	6.12	14.53	19.41	20.18	11.32	9.49	5.68	6.99	4.32	6.84	8.51	5.66	9.92

**“...Continuación”**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prome dio Anual (m3/s)
2042	12.85	17.95	21.44	14.00	12.01	7.45	4.22	2.76	2.39	2.43	6.21	11.38	9.59
2043	12.95	13.15	16.23	11.87	14.77	10.68	6.85	3.68	8.57	11.15	16.15	10.11	11.34
2044	18.43	14.81	23.59	13.66	8.65	10.37	4.45	8.09	6.10	9.04	9.60	8.98	11.32
2045	11.90	15.37	20.59	9.45	13.00	5.19	3.46	2.31	3.22	6.22	6.79	7.83	8.78
2046	6.14	17.13	20.68	13.72	15.91	8.38	5.37	5.91	11.09	5.76	7.73	11.39	10.77
2047	17.26	14.83	20.02	10.96	10.02	16.29	7.80	4.55	9.09	5.53	9.82	16.41	11.88
2048	18.13	22.53	20.45	20.95	19.70	17.79	9.09	6.28	5.89	8.00	14.73	15.72	14.94
2049	11.19	20.80	29.87	27.00	11.40	16.06	9.46	5.09	12.69	13.86	14.53	18.02	15.83
2050	17.65	22.70	23.36	12.55	6.99	4.53	3.02	2.01	3.71	1.42	7.66	9.51	9.59
2051	12.41	20.03	24.42	21.05	13.27	13.81	6.17	4.05	2.70	8.01	11.41	14.95	12.69
2052	15.24	29.81	25.90	23.44	20.86	12.10	12.32	7.77	6.04	12.12	12.96	19.39	16.50
2053	15.54	13.70	18.45	11.01	8.92	8.37	4.12	2.61	3.52	2.82	4.30	4.87	8.19
2054	10.72	14.12	18.16	20.10	8.98	13.17	6.60	7.71	6.97	12.51	12.74	9.25	11.75
2055	18.08	22.71	29.70	15.85	9.76	9.02	4.54	7.56	3.04	6.25	6.18	8.14	11.74
2056	15.21	14.22	18.71	21.77	10.34	8.29	4.47	3.57	3.24	6.01	13.35	18.88	11.51
2057	20.51	26.78	30.31	17.85	18.64	15.86	12.50	14.91	12.83	11.29	9.75	12.55	16.98
2058	13.70	21.53	27.64	24.76	17.44	10.79	6.02	4.01	3.40	5.36	8.52	9.63	12.73
2059	19.89	23.82	30.57	19.66	15.15	9.23	5.32	6.45	3.37	10.18	13.57	13.34	14.21
2060	16.92	22.87	28.91	17.67	15.02	9.44	6.62	3.79	9.89	10.40	9.96	18.99	14.21
2061	24.04	18.49	22.11	21.53	15.01	18.19	9.61	10.50	4.76	9.82	17.86	19.47	15.95
2062	22.69	19.38	25.72	23.48	16.88	14.88	14.44	12.06	5.45	9.78	15.89	19.92	16.71
2063	21.27	26.58	32.86	27.89	12.18	12.03	6.81	4.23	3.09	5.05	7.19	10.20	14.11
2064	16.77	18.31	23.17	21.48	9.56	10.75	8.83	5.20	6.87	8.47	9.98	11.82	12.60
2065	17.96	20.95	29.90	23.11	10.56	7.93	4.88	3.58	2.21	8.96	9.53	11.74	12.61
Prome dio Mensu al (m3/s)	12.60	16.40	20.74	16.49	12.19	9.38	5.74	4.50	4.41	5.78	7.63	9.68	

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo 3: Resultado de la temperatura media presente en la cuenca Lurín**

**Tabla 22: Proyección de temperaturas medias (°C) en el punto de la estación Manchay para el periodo 1980-2006.**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual (°C)
1980	23	23	23	24	23	22	18	18	19	19	20	21	21.08
1981	21	24	24	22	21	14	16	16	17	20	20	23	19.83
1982	23	24	25	23	21	18	16	16	19	20	22	23	20.83
1983	20	24	25	24	23	26	20	13	13	13	19	21	20.08
1984	22	23	24	21	21	19	17	18	17	19	20	22	20.25
1985	23	23	24	22	19	19	16	16	18	18	17	22	19.75
1986	22	24	24	21	19	16	17	18	19	18	19	20	19.75
1987	25	24	22	22	20	16	17	17	17	18	19	22	19.92
1988	21	24	23	22	20	16	17	16	16	17	19	20	19.25
1989	24	24	24	21	19	17	16	18	17	19	19	21	19.92
1990	23	24	23	21	21	19	18	19	18	18	19	20	20.25
1991	22	22	24	23	20	18	19	16	18	19	19	20	20.00
1992	24	25	26	23	23	18	17	18	17	18	19	21	20.75
1993	23	24	25	23	21	19	17	17	20	19	19	22	20.75
1994	24	25	24	22	21	18	17	19	19	19	20	21	20.75
1995	24	24	25	23	21	18	18	16	18	19	20	21	20.58
1996	22	23	23	21	20	17	17	17	17	19	19	20	19.58
1997	22	23	24	22	22	22	21	20	20	20	22	23	21.75
1998	25	26	25	23	21	20	18	18	18	19	19	21	21.08
1999	22	23	23	23	21	18	18	18	18	19	20	21	20.33
2000	23	23	23	23	21	20	18	18	19	20	18	22	20.67
2001	23	24	25	23	20	19	18	17	19	18	19	21	20.50
2002	22	23	24	22	21	19	18	18	19	19	21	22	20.67
2003	23	25	24	23	20	18	18	18	19	19	20	21	20.67
2004	23	23	24	22	20	17	18	18	18	20	21	21	20.42
2005	22	23	24	22	19	18	17	17	18	18	20	20	19.83
2006	24	24	24	22	20	19	19	19	19	20	20	22	21.00
Promedio Mensual (°C)	22.78	23.74	24.00	22.33	20.67	18.52	17.63	17.37	18.00	18.67	19.59	21.26	

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo 4: Resultado de la temperatura media futura en la cuenca Lurín para los cuatro escenarios analizados (2GCMs x 2 RCPs).**

**Tabla 23: Proyección de temperaturas medias (°C) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065.**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual (°C)
2010	23	23	24	23	21	19	19	19	19	19	20	22	20.97
2011	23	24	24	23	20	20	19	19	19	20	21	22	21.43
2012	24	25	24	22	22	19	18	18	18	19	19	21	20.74
2013	22	23	23	21	20	19	19	19	19	19	20	22	20.66
2014	23	24	24	22	20	19	18	18	18	19	19	21	20.43
2015	22	23	23	21	21	19	19	19	19	19	20	22	20.74
2016	24	24	25	23	21	20	19	19	19	19	20	21	21.35
2017	23	24	24	23	22	20	19	19	19	19	20	22	21.35
2018	23	24	24	23	21	19	19	19	19	19	20	22	21.12
2019	23	24	24	23	21	20	19	19	19	19	20	22	21.12
2020	23	24	23	22	21	20	19	19	19	19	21	22	21.12
2021	24	25	25	24	22	20	19	19	19	19	20	21	21.43
2022	23	23	23	22	21	19	19	19	19	20	21	22	21.20
2023	24	24	25	23	23	20	19	19	19	19	20	22	21.66
2024	23	24	23	21	21	19	18	18	19	19	19	21	20.43
2025	23	23	24	22	20	20	19	19	19	19	21	22	21.12
2026	24	24	24	22	21	20	19	18	19	19	20	21	20.97
2027	23	24	24	23	22	19	19	19	19	19	20	21	21.04
2028	23	23	23	22	21	20	19	19	19	19	20	22	20.97
2029	23	25	24	23	22	21	19	19	20	20	21	22	21.81
2030	24	25	26	24	22	22	20	19	19	20	20	21	22.05
2031	23	24	24	23	21	21	19	19	19	20	21	23	21.66
2032	24	24	25	23	21	20	20	19	19	19	21	22	21.66
2033	24	24	25	23	21	21	20	20	20	20	21	23	22.05
2034	24	25	25	23	22	21	19	19	19	20	20	22	21.81
2035	23	24	24	23	21	20	19	18	19	19	20	21	21.04
2036	23	24	23	23	21	20	19	19	19	20	20	22	21.20
2037	24	24	24	23	23	22	19	19	19	20	21	21	21.66
2038	23	24	24	23	21	21	19	19	19	20	21	22	21.58
2039	24	25	25	23	21	21	20	19	19	19	21	22	21.81
2040	24	24	24	23	21	20	19	19	19	20	21	22	21.51

**“...Continuación”**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual (°C)
2041	23	25	24	23	22	21	19	19	19	20	20	22	21.58
2042	24	25	24	23	21	20	19	19	19	20	20	23	21.66
2043	24	24	24	22	20	20	19	19	19	19	21	21	21.04
2044	23	24	24	23	21	20	19	19	19	20	21	23	21.58
2045	24	24	24	23	22	20	19	19	19	19	20	21	21.28
2046	23	24	24	22	21	20	19	19	20	20	21	22	21.51
2047	24	25	25	23	22	21	20	19	20	20	21	22	22.05
2048	23	24	24	24	23	21	19	19	20	20	21	22	21.89
2049	24	24	24	22	21	19	19	19	19	20	22	22	21.43
2050	25	25	25	24	23	22	21	20	21	21	22	23	22.82
2051	25	25	25	24	23	22	20	19	19	20	21	22	22.28
2052	23	24	24	22	21	20	19	19	19	20	20	22	21.20
2053	23	24	25	23	22	20	19	19	19	19	20	22	21.51
2054	24	24	25	23	23	21	19	19	20	20	21	22	21.97
2055	24	24	25	22	23	21	20	19	20	21	22	23	22.20
2056	24	25	25	24	23	22	21	20	20	20	21	23	22.51
2057	24	24	25	23	20	20	19	19	19	20	21	22	21.51
2058	24	25	25	23	22	21	20	19	20	20	22	23	22.20
2059	25	25	25	24	24	21	20	20	20	20	21	23	22.51
2060	24	25	24	23	21	20	19	19	19	19	21	22	21.51
2061	23	23	23	22	20	20	19	19	19	19	20	22	20.89
2062	23	24	24	22	21	20	19	19	19	19	20	22	21.12
2063	23	24	24	23	22	20	19	19	19	20	21	22	21.58
2064	24	25	25	23	22	22	20	19	20	20	21	23	22.20
2065	25	25	25	23	21	21	19	19	19	20	22	22	21.97
Promedio Mensual (°C)	23.62	24.22	24.26	22.91	21.70	20.60	19.26	19.05	19.34	19.92	20.88	22.17	

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 24: Proyección de temperaturas medias (°C) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 8.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065.**

Año	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic	Promedio Anual (°C)
2010	22	23	23	22	21	19	19	19	19	19	20	21	20.74
2011	23	24	24	23	22	21	20	20	20	20	21	24	22.05
2012	25	26	26	23	23	21	19	19	19	19	21	22	22.05
2013	23	23	23	22	20	19	19	19	19	19	20	21	20.74
2014	24	24	23	22	21	19	19	19	19	19	20	22	21.04
2015	24	25	24	23	21	19	19	19	19	19	20	22	21.28
2016	23	24	24	22	21	20	19	19	19	20	20	22	21.28
2017	23	24	24	23	21	20	19	19	19	20	21	23	21.58
2018	24	25	25	24	23	22	20	20	19	20	21	22	22.28
2019	25	25	25	23	23	21	19	19	19	20	21	22	21.97
2020	24	24	25	23	22	20	19	20	20	20	21	23	21.97
2021	24	25	24	23	21	21	19	19	19	20	21	23	21.81
2022	24	25	25	23	22	21	20	20	20	20	21	23	22.20
2023	24	25	25	23	22	20	19	19	19	20	21	22	21.81
2024	24	24	25	23	22	20	19	19	19	21	21	23	21.89
2025	25	25	26	25	22	21	20	20	20	21	22	23	22.66
2026	24	25	24	23	21	20	19	19	20	20	21	23	21.81
2027	24	25	24	23	22	21	20	20	20	21	22	23	22.28
2028	25	26	25	24	23	21	20	19	19	21	21	22	22.35
2029	23	25	25	24	22	21	20	19	20	21	22	22	22.20
2030	25	26	25	24	22	21	20	20	20	21	22	23	22.59
2031	24	26	25	24	24	22	21	21	21	22	22	23	23.05
2032	25	25	26	24	24	22	21	20	20	20	22	24	22.89
2033	25	26	26	25	25	23	21	20	21	21	22	23	23.28
2034	25	26	25	24	24	23	21	20	20	21	22	23	22.97
2035	24	25	25	23	21	21	19	19	19	19	21	23	21.81
2036	24	25	25	24	23	21	20	20	20	21	22	23	22.51
2037	25	25	25	24	22	21	21	21	21	22	22	23	22.82
2038	26	27	26	26	24	24	21	21	21	22	22	23	23.66
2039	26	26	26	24	22	21	20	19	19	20	21	22	22.35
2040	24	25	25	23	21	20	19	20	20	21	22	23	22.12
2041	25	26	26	25	23	23	21	21	22	22	22	24	23.43

**“...Continuación”**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual (°C)
2042	28	27	27	27	26	26	23	23	22	23	24	26	25.13
2043	26	26	26	23	22	20	19	19	19	20	21	23	22.12
2044	24	25	25	24	22	21	20	21	21	21	23	24	22.74
2045	25	26	25	25	23	22	21	21	22	22	22	25	23.36
2046	26	26	25	26	24	23	21	21	22	22	23	24	23.66
2047	26	27	26	26	24	22	21	21	21	22	23	24	23.66
2048	24	26	26	25	24	23	22	22	22	23	24	24	23.82
2049	26	26	27	27	25	24	23	22	23	23	23	25	24.51
2050	26	27	26	26	25	24	22	22	22	23	24	25	24.36
2051	26	26	26	25	23	22	21	21	21	21	23	24	23.36
2052	25	26	26	26	24	24	21	22	22	23	24	25	24.05
2053	26	27	27	27	26	24	22	23	22	23	24	24	24.59
2054	26	28	26	26	25	24	21	22	22	23	25	26	24.51
2055	26	27	27	27	26	26	22	22	23	23	24	24	24.74
2056	26	27	27	27	24	24	23	22	22	23	23	24	24.36
2057	27	26	26	25	24	23	21	22	22	23	23	25	23.97
2058	26	26	26	25	24	23	23	22	23	23	24	25	24.20
2059	27	28	27	27	26	24	22	23	24	24	26	27	25.36
2060	27	29	28	28	26	25	22	22	23	23	24	26	25.21
2061	26	27	28	26	24	23	23	22	22	23	23	24	24.28
2062	27	28	27	28	25	25	23	22	22	24	26	27	25.28
2063	29	28	28	26	26	24	22	22	23	23	25	24	24.98
2064	26	27	27	26	26	24	24	23	23	24	25	26	25.05
2065	28	28	27	27	26	25	23	22	23	23	24	25	25.05
Promedio Mensual (°C)	25.04	25.70	25.47	24.58	23.32	22.23	20.86	20.78	21.04	21.62	22.50	23.67	

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 25: Proyección de temperaturas medias (°C) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065.**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual (°C)
2010	22	24	23	21	20	19	19	19	19	19	20	21	20.66
2011	23	23	23	22	21	19	19	18	18	19	19	21	20.43
2012	22	23	23	22	21	19	18	18	19	19	20	21	20.35
2013	23	24	24	22	20	19	19	19	19	19	19	20	20.50
2014	22	23	23	21	20	18	19	18	19	19	19	21	20.12
2015	23	23	23	21	20	19	18	18	19	19	20	20	20.35
2016	22	23	22	22	20	19	19	19	19	19	20	21	20.43
2017	23	23	23	22	20	19	18	18	19	19	19	21	20.35
2018	23	24	24	21	20	19	19	19	19	20	19	21	20.74
2019	22	24	23	22	20	19	19	19	19	19	20	22	20.74
2020	22	23	24	22	21	19	19	19	19	20	20	21	20.81
2021	23	23	23	22	20	19	19	19	20	20	20	21	20.89
2022	24	24	24	22	20	19	19	19	19	19	19	22	20.74
2023	23	23	24	22	21	19	17	18	18	18	19	21	20.12
2024	23	23	23	21	19	19	19	18	19	19	19	21	20.20
2025	23	23	23	22	21	20	19	19	19	19	20	20	20.97
2026	23	24	24	22	20	19	18	18	18	19	19	20	20.27
2027	22	23	22	21	20	19	19	19	19	19	19	21	20.27
2028	23	24	23	21	20	19	19	18	19	19	19	21	20.35
2029	23	24	24	22	21	20	19	19	19	19	20	21	21.04
2030	23	23	24	22	21	19	19	18	19	19	19	21	20.58
2031	23	24	24	23	21	20	19	19	20	20	21	22	21.58
2032	24	24	24	23	21	20	19	20	21	21	22	23	22.05
2033	24	24	25	23	21	20	19	18	19	19	19	21	21.04
2034	23	24	23	23	21	19	18	18	19	19	19	22	20.74
2035	23	24	24	22	20	19	19	19	19	21	20	22	21.20
2036	24	24	24	22	22	20	19	19	20	21	22	22	21.81
2037	24	25	25	24	22	20	19	19	19	19	20	21	21.58
2038	23	24	24	23	21	19	18	18	19	19	20	21	20.66
2039	23	23	23	21	20	19	19	18	19	19	19	21	20.43
2040	23	24	24	22	20	19	19	19	19	19	19	21	20.74
2041	23	23	24	22	21	19	19	19	19	19	20	22	20.89

**“...Continuación”**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedi o Anual (°C)
2042	23	24	24	21	20	19	19	18	18	19	19	21	20.43
2043	23	24	23	22	21	19	19	19	19	20	20	22	20.97
2044	24	25	24	23	21	21	18	19	19	20	20	22	21.43
2045	23	24	24	23	21	19	19	19	19	20	20	21	21.12
2046	23	24	24	22	21	19	19	19	19	20	20	22	21.20
2047	23	24	23	22	20	19	19	19	19	19	21	21	20.97
2048	23	24	24	23	21	20	19	19	19	20	20	21	21.12
2049	23	24	24	22	20	19	19	18	19	19	19	21	20.50
2050	22	23	23	22	20	18	18	16	19	19	21	21	20.20
2051	23	24	24	22	21	20	19	20	20	22	21	22	21.74
2052	24	25	24	24	21	20	19	19	19	21	21	22	21.66
2053	23	25	25	23	20	19	18	19	19	19	20	22	21.04
2054	23	24	24	23	20	19	19	18	19	19	20	21	20.74
2055	23	24	23	22	20	19	18	18	19	19	19	21	20.43
2056	23	24	23	22	20	19	19	19	19	19	19	21	20.66
2057	23	23	24	22	21	19	19	19	19	19	20	22	20.74
2058	24	25	24	24	22	19	18	19	19	19	21	21	21.28
2059	23	24	24	22	21	20	19	19	19	19	20	22	21.12
2060	23	24	24	22	21	19	19	19	19	19	20	20	20.89
2061	24	25	25	23	21	20	19	19	19	20	21	22	21.66
2062	24	24	24	23	21	19	19	19	19	19	20	21	21.20
2063	23	24	24	22	21	19	18	18	19	19	20	21	20.66
2064	24	24	23	22	21	19	19	18	19	19	19	21	20.58
2065	23	24	23	22	20	20	19	18	19	19	20	22	20.81
Promedi o Mensual (°C)	23.1 7	23.8 7	23.7 2	22.3 5	20.8 8	19.2 9	18.4 0	18.2 9	18.8 6	19.5 1	20.1 7	21.5 1	

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 26: Proyección de temperaturas medias (°C) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 8.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo 2010-2065.**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual (°C)
2010	23	24	24	22	21	20	19	19	20	19	20	22	21.27
2011	23	24	24	22	21	19	19	19	19	19	19	21	20.81
2012	22	24	24	22	21	19	19	19	19	19	20	21	20.81
2013	23	24	23	22	21	19	19	19	19	19	21	22	21.04
2014	23	25	25	23	21	20	19	20	20	19	21	22	21.66
2015	24	25	25	23	21	19	19	19	19	19	19	21	21.19
2016	24	24	24	22	21	20	19	19	19	19	20	22	21.19
2017	24	24	23	22	21	19	18	18	19	19	19	21	20.58
2018	23	23	23	21	21	19	18	18	19	19	19	21	20.27
2019	23	23	23	22	21	20	19	19	19	20	21	21	20.97
2020	23	25	24	22	20	19	19	19	19	19	21	22	21.12
2021	24	24	24	22	20	19	18	18	19	19	20	22	20.81
2022	23	24	24	22	21	19	18	19	19	19	20	21	20.89
2023	24	25	24	23	21	20	19	20	21	21	22	22	22.05
2024	25	25	24	23	20	19	19	19	19	19	20	21	21.19
2025	22	24	23	22	20	18	19	18	19	20	20	22	20.66
2026	23	24	24	22	20	19	19	19	19	20	21	21	20.97
2027	24	25	24	23	21	20	19	19	19	20	20	22	21.51
2028	24	24	24	22	21	19	19	19	19	19	21	22	21.19
2029	24	25	25	24	23	21	20	20	20	21	21	22	22.35
2030	24	25	26	23	21	19	19	19	19	19	20	22	21.28
2031	23	23	24	22	20	19	19	19	20	20	21	22	21.12
2032	24	26	25	24	22	22	20	20	21	22	21	22	22.59
2033	24	25	25	24	22	20	19	19	21	22	21	23	22.28
2034	24	24	24	23	21	19	19	19	19	20	21	22	21.35
2035	24	24	24	22	20	19	19	19	19	22	21	22	21.35
2036	24	25	24	23	22	21	19	20	20	21	22	23	22.20
2037	24	25	24	23	21	19	19	19	19	20	21	22	21.35
2038	24	24	24	22	20	20	19	19	19	20	21	23	21.43
2039	24	25	25	23	22	19	19	19	20	21	21	22	21.82
2040	24	25	25	23	22	21	19	19	21	21	21	23	22.12
2041	25	25	25	24	22	20	19	19	20	19	20	21	21.74

**“...Continuación”**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual (°C)
2042	24	25	25	24	22	19	19	19	20	21	21	22	21.97
2043	24	24	25	24	23	21	20	20	20	21	22	23	22.43
2044	25	26	25	25	21	20	19	19	21	21	22	23	22.43
2045	24	25	25	23	23	20	20	19	21	22	22	22	22.28
2046	24	25	25	24	22	20	19	19	19	21	22	22	22.05
2047	25	25	26	24	22	21	19	19	20	21	22	23	22.43
2048	26	27	26	25	24	22	20	21	21	22	23	23	23.43
2049	25	26	27	25	23	21	19	19	19	22	22	23	22.74
2050	25	26	25	24	23	20	19	19	20	21	22	23	22.35
2051	26	25	26	24	23	21	21	22	21	22	22	23	23.13
2052	25	26	26	25	22	21	20	20	20	23	22	24	22.97
2053	25	25	25	23	22	20	19	19	19	21	22	22	22.05
2054	25	25	25	24	22	21	20	21	21	21	22	23	22.66
2055	25	26	26	23	22	21	19	20	21	22	22	23	22.66
2056	25	25	25	24	23	22	20	20	22	23	24	24	23.20
2057	26	26	27	25	24	23	21	22	23	22	23	23	23.82
2058	25	25	26	25	22	20	19	20	20	21	22	23	22.51
2059	25	26	26	24	23	21	19	20	20	22	22	24	22.82
2060	25	26	26	25	22	21	19	20	21	23	23	24	23.05
2061	26	25	26	24	23	23	22	21	21	22	24	24	23.51
2062	27	27	27	26	24	23	22	21	23	23	23	24	24.20
2063	25	26	26	25	23	21	21	20	21	21	21	24	22.97
2064	25	26	26	25	22	21	19	20	21	21	22	23	22.74
2065	27	26	26	25	23	22	20	21	21	22	23	23	23.356
Promedio Mensual (°C)	24.31	24.89	24.83	23.44	21.92	20.43	19.33	19.47	20.17	20.91	21.52	22.55	

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo 5: Tablas de demanda agrícola presente y proyectada.**

**Tabla 27: Demanda agrícola para el año 2006.**

N°	Comisión de regantes	Área física bajo riego	Área sembrada (Has)	Área física (Has)	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1	SISCAYA	289.56	14.93	12.38	0.88	0.93	0.86	0.53	0.33	0.08	0.06	0.31	0.44	0.72	0.85	0.89
2	SUB SECTOR CIENEGUILLA	259.75	138.26	105.32	0.54	0.59	0.57	0.04	0.23	0.11	0.05	0.27	0.43	0.66	0.70	0.41
3	TOLEDO	157.80	80.00	80.00	0.31	0.29	0.28	0.22	0.17	0.13	0.12	0.15	0.18	0.30	0.28	0.32
4	CIENEGUILLA	480.25	102.93	73.29	1.26	1.50	1.51	1.04	0.48	0.31	0.23	0.45	0.65	0.84	0.77	1.13
5	CONDOR HUACA - MOLINO	218.26	93.15	66.72	0.33	0.23	0.25	0.23	0.13	0.07	0.02	0.20	0.41	0.61	0.53	0.31
6	TAMBO INGA	247.48	77.52	56.83	0.62	0.75	0.58	0.37	0.26	0.12	0.02	0.23	0.37	0.55	0.56	0.48
7	JATOSISA-SOTELO	235.55	80.04	56.26	0.61	0.86	0.62	0.36	0.17	0.08	0.01	0.12	0.20	0.24	0.25	0.53
8	CAÑA HUECA	311.64	120.41	82.27	0.52	0.70	0.59	0.27	0.14	0.07	0.02	0.25	0.54	0.73	0.53	0.51
9	SAN FERNANDO	458.86	4.64	3.70	0.98	1.15	0.79	0.39	0.35	0.28	0.10	0.60	0.96	1.05	0.72	0.98
10	PAN DE AZUCAR	417.18	111.10	77.09	0.67	0.89	0.99	0.48	0.29	0.13	0.04	0.30	0.64	0.62	0.39	0.48
11	MEJORADA	772.83	74.36	50.14	1.19	1.57	2.45	1.29	0.26	0.09	0.07	0.59	1.27	1.33	1.29	0.55
12	VENTUROSА	338.94	199.88	142.30	0.69	0.90	0.74	0.46	0.14	0.11	0.05	0.29	0.54	0.65	0.63	0.60
13	LURÍN	1,055.45	550.30	390.87	1.52	2.07	2.87	2.05	0.98	0.45	0.35	0.93	1.68	2.00	2.11	1.97
Demanda presente total (MMC)					10.10	12.41	13.09	7.73	3.92	2.04	1.13	4.68	8.31	10.29	9.61	9.16

**Fuente: PROFODUA (2006)**

**Tabla 28: Demanda agrícola proyectada (demanda agrícola presente incrementada en 50%).**

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
15.1515	18.618	19.632	11.59095	5.886	3.054	1.6965	7.0185	12.459	15.435	14.415	13.737

**Fuente: Elaborado a partir de PROFODUA (2006)**

**Anexo 6: Cálculos para obtener el Balance hídrico mensual presente.**

**Tabla 29: Balance hídrico mensual presente en el punto de la estación hidrométrica Manchay para el periodo de 1980 al 2006.**

MES	Consumo Bruto de Agua (Cultivos) MMC	Oferta Total de Agua (MMC)	Oferta - Demanda	Acumulado (MMC)
Enero	10.10	14.780	4.68	4.68
Febrero	12.41	20.389	7.98	12.66
Marzo	13.09	31.362	18.27	30.93
Abril	7.73	24.733	17.01	47.94
Mayo	3.92	16.827	12.90	60.84
Junio	2.04	8.572	6.54	67.38
Julio	1.13	5.726	4.59	71.97
Agosto	4.68	4.366	-0.31	71.66
Septiembre	8.31	3.523	-4.78	66.87
Octubre	10.29	5.275	-5.02	61.86
Noviembre	9.61	8.206	-1.40	60.45
Diciembre	9.16	10.537	1.37	61.83

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo 7: Cálculos para obtener el balance hídrico mensual futuro (caso 1: oferta agrícola proyectada vs demanda agrícola presente) en la cuenca Lurín, para los cuatro escenarios analizados (2GCMs x 2 RCPs).**

**Tabla 30: Balance hídrico futuro mensual (caso 1) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay.**

Mes	Consumo bruto de agua (Cultivos) MMC	Oferta total de agua (MMC)	Oferta - Demanda	Acumulado (MMC)
Enero	10.10	32.24	22.14	22.14
Febrero	12.41	37.19	24.78	46.92
Marzo	13.09	52.11	39.02	85.94
Abril	7.73	40.83	33.10	119.04
Mayo	3.92	30.52	26.59	145.64
Junio	2.04	18.22	16.19	161.82
Julio	1.13	12.02	10.89	172.71
Agosto	4.68	8.14	3.46	176.18
Septiembre	8.31	6.74	-1.57	174.61
Octubre	10.29	5.81	-4.48	170.13
Noviembre	9.61	8.91	-0.70	169.43
Diciembre	9.16	19.92	10.76	180.18

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 31: Balance hídrico futuro mensual (caso 1) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 8.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay.**

Mes	Consumo bruto de Agua (Cultivos) MMC	Oferta total de agua (MMC)	Oferta - Demanda	Acumulado (MMC)
Enero	10.10	49.94	39.84	39.84
Febrero	12.41	56.34	43.93	83.77
Marzo	13.09	65.50	52.41	136.18
Abril	7.73	55.49	47.76	183.94
Mayo	3.92	41.99	38.06	222.01
Junio	2.04	31.23	29.19	251.20
Julio	1.13	21.38	20.25	271.45
Agosto	4.68	18.00	13.32	284.76
Septiembre	8.31	16.26	7.95	292.71
Octubre	10.29	19.22	8.93	301.64
Noviembre	9.61	29.50	19.89	321.53
Diciembre	9.16	42.54	33.37	354.90

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 32: Balance hídrico futuro mensual (caso 1) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay**

Mes	Consumo bruto de agua (Cultivos) MMC	Oferta total de agua (MMC)	Oferta - Demanda	Acumulado (MMC)
Enero	10.10	22.66	12.56	12.56
Febrero	12.41	30.93	18.52	31.08
Marzo	13.09	44.39	31.30	62.38
Abril	7.73	35.69	27.96	90.35
Mayo	3.92	26.22	22.30	112.64
Junio	2.04	19.84	17.80	130.44
Julio	1.13	12.23	11.10	141.54
Agosto	4.68	9.83	5.16	146.70
Septiembre	8.31	8.29	-0.01	146.68
Octubre	10.29	8.44	-1.85	144.83
Noviembre	9.61	9.66	0.05	144.88
Diciembre	9.16	14.76	5.60	150.48

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 33: Balance hídrico futuro mensual (caso 1) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay**

Mes	Consumo bruto de agua (Cultivos) MMC	Oferta total de agua (MMC)	Oferta - Demanda	Acumulado (MMC)
Enero	10.10	33.76	23.66	23.66
Febrero	12.41	39.68	27.26	50.92
Marzo	13.09	55.55	42.46	93.38
Abril	7.73	42.74	35.01	128.40
Mayo	3.92	32.65	28.73	157.12
Junio	2.04	24.32	22.28	179.41
Julio	1.13	15.39	14.26	193.66
Agosto	4.68	12.04	7.36	201.02
Septiembre	8.31	11.44	3.13	204.15
Octubre	10.29	15.47	5.18	209.34
Noviembre	9.61	19.77	10.16	219.50
Diciembre	9.16	25.92	16.75	236.25

**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo 8: Cálculos para obtener el balance hídrico mensual futuro (caso 2: oferta agrícola proyectada vs demanda agrícola proyectada) en la cuenca Lurín, para los cuatro escenarios analizados (2GCMs x 2 RCPs).**

**Tabla 34: Balance hídrico futuro mensual (caso 2) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay.**

Mes	Consumo Bruto de Agua (Cultivos) MMC	Oferta Total de Agua (MMC)	Oferta - Demanda	Acumulado (MMC)
Enero	15.15	32.24	17.09	17.09
Febrero	18.62	37.19	18.57	35.66
Marzo	19.63	52.11	32.48	68.14
Abril	11.59	40.83	29.24	97.38
Mayo	5.89	30.52	24.63	122.01
Junio	3.05	18.22	15.17	137.18
Julio	1.70	12.02	10.32	147.50
Agosto	7.02	8.14	1.12	148.63
Septiembre	12.46	6.74	-5.72	142.91
Octubre	15.44	5.81	-9.62	133.28
Noviembre	14.42	8.91	-5.51	127.77
Diciembre	13.75	19.92	6.18	133.95

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 35: Balance hídrico futuro mensual (caso 2) con el modelo climático CanESM2 y escenario RCP 8.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay.**

MES	Consumo Bruto de Agua (Cultivos) MMC	Oferta Total de Agua (MMC)	Oferta - Demanda	Acumulado (MMC)
Enero	15.15	49.94	34.79	34.79
Febrero	18.62	56.34	37.72	72.51
Marzo	19.63	65.50	45.87	118.38
Abril	11.59	55.49	43.90	162.28
Mayo	5.89	41.99	36.10	198.38
Junio	3.05	31.23	28.18	226.56
Julio	1.70	21.38	19.68	246.24
Agosto	7.02	18.00	10.98	257.22
Septiembre	12.46	16.26	3.80	261.01
Octubre	15.44	19.22	3.78	264.80
Noviembre	14.42	29.50	15.08	279.88
Diciembre	13.75	42.54	28.79	308.67

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 36: Balance hídrico futuro mensual (caso 2) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay**

Mes	Consumo bruto de agua (Cultivos) MMC	Oferta total de agua (MMC)	Oferta - Demanda	Acumulado (MMC)
Enero	15.15	22.66	7.51	7.51
Febrero	18.62	30.93	12.31	19.82
Marzo	19.63	44.39	24.76	44.58
Abril	11.59	35.69	24.10	68.68
Mayo	5.89	26.22	20.33	89.02
Junio	3.05	19.84	16.78	105.80
Julio	1.70	12.23	10.53	116.33
Agosto	7.02	9.83	2.82	119.15
Septiembre	12.46	8.29	-4.17	114.98
Octubre	15.44	8.44	-7.00	107.98
Noviembre	14.42	9.66	-4.75	103.23
Diciembre	13.75	14.76	1.02	104.25

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 37: Balance hídrico futuro mensual (caso 2) con el modelo climático MPI-ESM-MR y escenario RCP 4.5, en el punto de la estación hidrométrica Manchay**

Mes	Consumo bruto de agua (Cultivos) MMC	Oferta total de agua (MMC)	Oferta - Demanda	Acumulado (MMC)
Enero	15.15	33.76	18.61	18.61
Febrero	18.62	39.68	21.06	39.66
Marzo	19.63	55.55	35.92	75.58
Abril	11.59	42.74	31.15	106.73
Mayo	5.89	32.65	26.77	133.50
Junio	3.05	24.32	21.26	154.76
Julio	1.70	15.39	13.69	168.45
Agosto	7.02	12.04	5.02	173.47
Septiembre	12.46	11.44	-1.02	172.45
Octubre	15.44	15.47	0.04	172.49
Noviembre	14.42	19.77	5.35	177.84
Diciembre	13.75	25.92	12.17	190.01

**Fuente: Elaboración propia**