

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**PROYECCIÓN DE CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA  
PARA USOS PRODUCTIVOS, CAUSADOS POR EL CAMBIO  
CLIMÁTICO Y LOS USOS FUTUROS, EN LA CUENCA DEL RÍO  
LEMPA**

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios  
de Posgrado en Ciencias de la Atmósfera para optar al grado y título de  
Maestría Académica en Hidrología

**GUILLERMO ARTURO CORNEJO HERNÁNDEZ**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2020

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo al Divino Niño, a mi familia y a mi pequeñito Ramsés, por quienes supero las pruebas que la vida pone frente a mí, y me entrego de corazón a resolver dichos desafíos; lo dedico también a todos aquellos investigadores que no soportan la duda, y que, en el afán de resolverla, consagran su mente, vida y tiempo a ello, aún bajo el riesgo de no saber si llegarán a ver la respuesta esperada.

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por no abandonarme en ningún momento del camino, aun cuando uno está dispuesto a abandonarle a él; a través del Divino Niño, estuvo siempre a mi lado protegiéndome y poniendo al frente a numerosas personas que a lo largo de mis estudios incidieron positivamente para que saliera adelante, personas a quienes también agradezco.

Agradezco a mi padre Luís Alberto Cornejo Herrera, por apoyarme en todo momento desde que el camino hacia la Maestría empezó, cuando las circunstancias no fueron las mejores para irme a estudiar fuera del país su consejo fue siempre en pro de desarrollar mis estudios; y todos los viajes por Centroamérica, conversaciones y mensajes por teléfono fueron un gran apoyo para mí, por lo que estaré siempre agradecido, ¡gracias papá!; también a mi madre Victoria Hernández, y mis hermanos Victoria Cornejo y Luís Cornejo, por todo el apoyo que me brindaron mientras estuve fuera del país, su respaldo siempre me hizo sentir seguro en la distancia; agradezco a Yasmín Ramírez, gran amiga de la familia, por apoyarme en Costa Rica en cada ocasión que se presentó, así como por recibirme en su hogar siempre con gran disposición, atenciones que guardaré con extenso agradecimiento; de la misma manera recordaré a la familia costarricense Bedoya por recibirme en su hogar, pues aunque fui un inquilino, me trataron en todo momento con gran confianza, amistad y respeto.

Finalmente, no es poco el aprecio que guardo por mis profesores en Costa Rica: Hugo Hidalgo, Christian Birkel y Ana María Durán, de quienes aprendí en cotas inconmensurables sobre hidrología, climatología e investigación en general; así también reconozco los aportes que Jorge Castaneda me ha brindado en mi formación académica en el ámbito de la hidrología, en tiempos previos a la maestría; razón por la cual agradezco en gran manera a todos.

Esta tesis fue aceptada por la comisión del programa de Estudios de Posgrado en Ciencias de la Atmósfera de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Hidrología.



---

Dr. Tito José Maldonado Mora

**Representante del Decano  
Sistema de Estudios de Posgrado**



---

Dr. Hugo Hidalgo León

**Director de Tesis**



---

Dr. Christian Birkel Dostal

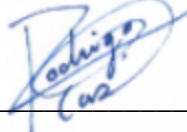
**Lector**



---

M.Sc. Jorge Antonio Castaneda Cerón

**Lector**



---

Dr. Rodrigo Alberto Castillo Rodríguez

**Director**

**Programa de Posgrado en Ciencias de la Atmósfera**



---

Guillermo Arturo Cornejo Hernández

**Candidato**

## Tabla de contenido

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos .....	ii
Hoja de aprobación .....	iii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
Lista de tablas .....	x
Lista de figuras.....	xiii
Lista de abreviaturas .....	xxvi
Licencia de publicación .....	xxviii
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	2
3. Objetivos.....	4
4. Alcances.....	5
5. Datos y metodología.....	6
5.1. Datos.....	6
5.1.1. Registros hidrometeorológicos y proyecciones de cambio climático.....	6
5.1.2. Información geográfica.....	7
5.1.3. Censos poblacionales y agrícolas para estimación de demandas de agua .....	7
5.1.4. Demandas de agua energética.....	9
5.2. Metodología .....	9
5.2.1. Control de calidad y relleno de datos.....	11
5.2.2. Estimación de demandas de agua .....	12
5.2.3. Naturalización de caudales .....	18
5.2.4. Elaboración de modelos hidrológicos.....	19

5.2.5.	Estimación de caudales ecológicos.....	26
5.2.6.	Evaluación de la alteración actual del régimen fluvial de los ríos.....	29
5.2.7.	Extensión de las simulaciones hidrológicas hacia el período futuro .....	32
5.2.8.	Evaluación de la alteración del régimen fluvial natural futuro.....	35
5.2.9.	Evaluación de la alteración en la disponibilidad de agua para usos productivos .....	35
6.	Desarrollo y Resultados.....	38
6.1.	Control de calidad y relleno de datos .....	38
6.1.1.	Registros hidrometeorológicos .....	38
6.1.2.	Información geográfica.....	39
6.1.3.	Censos poblacionales y agrícolas.....	39
6.2.	Estimación de demandas de agua.....	40
6.2.1.	Subdivisión de la cuenca.....	40
6.2.2.	Población y Demanda de agua poblacional .....	50
6.2.3.	Áreas de cultivo, Lámina de agua y Demanda de agua agrícola .....	52
6.2.4.	Demanda de agua Energética “DE” .....	56
6.3.	Naturalización de caudales.....	57
6.3.1.	Naturalización por demandas de agua consuntivas .....	57
6.3.2.	Naturalización por demandas de agua consuntivas y no consuntivas.....	58
6.4.	Elaboración de modelos hidrológicos .....	60
6.4.1.	Resultados de la calibración de cuencas individuales.....	60
6.4.2.	Calibración del modelo completo y obtención de caudales naturales. ....	62
6.5.	Estimación de caudales ecológicos .....	64
6.6.	Evaluación de la alteración actual del régimen fluvial de los ríos.....	66
6.6.1.	Alteración por demandas de agua consuntivas .....	66

6.6.2.	Alteración por demandas de agua consuntivas y no consuntivas .....	67
6.7.	Extensión de las simulaciones hidrológicas hacia el período futuro.....	72
6.8.	Evaluación de la alteración del régimen fluvial natural futuro .....	78
6.9.	Evaluación de la alteración en la disponibilidad de agua para usos productivos.	81
6.9.1.	Demandas de agua futuras y alteración de caudales futuros.....	81
6.9.2.	Evaluación de la disponibilidad de agua para usos productivos.....	84
7.	Conclusiones.....	85
7.1.	Sobre la determinación de las aportaciones en régimen natural de la cuenca, de acuerdo al período histórico base de 30 años .....	85
7.2.	Sobre el grado de alteración del régimen fluvial de la cuenca evaluando las principales demandas de agua .....	87
7.3.	Sobre los cambios en las aportaciones medias de los ríos de acuerdo a un escenario de Cambio Climático de alta emisión de gases de efecto invernadero para el período futuro .....	88
7.4.	Sobre los cambios en la disponibilidad del recurso hídrico para mantenimiento de ecosistemas acuáticos de los ríos y para usos productivos en los principales rubros .....	89
	Bibliografía .....	91
	ANEXO 1 - MAPAS .....	94
	ANEXO 2 – RESULTADOS.....	123
A2 – 1.	Control de calidad y relleno de datos .....	124
A2 – 1.1.	Registros hidrometeorológicos.....	124
A2 – 1.2.	Información geográfica .....	138
A2 – 1.3.	Censos poblacionales y agrícolas.....	138
A2 – 2.	Demandas de agua .....	140
A2 – 2.1.	Población y Demanda de agua poblacional.....	140

A2 – 2.1.1.	Población “Pob” .....	140
A2 – 2.1.2.	Demanda de agua poblacional “DP” .....	145
A2 – 2.2.	Áreas de cultivo, Lámina de agua y Demanda de agua agrícola.....	150
A2 – 2.2.1.	Áreas de cultivo “A <sub>Cul</sub> ” .....	150
A2 – 2.2.2.	Lámina de agua “h <sub>Cul</sub> ” .....	153
A2 – 2.2.3.	Demanda de agua agrícola “DA” .....	156
A2 – 3.	Naturalización de caudales .....	169
A2 – 3.1.	Naturalización por demandas de agua consuntivas.....	169
A2 – 3.2.	Naturalización por demandas de agua consuntivas y no consuntivas .....	171
A2 – 4.	Elaboración de modelos hidrológicos.....	173
A2 – 5.	Estimación de caudales ecológicos.....	193
A2 – 6.	Evaluación de alteración actual del régimen fluvial de los ríos .....	196
A2 – 6.1.	Reglas operativas para las demandas de agua energéticas .....	196
A2 – 6.2.	Caudales alterados y porcentaje de alteración.....	201
A2 – 7.	Extensión de simulaciones hidrológicas al período futuro .....	204
A2 – 8.	Evaluación de la alteración del régimen fluvial natural futuro .....	217
A2 – 9.	Evaluación de la alteración en la disponibilidad de agua para usos productivos .....	221

## Resumen

El Corredor Seco Centroamericano es una eco-región que se caracteriza por contar con un período seco de tres a seis meses de duración, lo que produce importantes cambios de disponibilidad del recurso hídrico en los cuerpos de agua que se ubican dentro de él, entre ellos está la cuenca trinacional del río Lempa, compartida entre Guatemala, El Salvador y Honduras, para la cual en esta investigación, se evalúan los cambios en la disponibilidad de agua para usos productivos, causados por el Cambio Climático y los usos futuros, comparando dos períodos: histórico (May/1970–Abr/2000) y futuro (May/2020–Abr/2050). Para el período 1950-2050 se calcularon las principales demandas de agua: poblacionales, agrícolas y energéticas; con dichas demandas se naturalizaron los registros históricos diarios de 9 estaciones hidrométricas y 4 centrales hidroeléctricas, para las que se realizó un balance de agua en cada embalse, a partir de registros de nivel y curvas de almacenamiento.

La cuenca del Lempa fue subdividida en 23 áreas de escurrimiento, entre cuencas principales e intercuencas, considerando para dicha subdivisión: el tamaño de las áreas, patrones de lluvia y temperatura, principales demandas de agua y cuencas en estado natural; con dicha subdivisión se armó un modelo hidrológico en el software HBV Light, calibrado con los caudales naturalizados, a través de dos procesos: Monte Carlo “MC” y el Algoritmo Genético para Optimización de Parámetros “GAP”, utilizando siete coeficientes de habilidad:  $Reff$ ,  $R2$ ,  $LogReff$ , y cuatro combinaciones entre ellos; resultando más eficientes el proceso GAP con la combinación 1:  $0.3Reff + 0.3R2 + 0.4LogReff$ .

Una vez el modelo hidrológico estuvo calibrado, se determinaron las aportaciones naturales en período histórico; se propusieron caudales ecológicos, modificando la metodología de Tennant hacia una propuesta mensual que se ajustó mejor al río Lempa y sus afluentes; y se extendieron las simulaciones hacia el período futuro, a través del Modelo de Circulación General “GCM” `cesm1_cam5_r1i1p1`, con lo que se determinaron las aportaciones naturales en el período futuro. Los caudales naturales fueron modificados con las demandas de agua, y se evaluaron las alteraciones históricas y futuras de los regímenes fluviales del río Lempa y sus afluentes; resultando que, los principales forzantes de alteración de cara al futuro serán, de mayor a menor significancia: el Cambio Climático, las demandas energéticas y las demandas consuntivas poblacionales y agrícolas.

## Abstract

The Central American Dry Corridor is an eco-region characterized by a three to six months long dry period, which produces important changes in the availability of hydrological resources in the water bodies inside it. One of them is the trinational basin of the Lempa river, shared between Guatemala, El Salvador and Honduras, basin for which in this investigation, changes in water availability for productive purposes are evaluated, caused by Climate Change and future uses of water. This was made by comparing two periods: historic (May/1970–Apr/2000) and future (May/2020–Apr/2050).

For the 1950-2050 period, the main uses of water were calculated: human consumption, agriculture and power generation, with those uses historical records were naturalized for 9 gauge stations and 4 power plants, for which a water balance was made for each reservoir, using level records and storage curves.

The Lempa basin was divided in 23 runoff areas, composed by main subbasins and remaining areas, considering for this division: the size of the runoff areas, rain and temperature patterns, the main uses of water and basins in natural conditions. With this division a hydrological model in HBV Light software was made, and calibrated with naturalized water fluxes, using two process: Monte Carlo “MC” and the Genetic Algorithm for Parameters Optimization “GAP”, using seven ability coefficients:  $R_{eff}$ ,  $R_2$ ,  $LogR_{eff}$  and four combinations between them, resulting more efficient the GAP process with combination number 1:  $0.3R_{eff} + 0.3R_2 + 0.4LogR_{eff}$ .

Once the hydrological model was calibrated, natural fluxes were determined for the historic period, ecological flows were proposed, modifying the Tennant methodology to a monthly proposal, which was a better fit for the Lempa river and its contributors. Afterwards, the simulations were extended to the future period, using the General Circulation Model “GCM” `cesm1_cam5_r1i1p1`, and the natural fluxes for the future period were determined. Then, the natural fluxes were modified with the uses of water and the historical and future alterations in the water fluxes were evaluated for the Lempa river and its contributors, resulting that, the main forces that produces these alterations towards the future will be, from major to minor significance: Climate Change, use of water for power generation and consumptive uses for population and agriculture.

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Recomendaciones del método de Montana sobre aplicación de caudales con respecto a recursos piscícolas, recreativos, de biodiversidad y otros recursos ambientales. (Adaptado de Mas, M. 2005). .....	27
<b>Tabla 2.</b> Propuesta de caudales ecológicos para ríos cuyo régimen de caudales naturales no se ajusta a la metodología estacional de Tennant o Montana. ....	28
<b>Tabla 3.</b> Porcentaje de datos diarios completos con control de calidad para al período 01/01/1970 – 31/12/2016, para las estaciones meteorológicas y pluviométricas utilizadas en el modelo hidrológico del río Lempa.....	38
<b>Tabla 4.</b> Principales áreas de escurrimiento en la cuenca del río Lempa.....	41
<b>Tabla 5.</b> Criterios de selección de las unidades de modelación, por área, demanda poblacional “DP”, demanda agrícola “DA”, demanda energética “DE”, registro hidrométrico “RH” y condiciones naturales “CN”. .....	48

## ANEXO 2 – RESULTADOS

<b>Tabla A2- 1.</b> Estaciones meteorológicas “M”, pluviométricas “P” e hidrométricas “H” (incluyendo centrales hidroeléctricas operativas y proyectadas). .....	124
<b>Tabla A2- 2.</b> Fracción de datos completos por año y porcentaje de datos completos sin control de calidad, de las estaciones utilizadas en el modelo Lempa. ....	125
<b>Tabla A2- 3.</b> Censos poblacionales utilizados, resolución y tipo de población en cada uno. ....	140
<b>Tabla A2- 4.</b> Población urbana en número de habitantes por lustro y número de área de escurrimiento.....	141
<b>Tabla A2- 5.</b> Población rural en número de habitantes por lustro y número de área de escurrimiento.....	143
<b>Tabla A2- 6.</b> Dotaciones y eficiencia de suministro por tipo de población según la región. ....	145
<b>Tabla A2- 7.</b> Coeficiente de consumo y factor de recursos superficiales con respecto al recurso hídrico total. ....	145

<b>Tabla A2- 8.</b> Demanda de agua superficial en m <sup>3</sup> /s, por lustro y número de área de escurrimiento.....	146
<b>Tabla A2- 9.</b> Demanda de agua subterránea en m <sup>3</sup> /s, por lustro y número de área de escurrimiento.....	148
<b>Tabla A2- 10.</b> Censos agrícolas utilizados, resolución y tipo de cultivo en cada uno. ....	150
<b>Tabla A2- 11.</b> Factor de recursos superficiales utilizado en cada país. ....	150
<b>Tabla A2- 12.</b> Área de cultivo bajo riego con recursos superficiales en ha, por lustro y área de escurrimiento.....	151
<b>Tabla A2- 13.</b> Fechas de siembra según tipo de cultivo o agrupación de los mismos.....	153
<b>Tabla A2- 14.</b> Composición del área de cultivo en porcentaje (%) por tipo de cultivo, en promedio desde 1950 hasta 2050, según cada cuenca. ....	154
<b>Tabla A2- 15.</b> Factor de eficiencia ponderado en la cuenca del Lempa, con base al porcentaje de uso de cada sistema de riego y a su eficiencia en general. ....	156
<b>Tabla A2- 16.</b> Demandas de agua Agrícola “DA” bruta en m <sup>3</sup> /s, por lustro desde 1970 hasta 2049. Cuencas: Cabecera del río Lempa (01) y río Ostúa (02). ....	157
<b>Tabla A2- 17.</b> Caudales promedios mensuales interanuales registrados y naturalizados por demandas consuntivas.....	169
<b>Tabla A2- 18.</b> Caudales promedios mensuales interanuales registrados y naturalizados por demandas consuntivas y no consuntivas en m <sup>3</sup> /s.....	171
<b>Tabla A2- 19.</b> Períodos de calibración, validación y final de simulación. ....	173
<b>Tabla A2- 20.</b> Número de corridas realizadas por método de calibración.....	174
<b>Tabla A2- 21.</b> Factores finales de calibración del modelo HBV utilizando el proceso GAP. ....	190
<b>Tabla A2- 22.</b> Caudales promedio mensuales interanuales en régimen natural (m <sup>3</sup> /s), para el período histórico de referencia 05/1970 – 04/2000. ....	191
<b>Tabla A2- 23.</b> Coeficientes de habilidad para la mejor corrida según cada coeficiente, utilizando Optimización GAP. Se resalta la población 4 “P4” por considerarse definitiva en este estudio, y San Marcos Lempa, por ser la desembocadura del río y donde se acumulan las alteraciones.....	192
<b>Tabla A2- 24.</b> Regímenes de caudales ecológicos considerados. ....	193

<b>Tabla A2- 25.</b> Caudales ecológicos mensuales ( $m^3/s$ ) para ríos en condición Excelente, con base al período histórico de referencia 05/1970 – 04/2000. ....	194
<b>Tabla A2- 26.</b> Caudales ecológicos máximos por mes ( $m^3/s$ ), con base al período histórico de referencia 05/1970 – 04/2000.....	195
<b>Tabla A2- 27.</b> Reglas operativas mensuales para Centrales hidroeléctricas operativas, basadas en volúmenes útiles embalsados “V.U.” en millones de metros cúbicos “MMC” y caudales turbinados “Q.t” en $m^3/s$ . ....	197
<b>Tabla A2- 28.</b> Reglas operativas mensuales para Centrales hidroeléctricas proyectadas, basadas en volúmenes útiles embalsados “V.U.” en millones de metros cúbicos “MMC” y caudales turbinados “Q.t” en $m^3/s$ . ....	199
<b>Tabla A2- 29.</b> Caudales promedio mensuales interanuales en régimen alterado ( $m^3/s$ ), para el período histórico de referencia 05/1970 – 04/2000. ....	202
<b>Tabla A2- 30.</b> Porcentajes (%) de alteración por mes, por estación húmeda “H”, seca “S” y el global “G”, para el período histórico de referencia 05/1970 – 04/2000. ....	203
<b>Tabla A2- 31.</b> Caudales promedio mensuales interanuales en régimen natural ( $m^3/s$ ), para el período proyectado futuro 05/2020 – 04/2050.....	219
<b>Tabla A2- 32.</b> Porcentajes (%) de alteración natural por mes, por estación húmeda “H”, seca “S” y el global “G”, para el período proyectado futuro 05/2020 – 04/2050.....	220
<b>Tabla A2- 33.</b> Caudales promedio mensuales interanuales en régimen alterado ( $m^3/s$ ), para el período proyectado futuro 05/2020 – 04/2050.....	222
<b>Tabla A2- 34.</b> Porcentajes (%) de alteración por mes, por estación húmeda “H”, seca “S” y el global “G”, para el período proyectado futuro 05/2020 – 04/2050. ....	223
<b>Tabla A2- 35.</b> Disponibilidad de agua para usos productivos en $m^3/s$ para el período histórico May/1970 – Abr/2000.....	224
<b>Tabla A2- 36.</b> Disponibilidad de agua para usos productivos en $m^3/s$ para el período futuro May/2020 – Abr/2050.....	225
<b>Tabla A2- 37.</b> Proyección de los cambios en porcentaje (%) sobre la disponibilidad de agua para usos productivos entre los períodos histórico y futuro. ....	226

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Principales cuencas dentro del Corredor Seco Centroamericano y cuencas seleccionadas para el estudio. ....	3
<b>Figura 2.</b> Estaciones meteorológicas, pluviométricas, hidrométricas/limnimétricas y centrales hidroeléctricas utilizadas en la cuenca del río Lempa. ....	6
<b>Figura 3.</b> Esquema de trabajo .....	10
<b>Figura 4.</b> Resultados procesados por CROPWAT 8.0 sobre la columna de agua requerida cada diez días para el pasto permanente. ....	15
<b>Figura 5.</b> Datos de ingreso en el software CROPWAT 8.0 para el cultivo pasto permanente. ....	16
<b>Figura 6.</b> Flujo de agua para la Demanda Poblacional “DP”.....	18
<b>Figura 7.</b> Estructura versión estándar, modelo básico. ....	22
<b>Figura 8.</b> Áreas de escurrimiento principales en la cuenca del río Lempa. ....	41
<b>Figura 9.</b> Precipitación promedio interanual del período 1970-216 para la cuenca del río Lempa. ....	42
<b>Figura 10.</b> Temperatura promedio interanual del período 1970-2016 para la cuenca del río Lempa. ....	44
<b>Figura 11.</b> Evapotranspiración potencial promedio interanual del período 1970-2016 para la cuenca del río Lempa, calculada por el método de Thornthwaite. ....	45
<b>Figura 12.</b> Alteraciones antropogénicas. Izquierda: población total. Derecha: área de cultivo bajo riego. ....	46
<b>Figura 13.</b> Alteraciones antropogénicas: centrales hidroeléctricas operativas y proyectadas. ....	47
<b>Figura 14.</b> Áreas de escurrimiento para simular la cuenca del río Lempa.....	49
<b>Figura 15.</b> Esquema topológico de la cuenca del río Lempa. ....	49
<b>Figura 16.</b> Población total estimada a cada cinco años para las cuatro áreas de escurrimiento más pobladas y el resto de la cuenca del río Lempa. ....	50
<b>Figura 17.</b> Demanda de agua poblacional bruta total, estimada a cada cinco años para las cuatro áreas de escurrimiento más pobladas y el resto de la cuenca del río Lempa. ....	51

<b>Figura 18.</b> Área de cultivo bajo riego de las principales áreas agrícolas y el resto de la cuenca del río Lempa. ....	52
<b>Figura 19.</b> Comparación del Requerimiento de Agua de Cultivo “RAC” para maíz, en cuencas de gradientes pluviométricos opuestos: Cabecera del río Lempa y río Ostúa, para el período más seco y húmedo de cada una. ....	53
<b>Figura 20.</b> Áreas de cultivo bajo riego con recurso hídrico superficial. Superior: cuenca del río Lempa por agrupaciones de cultivos. Inferior: Cuenca del río Suquiapa por cultivos individuales. ....	54
<b>Figura 21.</b> Demanda de agua agrícola “DA” en millones de metros cúbicos por año (MMC/año), por cada lustro desde 1970-74 hasta 2045-49, para las principales áreas alteradas por agricultura en la cuenca del río Lempa. Suc: Sucio, IC1: Intercuenca 1, SML: San Marcos Lempa o Desembocadura, Suq: Suquiapa, Cab: Cabecera, 15 Sep: embalse 15 de Septiembre y Resto: 17 cuencas afluentes restantes, sin considerar cuencas endorreicas. ....	55
<b>Figura 22.</b> Caudal promedio diario descargado, caudal promedio diario turbinado y volumen útil de embalse. ....	56
<b>Figura 23.</b> Caudal promedio mensual interanual registrado (línea continua azul) y naturalizado por demandas consuntivas (línea discontinua verde) para la Estación Hidrométrica El Jocote, en la cuenca baja del río Sucio. ....	57
<b>Figura 24.</b> Comparación de los procesos de naturalización por demandas consuntivas y no consuntivas para algunos puntos de control. Línea continua azul: caudal registrado ( $Q_{Reg}$ ), línea discontinua larga amarilla: caudal corregido por embalse local ( $Q_{Cor1}$ ), línea continua café: caudal corregido por embalse aguas arriba ( $Q_{Cor2}$ ), línea discontinua corta verde: caudal naturalizado ( $Q_{Nat}$ ). A: caudales promedio diarios del año hidrológico 1979-1980 de la CH Cerrón Grande. B: caudales promedio mensuales interanuales “QPM” de la CH Cerrón Grande. C: QPM de la CH Guajoyo. D: QPM de la CH 5 de Noviembre. E: QPM de la EH San Marcos Lempa, en la desembocadura. ....	59

<b>Figura 25.</b> Comparación de las 100 mejores corridas para la función objetivo combinada 1, en la cuenca del río Suquiapa. Izquierda: MC. Derecha: GAP. Línea negra discontinua: escorrentía observada naturalizada; línea roja continua: escorrentía simulada para la corrida con mejor habilidad, y rango anaranjado: escorrentía simulada para las 100 corridas con mejor habilidad. ....	60
<b>Figura 26.</b> Comparación de la habilidad de cada función objetivo, consideradas en el modelo como Poblaciones “P”, para la cuenca del río Torola. Izquierda: funciones objetivo base. Derecha: funciones objetivo combinadas. ....	61
<b>Figura 27.</b> Evolución de cada función objetivo con base al número de corridas realizadas en la cuenca Torola. ....	62
<b>Figura 28.</b> Sectores de calibración por puntos de control (EH y CH) para la cuenca del río Lempa. ....	63
<b>Figura 29.</b> Caudales medios mensuales interanuales naturales 05/1970-04/2000, en la cuenca del río Lempa. ....	63
<b>Figura 30.</b> Caudales ecológicos recomendados por estado del río. Izquierda: río El Angue por el método de Tennant. Derecha: río El Angue con propuesta mensual.....	65
<b>Figura 31.</b> Comparación de caudales naturales simulados con los alterados registrados y los simulados alterados, para el período de tiempo con registros. A: caudales promedio diarios en la cuenca baja del río Sucio en EH El Jocote, para el año hidrológico 1979-1980. B: caudales medios mensuales interanuales en río Sucio. C: caudales medios mensuales interanuales en río Suquiapa, EH Las Pavas.....	66
<b>Figura 32.</b> Comparación de caudales naturales simulados con los alterados registrados y los simulados alterados, para el período de tiempo con registros en desagüe del lago de Güija, CH Guajoyo. A: caudales promedio diarios del año hidrológico 2005-2006. B: caudales medios mensuales interanuales. C: volúmenes medios mensuales interanuales reportados por la central y los simulados alterados. ....	68

<b>Figura 33.</b> Comparación de caudales promedio mensuales interanuales en estado natural y alterado, para los períodos histórico y futuro, y los regímenes de caudales ecológicos máximo y mínimo y el umbral de degradación intensa. A: Acelhuate, con la mayor DP. B: Sucio, con la mayor DA. C: Lempa en Cerrón Grande, con la mayor DE. D: Lempa en la desembocadura, con la acumulación de todas las alteraciones.....	70
<b>Figura 34.</b> Porcentaje global de alteración del régimen hídrico, por acciones antropogénicas en período histórico, por cambio climático y por acciones antropogénicas en período futuro. El porcentaje de alteración global es la suma, en su valor absoluto, de la alteración promedio mensual interanual para cada período de tiempo.....	72
<b>Figura 35.</b> Cambios en la precipitación promedio multianual desde el período histórico de referencia hacia el proyectado futuro en la cuenca del río Lempa. ....	73
<b>Figura 36.</b> Cambios en la temperatura promedio multianual desde el período histórico de referencia hacia el proyectado futuro en la cuenca del río Lempa. ....	74
<b>Figura 37.</b> Cambios en la ETP promedio multianual desde el período histórico de referencia hacia el proyectado futuro en la cuenca del río Lempa. ....	75
<b>Figura 38.</b> Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P”, evapotranspiración potencial “ETP” y caudal natural “Q.nat”, en período histórico y futuro. A: río Ostúa “Ost”; B: río Sucio “Suc”; C: Torola cuenca media “TCM”; y D: desembocadura del río Lempa en la EH San Marcos Lempa “SML”. ....	77
<b>Figura 39.</b> Comparación de precipitación mensual promedio interanual en la EM Nueva Concepción. Izquierda: Datos observados, modelados y modelados corregidos para el período común entre registros y modelo 1979-2016. Derecha: Datos modelados corregidos para el período histórico 1979-2016 y período futuro completo 2017-2099.....	78
<b>Figura 40.</b> Comparación de temperatura mensual promedio interanual en la EM Nueva Concepción. Izquierda: Datos observados, modelados y modelados corregidos para el período común entre registros y modelo 1979-2016. Derecha: Datos modelados corregidos para el período histórico 1979-2016 y período futuro completo 2017-2099.....	79

<b>Figura 41.</b> Comparación de valores mensuales promedios interanuales del modelo “ccsm4_rlilp1” para la EM Nueva Concepción, en los períodos histórico (1979-2016) y futuro (2017-2099). Izquierda: Precipitación modelada corregida por sesgos. Derecha: Temperatura modelada corregida por sesgos.....	79
<b>Figura 42.</b> Comparación del Requerimiento de Agua de Cultivo “RAC” para maíz, en cuencas de gradientes pluviométricos opuestos: Cabecera del río Lempa y río Ostúa, para el período histórico y futuro.....	81
<b>Figura 43.</b> Comparación del caudal natural histórico, los caudales turbinados en período histórico y futuro, y el volumen útil de cada embalse operativo y proyectado en la cuenca del río Lempa. ....	82
<b>Figura 44.</b> Número de meses con 0% de disponibilidad de agua para usos productivos en escenario futuro.....	84

## **ANEXO 1 - MAPAS**

<b>Figura A1- 1.</b> Principales cuencas dentro del Corredor Seco Centroamericano y cuencas del río Lempa. ....	95
<b>Figura A1- 2.</b> Estaciones meteorológicas, pluviométricas, hidrométricas y centrales hidroeléctricas utilizadas para simular la cuenca del río Lempa. ....	96
<b>Figura A1- 3.</b> Áreas de escurrimiento principales en la cuenca del río Lempa. ....	97
<b>Figura A1- 4.</b> Precipitación promedio multianual del período 1970-216 para la cuenca del río Lempa. ....	98
<b>Figura A1- 5.</b> Temperatura promedio multianual del período 1970-2016 para la cuenca del río Lempa. ....	99
<b>Figura A1- 6.</b> Evapotranspiración potencial promedio multianual del período 1970-2016 para la cuenca del río Lempa, calculada por el método de Thornthwaite.....	100
<b>Figura A1- 7.</b> Población total municipal, interpolada para 1970, en la cuenca del río Lempa. ....	101
<b>Figura A1- 8.</b> Población total municipal, interpolada para el año 2000, en la cuenca del río Lempa. ....	102

<b>Figura A1- 9.</b> Población total municipal, proyectada para el año 2020, en la cuenca del río Lempa. ....	103
<b>Figura A1- 10.</b> Población total municipal, proyectada para el año 2050, en la cuenca del río Lempa. ....	104
<b>Figura A1- 11.</b> Área total municipal de cultivos bajo riego con recursos superficiales, interpolada para 1970, en la cuenca del río Lempa. ....	105
<b>Figura A1- 12.</b> Área total municipal de cultivos bajo riego con recursos superficiales, interpolada para el año 2000, en la cuenca del río Lempa.....	106
<b>Figura A1- 13.</b> Área total municipal de cultivos bajo riego con recursos superficiales, proyectada para el año 2020, en la cuenca del río Lempa. ....	107
<b>Figura A1- 14.</b> Área total municipal de cultivos bajo riego con recursos superficiales, proyectada para el año 2050, en la cuenca del río Lempa. ....	108
<b>Figura A1- 15.</b> Centrales hidroeléctricas operativas y proyectadas en la cuenca del río Lempa. ....	109
<b>Figura A1- 16.</b> Áreas de escurrimiento para simular la cuenca del río Lempa. Las cuencas endorreicas (Metapán N°4 y Coatepeque N°9) no fueron simuladas. ....	110
<b>Figura A1- 17.</b> Esquema topológico de la cuenca del río Lempa.....	111
<b>Figura A1- 18.</b> Sectores de calibración por estación hidrométrica “EH” y centrales hidroeléctricas “CH” para la cuenca del río Lempa.....	112
<b>Figura A1- 19.</b> Precipitación promedio multianual por año hidrológico, para el período histórico de referencia May/1970 – Abr/2000 en la cuenca del río Lempa.....	113
<b>Figura A1- 20.</b> Precipitación promedio multianual por año hidrológico, para el período proyectado futuro May/1970 – Abr/2000 en la cuenca del río Lempa. ....	114
<b>Figura A1- 21.</b> Cambios en la precipitación promedio multianual desde el período histórico de referencia hacia el proyectado futuro en la cuenca del río Lempa.....	115
<b>Figura A1- 22.</b> Temperatura promedio multianual por año hidrológico, para el período histórico de referencia May/1970 – Abr/2000 en la cuenca del río lempa. ....	116
<b>Figura A1- 23.</b> Temperatura promedio multianual por año hidrológico, para el período proyectado futuro May/2020 – Abr/2050 en la cuenca del río Lempa. ....	117

<b>Figura A1- 24.</b> Cambios en la temperatura promedio multianual desde el período histórico de referencia hacia el proyectado futuro en la cuenca del río Lempa.....	118
<b>Figura A1- 25.</b> ETP promedio multianual por año hidrológico, para el período histórico de referencia May/1970 – Abr/2000 en la cuenca del río lempa. ....	119
<b>Figura A1- 26.</b> ETP promedio multianual por año hidrológico, para el período proyectado futuro May/2020 – Abr/2050 en la cuenca del río Lempa.....	120
<b>Figura A1- 27.</b> Cambios en la ETP promedio multianual desde el período histórico de referencia hacia el proyectado futuro en la cuenca del río Lempa. ....	121
<b>Figura A1- 28.</b> Embalses de las grandes centrales hidroeléctricas operativas y proyectadas en la cuenca del río Lempa. ....	122

## **ANEXO 2 - RESULTADOS**

<b>Figura A2- 1.</b> Gráfico “Scree” para 51 estaciones de precipitación de GT, SV, HN y CR. ....	126
<b>Figura A2- 2.</b> Gráfico “Scree” para 22 estaciones termométricas de GT y SV.....	127
<b>Figura A2- 3.</b> Precipitación acumulada mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. Puente Cuscatlán; B. San Francisco Gotera; C. Perquín; y D. Sensuntepeque. ....	128
<b>Figura A2- 4.</b> Precipitación acumulada mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. Aeropuerto de Ilopango; B. San Andrés; C. Santa Ana El Palmar/UNICAES; y D. Nueva Concepción.....	129
<b>Figura A2- 5.</b> Precipitación acumulada mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. La Palma; B. Güija; C. Planes de Montecristo; y D. Esquipulas.....	130
<b>Figura A2- 6.</b> Precipitación acumulada mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. Asunción Mita; B. La Ceibita; C. Quezada; y D. Potrero Carrillo. ....	131
<b>Figura A2- 7.</b> Precipitación acumulada mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. Marcala; B. La Virtud; C. Valladolid; y D. San Juan Guarita. ....	132

<b>Figura A2- 8.</b> Precipitación acumulada mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. Cololaca; y B. Erandique. ....	133
<b>Figura A2- 9.</b> Temperatura media mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para la estación Puente Cuscatlán. ....	133
<b>Figura A2- 10.</b> Temperatura media mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. San Francisco Gotera; B. Perquín; C. Sensuntepeque; y D. Aeropuerto de Ilopango. ....	134
<b>Figura A2- 11.</b> Temperatura media mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. San Andrés; B. Santa Ana El Palmar/UNICAES; C. Nueva Concepción; y D. La Palma. ....	135
<b>Figura A2- 12.</b> Temperatura media mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. Güijja; B. Planes de Montecristo; C. Esquipulas; y D. Asunción Mita. ....	136
<b>Figura A2- 13.</b> Temperatura media mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. La Ceibita; B. Quezada; C. Potrero Carrillo; y D. Marcala. ....	137
<b>Figura A2- 14.</b> Relleno poblacional del municipio de San Fernando por el método de progresión geométrica. ....	138
<b>Figura A2- 15.</b> Relleno poblacional del municipio de San Luís La Herradura por el método de progresión geométrica. ....	139
<b>Figura A2- 16.</b> Relleno poblacional del municipio de Ocotepeque por el método de progresión geométrica. ....	139
<b>Figura A2- 17.</b> Caudal promedio mensual interanual registrado (línea continua azul) y naturalizado por demandas consuntivas (línea cortada verde) para: 1. EH Los Puentes en río El Angue; 2. EH San Francisco en río Guajoyo; 3. EH Las Pavas en río Suquiapa; 4. EH El Jocote en río Sucio; y EH Osicala en río Torola. ....	170

<b>Figura A2- 18.</b> Caudal promedio mensual interanual registrado (línea continua azul) y naturalizado (línea cortada verde) para: 1. CH Guajoyo en el lago de Güija; 2. EH Paso del Oso en la cuenca alta del río Lempa; 3. CH Cerrón Grande en la cuenca media del río Lempa; 4. CH 5 de Noviembre en la cuenca media del río Lempa; 5. CH 15 de Septiembre en la cuenca baja del río Lempa y 6. EH San Marcos Lempa en la desembocadura del Lempa. ....	172
<b>Figura A2- 19.</b> Calibración Monte Carlo por cuenca e índice, durante la estación lluviosa. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm), línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad.....	175
<b>Figura A2- 20.</b> Calibración Monte Carlo por cuenca y combinación de índices, durante la estación lluviosa. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm); línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad. ....	176
<b>Figura A2- 21.</b> Calibración Monte Carlo por cuenca e índice, durante la estación seca. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm), línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad.....	177
<b>Figura A2- 22.</b> Calibración Monte Carlo por cuenca y combinación de índices, durante la estación seca. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm); línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad. ....	178
<b>Figura A2- 23.</b> Calibración GAP por cuenca e índice, durante la estación lluviosa. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm), línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad.....	179
<b>Figura A2- 24.</b> Calibración GAP por cuenca y combinación de índices, durante la estación lluviosa. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm); línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad. ....	180

<b>Figura A2- 25.</b> Calibración GAP por cuenca e índice, durante la estación seca. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm), línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad.....	181
<b>Figura A2- 26.</b> Calibración GAP por cuenca y combinación de índices, durante la estación seca. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm); línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad. ....	182
<b>Figura A2- 27.</b> Calibración GAP para los puntos de calibración con múltiples cuencas afluentes. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm); línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad según la combinación de índices número 4 “P4”: $0.3R_{eff} + 0.3R_2 + 0.4LogR_{eff}$ ; y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 40 corridas con mejor habilidad. ....	183
<b>Figura A2- 28.</b> Escorrentía promedio mensual observada naturalizada (línea negra), de la corrida con mejor habilidad según la combinación 4 (línea roja) y las 40 mejores corridas del proceso GAP (rango anaranjado). Superior: río El Angue, EH Los Puentes. Inferior: río Guajoyo, EH San Francisco.....	184
<b>Figura A2- 29.</b> Escorrentía promedio mensual observada naturalizada (línea negra), de la corrida con mejor habilidad según la combinación 4 (línea roja) y las 40 mejores corridas del proceso GAP (rango anaranjado). Superior: río Suquiapa, EH Las Pavas. Inferior: río Sucio, EH El Jocote. ....	185
<b>Figura A2- 30.</b> Escorrentía promedio mensual observada naturalizada (línea negra), de la corrida con mejor habilidad según la combinación 4 (línea roja) y las 40 mejores corridas del proceso GAP (rango anaranjado). Superior: río Torola, EH Osicala. Inferior: Lago de Güija, CH Guajoyo. ....	186
<b>Figura A2- 31.</b> Escorrentía promedio mensual observada naturalizada (línea negra), de la corrida con mejor habilidad según la combinación 4 (línea roja) y las 40 mejores corridas del proceso GAP (rango anaranjado). Superior: río Lempa, EH Paso del Oso. Inferior: río Lempa, CH Cerrón Grande. ....	187

<b>Figura A2- 32.</b> Escorrentía promedio mensual observada naturalizada (línea negra), de la corrida con mejor habilidad según la combinación 4 (línea roja) y las 40 mejores corridas del proceso GAP (rango anaranjado). Superior: río Lempa, CH 5 de Noviembre. Inferior: río Lempa, CH 15 de Septiembre. ....	188
<b>Figura A2- 33.</b> Escorrentía promedio mensual observada naturalizada (línea negra), de la corrida con mejor habilidad según la combinación 4 (línea roja) y las 40 mejores corridas del proceso GAP (rango anaranjado). Río Lempa, EH San Marcos Lempa.....	189
<b>Figura A2- 34.</b> Valores anuales por año hidrológico de precipitación acumulada “P”, evapotranspiración potencial acumulada “ETP” y caudal natural promedio “Q.nat” en período histórico y futuro. Superior: Cabecera del río Lempa “Cab”. Inferior: río Ostúa “Ost”. ....	205
<b>Figura A2- 35.</b> Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río El Angue “Ang”. Inferior: lago de Güija “Güi”. ....	206
<b>Figura A2- 36.</b> Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río Guajoyo “Gua”. Inferior: río El Desagüe “Des”.....	207
<b>Figura A2- 37.</b> Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río Lempa en Intercuenca 1 “IC1”. Inferior: río Suquiapa “Suq”.....	208
<b>Figura A2- 38.</b> Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río Sucio “Suc”. Inferior: río Acelhuate “Ace”.....	209

<b>Figura A2- 39.</b> Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río Lempa en Cerrón Grande “CG”. Inferior: río Sumpul “Sum”.....	210
<b>Figura A2- 40.</b> Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río Lempa en 5 de Noviembre “5N”. Inferior: río Mocal “Moc”. .....	211
<b>Figura A2- 41.</b> Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río Lempa en Intercuenca 2 “IC2”. Inferior: río Guarajambala “Gbl”.....	212
<b>Figura A2- 42.</b> Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río Lempa en Intercuenca 3 “IC3”. Inferior: río Lempa en Intercuenca 4 “IC4”. .....	213
<b>Figura A2- 43.</b> Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: cuenca alta del río Torola “TCA”. Inferior: cuenca media del río Torola “TCM”.....	214
<b>Figura A2- 44.</b> Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: cuenca baja del río Torola “TCB”. Inferior: río Lempa en 15 Septiembre “15S”.....	215
<b>Figura A2- 45.</b> Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro, para la desembocadura del río Lempa en la EH San Marcos Lempa “SML”.....	216

**Figura A2- 46.** Comparación de la variabilidad intra-anual en precipitación (superior) y temperatura (inferior) simuladas por los modelos de circulación general “GCM” cesm1\_cam5\_r1i1p1 (izquierda) y ccsm4\_r1i1p1 (derecha) en el sitio de la estación meteorológica Nueva Concepción. ....217

**Figura A2- 47.** Tendencias anuales de precipitación (superior) y temperatura (inferior), para los registros de la estación meteorológica Nueva Concepción y las simulaciones de los modelos de circulación general “GCM” ccsm4\_r1i1p1 y cesm1\_cam5\_r1i1p1.....218

**Figura A2- 48.** Comparación de caudales promedio mensuales interanuales en estado natural histórico (línea celeste continua), alterado histórico (línea azul cortada), natural futuro (línea gris continua), alterado futuro (línea negra cortada) y los regímenes de caudales ecológicos máximo (línea roja punteada), mínimo (límite del área verde claro) y el umbral de degradación intensa línea roja continua. ....227

## Lista de abreviaturas

AA:	Agroindustriales Anuales (Tipo de cultivo).
ACP:	Análisis de Componentes Principales.
AF:	Árboles Frutales (Tipo de cultivo).
APS:	Agroindustriales Permanentes y Semipermanentes (Tipo de cultivo).
BCSD:	Corrección de Sesgos y Desagregación Espacial, por sus siglas en inglés.
CA:	Centro América.
CC:	Cambio Climático.
CEL:	Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (El Salvador).
CIGEFI:	Centro de Investigaciones Geofísicas (Costa Rica).
CH:	Central Hidroeléctrica.
Cho:	Choluteca
CR:	Costa Rica.
CSC:	Corredor Seco Centroamericano.
DA:	Demanda de agua Agrícola.
DE:	Demanda de agua Energética.
DP:	Demanda de agua Poblacional.
EH:	Estación hidrométrica.
EM:	Estación meteorológica.
ENOS:	El Niño Oscilación del Sur.
EP:	Estación pluviométrica.
ETP:	Evapotranspiración Potencial.
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
GB:	Granos Básicos (Tipo de cultivo)
GCM:	Modelo de Circulación General, por sus siglas en inglés; también conocidos como Modelos de Circulación Global.
GEI:	Gases de Efecto Invernadero.
GT:	Guatemala.

H:	Hortalizas (Tipo de cultivo).
HN:	Honduras.
ICE:	Instituto Costarricense de Electricidad.
INETER:	Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.
INSIVUMEH:	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala.
IPCC:	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.
Lem:	Lempa.
MAGA:	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala.
MAG(CR):	Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica).
MAG(SV):	Ministerio de Agricultura y Ganadería (El Salvador).
MARN:	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador.
MDT:	Modelo Digital del Terreno.
MMC:	Millones de Metros Cúbicos.
Mot:	Motagua.
NI:	Nicaragua.
P:	Pastos (Tipo de cultivo)
RAC:	Requerimiento de Agua de Cultivo.
SAG:	Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras.
SENARA:	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento de Costa Rica.
SERNA:	Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente de Honduras.
SNET:	Servicio Nacional de Estudios Territoriales de El Salvador.
SV:	El Salvador.
TB:	Tempisque - Bebedero.
UCR:	Universidad de Costa Rica.
Xlt:	Xolotlán.



**Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.**

Yo, Guillermo Arturo Cornejo Hernández, con cédula de identidad A03442255, en mi condición de autor del TFG titulado Proyección de cambios en la disponibilidad de agua para usos productivos, causados por el Cambio Climático y los usos futuros, en la cuenca del río Lempa.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI  NO \*

\*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: — año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

**INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:**

Nombre Completo: Guillermo Arturo Cornejo Hernández

Número de Carné: B69402 Número de cédula: A03442255

Correo Electrónico: g.cornejo.urk@gmail.com

Fecha: 22 de octubre de 2020 Número de teléfono: (+503) 7704 9128

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Hugo Hidalgo León

**FIRMA ESTUDIANTE**

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido, sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

## 1. Introducción

El Corredor Seco Centroamericano “CSC” es una eco-región caracterizada principalmente por bosque tropical seco y que cuenta con una estación seca muy marcada, con una duración que oscila entre los tres y seis meses; esta eco-región inicia en Chiapas México, se extiende por Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y termina en el norte de Costa Rica en Guanacaste (Van der Zee Arias, Van der Zee, Meyrat, Poveda y Picado, 2012). Dentro de esta eco-región se tienen 17 cuencas principales de acuerdo al área superficial que drenan, una de estas es el río Lempa. En El Salvador se han realizado varios estudios en la cuenca del río Lempa con distinto grado de detalle y objetivo, los primeros habrán sido los que se realizaron para la construcción de los embalses en los años 50, luego se desarrolló el PLANDARH a principios de los 80’s en donde se dividió al país en 10 regiones hidrográficas (RH), de las que el Lempa es la RH-A, a partir de ahí, otros estudios retoman esta subdivisión y se refieren a la cuenca del río Lempa como una Región Hidrográfica. En el año 2005 el Servicio Nacional de Estudios Territoriales publicó un balance hídrico (SNET, 2005) para el período 1970-2001 en el que se estimó una precipitación para la cuenca de 1,830 mm, evapotranspiración real de 1,030 mm, entre otras variables. Maurer. E.P., Adam J.C. y Wood A.W. (2009) publicaron un estudio en que se estima que la cuenca, para el período 2040-2069 podría experimentar una reducción del 5% en su precipitación por efectos del Cambio Climático. En 2015 concluyó el Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador “PNGIRH” (MARN, 2017a), cuyo período de análisis fue de 1965-2012 y que arrojó resultados similares a los del Balance hídrico del 2005, con 1,758 mm de precipitación media anual y 1,111 mm de evapotranspiración real. Desde 2012 inició una sequía prolongada en la vertiente Pacífico de CA, que se acentuó entre 2014 y 2016 durante la ocurrencia de un evento Niño, lo que causó pérdidas en los sectores productivos dependientes directamente del recurso hídrico superficial como la producción de agua potable, riego de cultivos y generación de energía hidroeléctrica, de modo que es de especial interés investigar los posibles escenarios futuros bajo los que estos sectores podrían encontrarse ante cambios en la disponibilidad del agua, tanto espacial como temporalmente.

## 2. Antecedentes

El presente proyecto de investigación inició su gestación en noviembre del 2016, y se planteó como una propuesta con objetivos, alcances y las posibles cuencas a estudiar (**Figura 1 y Anexo 1**): Motagua, Lempa, Choluteca, Xolotlán y Tempisque, en enero de 2017; a partir de entonces se comienzan a establecer los primeros contactos con los Institutos Meteorológicos e Hidrológicos, así como con los Ministerios o Secretarías de Agricultura y Ganadería y otras instituciones de cada país: en Guatemala “GT” con el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología “INSIVUMEH” y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación “MAGA”; en El Salvador “SV” con el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales “MARN”, el Ministerio de Agricultura y Ganadería “MAG” y la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa “CEL”; en Honduras “HN” con la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente “SERNA” y la Secretaría de Agricultura y Ganadería “SAG”; en Nicaragua “NI” con el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales “INETER”; y en Costa Rica “CR” con el Instituto Costarricense de Electricidad “ICE”, el Ministerio de Agricultura y Ganadería “MAG”, el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento “SENARA”, y el Centro de Investigaciones Geofísicas “CIGEFI” de la Universidad de Costa Rica “UCR”; contactos que sirvieron para conocer la disponibilidad de información y determinar la factibilidad de llevar a cabo el estudio.

Para mediados de 2017 ya se contaba con la mayoría de información hidrometeorológica de las cuencas objetivo, haciendo falta únicamente información del INETER, cuya respuesta a la fecha nunca ocurrió. Durante el 2018 se trabajó en digitalización, tabulación, control de calidad, relleno de datos y generación de proyecciones de registros meteorológicos, hidrológicos, poblacionales, agrícolas y geoespaciales, siendo los últimos dos, los más difíciles de ordenar y corregir; los agrícolas por la bastedad de tipos de cultivo que cada instituto agrícola monitorea y ordena según su propio formato en cada país; y los geoespaciales por la corrección de la red de drenaje en la zonas llanas de los ríos Choluteca en Honduras, los afluentes principales al lago Xolotlán en Nicaragua, y Tempisque y Bebedero en Costa Rica.

En el avance a candidatura, en enero del 2019, se adoptaron dos acuerdos principales:

- 1- Reducir el número de cuencas a estudiar, eliminando el Lago Xolotlán de Nicaragua, por no contar con registros hidrometeorológicos, sino solo interpolaciones de lluvia y temperatura de otros estudios.
- 2- Priorizar el trabajo en las cuencas con el siguiente orden: Lempa, Tempisque, Motagua y Choluteca; pudiendo acortarse el trabajo hasta Tempisque si el proyecto global se extiende demasiado.

Posteriormente a inicios del 2020 el trabajo se acotó a analizar la cuenca del río Lempa dado el volumen de información procesado, para posteriormente presentar los resultados del resto de cuencas en artículos subsiguientes.



Figura 1. Principales cuencas dentro del Corredor Seco Centroamericano y cuencas seleccionadas para el estudio.

### **3. Objetivos**

#### **Objetivo general**

Evaluar los posibles efectos que el Cambio Climático y los usos futuros tendrán en la disponibilidad de agua para usos productivos en la cuenca del río Lempa, ubicada dentro del Corredor Seco Centroamericano.

#### **Objetivos específicos**

- 1- Determinar las aportaciones en régimen natural de la cuenca, de acuerdo al período histórico base de 30 años: May/1970 – Abr/2000.
- 2- Conocer el grado de alteración del régimen fluvial de la cuenca en los puntos de control disponibles, evaluando las principales demandas de agua.
- 3- Estimar los cambios en las aportaciones medias de los ríos de acuerdo a un escenario de Cambio Climático de alta emisión de gases de efecto invernadero, para el período futuro: May/2020 – Abr/2050.
- 4- Evaluar los cambios en la disponibilidad del recurso hídrico para mantenimiento de ecosistemas acuáticos de los ríos y para usos productivos en los principales rubros.

#### 4. Alcances

En conjunto, los alcances cumplen el objetivo general y los cuatro objetivos específicos de esta investigación; y ordenados de manera cronológica en su ejecución, se enumeran de la siguiente manera:

- 1- Control de calidad y relleno de datos de registros meteorológicos e hidrológicos.
- 2- Estimación de las principales demandas de agua: poblacional, agrícola y energética, para las cuencas afluentes al Lempa.
- 3- Naturalización de caudales de estaciones hidrométricas y centrales hidroeléctricas.
- 4- Elaboración de modelos hidrológicos continuos, semi-distribuidos y de paso diario con el software HBV Light.
- 5- Estimación de los caudales ecológicos mediante la metodología de Tennant modificada o una metodología de paso mensual, para las cuencas afluentes al Lempa.
- 6- Evaluación de la alteración del régimen fluvial en período histórico, en cada cuenca afluente al Lempa, comparando porcentualmente el régimen alterado con el régimen natural.
- 7- Extensión hasta el año 2050 de las simulaciones hidrológicas en HBV Light, mediante el uso del escenario de Cambio Climático RCP8.5 del IPCC que mejor se ajusta a la climatología centroamericana, según lo definido por Hidalgo et al. (2017).
- 8- Evaluación de la alteración del régimen fluvial en estado natural, entre los períodos histórico y futuro.
- 9- Evaluación de la alteración del agua disponible para usos productivos entre los períodos histórico y futuro.

El primer objetivo específico sobre la obtención de caudales naturales, se cumple con los alcances del uno al cuatro, cuando se tiene el modelo hidrológico calibrado; el segundo objetivo específico sobre determinar la alteración del régimen fluvial, se cumple con los alcances cinco y seis; el tercer objetivo específico sobre conocer las alteraciones naturales futuras, se cumple con los alcances siete y ocho; y el objetivo general con el cuarto objetivo específico, sobre determinar los cambios en la disponibilidad de agua futura, se cumplen con el noveno alcance.

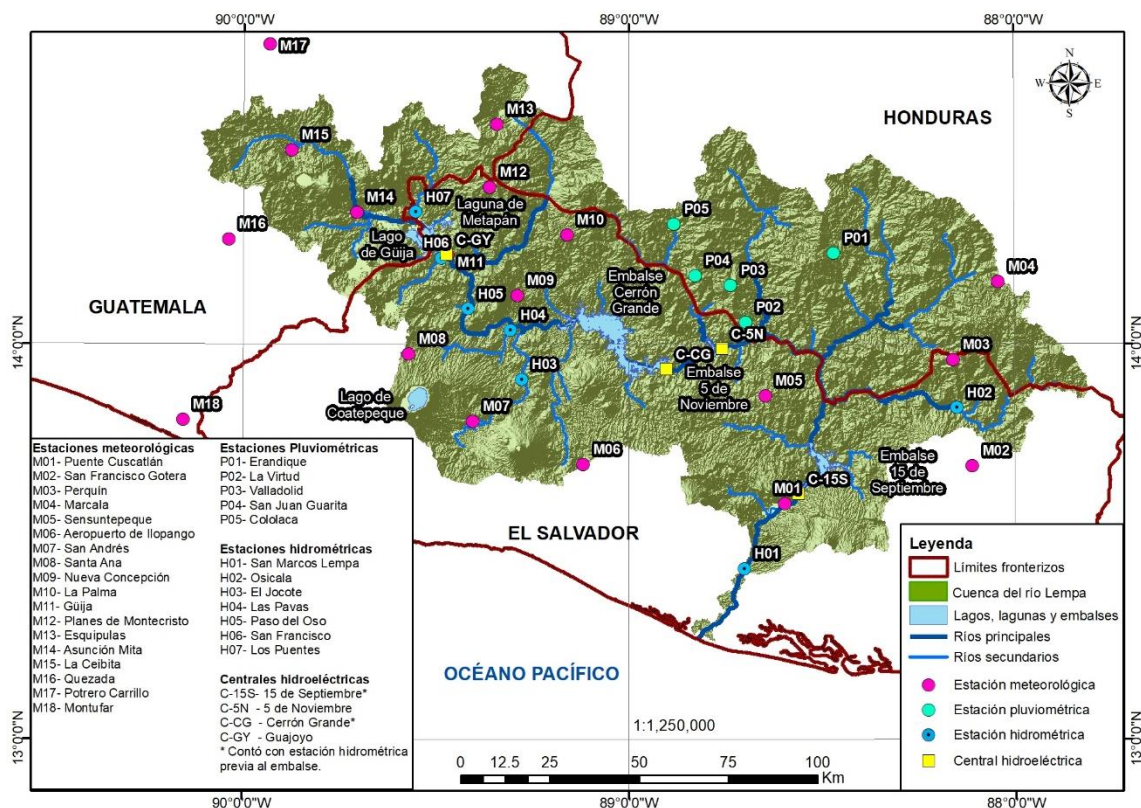
## 5. Datos y metodología

### 5.1. Datos

Se utilizaron: registros hidrometeorológicos, proyecciones de cambio climático, datos geográficos y censos poblacionales y agrícolas para la estimación de demandas de agua.

#### 5.1.1. Registros hidrometeorológicos y proyecciones de cambio climático

Diversas instituciones proporcionaron información de estaciones meteorológicas e hidrológicas con resolución temporal diaria y registro variable dentro del período 1970-2016. Las estaciones fueron: seis meteorológicas del INSIVUMEH de Guatemala; 11 meteorológicas y 9 hidrológicas del MARN, además de cuatro limnimétricas de la CEL, todas de El Salvador; y una meteorológica y cinco pluviométricas de la SERNA de Honduras. La distribución espacial de las estaciones se muestra en la **Figura 2**, y la disponibilidad de registros diarios por año puede encontrarse en el **Anexo 2**.



**Figura 2.** Estaciones meteorológicas, pluviométricas, hidrométricas/limnimétricas y centrales hidroeléctricas utilizadas en la cuenca del río Lempa.

Para realizar la proyección de Cambio Climático se utilizó el modelo “cesm1\_cam5(1)” del IPCC, ponderado como el modelo con la mayor habilidad para emular la precipitación y temperatura de Centroamérica según Hidalgo et al. (2017). Las series de datos utilizadas cuentan con precipitación y temperatura en resolución temporal mensual para el período 01/1979 – 12/2099, con reducción de escala que alcanza una resolución espacial aproximada de 5.5 km. De esta grilla de datos se utilizaron las celdas con la ubicación más cercada a cada estación meteorológica y pluviométrica disponible para este estudio.

### **5.1.2. Información geográfica**

Para la delimitación de la cuenca del río Lempa y la de sus ríos afluentes se utilizaron imágenes gratuitas GEOTIFF con resolución espacial de 30 m x 30 m y cobertura sobre toda Centroamérica, provenientes del USGS (2017). También se obtuvieron límites administrativos en formato shapefile de la base de datos GADM (2017), que es gratuita para publicaciones académicas. Estos límites son necesarios para la estimación de las demandas poblacionales y agrícolas, para la que deben conocerse las áreas de los departamentos y municipios.

### **5.1.3. Censos poblacionales y agrícolas para estimación de demandas de agua**

Para la estimación de demandas de agua para consumo humano y agricultura, se utilizaron métodos indirectos que consideran la población y el área de cultivo bajo riego, respectivamente, junto a factores como dotaciones por tipo de población (urbana y rural) y por tipo de cultivo (maíz, frijol, hortalizas, etc.), eficiencias de suministro y porcentaje de la demanda que es abastecida por recursos superficiales.

#### **5.1.3.1. Documentación de referencia de Guatemala**

##### **Poblacional**

- Dotación urbana neta: Diseño de sistema de abastecimiento de agua potable del área urbana, del municipio de San Pablo Tamahú, departamento de Alta Verapaz (Chiquín E., 2009)
- Dotación rural neta: Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano (MSPyAS, 2011)

- Eficiencia de suministro y porcentaje de la demanda de agua superficial: Informe de Evaluación de Recursos de Agua de Guatemala (USSC, 2000).
- Censo de 1950 (MINEC Guatemala, 1957)
- Censo de 1964 (MINEC Guatemala, 1966)
- Censo de 1981 (MINEC Guatemala, 1983)
- Censo de 1994 (INE Guatemala, 1996)
- Censo de 2002 (INE Guatemala, 2003)

#### **Agrícola**

- IV Censo Nacional Agropecuario 2003 (INE - MAGA Guatemala, 2004)

#### *5.1.3.2. Documentación de referencia de El Salvador*

#### **Poblacional**

- Dotaciones netas urbana y rural: Normas técnicas para abastecimiento de agua potable y alcantarillados de aguas negras (ANDA, 1998).
- Eficiencia de suministro y porcentaje de la demanda de agua superficial: Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador (MARN, 2017).
- Censo de 1950 (MINEC El Salvador, 1997)
- Censo de 1961 (MINEC El Salvador, 1965)
- Censo de 1971 (MINEC El Salvador, 1974a)
- Censo de 1992 (MINEC El Salvador, 1992)
- Censo de 2007 (MINEC El Salvador, 2017)

#### **Agrícola**

- Tercer censo agropecuario (MINEC El Salvador, 1974b)
- Cuarto censo agropecuario (MINEC El Salvador, 2009)

#### *5.1.3.3. Documentación de referencia de Honduras*

#### **Poblacional**

- Dotación urbana bruta: Indicadores 2011 sector agua y saneamiento en Honduras (ERSAPS, 2011).

- Dotación rural neta: Normas de Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable para Poblaciones Rurales (SANAA, 2014)
- Porcentaje de la demanda de agua superficial: Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica, Honduras (Guillén R., 2015)
- Censos de 1950, 1961 y 1974 (Flores Fonseca, 2003)
- Censos de 1988, 2001 y 2013 (INE Honduras, 2017)

### **Agrícola**

- Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008. Cultivos anuales (INE Honduras, 2008a)
- Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008. Cultivos permanentes (INE Honduras, 2008b).

#### **5.1.4. Demandas de agua energética**

Se calcularon con base a registros de las centrales hidroeléctricas Guajoyo en Lago de Güija, Cerrón Grande, 5 de Noviembre y 15 de Septiembre:

- Caudales turbinados, descargados por vertedero y caudal total.
- Nivel de embalse.
- Curvas de almacenamiento.

## **5.2. Metodología**

El esquema de trabajo está definido por los alcances del proyecto (**Figura 3**), que por orden cronológico van cumpliendo los objetivos específicos:

Con los resultados de los alcances 1 al 4, se cumple el primer objetivo específico, sobre estimar las aportaciones medias de la cuenca en régimen natural para el período histórico, esto al tener modelos hidrológicos calibrados con caudales naturalizados.

Con los alcances 5 y 6 se cumple el segundo objetivo específico, sobre determinar el grado de alteración del régimen fluvial natural en el período histórico, comparando los caudales naturales con los alterados y el caudal ecológico.

Con los alcances 7 y 8 se cumple el tercer objetivo específico, sobre estimar los cambios en las aportaciones medias naturales de la cuenca, causados por el Cambio Climático, comparando los caudales naturales históricos con los futuros.

Finalmente, con el alcance 9, se cumple el cuarto objetivo específico y el objetivo general del proyecto, sobre estimar los cambios en la disponibilidad de agua para usos productivos en el período futuro, considerando el caudal natural y alterado futuros con el caudal ecológico.

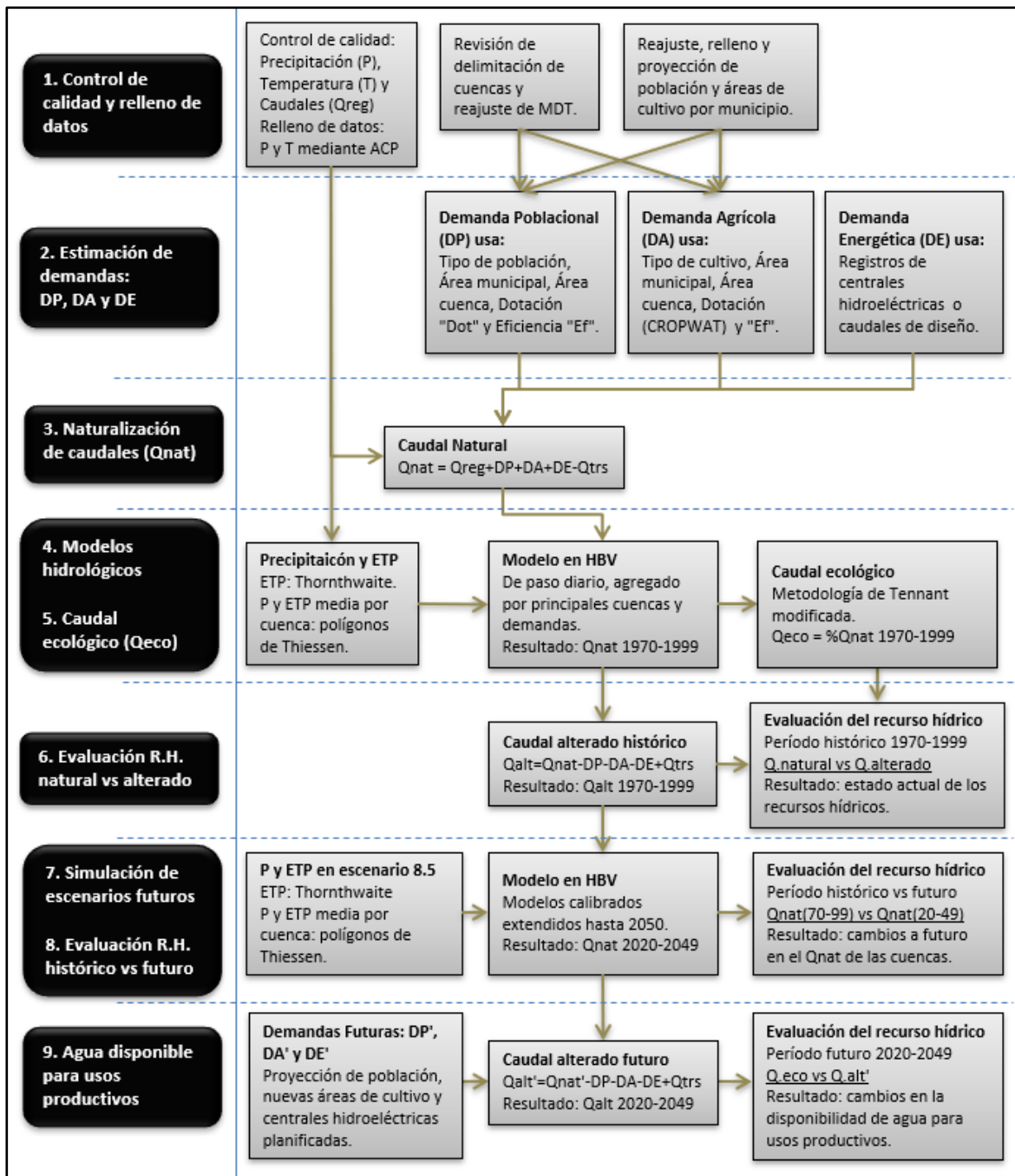


Figura 3. Esquema de trabajo

## **5.2.1. Control de calidad y relleno de datos**

### *5.2.1.1. Registros hidrometeorológicos*

El control de calidad consistió en descartar datos fuera de escala para la precipitación, temperatura y caudales en dos pasos básicos:

- Análisis visual del registro diario, identificando valores anómalos que se comparan con los registros del día anterior y posterior, tanto de la propia estación, como de estaciones cercanas.
- Identificación de valores mensuales anómalos, lo que permite identificar series de valores diarios que individualmente pueden parecer comunes, pero agrupados representan una anomalía, por ejemplo: cero milímetros acumulados en septiembre, un valor cero en septiembre es normal, pero cero milímetros en todo septiembre es un fallo en el registro.

El relleno de datos se realizó para los registros pluviométricos y termométricos de acuerdo a un Análisis de Componentes Principales (ACP) tal como lo describen Alfaro y Soley (2009), por medio de una rutina que determina los ejes de máxima varianza de las estaciones, y luego de indicar el número de componentes principales a utilizar, se ejecuta el relleno de las estaciones de forma automática.

### *5.2.1.2. Información geográfica*

El control de calidad de la información geográfica consistió en revisar dos bases de datos: modelos digitales de terreno “MDT” y capas con las divisiones administrativas en el área de estudio. Primero, se verificó que los “MDT” no contaran con vacíos de información y fueran capaces de delimitar las cuencas de interés con redes de drenaje naturales adecuadas, constatando que fueran consistentes con las presentadas en informes oficiales de los servicios hidrológicos nacionales de Centroamérica. Cuando la delimitación de cuencas no era correcta, se delineó la red de drenaje en Google Earth, y con ella se corrigieron los archivos raster. Segundo, se verificaron que las divisiones administrativas contuvieran todas las áreas geográficas del territorio; cuando estas capas presentaron un error, esto se corrigió identificando el área geográfica faltante y delineando sus límites.

### 5.2.1.3. *Censos poblacionales y agrícolas*

El control de calidad y relleno de datos en los censos poblacionales y agrícolas consistió en verificar el mantenimiento de las divisiones administrativas con el paso del tiempo, pues en CA algunos municipios se crearon en las últimas décadas, generando cambios en el número de áreas geográficas reportadas de un censo a otro, lo que hizo necesario rellenar datos poblacionales por el método de progresión geométrica con las tendencias de crecimiento de cada grupo poblacional, e interpolación lineal para las áreas de cultivo por tipo de cultivo.

## 5.2.2. Estimación de demandas de agua

### 5.2.2.1. *Subdivisión de la cuenca*

Las demandas poblacionales y agrícolas se estimaron por municipio a cada cinco años para el período 1970-2050, luego se acumularon para cada subdivisión de la cuenca definida para el modelo hidrológico, según los siguientes criterios:

- 1- Hidrografía: tamaño de las cuencas afluentes y ubicación de estaciones hidrométricas.
- 2- Climáticas: pluviometría, temperatura, evapotranspiración potencial y sus respectivos gradientes locales.
- 3- Antropogénicas: cambios a lo largo del tiempo en la población y las áreas bajo riego en los municipios dentro de la cuenca, así como la existencia o planificación de importantes centrales hidroeléctricas con capacidad de regulación de caudales.

### 5.2.2.2. *Población y Demanda de agua poblacional*

#### **Población “P”**

Las interpolaciones y extrapolaciones de población se realizaron por medio del método de progresión geométrica (**Ecuación 1**) para la población total y la rural, verificando siempre que la proyección rural fuera inferior a la total; luego, la población urbana se obtuvo como la diferencia entre la población total menos la rural.

**Ecuación 1:**

$$P_p = P_c \cdot (1 + i)^n$$

Donde:

- $P_P$  = población proyectada (hab)  
 $P_C$  = población conocida (hab)  
 $i$  = tasa de crecimiento (-)  
 $n$  = período de tiempo (años)

Las siguientes consideraciones se tomaron en cuenta:

- Población máxima proyectada:

$$0 \leq P_P \leq P_{Máx}$$

Donde: “ $P_{Máx}$ ” es la población máxima, resultante de multiplicar el área municipal por la máxima densidad poblacional de 10,000 hab/km<sup>2</sup>, establecida a partir de zonas de CA que alcanzan una población futura estable según proyecciones oficiales.

- Tasa de crecimiento “ $i$ ” para períodos futuros:

Se determinó a partir de tres opciones:

- la tasa proyectada con base a la tendencia entre todos los censos
- la tasa promedio entre todos los censos, y
- la última tasa histórica;

Si el cambio de población del último período entre censos fue creciente, se consideró el mínimo de las tres opciones, para evitar crecimientos de población excesivos; mientras que si fue decreciente, se consideró el máximo de las tres opciones, para evitar la despoblación acelerada de áreas geográficas.

### **Demanda de agua poblacional “ $DP$ ”**

La demanda de agua poblacional municipal se calculó con el número de habitantes, la dotación según el país, el tipo de población: urbana o rural, la eficiencia de suministro y el área municipal que se encuentre dentro de la cuenca (**Ecuación 2**).

**Ecuación 2:**

$$DP_n = \frac{A_{MC}}{A_M} \cdot \frac{(P_U \cdot D_U + P_R \cdot D_R)_n \cdot F_{Sup}}{Ef_{Sum}}$$

Donde:

- $DP_n$  = Demanda de agua poblacional municipal del año “n” ( $m^3/día$ ).  
 $n$  = Año para el que la población ha sido proyectada (año).  
 $A_M$  = Área municipal ( $km^2$ ).  
 $A_{MC}$  = Área municipal dentro de la cuenca ( $km^2$ ).  
 $P_U$  = Número de habitantes urbanos (hab).  
 $D_U$  = Dotación de agua para población urbana ( $m^3/hab/día$ ).  
 $P_R$  = Número de habitantes rurales (hab)  
 $D_R$  = Dotación de agua para población rural ( $m^3/hab/día$ )  
 $F_{Sup}$  = Fracción de la DP que se extrae de recursos superficiales (-).  
 $Ef_{Sum}$  = Eficiencia del suministro a la población (-).

### 5.2.2.3. *Áreas de cultivo, Lámina de agua y Demanda de agua agrícola*

#### Áreas de cultivo “ $A_{Cul}$ ”

Las áreas de cultivo se determinaron por tipo de cultivo y se interpolaron y extrapolaron linealmente a partir de valores conocidos (**Ecuación 3**):

**Ecuación 3:**

$$A_{CulP} = A_{CulA} + (n_P - n_A) \cdot \frac{(A_U - A_A)}{(n_U - n_A)}$$

Donde:

- $A_{Cul.P}$  = Área de cultivo presente según el tipo de cultivo (ha).  
 $A_{Cul.A}$  = Área de cultivo anterior según el tipo de cultivo (ha)  
 $A_{Cul.U}$  = Área de cultivo ulterior según el tipo de cultivo (ha)  
 $n_P$  = Año presente (año).  
 $n_A$  = Año anterior (año).  
 $n_U$  = Año ulterior (año).

Se aplicaron las siguientes restricciones:

$$0 \leq A_{CulP} \leq 0.7 \cdot A_M$$

Donde:  $0.7A_M$  es el 70% del área municipal, establecido como el valor máximo que el área de cultivo total puede cubrir en cada municipio.

### Lámina de agua “ $h_{Cul}$ ”

La lámina de agua requerida por tipo de cultivo se obtuvo por medio del software de la FAO, CROPWAT 8.0, que proporciona como resultado la columna de agua a cada diez días que el cultivo necesita para un desarrollo óptimo, en todo su período de crecimiento a partir de la fecha de siembra (**Figura 4**).

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
May	1	Inic	0.85	3.06	30.6	42.7	0.0
May	2	Inic	0.85	2.98	29.8	56.5	0.0
May	3	Inic	0.85	2.89	31.8	55.7	0.0
Jun	1	Inic	0.85	2.81	28.1	53.7	0.0
Jun	2	Inic	0.85	2.72	27.2	54.8	0.0
Jun	3	Inic	0.85	2.75	27.5	53.4	0.0
Jul	1	Inic	0.85	2.78	27.8	51.3	0.0
Jul	2	Inic	0.85	2.80	28.0	49.9	0.0
Jul	3	Inic	0.85	2.72	29.9	51.2	0.0
Ago	1	Inic	0.85	2.63	26.3	52.8	0.0
Ago	2	Inic	0.85	2.55	25.5	53.8	0.0
Ago	3	Inic	0.85	2.49	27.4	54.7	0.0
Sep	1	Inic	0.85	2.44	24.4	56.1	0.0
Sep	2	Des	0.85	2.38	23.8	57.3	0.0
Sep	3	Des	0.87	2.41	24.1	55.9	0.0
Oct	1	Des	0.89	2.45	24.5	57.4	0.0
Oct	2	Des	0.92	2.48	24.8	57.8	0.0
Oct	3	Des	0.94	2.49	27.3	44.3	0.0
Nov	1	Des	0.97	2.49	24.9	27.3	0.0
Nov	2	Med	0.99	2.48	24.8	14.4	10.4
Nov	3	Med	0.99	2.49	24.9	10.2	14.7
Dic	1	Med	0.99	2.49	24.9	4.9	20.0
Dic	2	Med	0.99	2.49	24.9	0.0	24.9
Dic	3	Med	0.99	2.52	27.7	0.2	27.5
Ene	1	Med	0.99	2.55	25.5	1.0	24.6
Ene	2	Med	0.99	2.59	25.9	0.6	25.2
Ene	3	Med	0.99	2.62	28.8	0.5	28.3
Feb	1	Med	0.99	2.65	26.5	0.1	26.4
Feb	2	Med	0.99	2.68	26.8	0.0	26.8
Feb	3	Med	0.99	2.88	23.1	1.0	22.1
Mar	1	Med	0.99	3.08	30.8	3.1	27.7
Mar	2	Fin	0.99	3.27	32.7	4.5	28.2
Mar	3	Fin	0.97	3.37	37.1	8.0	29.0
Abr	1	Fin	0.95	3.45	34.5	9.2	25.2
Abr	2	Fin	0.93	3.52	35.2	11.3	24.0
Abr	3	Fin	0.90	3.35	33.5	24.7	8.7
					<b>1001.1</b>	<b>1080.5</b>	<b>393.6</b>

Figura 4. Resultados procesados por CROPWAT 8.0 sobre la columna de agua requerida cada diez días para el pasto permanente.

Se ingresan factores de desarrollo por tipo de cultivo según sus etapas de crecimiento, coordenadas del sitio, precipitación mensual y evapotranspiración diaria (**Figura 5**).

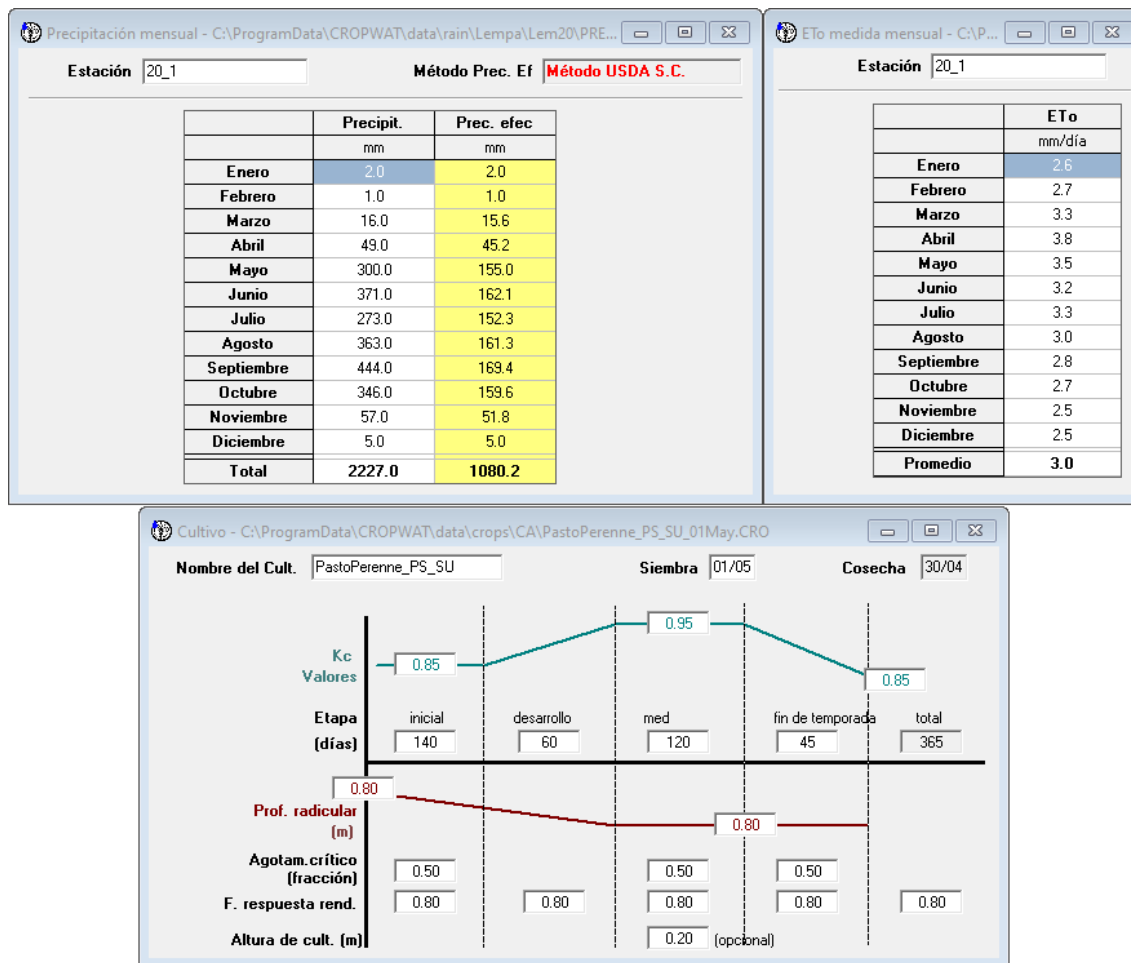


Figura 5. Datos de ingreso en el software CROPWAT 8.0 para el cultivo pasto permanente.

### Demanda de agua agrícola “DA”

La demanda agrícola (**Ecuación 4**) se estimó por las áreas de cultivo bajo riego, considerando el tipo de cultivo, la columna de agua requerida, la eficiencia del sistema de riego y el factor de los recursos que son regados con aguas superficiales.

**Ecuación 4:**

$$DA_n = \frac{A_{MC}}{A_M} \cdot \frac{\sum_{t=1}^{t=m} (A_{Cult.t} \cdot h_{Cult.t}) \cdot F_{Sup}}{Ef_{Rgo}}$$

Donde:

DA = Demanda agrícola municipal (m<sup>3</sup>/día).

- n = Año para el que las áreas de cultivo han sido proyectadas (año).  
 $A_M$  = Área municipal ( $\text{km}^2$ )  
 $A_{MC}$  = Área municipal dentro de la cuenca ( $\text{km}^2$ )  
t = Tipo de cultivo desde 1 hasta “m” según cada censo.  
 $A_{Cul.t}$  = área regada por tipo de cultivo ( $\text{m}^2$ ).  
 $h_{Cul}$  = lámina de agua requerida según el tipo de cultivo (m/día).  
 $F_{Sup}$  = fracción del riego que se abastece de recursos superficiales (-).  
 $Ef_{Rgo}$  = eficiencia del método de riego (-).

#### 5.2.2.4. *Demanda de agua Energética (DE)*

##### **Centrales hidroeléctricas operativas**

Se obtiene directamente de los registros que las centrales generadoras de energía llevan periódicamente para el monitoreo de su producción, para ello se tiene segregado el caudal turbinado, el caudal de vertedero y el caudal total descargado, así como registros de niveles de embalses y curvas de almacenamiento de los mismos.

##### **Centrales hidroeléctricas proyectadas**

Para las centrales hidroeléctricas proyectadas, la demanda energética se consideró como un factor de la central más cercana, para ello se definieron reglas operativas mensuales, en las que, con base al volumen útil embalsado se determinó el caudal turbinado y el caudal por vertedero. Se tienen tres grandes centrales hidroeléctricas proyectadas:

- El Cimarrón: se planificó para la cabecera de la cuenca, sin embargo, fue cancelada por protestas de personas locales. Su inclusión en el estudio es estrictamente académica. Sus reglas operativas son proporcionales a las de la central Guajoyo, que se ubica en el primer afluente principal de la cuenca.
- El Chaparral: se encuentra actualmente en construcción en la cuenca del río Torola, para su simulación se consideraron reglas operativas proporcionales a las de la Central Guajoyo.
- El Tigre: ubicada aguas arriba de la Central 15 de Septiembre, es un proyecto que fue cancelado por protestas de locales, y su inclusión es estrictamente académica. Sus reglas operativas son proporcionales a las de la Central 15 de Septiembre.

### 5.2.3. Naturalización de caudales

La naturalización de caudales se realizó en dos procesos según las demandas existentes en la cuenca: cuencas con demandas de agua poblacionales y agrícolas (demandas consuntivas), y cuencas que, además, incluyen demandas energéticas (no consuntivas). El primer caso tiene la particularidad que el régimen fluvial es afectado solo en su magnitud, mientras que el segundo, es afectado en magnitud y temporalidad por la retención de agua de los embalses de las centrales hidroeléctricas.

#### 5.2.3.1. Naturalización por demandas de agua consuntivas

La naturalización contempla la **Ecuación 5**, en la que se añade el término del retorno de las demandas poblacionales que regresan al río como aguas residuales, el retorno se estimó con base al esquema que se presenta en la **Figura 6**, en donde, además de la DP superficial se considera la componente subterránea:

**Ecuación 5:**

$$Q_{Nat} = Q_{Reg} + DP - Ret_{DP} + DA$$

Donde:

- $Q_{Nat}$  = Caudal natural ( $m^3/s$ ).
- $Q_{Reg}$  = Caudal registrado por la estación hidrométrica ( $m^3/s$ ).
- DP = Demanda de agua poblacional ( $m^3/s$ ).
- $Ret_{DP}$  = Retorno de aguas residuales de la demanda poblacional ( $m^3/s$ ).
- DA = Demanda de agua agrícola ( $m^3/s$ ).

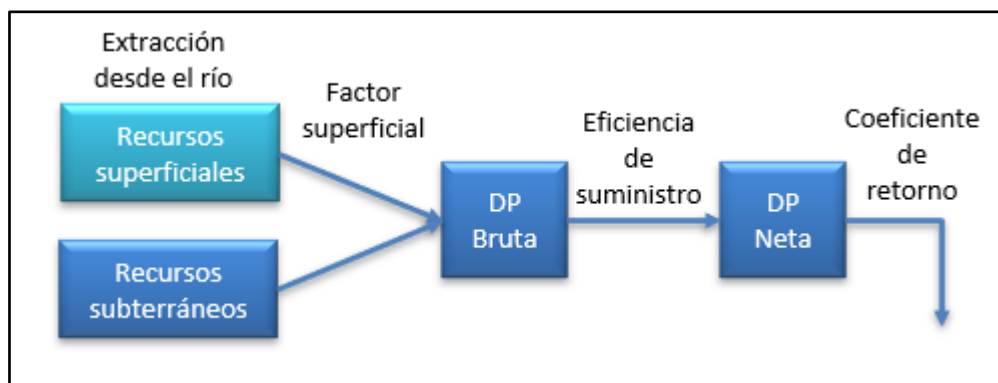


Figura 6. Flujo de agua para la Demanda Poblacional "DP".

### 5.2.3.2. *Naturalización por demandas de agua consuntivas y no consuntivas*

Esta naturalización se realiza en tres etapas, primero se realiza un balance con los datos de las centrales hidroeléctricas (**Ecuación 6**), en el que a los caudales registrados (totales descargados) se corrigen, sumándoles el cambio de almacenamiento en el embalse y sus pérdidas por ETP e infiltración. La segunda etapa se realiza para las centrales que tienen embalses aguas arriba, restando al caudal corregido 1, el caudal alterado de la central aguas arriba y sumándole el caudal corregido por almacenamiento (**Ecuación 7**). En la tercera etapa se realiza la naturalización con las demandas de agua poblacional y agrícola según la **Ecuación 8**, cuya única diferencia con la **Ecuación 5**, es que se utiliza con base al caudal corregido 2 “ $Q_{Cor2}$ ” de la etapa anterior y no con el caudal registrado.

**Ecuación 6:**

$$Q_{Cor1} = Q_{Reg} + Q_{\Delta V} + Q_{P-ETP} + Q_{P-Inf}$$

**Ecuación 7:**

$$Q_{Cor2} = Q_{Cor1} - Q_{ACHA} + Q_{Cor1CHA}$$

**Ecuación 8:**

$$Q_{Nat} = Q_{Cor2} + DP - Ret_{DP} + DA$$

Donde:

- $Q_{Cor1}$  = Caudal corregido 1, por almacenamiento de embalse ( $m^3/s$ ).
- $Q_{Reg}$  = Caudal registrado o total descargado ( $m^3/s$ ): turbinado y vertedero.
- $Q_{\Delta V}$  = Cambio de almacenamiento en el embalse ( $m^3/s$ ).
- $Q_{P-ETP}$  = Pérdidas en el embalse por ETP ( $m^3/s$ ), usando área de embalse.
- $Q_{P-Inf}$  = Pérdidas en el embalse por infiltración ( $m^3/s$ ), analizando pérdidas en días sin descarga total y con pérdidas mayores a las de ETP.
- $Q_{Cor2}$  = Caudal corregido 2, por embalse aguas arriba ( $m^3/s$ ).
- $Q_{ACHA}$  = Caudal alterado de la central hidroeléctrica anterior ( $m^3/s$ ).
- $Q_{Cor1CHA}$  = Caudal corregido 1 de la central hidroeléctrica anterior ( $m^3/s$ ).

### 5.2.4. **Elaboración de modelos hidrológicos**

Se elaboraron con el software HBV Light, y se tomaron en cuenta tres componentes principales: variables meteorológicas, características del modelo y método de calibración.

### 5.2.4.1. Variables meteorológicas

Se estimaron valores medios diarios de precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial “ETP” para cada área de aporte. La ETP se calculó para cada estación meteorológica con la metodología de Thornthwaite (de **Ecuación 9** a **Ecuación 14**):

**Ecuación 9:**

$$ETP = 16 \left( \frac{L}{12} \right) \left( \frac{N}{30} \right) \left( \frac{10T_{\alpha}}{I} \right)^{\alpha}$$

Donde:

- ETP<sub>j</sub>: Evapotranspiración potencial en el mes “j” (mm).
- L: Longitud promedio del día para el mes en cálculo (horas).
- N: Número de días del mes.
- T<sub>α</sub>: Temperatura media en el mes (°C).
- I: Índice de calor.
- α: Función del índice de calor.

**Ecuación 10:**

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{T_{\alpha i}}{5} \right)^{1.514}$$

**Ecuación 11:**

$$\alpha = (6.75 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{-5})I^2 + (1.792 \times 10^{-2})I + 0.49239$$

**Ecuación 12:**

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s$$

Donde:

- ω<sub>s</sub>: Ángulo de la hora de la puesta del sol (rad).

**Ecuación 13:**

$$\omega_s = \arccos(-\tan\phi \cdot \tan\delta)$$

Donde:

- φ: Latitud del sitio positiva para el norte y negativa para el sur (°).
- δ: Declinación solar (rad)

**Ecuación 14:**

$$\delta = 0.4093 \operatorname{sen} \left( \frac{2\pi}{365} J - 1.405 \right)$$

Donde:

J: Número de día juliano.

La ETP mensual, se subdividió en valores diarios iguales según cada mes de cada año, y se procedió a calcular los valores medios diarios para cada cuenca, mediante el método de los Polígonos de Thiessen, por ser de alta eficiencia para desarrollar cálculos cuantiosos. Los polígonos se definieron utilizando software de información geográfica, y los valores medios se calcularon tal como lo describe Aparicio, F. (1989) para la precipitación (**Ecuación 15**): “La lluvia media se calcula entonces como un promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente”; proceso que fue utilizado también para la temperatura y la evapotranspiración potencial.

**Ecuación 15:**

$$h_p = \frac{1}{A_T} \cdot \sum_{i=1}^n (A_i \cdot h_{pi})$$

Donde:

hp: precipitación media de la cuenca.

hpi: precipitación de la estación “i”.

A<sub>T</sub>: Área total de la cuenca.

A<sub>i</sub>: Área de influencia de la estación “i”.

#### 5.2.4.2. *Características del modelo*

En HBV Light los modelos se caracterizan por los siguientes componentes:

##### **Zonas de vegetación**

No se contó con información geográfica sobre el uso del suelo, la pedología y la cobertura vegetal, por lo que no se definieron diferentes zonas de vegetación.

##### **Zonas de elevación**

HBV Light permite hasta 20 zonas de elevación, que fueron utilizadas para la altura media de las cuencas, y hacer uso de los gradientes de precipitación y temperatura del modelo.

### Estructura del modelo

De las disponibles en HBV Light, se utilizó una estructura estándar de doble depósito, para simular el flujo de agua a través de la cuenca, esta estructura divide la escorrentía en dos componentes: subterránea y superficial, de las que la superficial, es subdividida en dos subcomponentes mediante el uso del Uper Zone Limit “UZL”: la descarga bajo el UZL es la escorrentía generada durante eventos de tormenta, mientras que la descarga sobre el UZL, es la escorrentía que representa los caudales pico generados durante eventos extremos.

Además, se utilizó el conjunto de parámetros de un modelo básico, ya que en ninguna de las cuencas simuladas se tiene la ocurrencia de nieve. Todo lo anterior descrito se refleja en forma de esquema en la **Figura 7**.

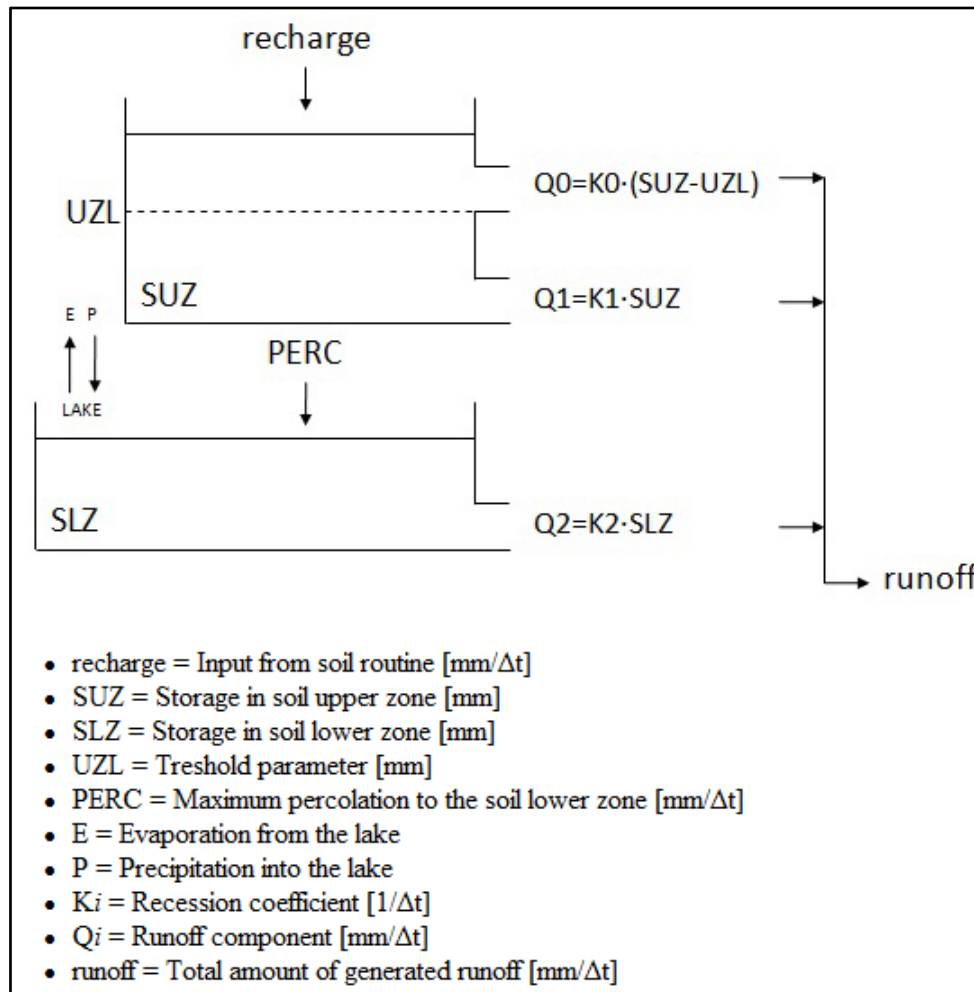


Figura 7. Estructura versión estándar, modelo básico.

### 5.2.4.3. Calibración

HBV Light contempla tres períodos de tiempo: **calentamiento** para estabilizar las variables de estado, **calibración** para buscar el mejor ajuste y **validación** para verificar la calibración; cada uno variable según la disponibilidad de caudales naturalizados en cada punto de control. Dos metodologías se consideraron para la calibración del modelo: corridas de Monte Carlo “MC” y el Algoritmo Genético para Optimización de Parámetros “GAP”, ambos procesos bajo siete funciones objetivo que se describen a continuación:

- 1- **Reff**: La eficiencia de la corrida (**Ecuación 16**) compara la predicción del modelo con la predicción posible más simple, el valor constante del promedio de los valores observados para el período entero.

**Ecuación 16 (Seibert, 2005):**

$$R_{eff} = 1 - \frac{\sum(Q_{Sim} - Q_{Obs})^2}{\sum(Q_{Obs} - \bar{Q}_{Obs})^2}$$

Donde:

- $R_{eff}$  = Eficiencia de la corrida.
- $Q_{Sim}$  = Caudal simulado.
- $Q_{Obs}$  = Caudal observado.
- $\bar{Q}_{Obs}$  = Promedio de los caudales observados.

- 2- **R<sup>2</sup>**: El coeficiente de determinación (**Ecuación 17**) es la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión.

**Ecuación 17 (Seibert, 2005):**

$$R^2 = \frac{(\sum(Q_{Obs} - \bar{Q}_{Obs})(Q_{Sim} - \bar{Q}_{Sim}))^2}{\sum(Q_{Obs} - \bar{Q}_{Obs})^2 \sum(Q_{Sim} - \bar{Q}_{Sim})^2}$$

Donde:

- $R^2$  = Coeficiente de determinación.
- $Q_{Sim}$  = Caudal simulado.
- $Q_{Obs}$  = Caudal observado.
- $\bar{Q}_{Sim}$  = Promedio de los caudales simulados.
- $\bar{Q}_{Obs}$  = Promedio de los caudales observados.

- 3- **LogReff**: Es la eficiencia de corrida, utilizando el logaritmo neperiano de los valores observados y simulados (**Ecuación 18**).

**Ecuación 18 (Seibert, 2005):**

$$\text{LogReff} = 1 - \frac{\sum (\ln(Q_{\text{Sim}}) - \ln(Q_{\text{Obs}}))^2}{\sum (\ln(Q_{\text{Obs}}) - \bar{\ln}(Q_{\text{Obs}}))^2}$$

Donde:

$\text{LogReff}$  = Eficiencia del modelo con base al logaritmo neperiano de los valores simulados y observados.

$Q_{\text{Sim}}$  = Caudal simulado para el tiempo “t”.

$Q_{\text{Obs}}$  = Caudal observado para el tiempo “t”.

$\bar{Q}_{\text{Obs}}$  = Promedio de los caudales observados.

- 4- **Combinación 1**: con la **Ecuación 19** se pondera la calibración en 30% con Reff para los picos de caudal, 30% con R2 para la forma del hidrograma y en 40% con LogReff para los caudales base.

**Ecuación 19:**

$$C_1 = 0.3(R_{\text{eff}} + R^2) + 0.4(\text{LogReff})$$

- 5- **Combinación 2**: con la **Ecuación 20** se pondera la calibración al 50% con Reff para los picos de caudal y al 50% con LogReff para caudales base.

**Ecuación 20:**

$$C_2 = 0.5(R_{\text{eff}} + \text{LogReff})$$

- 6- **Combinación 3**: con la **Ecuación 21** se pondera la calibración al 50% con R2 para caudales altos y al 50% con LogReff para caudales base.

**Ecuación 21:**

$$C_3 = 0.5(R^2 + \text{LogReff})$$

- 7- **Combinación 4**: con la **Ecuación 22** se pondera la calibración al 50% con Reff para los picos de caudal y al 50% con la forma del hidrograma.

**Ecuación 22:**

$$C_4 = 0.5(R_{\text{eff}} + R^2)$$

### **Corridas de Monte Carlo**

Es un procedimiento en el que los valores de los parámetros son escogidos aleatoriamente dentro de un rango dado, luego el modelo es corrido con dicho set de parámetros, y al concluir, se evalúa una o varias funciones objetivo que comparan la escorrentía simulada y la registrada naturalizada. Este procedimiento es repetido un determinado número de veces y finalmente se escoge como modelo calibrado, al set de parámetros que corresponde a la función objetivo con el valor más cercano a uno.

### **Optimización GAP**

Es un proceso de calibración que se basa en definir un número “n” de sets de parámetros, los cuales son corridos y se obtienen sus funciones objetivo “FO”, luego dos de estos sets de parámetros son emparejados para generar con base a ellos un tercer set.

Los sets emparejados son escogidos aleatoriamente con base a una probabilidad, que se encuentra en función del valor de la función objetivo; mientras más cercano a uno es el valor de la función objetivo, mayor probabilidad tiene el set de parámetros de ser emparejado; de esta manera, los nuevos sets generados provienen de los sets con la mayor habilidad. Los parámetros de los nuevos sets son generados con base a cuatro reglas:

- Mutación: un valor aleatorio dentro de los límites dados para cada parámetro.
- Optimización: un valor optimizado para cada parámetro en específico.
- Intermedio: valor aleatorio entre los valores de los sets A y B (alternativamente, si ambos valores son iguales, se escoge un valor aleatorio cercano a este valor).
- Preservación: se conserva ya sea el valor del set A o del set B.

Estas cuatro reglas se aplican aleatoriamente con base a una probabilidad, que por defecto en el programa son: 0.02, 0.00, 0.16 y 0.82, respectivamente; probabilidades que se mantuvieron para el proceso de calibración de esta investigación. Al obtener el nuevo set de parámetros, el modelo es corrido y se evalúa la función objetivo para obtener su probabilidad de ser escogido; posteriormente se realiza el proceso un número “N” de iteraciones, combinando en cada una, dos sets de parámetros de forma aleatoria, con mayor probabilidad para los que cuentan con función objetivo más cercana a uno, sustituyendo la generación de sets anterior con la nueva, y almacenando el set con la mejor función objetivo.

### **Calibración final**

Las siete funciones objetivo se utilizaron en ambos procesos de calibración para las cinco cuencas que pueden calibrarse de forma individual, de manera que, no existiera la influencia de una segunda cuenca afluente que alterara los resultados de las bondades reales de cada función objetivo. A partir de estos resultados se definió la mejor función objetivo y el mejor proceso de calibración, con lo que se calibraron el resto de puntos de control que cuentan con más de una cuenca afluente.

#### **5.2.5. Estimación de caudales ecológicos**

“El establecimiento de un régimen de caudales ambientales es, en la actualidad, una herramienta prácticamente imprescindible en la gestión de las cuencas hidrográficas. El número de infraestructuras hidráulicas construidas ha sufrido un enorme incremento en las últimas décadas, como respuesta a la demanda creciente de recursos hídricos originada por el desarrollo agrícola, industrial y urbano” (Mas, M. 2005); la importancia de este régimen de caudales ambientales o caudales ecológicos, queda constatada por la influencia que el régimen fluvial de un río tiene en el hábitat acuático; a este respecto, Villela, R.& Banderas, A. (2015) rescatan de diversas publicaciones que, la biodiversidad acuática en las corrientes se ve afectada de cuatro maneras principales:

- Las estrategias de vida de las especies evolucionan en respuesta directa a la variación natural del régimen de caudales, por lo que su alteración puede conducir a la pérdida de biodiversidad de especies nativas.
- Los patrones naturales de conectividad longitudinal y lateral de las riberas son esenciales para la viabilidad de las poblaciones de muchas especies, por lo que es primordial su preservación.
- El caudal es determinante principal de las condiciones del hábitat físico en los ríos y, en consecuencia, es el factor más influyente en su composición biótica. La influencia del caudal sobre los hábitats es diferente si se analiza en el ámbito de cuenca (dimensiones del cauce), o en un segmento (condiciones hidráulicas sobre un tramo), ya que la dimensión del hábitat modifica la apreciación de la distribución y abundancia de los organismos.

- La modificación del régimen de caudales facilita la introducción e invasión de especies exóticas en los ríos.

A pesar de lo anterior, en la actualidad, en la cuenca del río Lempa no existe un régimen de caudales ecológicos que esté en aplicación, ni en el río principal, ni en las cuencas afluentes, por lo que para realizar una evaluación integral sobre cómo el Cambio Climático afectará el régimen fluvial del río y la disponibilidad de agua para usos productivos, es necesario estimar un régimen de caudales ecológicos para toda la cuenca. Para ello, se consideró utilizar una metodología de paso diario como el Caudal Básico de Mantenimiento “QBM” (Palau, A., 2004), pero se descartó dada la poca significancia que tendría evaluar caudales futuros proyectados al año 2050, con una resolución temporal tan alta. También se consideró utilizar el método Northern Great Plains Resource Program utilizado en el Plan Nacional Hídrico de El Salvador (MARN, 2017b), por considerar caudales medios mensuales, descartando períodos húmedos y secos, sin embargo, su aplicación para esta cuenca resultó ser baja y poco realista, dada la alta alteración de la misma y lo restrictivo que demostró ser el método, para regímenes fluviales con un rango de variabilidad estacional tan alto como el del río Lempa. Finalmente, se utilizó el método de Tennant o de Montana, que en resumen, como lo explica Mas, M. (2005), es un método hidráulico que se basa en definir el estado del río que se busca mantener, con base a caudales estacionales definidos por el caudal medio anual del río, de acuerdo a los porcentajes de la **Tabla 1**:

**Tabla 1. Recomendaciones del método de Montana sobre aplicación de caudales con respecto a recursos piscícolas, recreativos, de biodiversidad y otros recursos ambientales. (Adaptado de Mas, M. 2005).**

Descripción del caudal	Régimen de caudales recomendado (% del caudal medio anual)	
	Húmeda	Seca
Máximo o generador	200	200
Intervalo óptimo	60-100	60-100
Excepcional	60	40
Excelente	50	30
Adecuado	40	20
Ajustado (cierta degradación)	30	10
Pobre o mínimo	10	10
Degradación intensa	0-10	0-10

- El caudal correspondiente al 10% del caudal medio anual constituye el caudal instantáneo mínimo que permite mantener, por un corto período de tiempo, las condiciones de hábitat necesarias para la supervivencia de la mayor parte de las especies acuáticas.
- El caudal correspondiente al 30% del caudal medio anual es el caudal recomendado para mantener condiciones adecuadas de hábitat para la mayor parte de las especies acuáticas.
- El caudal correspondiente al 60% del caudal medio anual permite mantener las condiciones óptimas de hábitat para la mayor parte de las especies acuáticas durante las primeras fases del ciclo vital.
- El caudal máximo recomendado no excede de dos veces el caudal medio anual, dado que el mantenimiento de caudales elevados durante largos períodos provoca procesos erosivos en los márgenes y la degradación del medio fluvial aguas abajo.

Para los ríos de régimen más torrencial, en los que la metodología estacional de Tennant no resultó adecuada, se propuso una variante mensual (**Tabla 2**):

**Tabla 2. Propuesta de caudales ecológicos para ríos cuyo régimen de caudales naturales no se ajusta a la metodología estacional de Tennant o Montana.**

Descripción del caudal	Régimen de caudales recomendado (% del caudal medio mensual en régimen natural)
Máximo o generador	<b>Estación seca:</b> promedio de caudales diarios máximos históricos. <b>Transición:</b> punto medio entre el promedio de caudales diarios máximos históricos y el caudal medio mensual. <b>Estación húmeda:</b> 100% del caudal medio mensual.
Intervalo óptimo	80-100
Excepcional	50
Excelente	40
Adecuado	30
Degradación inicial	20
Pobre	10
Degradación intensa	0-10

Esta propuesta consiste en utilizar el porcentaje promedio entre estación húmeda y seca de Tennant, sobre los caudales medios mensuales; pues en estos ríos los caudales medios

anuales resultan muy bajos para la estación húmeda y muy altos para la estación seca. Además, para los caudales generadores, se propuso utilizar para la estación húmeda el 100% del caudal medio mensual, para la estación seca el promedio de los caudales diarios máximos históricos, y para los meses de transición entre estaciones climáticas, un promedio de los valores anteriores.

### 5.2.6. Evaluación de la alteración actual del régimen fluvial de los ríos

En esta etapa se busca conocer la alteración histórica del régimen fluvial para disponer de una línea base con la cual comparar la alteración futura. Para ello, es necesario alterar o desnaturalizar los caudales simulados, revirtiendo el proceso descrito en la sección 5.2.3; esto debido a que los caudales registrados, si bien es cierto que son alterados, no están disponibles en todo el período de tiempo, ni para el mismo período en todas las estaciones hidrométricas y tampoco se tienen estaciones hidrométricas en todas las cuencas.

#### 5.2.6.1. Alteración por demandas de agua consuntivas

Los caudales de las cuencas con DP y DA, se alteran por medio de la **Ecuación 23**.

**Ecuación 23:**

$$Q_{Alt} = Q_{Nat} - DP + Ret_{DP} - DA$$

Donde:

- $Q_{Alt}$  = Caudal alterado ( $m^3/s$ ).
- $Q_{Nat}$  = Caudal natural simulado ( $m^3/s$ ).
- DP = Demanda de agua poblacional ( $m^3/s$ ).
- $Ret_{DP}$  = Retorno de aguas residuales de la demanda poblacional ( $m^3/s$ ).
- DA = Demanda de agua agrícola ( $m^3/s$ ).

#### 5.2.6.2. Alteración por demandas de agua consuntivas y no consuntivas

Los caudales de las cuencas que además de la DP y la DA cuentan con DE, se alteraron de la siguiente manera: primero se realiza el mismo proceso de la **Ecuación 23**, ya que antes que el caudal del río alcance el embalse, primero serán detraídas de él las demandas poblacionales, que suelen ubicarse en los nacimientos y partes altas de las cuencas, y las demandas agrícolas, que representan un caudal que no estará disponible para ser embalsado.

La diferencia en este caso, es que el caudal modificado no es el caudal alterado final de salida de la cuenca (**Ecuación 24**).

**Ecuación 24:**

$$Q_{Rem1} = Q_{Nat} - DP + Ret_{DP} - DA$$

Donde:

- $Q_{Rem1}$  = Caudal remanente de la primera etapa ( $m^3/s$ ).
- $Q_{Nat}$  = Caudal natural simulado ( $m^3/s$ ).
- $DP$  = Demanda de agua poblacional ( $m^3/s$ ).
- $Ret_{DP}$  = Retorno de aguas residuales de la demanda poblacional ( $m^3/s$ ).
- $DA$  = Demanda de agua agrícola ( $m^3/s$ ).

Segundo, del caudal remanente por las demandas anteriores, son detraídas las pérdidas por evaporación e infiltración del embalse, pues de la misma manera son volúmenes no disponibles para ser embalsados (**Ecuación 25**).

**Ecuación 25:**

$$Q_{Rem2} = Q_{Rem1} - Q_{P-ETP} - Q_{P-Inf}$$

Donde:

- $Q_{Rem2}$  = Caudal remanente de la segunda etapa ( $m^3/s$ ).
- $Q_{Rem1}$  = Caudal remanente de la primera etapa ( $m^3/s$ ).
- $Q_{P-ETP}$  = Caudal equivalente a las pérdidas por evapotranspiración ( $m^3/s$ ).
- $Q_{P-Inf}$  = Caudal equivalente a las pérdidas por infiltración ( $m^3/s$ ).

Como tercera etapa se calculó el volumen embalsado, incluyendo el volumen muerto del embalse para el caso de las Centrales que se construyeron posterior al 01/01/1970, esto se realizó con base al caudal remanente de la segunda etapa, a la curva de almacenamiento de cada central y al volumen y caudal descargado el día anterior (**Ecuación 26**).

**Ecuación 26:**

$$V_{Act} = V_{Ant} + 86400 \cdot (Q_{Rem2} - Q_{D.Ant})$$

Donde:

- $V_{Act}$  = Volumen actual del embalse ( $m^3$ ).
- $V_{Ant}$  = Volumen del embalse del día anterior ( $m^3$ ).

$Q_{Rem2}$  = Caudal remanente de la etapa 2 ( $m^3/s$ ).

$Q_{D.Ant}$  = Caudal descargado el día anterior ( $m^3/s$ ).

Como cuarta etapa se estimó el caudal turbinado “ $Q_{T.Act}$ ” con base a una caracterización mensual del funcionamiento de cada una de las centrales hidroeléctricas, definiendo reglas operativas con base al volumen almacenado y los caudales turbinados, interpolando el volumen almacenado definido en la tercera etapa, entre los rangos definidos por los siguientes umbrales:

- Valor promedio histórico ( $V_{.Prom}$  y  $Q_{T.Prom}$ ).
- Umbral superior = valor promedio + desviación estándar ( $V_{.Sup}$  y  $Q_{T.Sup}$ ).
- Umbral inferior = valor promedio – desviación estándar ( $V_{.Inf}$  y  $Q_{T.Inf}$ ).
- Umbral máximo = valor máximo histórico ( $V_{.Máx}$  y  $Q_{T.Máx}$ ).
- Umbral mínimo = valor mínimo histórico ( $V_{.Mín}$  y  $Q_{T.Mín}$ ).

El quinto paso es calcular el caudal descargado por vertedero “ $Q_{V.Act}$ ”, para esta componente, se consideraron dos condiciones: si el embalse cuenta con volumen mínimo histórico del mes, no se tiene descarga por vertedero, pues se busca almacenar tanto caudal como sea posible para incrementar el volumen del embalse, esto es así, por no existir en la actualidad un régimen de caudales ecológicos vigente. De la misma manera, la descarga por vertedero es cero, mientras no se alcance el volumen máximo histórico del embalse para el mes en evaluación, sino que únicamente se descarta por turbinado; bajo estas condiciones, las descargas por vertedero se definen según la **Ecuación 27**:

**Ecuación 27:**

$$Q_{V.Act} = Q_{Rem2} - Q_{T.Act} - (1/86400) \cdot (V_{Máx} - V_{Act})$$

Donde:

$Q_{V.Act}$  = Caudal descargado por vertedero actual ( $m^3/s$ ).

$Q_{Rem2}$  = Caudal remanente de la etapa 2 ( $m^3/s$ ).

$Q_{T.Act}$  = Caudal turbinado actual ( $m^3/s$ ).

$V_{Máx}$  = Volumen máximo histórico ( $m^3$ ).

$V_{Act}$  = Volumen actual ( $m^3$ ).

Finalmente, la descarga de la central, que equivale al caudal alterado de la cuenca, es la suma del caudal turbinado y el caudal descargado por vertedero (**Ecuación 28**):

**Ecuación 28:**

$$Q_{Alt} = Q_{T.Act} + Q_{V.Act}$$

Donde:

- $Q_{Alt}$  = Caudal alterado ( $m^3/s$ ).
- $Q_{T.Act}$  = Caudal turbinado ( $m^3/s$ ).
- $Q_{V.Act}$  = Caudal descargado por vertedero ( $m^3/s$ ).

Una vez que se cuentan con las series de caudales alterados, se comparan porcentualmente a escala mensual interanual con las series de caudales naturales y con los caudales ecológicos, de modo que se determina de qué manera la alteración antropogénica actual e histórica, está afectando el régimen fluvial de los ríos.

### **5.2.7. Extensión de las simulaciones hidrológicas hacia el período futuro**

#### **5.2.7.1. Modelo climático**

Hidalgo y Alfaro (2015) evaluaron la climatología de 107 corridas de 48 Modelos de Circulación General “GCM”, para determinar los que mejor representan las características climáticas de la Región Centroamericana “RCA”, considerando cinco métricas: la media mensual de precipitación y de temperatura del aire, desviación estándar de precipitación y de temperatura del aire, y patrones de tele conexión ENOS-precipitación; resultando que, 13 corridas de 7 GCM presentaron alguna habilidad para representar las características climáticas de la RCA, de las que la mejor, fue la corrida y modelo “cesm1\_cam5(1)”, por lo que es el modelo utilizado en la presente investigación, bajo un escenario de emisión de gases de efecto invernadero “GEI” RPC8.5, por ser el que mejor se ajusta a las tendencias observadas en Centroamérica; sin embargo, cabe destacar que, si bien se encontraron para la región los mejores modelos entre los utilizados por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático “IPCC”, todos presentaron baja habilidad para replicar los valores medios de precipitación, desviaciones estándar y tele conexión ENOS-precipitación.

### 5.2.7.2. Corrección de sesgos

Hidalgo et al. (2017) aplicaron un procedimiento estadístico de reducción de escala, que es una modificación del método de Corrección de Sesgos y Desagregación Espacial “BCSD”, en 14 corridas de modelos climáticos del IPCC, entre los que se incluyen las 13 corridas de la sección anterior; con ello, se produjeron dos sets de datos: uno de precipitación y otro de temperatura del aire, con resolución espacial aproximada de 5.5 km y resolución temporal mensual para el período 1979-2099, con el objetivo que puedan ser utilizados en otros proyectos de investigación regionales. A estas series de datos se aplicó el método de corrección de sesgos en dos períodos: el histórico, que va desde 01/1979 hasta 12/2016, que es el último mes para el que se cuentan datos registrados, y el período futuro, que va desde el 01/2017 hasta 12/2099.

#### Corrección de sesgos de los datos simulados en período histórico

El método de corrección de sesgos BCSD modifica la serie de datos simulados, de manera que su variabilidad sea similar a la de la serie de datos observados, equiparando los percentiles de ambas series mediante los siguientes pasos:

- 1- Se ordenan los datos observados y simulados por mes de menor a mayor.
- 2- Se calcula el percentil que cada uno de los valores simulados representa dentro de la serie de datos simulados con la **Ecuación 29**.

**Ecuación 29:**

$$P_{C_{Sim}} = \frac{O_{V.Sim}}{N_{V.Sim} + 1}$$

Donde:

$P_{C_{Sim}}$ :	Percentil del valor simulado.
$O_{V.Sim}$ :	Orden del valor simulado.
$N_{V.Sim}$ :	Número de valores simulados.

- 3- El percentil resultante es buscado dentro de la serie de datos observados, y es este valor el que se considera como dato corregido para la serie simulada en período histórico.

### Corrección de sesgos de los datos simulados en período futuro

La serie de datos en período futuro se corrige mediante los siguientes pasos:

- 1- Para cada valor del período simulado futuro se busca el valor más cercano del período simulado histórico sin corregir y su respectivo valor corregido.
- 2- Luego se aplica la **Ecuación 30** para obtener el valor corregido en período futuro.

**Ecuación 30**

$$V_{SFC} = \frac{V_{SFO} \cdot V_{SHC}}{V_{SHO}}$$

Donde:

- $V_{SFC}$ : Valor simulado en período futuro, corregido.
- $V_{SFO}$ : Valor simulado en período futuro, original.
- $V_{SHC}$ : Valor simulado en período histórico, corregido.
- $V_{SHO}$ : Valor simulado en período histórico, original.

Los dos procesos descritos anteriormente, permitieron obtener las series de datos simulados de precipitación y temperatura corregidas, de esta manera, su variabilidad se ajusta a la variabilidad histórica, pero conservando las tendencias anuales de los modelos climáticos. De la serie de temperatura se calculó la evapotranspiración potencial “ETP” para períodos futuros, con la metodología de Thornthwaite (**sección 5.2.4.1.**). Estos valores de ETP fueron utilizados, además de para correr el modelo en período futuro, para estimar las demandas de agua agrícolas futuras y para estimar las pérdidas por evaporación de los embalses; de esta manera, tanto el requerimiento de agua de cultivo como las demandas energéticas, incorporan la influencia del cambio climático.

#### 5.2.7.3. Reducción de resolución temporal

El modelo HBV Light tiene paso temporal diario, por lo tanto, fue necesario reducir la resolución temporal de las series de datos climáticos futuros, de mensual a diaria, para ello se realizó el siguiente procedimiento:

- 1- Se agrupan las series observadas históricas y simuladas futuras por mes; es decir, todos los enero, todos los febrero, etc.; de manera que, por ejemplo, los datos futuros de mayo, sean comparados solo con datos históricos de mayo.

- 2- Se definen las series observadas de precipitación y temperatura en función de los valores mensuales, la precipitación como el porcentaje que representa cada día para su acumulado mensual respectivo, y la temperatura como un factor multiplicador con base a su respectiva media mensual.
- 3- Se busca el valor mensual histórico observado (acumulado de precipitación o media de temperatura) más aproximado a cada valor mensual futuro simulado corregido por sesgos.
- 4- Se desagrega el valor mensual futuro simulado según la distribución del valor histórico más cercano, desagregándose en porcentajes para el acumulado de precipitación, y multiplicándose por factores para la media de temperatura.

Una vez se tuvieron las series de precipitación y temperatura corregidas por sesgos y con resolución temporal diaria, se obtuvieron los valores medios diarios de precipitación, temperatura y ETP para cada cuenca, según lo descrito en la sección **5.2.4.2**.

#### **5.2.8. Evaluación de la alteración del régimen fluvial natural futuro**

En esta etapa se busca conocer la alteración porcentual a escala mensual interanual, en el régimen fluvial de los ríos entre los períodos histórico y futuro, en estado natural; de esta manera se tendrán las alteraciones que el Cambio Climático estaría produciendo en la oferta hídrica de cada cuenca, sin tomar en cuenta alteraciones antropogénicas, y considerando las implicaciones que tendrían estos cambios con respecto al caudal ecológico.

#### **5.2.9. Evaluación de la alteración en la disponibilidad de agua para usos productivos**

Para realizar esta evaluación final, que es el objetivo general y primordial de la investigación, únicamente resta conocer los caudales alterados futuros, para ello, se estimaron las demandas de agua como se describe a continuación:

##### *5.2.9.1. Demandas de agua futuras y alteración de caudales futuros*

#### **Poblacionales**

Las demandas de agua poblacionales se estimaron con el procedimiento explicado en la sección **5.2.2.2**, sin haber cambios en la información de partida utilizada.

### Agrícolas

Las demandas de agua agrícolas se estimaron con el procedimiento explicado en la sección **5.2.2.3**, con una diferencia en la información de partida, pues se utilizaron las estimaciones de evapotranspiración potencial calculadas a partir de las proyecciones de temperatura, con corrección de sesgos, del modelo climático **cesm1\_cam5(1)**; de esta manera, el requerimiento de agua de cultivo responde a las modificaciones que el Cambio Climático generaría en las alteraciones antropogénicas.

### Energéticas

Las demandas de agua energéticas futuras se basan en las tres CH proyectadas descritas en la sección **5.2.2.4**, y se estimó su demanda a partir de las reglas operativas calculadas en la sección **5.2.6.2** para centrales ya existentes; los nuevos umbrales (máximo, superior, medio, inferior y mínimo) se calcularon con regla de tres, para volúmenes almacenados según la **Ecuación 31** y para caudales turbinados según la **Ecuación 32**. Los volúmenes para las nuevas centrales se calcularon a partir una curva de almacenamiento, definida con la ubicación de las CH y el MDT; mientras que los caudales promedio interanuales para la regla operativa de caudales turbinados son los resultantes de los modelos calibrados.

#### Ecuación 31

$$U_{VCP} = U_{VCA} \cdot \frac{V_{UCP}}{V_{UCA}}$$

Donde:

$U_{VCP}$ :	Umbral de volumen de la central proyectada.
$U_{VCA}$ :	Umbral de volumen de la central actual.
$V_{UCP}$ :	Volumen útil de la central proyectada.
$V_{UCA}$ :	Volumen útil de la central actual.

#### Ecuación 32

$$U_{TCP} = U_{TCA} \cdot \frac{Q_{MA.CP}}{Q_{MA.CA}}$$

Donde:

- $U_{VCP}$ : Umbral de caudal turbinado de la central proyectada.
- $U_{VCA}$ : Umbral de caudal turbinado de la central actual.
- $Q_{PMA,CP}$ : Caudal promedio interanual, en régimen natural, de la central proyectada.
- $Q_{PMA,CA}$ : Caudal promedio interanual, en régimen natural, de la central actual.

La alteración de los caudales futuros se realizó mediante los procesos descritos en las secciones **5.2.6.1** y **5.2.6.2**.

#### *5.2.9.2. Evaluación de la disponibilidad de agua para usos productivos*

La disponibilidad de agua para usos productivos es el caudal que existe entre el caudal alterado y el umbral mínimo de caudales ecológicos; los cambios en dicha disponibilidad se evaluaron en porcentaje a escala mensual interanual, a partir de la comparación entre los regímenes fluviales histórico y futuro, de los ríos en estado alterado y natural, junto con el régimen de caudales ecológicos.

## 6. Desarrollo y Resultados

### 6.1. Control de calidad y relleno de datos

#### 6.1.1. Registros hidrometeorológicos

El porcentaje de datos completos previo al relleno, de cada una de las 22 estaciones meteorológicas y pluviométricas para el modelo hidrológico del río Lempa, se muestra en la **Tabla 3**; para la precipitación, el análisis de componentes principales “ACP” se realizó con base a las 51 estaciones pluviométricas disponibles dentro del Corredor Seco Centroamericano “CSC” para este estudio, y para la temperatura, con base a las 22 estaciones meteorológicas con datos diarios. Aparte del relleno por ACP, se completaron por el método de correlación directa otras seis estaciones meteorológicas con datos de temperatura mensuales, entre las que se encuentra la estación Marcala.

En la **Tabla 3** se observa que 16 estaciones presentaron un completado superior al 80% y las restantes superior al 60%, estas últimas fueron necesarias, a pesar de sus porcentajes bajos, para cubrir áreas de la cuenca que no cuentan con más registros hidrometeorológicos.

**Tabla 3. Porcentaje de datos diarios completos con control de calidad para al período 01/01/1970 – 31/12/2016, para las estaciones meteorológicas y pluviométricas utilizadas en el modelo hidrológico del río Lempa.**

N	Estación	P (%)	T (%)	N	Estación	P (%)	T (%)
1	P. Cuscatlán	92.81	90.55	12	Esquipulas	95.13	95.68
2	S.F. Gotera	97.43	94.65	13	A. Mita	98.21	97.15
3	Perquín	72.94	71.68	14	La Ceibita	97.04	96.73
4	Sensuntepeque	97.24	94.66	15	Quezada	97.68	96.18
5	A. Ilopango	99.56	93.32	16	P. Carrillo	86.79	90.73
6	San Andrés	96.72	88.70	17	Marcala	65.96	71.63
7	Santa Ana	98.01	92.12	18	La Virtud	65.25	-
8	N. Concepción	99.52	99.51	19	Valladolid	84.92	-
9	La Palma	79.97	79.74	20	S.J. Guarita	73.20	-
10	Güija	99.44	98.67	21	Cololaca	75.12	-
11	P. Montecristo	96.72	93.99	22	Erandique	84.04	-

El ACP mostró que la variabilidad de los registros de lluvia se aglutinó en tres componentes, mientras que la de temperatura, en cuatro, y fueron estos valores respectivamente, los utilizados para realizar el relleno.

Los resultados de este proceso, no generaron valores máximos y mínimos absolutos en vacíos que no fueran propicios para ello, sino solo en vacíos correspondientes a eventos históricos extremos; los promedios de lluvia se modificaron en valores inferiores a 1mm y 20mm, para las estaciones más y menos completas, respectivamente; los promedios de temperatura se modificaron en valores inferiores a 0.1°C y 0.4°C, para las estaciones más y menos completas, respectivamente; y para las desviaciones estándar de ambas series de datos, los valores oscilaron dentro de los mismos órdenes de magnitud. Los resultados mensuales para las 22 series de precipitación y las 17 de temperatura se incluyen en el **Anexo 2**.

#### **6.1.2. Información geográfica**

La cuenca del río Lempa no requirió de correcciones geográficas como la delineación del río en zonas llanas o la confluencia de afluentes.

En cuando a las divisiones administrativas, los límites nacionales, departamentales y municipales de Guatemala, El Salvador y Honduras fueron consistentes con los de los censos poblacionales más recientes de 2002, 2007 y 2013, respectivamente, de modo que no se requirió realizar correcciones en dichas divisiones.

#### **6.1.3. Censos poblacionales y agrícolas**

Para la cuenca del río Lempa, únicamente se detectaron vacíos completos de información en los censos poblacionales de dos municipios de El Salvador: San Fernando y San Luís La Herradura; mientras que en las municipalidades de Honduras, para los censos previos a 1980, se presentaron vacíos parciales de información, al reportar solo población total, sin desagregación entre rural y urbana. La ejemplificación de estos rellenos se muestra en la en el **Anexo 2**.

## 6.2. Estimación de demandas de agua

### 6.2.1. Subdivisión de la cuenca

#### 6.2.1.1. Ubicación e Hidrografía

La cuenca del río Lempa se ubica al norte de la RCA (**Figura 8**), entre los 88.25°W y los 90.15°W de longitud y los 13.3°N y 14.7°N de latitud; cuenta con elevaciones que van desde los 0 msnm en su desembocadura en el Océano Pacífico, hasta los 2,824 msnm en algunas zonas de la cadena montañosa del norte; la cuenca se delimita al sur por la cadena volcánica del cinturón de fuego y al norte por la cadena montañosa central de la RCA; cuenta con varios lagos, lagunas y embalses artificiales, de los que los principales son: El lago de Güija (N°6) que tiene tres afluentes principales, río Ostúa (N°2), río Angue (N°3) y río Cusmapa (N°4) y que desemboca en el río Lempa a través del río El Desagüe (N°8); Lago de Coatepeque (N°11) y Laguna de Metapán (N°5), ambas cuencas endorreicas que cuentan con áreas de escurrimiento de 63.8 km<sup>2</sup>, y 156.2 km<sup>2</sup>, respectivamente, por lo que no representan aportes hidráulicos superficiales al río, sino solo subterráneos; y los tres embalses artificiales Cerrón Grande (N°29), 5 de Noviembre (N°31) y 15 de Septiembre (N°44) construidos en diversos años a partir de la década de los 50's.

Administrativamente el río Lempa se encuentra entre tres países: El Salvador (SV), Honduras (HN) y Guatemala (GT); de los que considera total o parcialmente 21 gobiernos departamentales, 13 de El Salvador: Santa Ana, Sonsonate, Chalatenango, La Libertad, San Salvador, Cuscatlán, La Paz, Cabañas, San Vicente, Usulután, San Miguel, Morazán y La Unión; cuatro de Honduras: Ocotepeque, Lempira, Intibucá y La Paz; y cuatro de Guatemala; Chiquimula, Jutiapa, Jalapa y Santa Rosa; así como varios gobiernos locales municipales: 159, 54 y 19 por país respectivamente. Hidrográficamente colinda al sur-suroeste con numerosas cuencas menores que desembocan en el Océano Pacífico, al suroeste con la cuenca del río Paz, al oeste con la del río Los Esclavos, al noroeste con el río Motagua, al noreste con el río Ulúa, al este con el río Goascorán, al sureste con el río Grande de San Miguel y al sur-sureste con numerosas quebradas que desembocan en el Océano Pacífico (**Figura 1**).

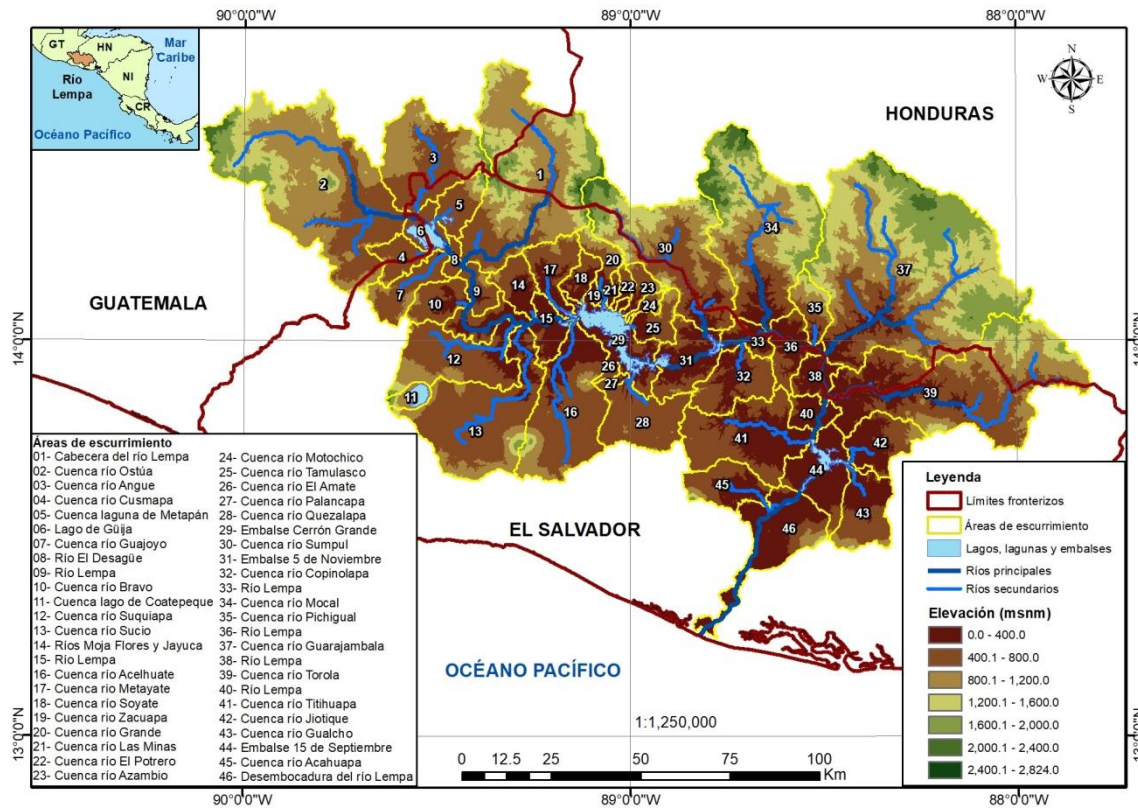


Figura 8. Áreas de escurrimiento principales en la cuenca del río Lempa.

El área total de drenaje del río Lempa, incluyendo sus lagunas endorreicas, es de 17,991.5 km<sup>2</sup>, los afluentes principales por su área de escurrimiento son los que se muestran en la **Tabla 4**, siendo los ríos más grandes los que drenan de la cadena montañosa del norte, los intermedios los que drenan de la cadena volcánica, y los menores los que drenan del Valle Central y son afluentes al embalse Cerrón Grande. Cabe destacar que, al no dividir la cuenca del río El Desagüe por el lago de Güija y la laguna de Metapán, es este el afluente principal con un área de drenaje de 2,887.2 km<sup>2</sup>.

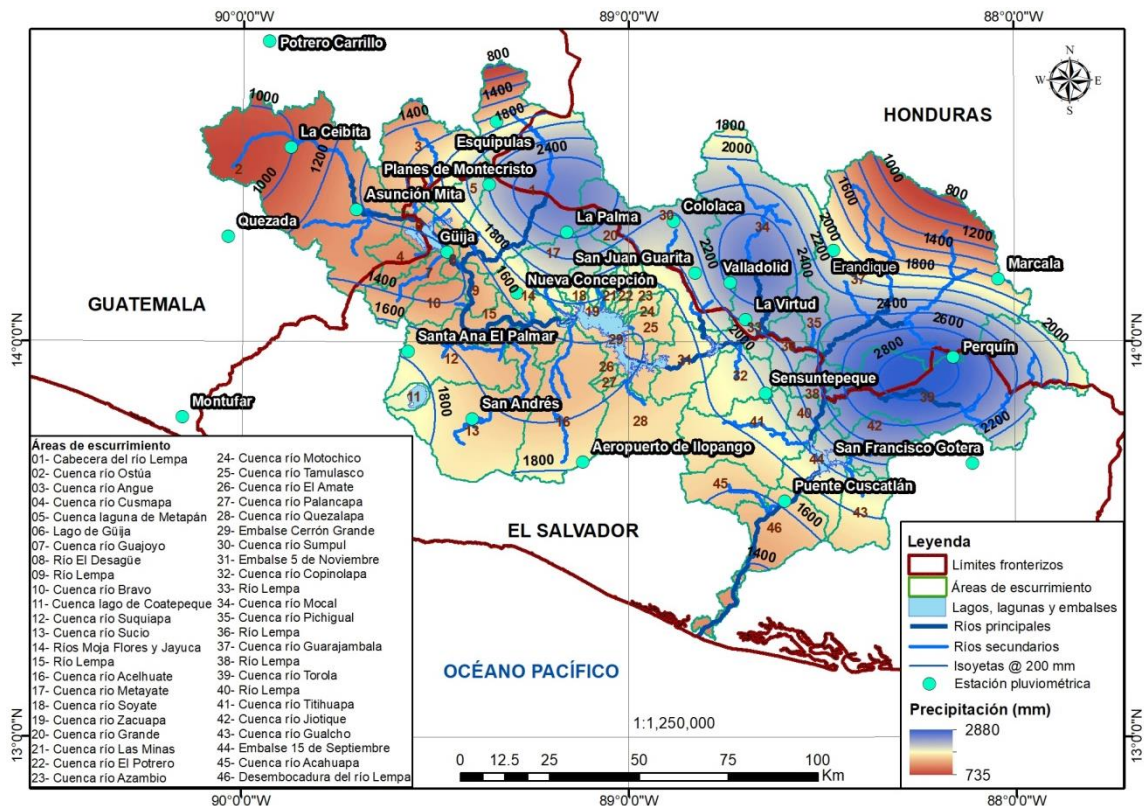
Tabla 4. Principales áreas de escurrimiento en la cuenca del río Lempa.

n	Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Nº	n	Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Nº
1	Río Guarajambala	2,426.2	37	7	Río Sucio	841.9	13
2	Río Ostúa	1,641.6	2	8	Río Acelhuate	720.7	16
3	Río Torola	1,490.5	39	9	Río El Angue	602.4	3
4	Cabecera Lempa	1,408.0	1	10	Río Titihuapa	593.5	41
5	Río Mocal	1,193.3	34	11	Río Suquiapa	485.3	12
6	Río Sumpul	915.8	30	12	Río Quezalapa	345.2	28

6.2.1.2. *Clima*

**Precipitación**

La precipitación en la cuenca del río Lempa, de acuerdo a los registros de estaciones pluviométricas, oscila entre los 990 mm en la estación La Ceibita en la cuenca del río Ostúa (N°2) y los 2,800 mm en Perquín, entre las cuencas Guarajambala (N°37) y Torola (N°39), tal como se muestra en la **Figura 9**. La precipitación también se aprecia zonificada en tres regiones: una zona de máxima precipitación, con valores superiores a los 2,000 mm en la zona montañosa del norte, en torno a la frontera entre El Salvador y Honduras; una zona de precipitaciones intermedias entre los 2,000 mm y los 1,500 mm ubicada entre el Valle Central y la cadena volcánica, donde se ubican los embalses Cerrón Grande, 5 de Noviembre y 15 de Septiembre; y varias zonas de precipitación mínima, con valores inferiores a los 1,500 mm que se presentan en las cuencas de los ríos Ostúa, Cusmapa y Guajoyo (N°2, 4 y 7), las cabeceras de los ríos El Angue, Lempa y Guarajambala (N°3, 1 y 37), y en la desembocadura del río Lempa (N°46).



**Figura 9. Precipitación promedio interanual del período 1970-2016 para la cuenca del río Lempa.**

Además, se encuentran seis patrones de precipitación, de los que cuatro son ascendentes, es decir, a mayor altitud mayor precipitación: “P1” desde la desembocadura hacia Perquín, “P3” desde Cerrón Grande hacia las cuencas del norte, “P4”: desde Cerrón Grande hacia las cuencas del sur y “P6” en la cabecera de la cuenca; y dos patrones son descendentes: “P2” de Perquín hacia Marcala y “P5” en la cuenca del río El Desagüe. Estas características denotan zonas importantes para la simulación de subcuencas, por su vulnerabilidad ante la ocurrencia de sequías, o por su continua baja disponibilidad de recursos hídricos para suplir demandas de agua.

### **Temperatura y evapotranspiración potencial**

La temperatura media anual en la cuenca del río Lempa oscila desde los 16 °C en Planes de Montecristo en la cabecera (N°1) y Potrero Carrillo en el río Ostúa (N°2); hasta los 27°C en Puente Cuscatlán, en la desembocadura (N°46), en San Francisco Gotera en el río Torola (N°39) y en Asunción Mita, en el río Ostúa (N°2); tal como se muestra en la **Figura 10**; sin embargo, cabe recalcar que las temperaturas medias diarias pueden alcanzar valores que van desde los 10°C en las zonas más frías, hasta los 35°C en las más cálidas englobadas todas en un solo gradiente altitudinal desde la desembocadura hasta la cabecera.

La temperatura se encuentra zonificada en zonas de mínima, con valores inferiores a los 20 °C en la cabecera (N°1) y las cuencas de los ríos Ostúa (N°2), El Angue (N°3) y Guarajambala (N°37); zonas de medias con valores entre los 20°C y los 24°C en las cabeceras de los ríos que drenan de la cadena volcánica (N°12, 13 y 16), el río Torola (N°39) y el valle central entre los embalses Cerrón Grande, 5 de Noviembre y 15 de Septiembre; y zonas de máximas con valores superiores a los 24°C, desde el embalse Cerrón Grande hasta la cuenca del río Ostúa (N°2), la desembocadura del Lempa (N°46) y la cuenca del río Mocal (N°34), aunque este último umbral es producto de la extrapolación por el método spline, por lo que es posible que sea un falso máximo.

Estas regiones de mínima y máxima temperatura denotan también zonas importantes para la modelación, pues incidirán de forma diferente en la evapotranspiración potencial de las cuencas (**Figura 11**) y, por lo tanto, en la disponibilidad de agua.

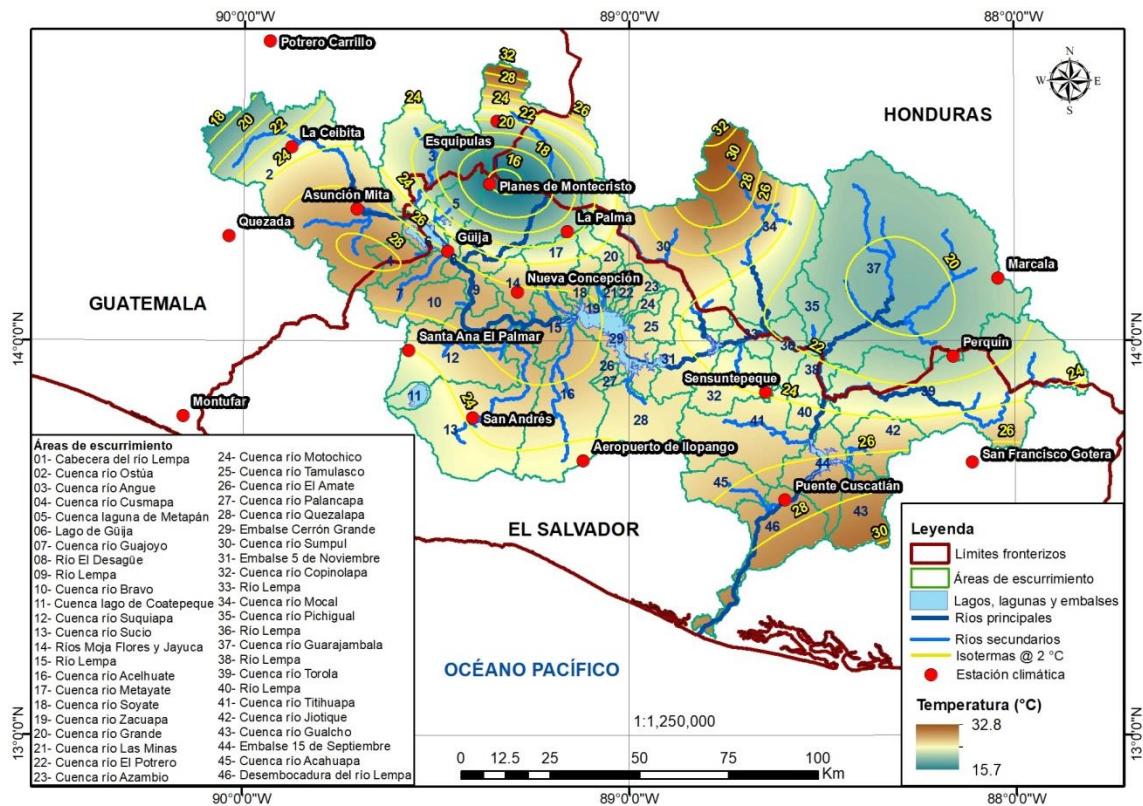
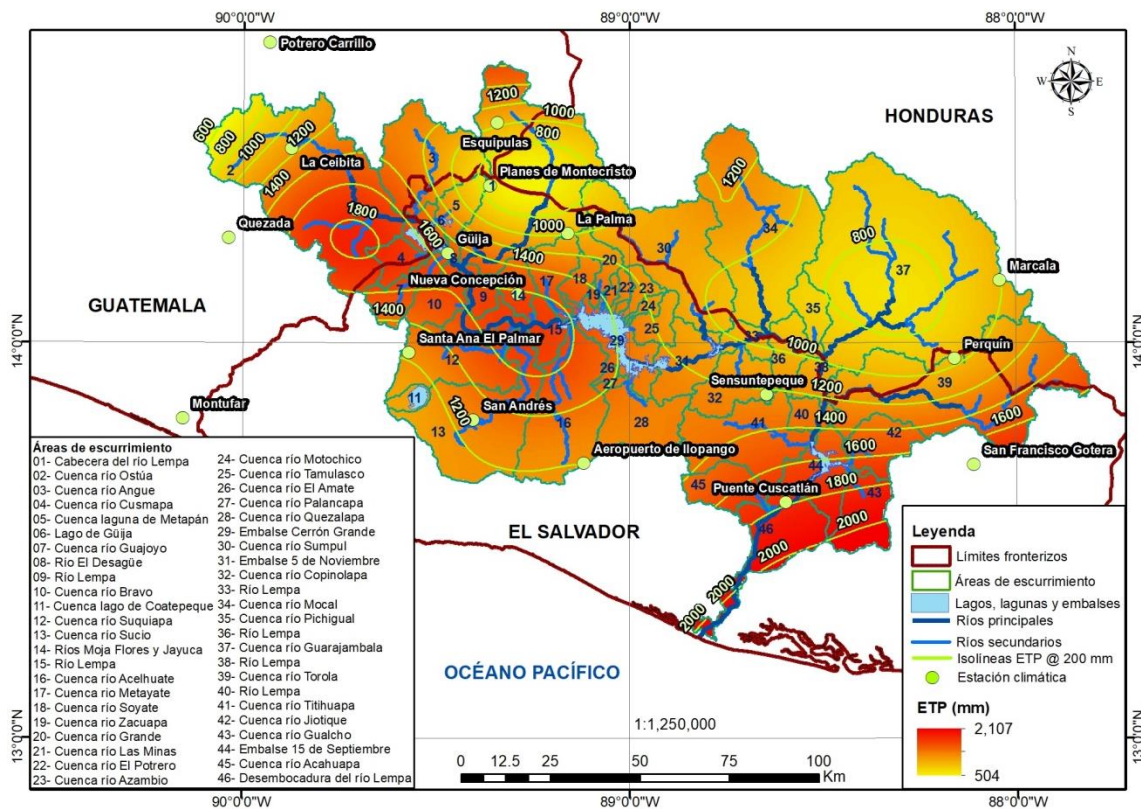


Figura 10. Temperatura promedio interanual del período 1970-2016 para la cuenca del río Lempa.

### Alteraciones antropogénicas

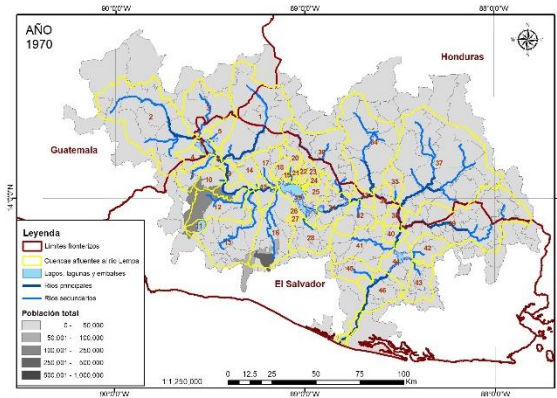
Las poblaciones y áreas de cultivo bajo riego municipales para los años 1970, 2000 y 2050 se muestran en la **Figura 12**; así como la ubicación de centrales hidroeléctricas operativas y proyectadas en la **Figura 13**, mapas que, pueden verse en mayor detalle, en el **Anexo 1**. De la población, se aprecia que los mayores cambios se dan en la cabecera, la cuenca del río El Desagüe y las cuencas del flanco derecho que drenan desde la Cadena Volcánica hacia el Valle Central, presentando el resto del territorio densidades bajas de población. En las áreas de cultivo bajo riego se tiene mayor incidencia desde la cuenca del río El Desagüe, en donde se encuentran amplias zonas de riego en el territorio guatemalteco; las cuencas que drenan desde la Cadena Volcánica hacia el Valle Central, en las que se ubican los Distritos de Riego “DR” Zapotitán y Atiocoyo Sur; las pequeñas cuencas afluentes al embalse Cerrón Grande, en donde se ubica el DR Atiocoyo Norte y otras áreas de cultivo; y la parte baja de la cuenca, donde se ubica el DR Lempa – Acahuapa.



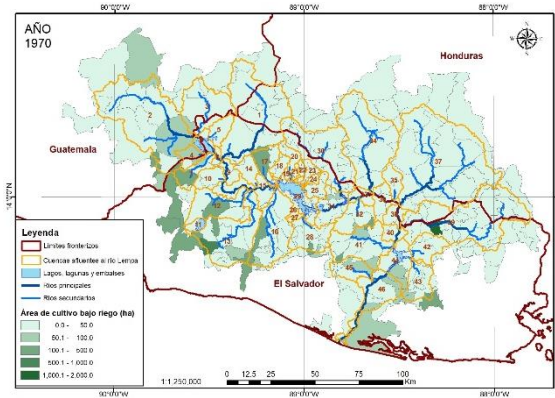
**Figura 11. Evapotranspiración potencial promedio interanual del período 1970-2016 para la cuenca del río Lempa, calculada por el método de Thornthwaite.**

Las demandas para producción de energía corresponden a 12 centrales generadoras que no representan una demanda consuntiva de agua; se distinguen entre pequeñas centrales hidroeléctricas “PCH”, que no cuentan con embalse para almacenamiento de agua, y cuyas potencias son inferiores a 20 MW, y las grandes centrales hidroeléctricas “CH” que cuentan con embalse para almacenamiento de agua y una potencia mayor o igual que 20 MW. Se encuentran ocho PCH’s: Cutumay Camones en cuenca del río Bravo (N°10), San Luís I en la cuenca del río Suquiapa (N°12), Río Sucio en la cuenca del río Sucio (N°13), Milingo en la cuenca del río Acelhuate (N°16), y El Junquillo, Carolina, La Chacra y Miracapa que se ubican todas sobre afluentes menores al río Torola (N°39) (MARN, 2017 a); luego, las cuatro CH operativas: Guajoyo, Cerrón Grande, 5 de Noviembre y 15 de Septiembre, así como las CH proyectadas: Cimarrón, El Chaparral y El Tigre, ya fueron descritas en la sección 5.2.2.4, y son sus respectivas cuencas las que presentan interés de simulación por la alteración que generan en los caudales circulantes.

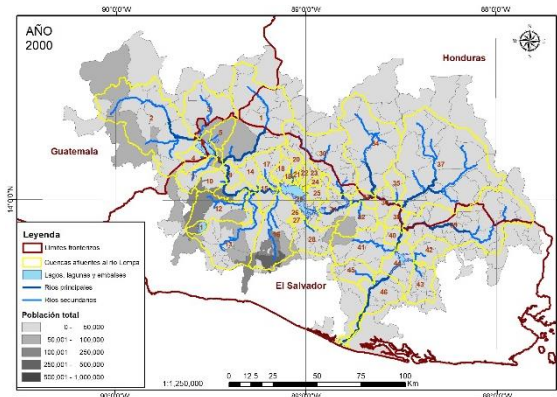
a. Población total municipal interpolada para el año 1970.



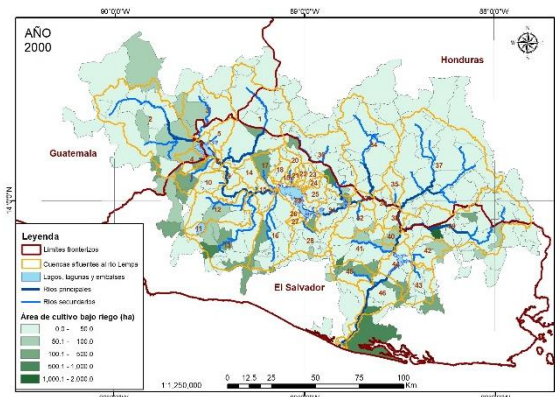
b. Área total de cultivos bajo riego interpolada para el año 1970.



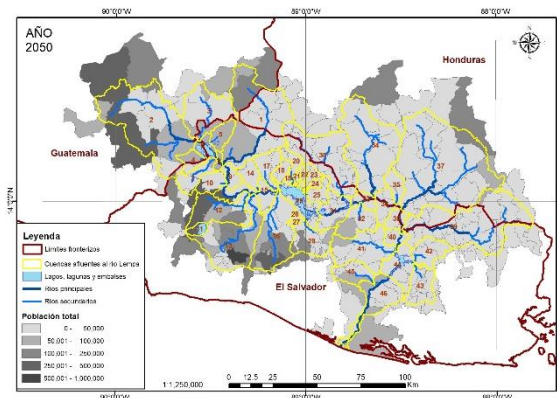
c. Población total municipal interpolada para el año 2000.



d. Área total de cultivos bajo riego interpolada para el año 2000.



e. Población total municipal proyectada al año 2050.



f. Área total de cultivos bajo riego proyectada para el año 2050.

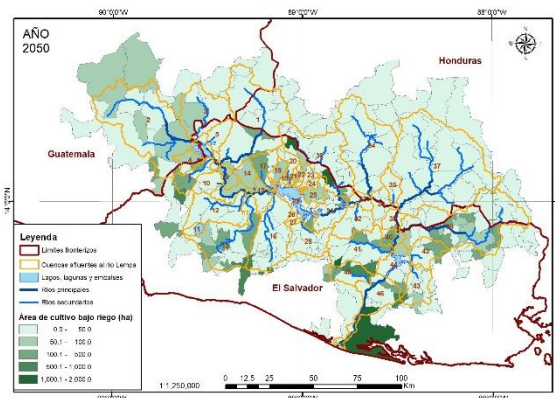


Figura 12. Alteraciones antropogénicas. Izquierda: población total. Derecha: área de cultivo bajo riego.

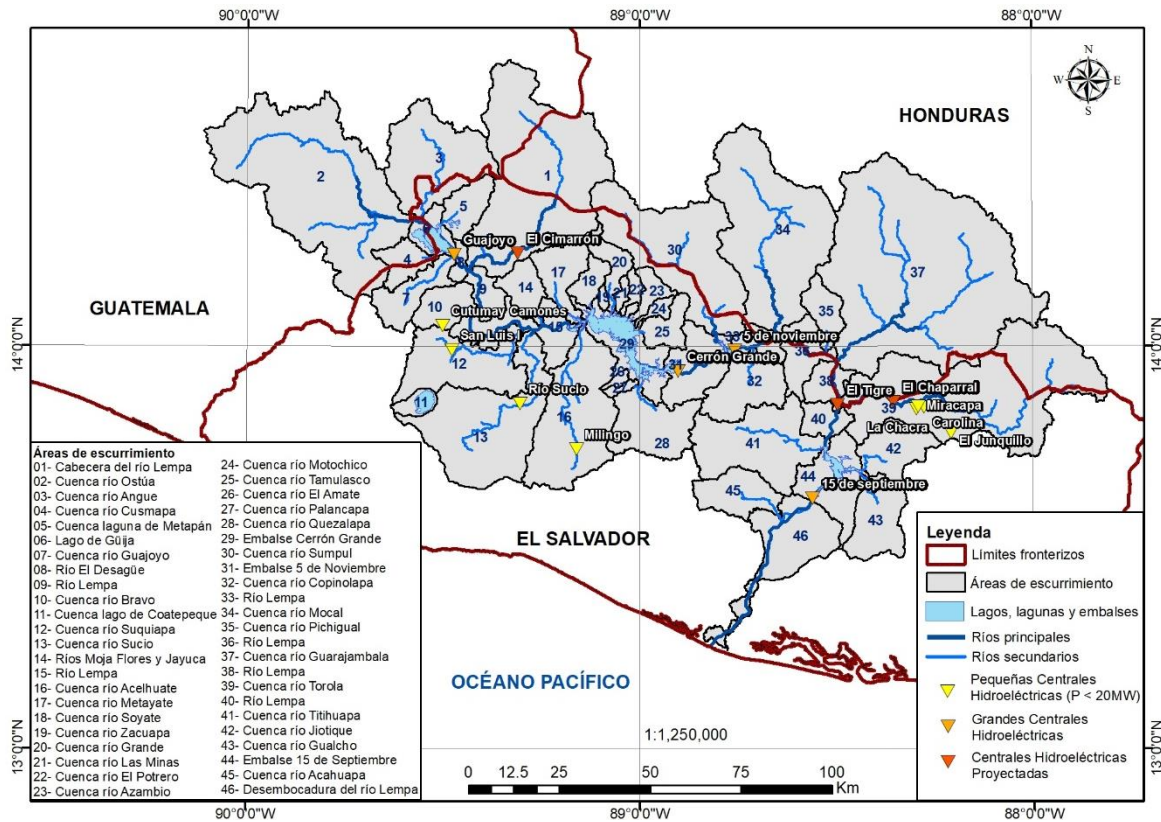


Figura 13. Alteraciones antropogénicas: centrales hidroeléctricas operativas y proyectadas.

Finalmente, con base a la hidrografía, características pluviométricas y termométricas de cada cuenca; a los cambios antropogénicos a los que se encuentran sometidas en cuanto a población, agricultura y embalses para generación de energía; y a las condiciones naturales que puedan presentarse por ausencia de grandes alteraciones antropogénicas, se definieron las áreas de escurrimiento de la **Tabla 5**, para las que se agrupan las demandas de agua en las secciones posteriores. Las áreas de escurrimiento se muestran en la **Figura 14** y el esquema topológico para el modelo hidrológico en la **Figura 15**; de estas áreas fueron descartadas la Laguna de Metapán (156.2 km<sup>2</sup>) y el Lago de Coatepeque (63.8 km<sup>2</sup>) por ser grandes cuencas endorreicas que no producen escorrentía superficial directa; a la vez, es importante mencionar que existen otras cuencas endorreicas como la laguna de Chanmico, la laguna de Apastepeque, entre otras; cuyas áreas de aporte son de tamaño despreciable para el análisis del río Lempa, por lo que no se reflejan en la **Figura 14**.

**Tabla 5. Criterios de selección de las unidades de modelación, por área, demanda poblacional “DP”, demanda agrícola “DA”, demanda energética “DE”, registro hidrométrico “RH” y condiciones naturales “CN”.**

N°	Cor	Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	DP	DA	DE	RH	CN
1	1	Río Lempa – Cabecera	1,408.0	X	-	X	X*	-
2	2	Río Ostúa	1,641.6	X	X	-	-	-
3	3	Río El Angue	602.4	-	X	-	X	-
4	5	Lago de Güija	244.7	X	X	X	X	-
5	6	Río Guajoyo	199.7	-	X	-	X	-
6	7	Río El Desagüe – Cuenca baja	42.6	-	X	-	X*	-
7	8	Río Lempa – Intercuenca 1	790.9	-	X	-	-	-
8	10	Río Suquiapa	485.3	X	-	-	X	-
9	11	Río Sucio	746.0	X	X	-	X	-
10	12	Río Acelhuate	720.7	X	-	-	-	-
11	13	Río Lempa – Cerrón Grande	1,425.4	-	X	X	X	-
12	14	Río Sumpul	915.9	-	X	-	-	-
13	15	Río Lempa – 5 de Noviembre	295.4	-	-	X	X	-
14	16	Río Mocal	1,193.3	-	-	-	-	X
15	17	Río Lempa – Intercuenca 2	399.4	-	-	-	-	X
16	18	Río Guarajambala	2,426.2	-	-	-	-	X
17	19	Río Lempa – Intercuenca 3	328.3	-	-	-	-	X
18	20	Río Lempa – Intercuenca 4	119.9	-	-	X	-	-
19	21	Río Torola – Cuenca alta	838.7	-	X	-	X	-
20	22	Río Torola – Cuenca media	371.4	-	X	X	-	-
21	23	Río Torola – Cuenca baja	280.4	-	X	-	-	-
22	24	Río Lempa – 15 de Septiembre	1,560.2	-	X	X	X	-
23	25	Río Lempa – Desembocadura	683.8	-	X	-	X	-
-	-	<b>Total**</b>	<b>17,771.5</b>	<b>6</b>	<b>14</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>5</b>

\* La estación hidrométrica se ubica aguas abajo de la confluencia entre las áreas N° 1 y 6.

\*\* El total del área simulada no incluye las cuencas endorreicas: Metapán y Coatepeque.

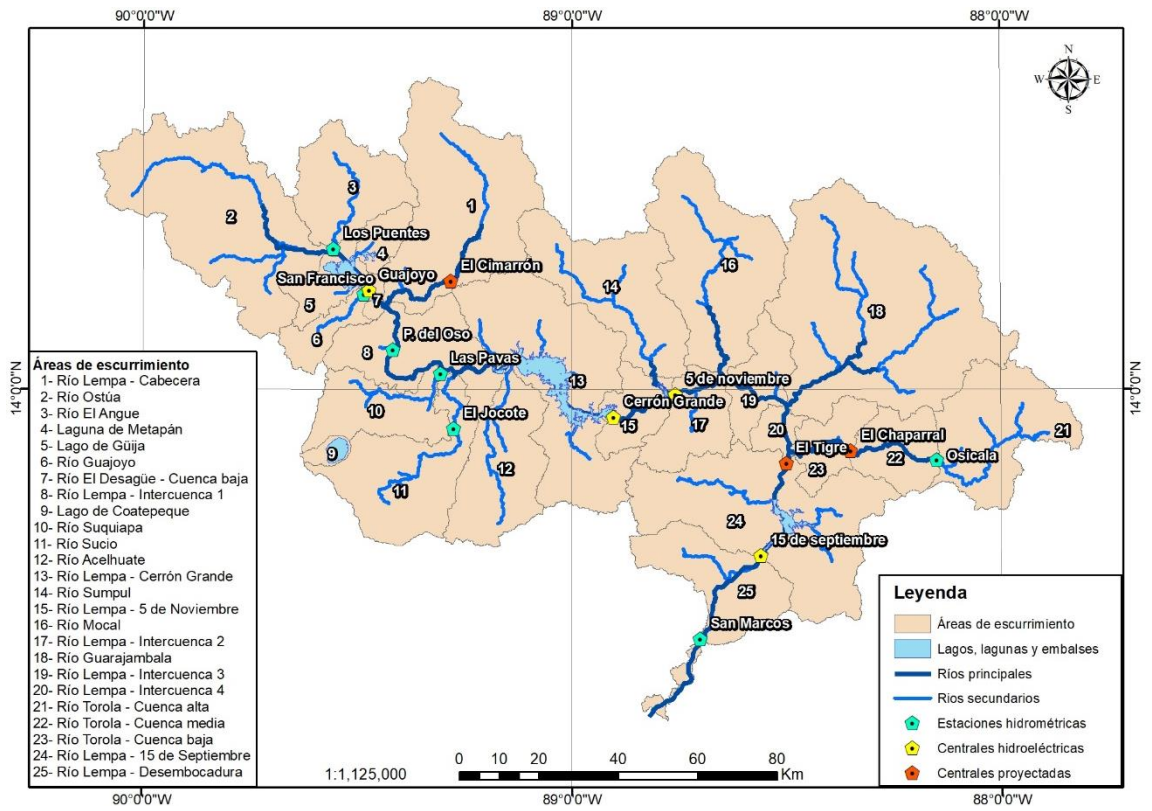


Figura 14. Áreas de escurrimiento para simular la cuenca del río Lempa.

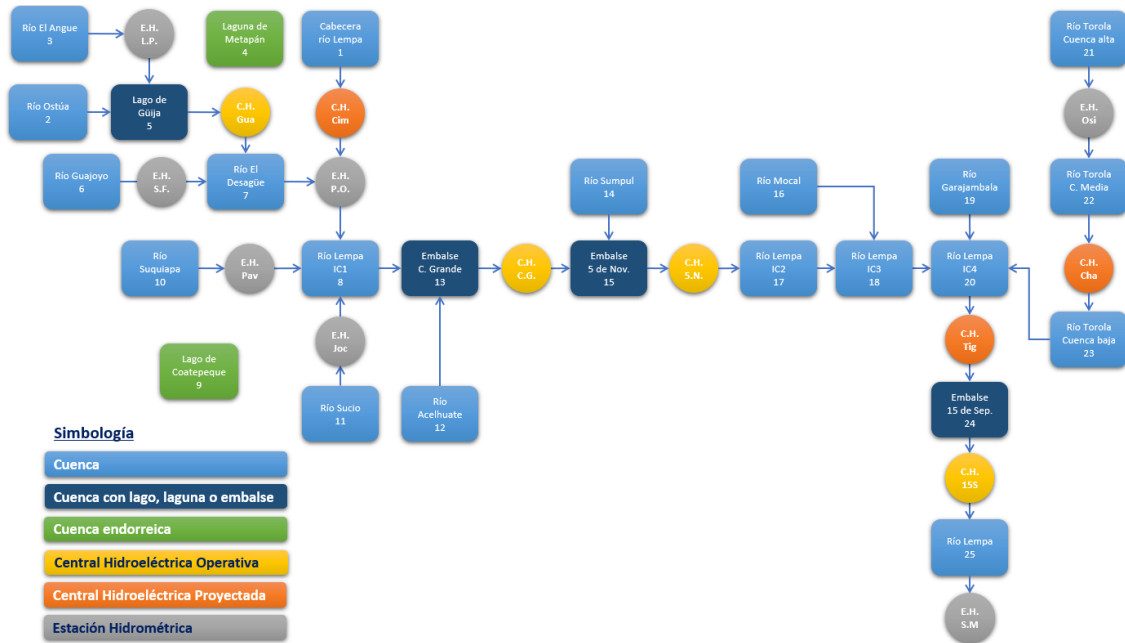
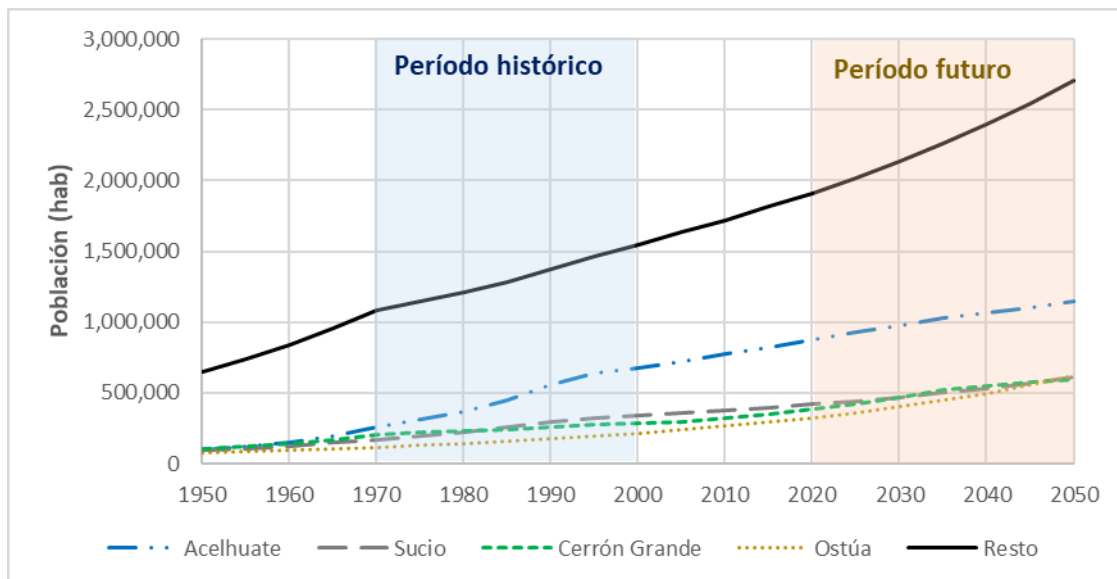


Figura 15. Esquema topológico de la cuenca del río Lempa.

## 6.2.2. Población y Demanda de agua poblacional

### 6.2.2.1. Población

La cuenca del Lempa se encuentra subdividida en 232 municipios: 159 de El Salvador, 54 de Honduras y 19 de Guatemala; de la proyección de las poblaciones municipales se tiene que, cuatro áreas de escurrimiento han aglutinado a lo largo del tiempo casi la mitad de la población de la cuenca, estas, de más a menos pobladas son: río Acelhuate (20%), río Sucio (11%), intercuenca Cerrón Grande (10%) y río Ostúa (8%); siendo que, para 1,970 (inicio del período histórico) estas cuatro áreas aglutinaban un 41% de la población total (753,019 hab/1,839,727 hab), constituida en un 39% de población urbana; para el año 2,000 (final del período histórico), aglutinaron el 49.5% del total (1,516,136 hab/ 3,065,661 hab), constituida en un 65% de población urbana; para el 2,020 (inicio del período futuro) se proyectó que aglutinarían el 51% del total (2,006,485 hab/ 3,918,579 hab), constituida en un 71% de población urbana; y para el año 2,050 (final del período futuro) se proyectó que aglutinarían el 52% del total (2,970,470 hab/5,676,055 hab), constituida en un 70% de población urbana. En la **Figura 16** se presenta la población total para las cuatro áreas de escurrimiento y el resto de la cuenca del río Lempa; mientras que la población urbana y rural por lustro y cuenca simulada, se encuentran en el **Anexo 2**.



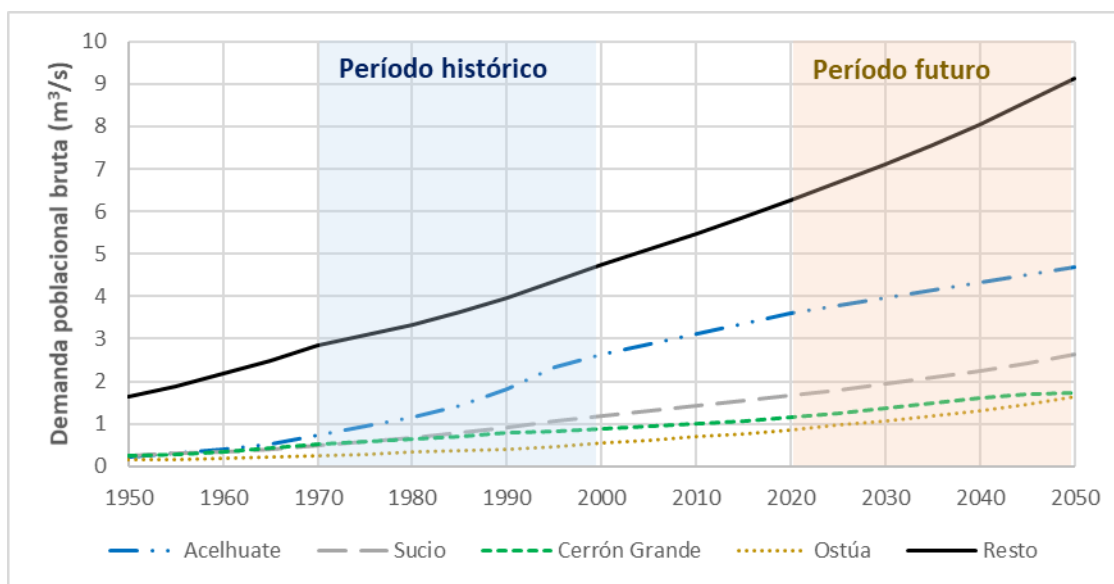
**Figura 16.** Población total estimada a cada cinco años para las cuatro áreas de escurrimiento más pobladas y el resto de la cuenca del río Lempa.

### 6.2.2.2. Demanda de agua poblacional “DP”

Las poblaciones estimadas para cada período de tiempo y su composición entre población urbana y rural por municipio, inciden en la DP en que las dotaciones, eficiencias de suministro y factor de uso del recurso superficial con respecto al recurso hídrico total necesario, son distintas para cada tipo de población y según la región en que se ubican; todo ello, a falta de registros directos, fidedignos y accesibles sobre el agua extraída, servida a la población y retornada a los cuerpos de agua.

En la **Figura 17** se presenta la DP bruta total para las cuatro áreas de escurrimiento más pobladas y para el resto de la cuenca del Lempa. El río Acelhuate representa la mayor DP con un 24% del total, incrementándose desde los 0.75 m<sup>3</sup>/s en 1,970, hasta los 4.7 m<sup>3</sup>/s en el 2,050; le sigue el río Sucio con un 12% del total, incrementándose en el mismo período de tiempo, desde los 0.49 m<sup>3</sup>/s hasta los 2.63 m<sup>3</sup>/s; luego la intercuenca Cerrón Grande, con el 9% del total, e incrementándose desde los 0.53 m<sup>3</sup>/s hasta los 1.74 m<sup>3</sup>/s; y el río Ostúa con un 7% del total, e incrementándose desde los 0.26 m<sup>3</sup>/s hasta los 1.64 m<sup>3</sup>/s.

Los cuadros con dotaciones, eficiencias y factores superficiales y de consumo utilizados, así como las demandas de agua poblacional bruta total por lustro, por origen superficial y subterráneo, y para cada cuenca simulada, se encuentran en el **Anexo 2**.



**Figura 17.** Demanda de agua poblacional bruta total, estimada a cada cinco años para las cuatro áreas de escurrimiento más pobladas y el resto de la cuenca del río Lempa.

### 6.2.3. Áreas de cultivo, Lámina de agua y Demanda de agua agrícola

#### 6.2.3.1. Áreas de cultivo “ $A_{Cul}$ ”

Las áreas de cultivo bajo riego que utilizan recurso hídrico superficial se estima que se han incrementado en la cuenca del río Lempa en el período histórico, desde las 6,449 ha en 1,970, hasta las 13,395 ha en el año 2,000; mientras que, para el período futuro, se proyectó que se incrementarían a 18,101 ha al inicio en 2,020, y alcanzarían las 25,861 ha al final, en el año 2,050. De las áreas de escurrimiento consideradas, resaltan cuatro que aglutinan en promedio el 58% del  $A_{Cul}$  (**Figura 18**), estas son: la cuenca del río Sucio, que representa un 26% del total, incrementándose desde las 1,283 ha en 1,970 hasta las 7,335 ha en 2,050, esta cuenca tiene los distritos de riego Zapotitán y Atiocoyo Sur, además de otras áreas de cultivo privadas; le sigue la cabecera del río Lempa, con un 16% del total, incrementándose desde las 1,218 ha hasta las 3,796 ha en el mismo período de tiempo; luego la Intercuenca 1 con un 8% del total, se incrementa desde las 104 ha hasta las 2,648 ha, esta intercuenca incluye el Distrito de riego Atiocoyo Norte; y el río Suquiapa, con un 8% del total, varía desde las 599 ha hasta las 1,878; e incluye una parte del área de cultivo del Distrito de Riego Atiocoyo Sur. Los cuadros con el  $A_{Cul}$  por cuenca y lustro se encuentran en el **Anexo 2**.

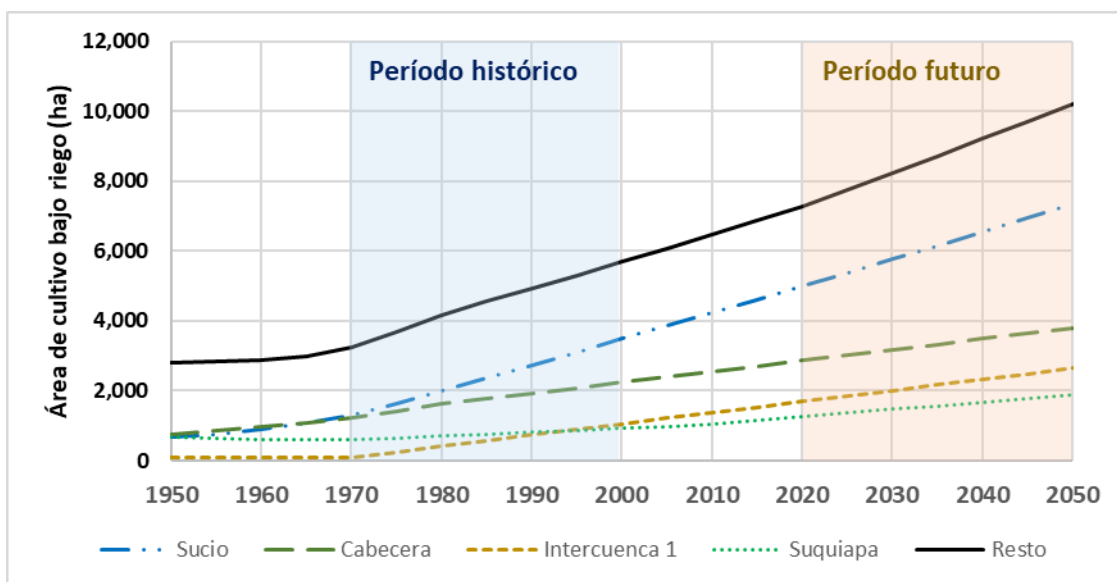
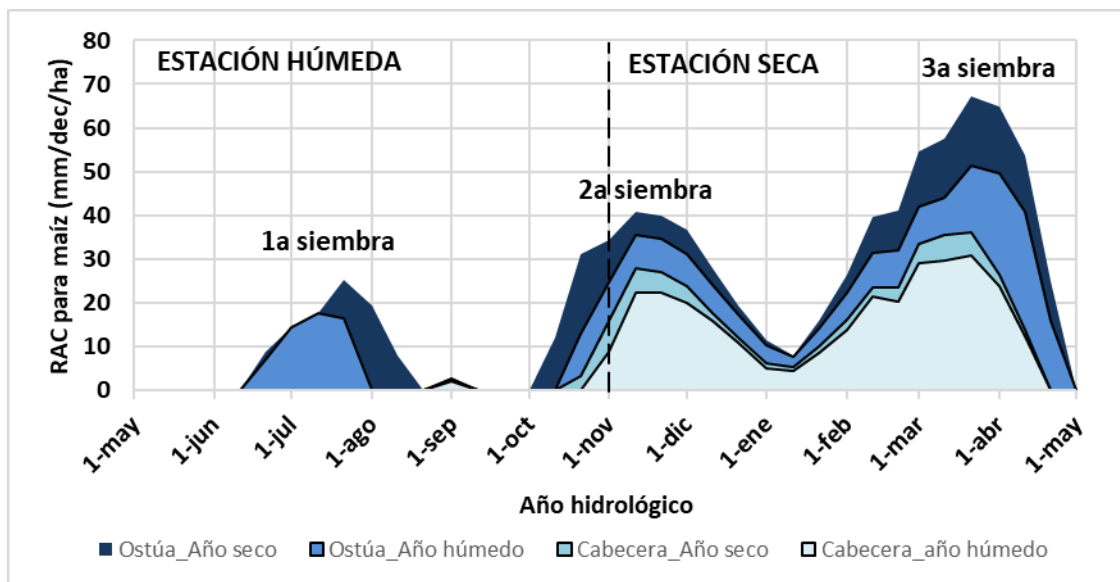


Figura 18. Área de cultivo bajo riego de las principales áreas agrícolas y el resto de la cuenca del río Lempa.

### 6.2.3.2. Lámina de agua “ $h_{Cul}$ ”

La lámina de agua “ $h_{Cul}$ ” (Requerimiento de Agua de Cultivo “RAC” en CROPWAT), depende de la precipitación, la ETP y la latitud del sitio, de manera que, un mismo cultivo tiene distinto RAC, según la cuenca en que se ubique; como ejemplo, se presenta en la **Figura 19** el RAC para el maíz, en dos cuencas contiguas para que la latitud sea similar, pero de distintas condiciones climáticas, estas son: río Ostúa y Cabecera del Lempa, que se encuentran en una zona de mínimas y máximas precipitaciones (**Figura 9**), y de máximos y mínimos de ETP (**Figura 11**), respectivamente. Para ambas cuencas se presenta el RAC en el período más húmedo y más seco dentro del rango de años con registros: 1970-2016; como resultado, se tiene que el RAC del maíz en el período más húmedo en Ostúa es mayor que en el período más seco en la Cabecera; constatando la importancia de considerar las áreas de cultivo por tipo de cultivo y por cada cuenca según su climatología. En la **Figura 19** también se denota el incremento del RAC por siembra, presentando valores mínimos en la 1ª, durante el período de canículas o veranillo; en la 2ª, se incrementa durante la transición de estación húmeda a seca, y es máximo en la 3ª, en el trimestre más seco de la época de estiaje. Las fechas de siembra de cada cultivo y la composición del área bajo riego por tipos de cultivo, se encuentran en el **Anexo 02**.



**Figura 19.** Comparación del Requerimiento de Agua de Cultivo “RAC” para maíz, en cuencas de gradientes pluviométricos opuestos: Cabecera del río Lempa y río Ostúa, para el período más seco y húmedo de cada una.

### 6.2.3.3. Demanda de agua agrícola “DA”

La DA en cada cuenca varió según los tipos de cultivo que constituyen su área total bajo riego a lo largo del tiempo. En la **Figura 20** se aprecia que en la cuenca del río Lempa se presentan tendencias uniformes en la composición de su área de cultivo, pero las cuencas afluentes pueden presentar cambios significativos, como la del río Suquiapa, cuyas tendencias no lineales se deben a que, las áreas de cultivo se han proyectado por municipio, y aunque estas interpolaciones y extrapolaciones sean lineales entre censos, cada municipio presenta una tasa de cambio particular para cada cultivo, generando que, de forma combinada dentro de una cuenca, se produzcan cambios no lineales tanto en las tendencias históricas, como en las futuras; lo que repercute en el agua para riego.

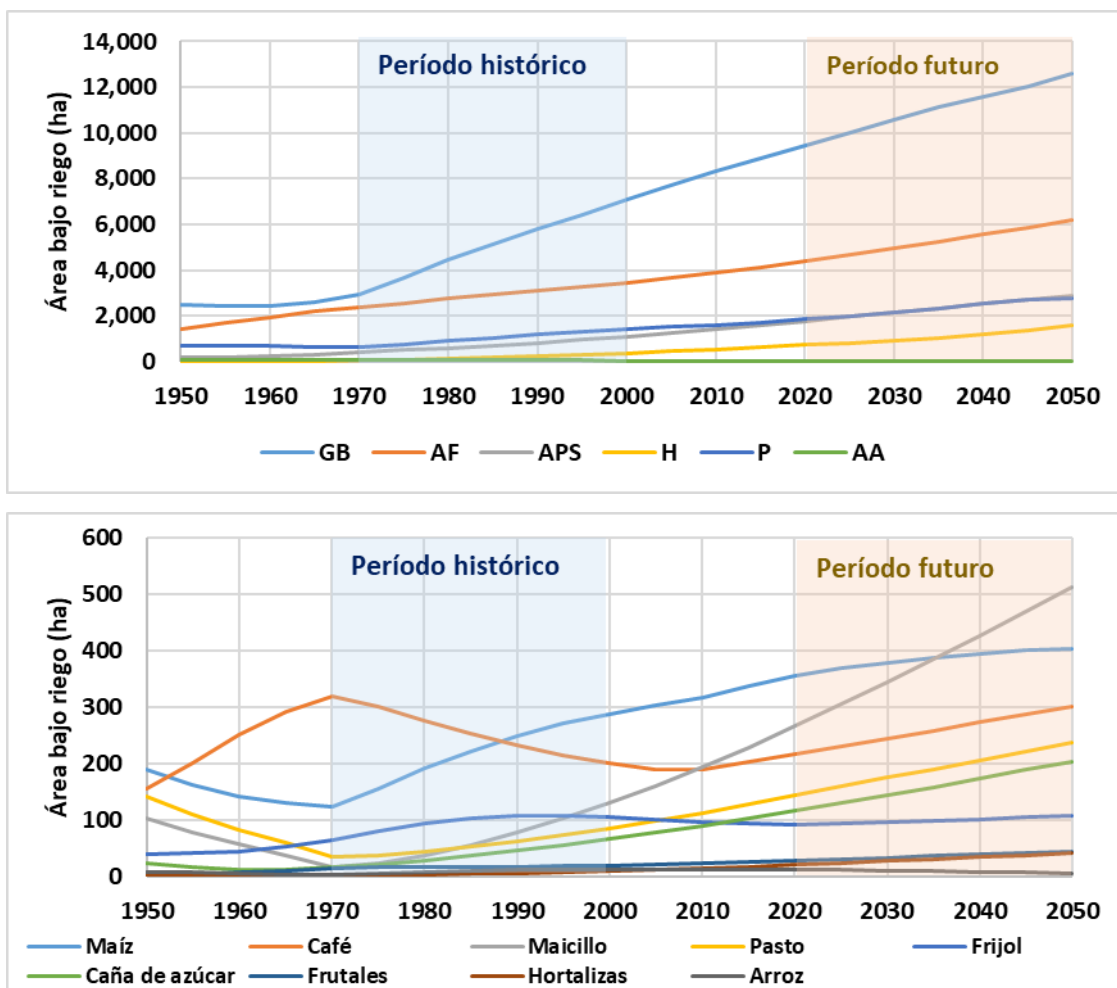


Figura 20. Áreas de cultivo bajo riego con recurso hídrico superficial. Superior: cuenca del río Lempa por agrupaciones de cultivos. Inferior: Cuenca del río Suquiapa por cultivos individuales.

En la **Figura 21** se presenta la DA anual en millones de metros cúbicos “MMC”, en ella se aprecia lo explicado anteriormente, pues en cuanto a áreas de cultivo bajo riego, cuatro cuencas sobresalían sobre el resto: Sucio, Cabecera, Intercuenca 1 y Suquiapa, por ese orden; sin embargo, en cuanto a DA, dos cuencas alcanzan la importancia de las cuencas anteriores, estas son: la desembocadura o San Marcos Lempa “SML”, que ahora representa un 11% de la DA total, cuando su área de cultivo equivale a un 5% del total; y el embalse 15 de Septiembre, donde se ubica el Distrito de Riego Lempa-Acahuapa, con un 6% de la DA total, cuando su área de cultivo equivalía también al 5% del total. Estos cambios en el nivel de importancia, se deben a la composición por tipos de cultivo del área bajo riego, como a la climatología de cada cuenca; y es importante resaltar que entre estas seis cuencas se tiene acumulada hasta el 74% de la demanda de agua agrícola.

En el **Anexo 02** se presentan las DA brutas en caudales medios mensuales interanuales, por cuenca y por lustro, en  $m^3/s$ .

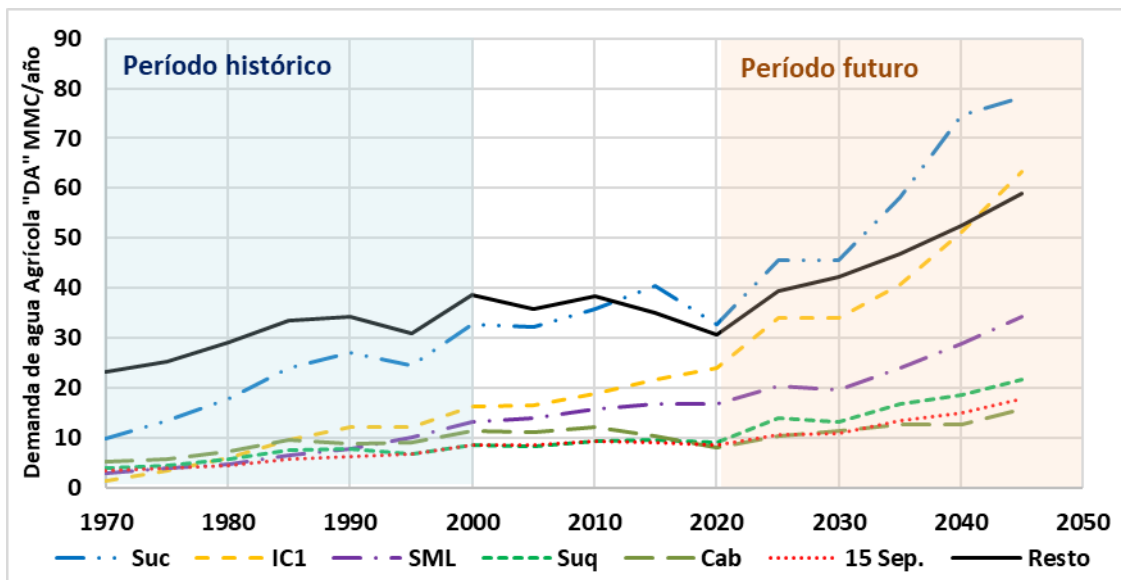


Figura 21. Demanda de agua agrícola “DA” en millones de metros cúbicos por año (MMC/año), por cada lustro desde 1970-74 hasta 2045-49, para las principales áreas alteradas por agricultura en la cuenca del río Lempa. Suc: Sucio, IC1: Intercuenca 1, SML: San Marcos Lempa o Desembocadura, Suq: Suquiapa, Cab: Cabecera, 15 Sep: embalse 15 de Septiembre y Resto: 17 cuencas afluentes restantes, sin considerar cuencas endorreicas.

## 6.2.4. Demanda de agua Energética “DE”

### 6.2.4.1. Centrales hidroeléctricas operativas

En la **Figura 22** se presentan los caudales promedio diarios descargados y los caudales promedio diarios turbinados, lo que representa a nivel general la DE de cada central. En el lago de Güija, los caudales turbinados, con  $17.2 \text{ m}^3/\text{s}$  equivalen al 86.2% de los caudales descargados; en Cerrón Grande, con  $105.9 \text{ m}^3/\text{s}$  equivalen al 80.9%; en 5 de Noviembre con  $122.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , el 73.0%; y en 15 de Septiembre, con  $230.4 \text{ m}^3/\text{s}$  equivalen al 75.7%.

### 6.2.4.2. Centrales hidroeléctricas proyectadas

Además de los caudales turbinados y descargados, en la **Figura 22** también se muestran los volúmenes útiles de almacenamiento; es con base a estos y a los caudales de cada central que se generaron reglas operativas que permitieron simular el comportamiento de las nuevas centrales hidroeléctricas para desnaturalizar los caudales en secciones posteriores. La central proyectada Cimarrón con 900 MMC de volumen útil, se correlacionó con el Lago de Güija de 600 MMC; mientras que El Chaparral y El Tigre, se correlacionaron con el embalse 15 de Septiembre, los tres, con volúmenes útiles de 654, 467 y 325 MMC, respectivamente.

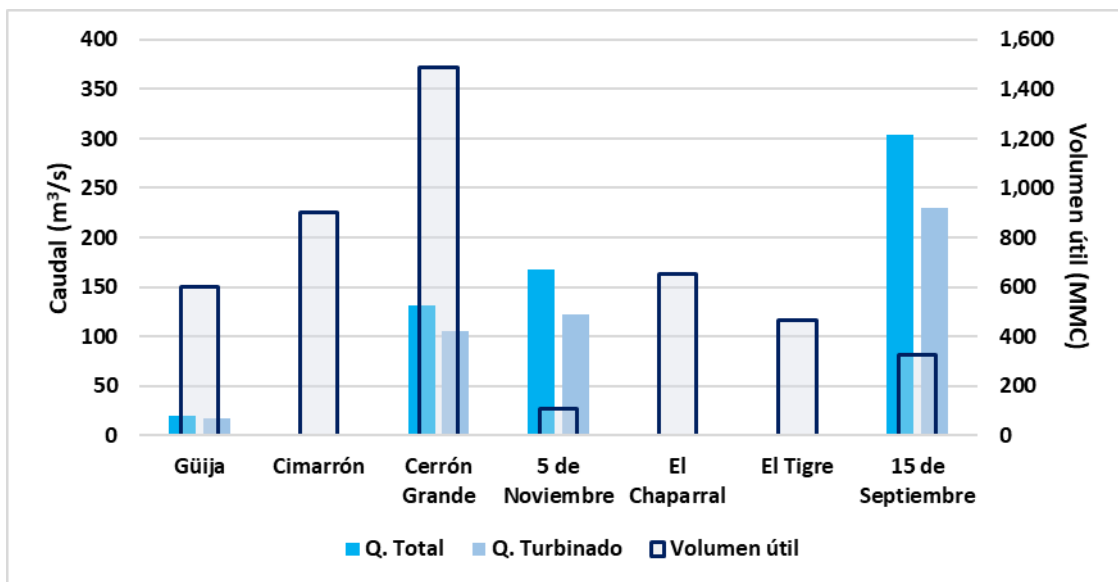


Figura 22. Caudal promedio diario descargado, caudal promedio diario turbinado y volumen útil de embalse.

### 6.3. Naturalización de caudales

Para la cuenca se contaron con 11 puntos de control constituidos por nueve estaciones hidrométricas “EH” y cuatro centrales hidroeléctricas “CH”, de las que dos contaron con “EH” previo a la construcción de su embalse. De los 11 puntos de control, cinco se encuentran en cuencas afluentes alteradas solo por demandas consuntivas y seis en tramos del río Lempa alterados tanto por demandas consuntivas como no consuntivas.

#### 6.3.1. Naturalización por demandas de agua consuntivas

Los puntos de control alterados solo por demandas consuntivas son: EH Los Puentes en río El Angue, EH San Francisco en río Guajoyo, EH Las Pavas en río Suquiapa, EH El Jocote en la cuenca baja del río Sucio y EH Osicala en la cuenca media del río Torola; en ellos, posterior a la naturalización, los caudales de la estación lluviosa (mayo – octubre) se mantuvieron prácticamente invariables, cambiando para El Angue entre -0.03% y +4.15%, para Guajoyo entre +0.25% y +2.82%, para Suquiapa entre +0.15% y +0.66%, para Sucio entre +0.70% y +5.42%, y para el río Torola entre +0.02% y +0.08%; sin embargo, durante la estación seca (noviembre - abril) se apreciaron cambios significativos debido principalmente a las derivaciones para riego, llegando a incrementarse entre +6.6% y +77.6% para El Angue, entre +6.6% y +29.8% para Guajoyo, entre +6.1% y +15.0% para Suquiapa, entre +11.1% y +36.0% para Sucio, y entre +0.4% y +17.8% para Torola. Como ejemplo, se muestra en la **Figura 23** la naturalización para la EH El Jocote, y el de las cinco cuencas, separadas por estación climática, se presentan en el **Anexo 02**.

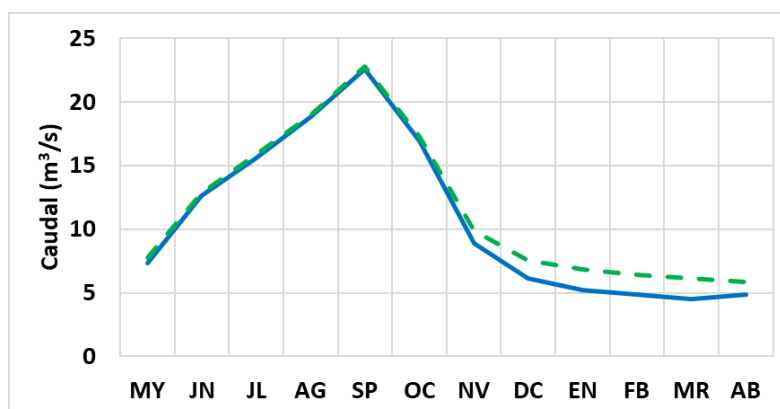


Figura 23. Caudal promedio mensual interanual registrado (línea continua azul) y naturalizado por demandas consuntivas (línea discontinua verde) para la Estación Hidrométrica El Jocote, en la cuenca baja del río Sucio.

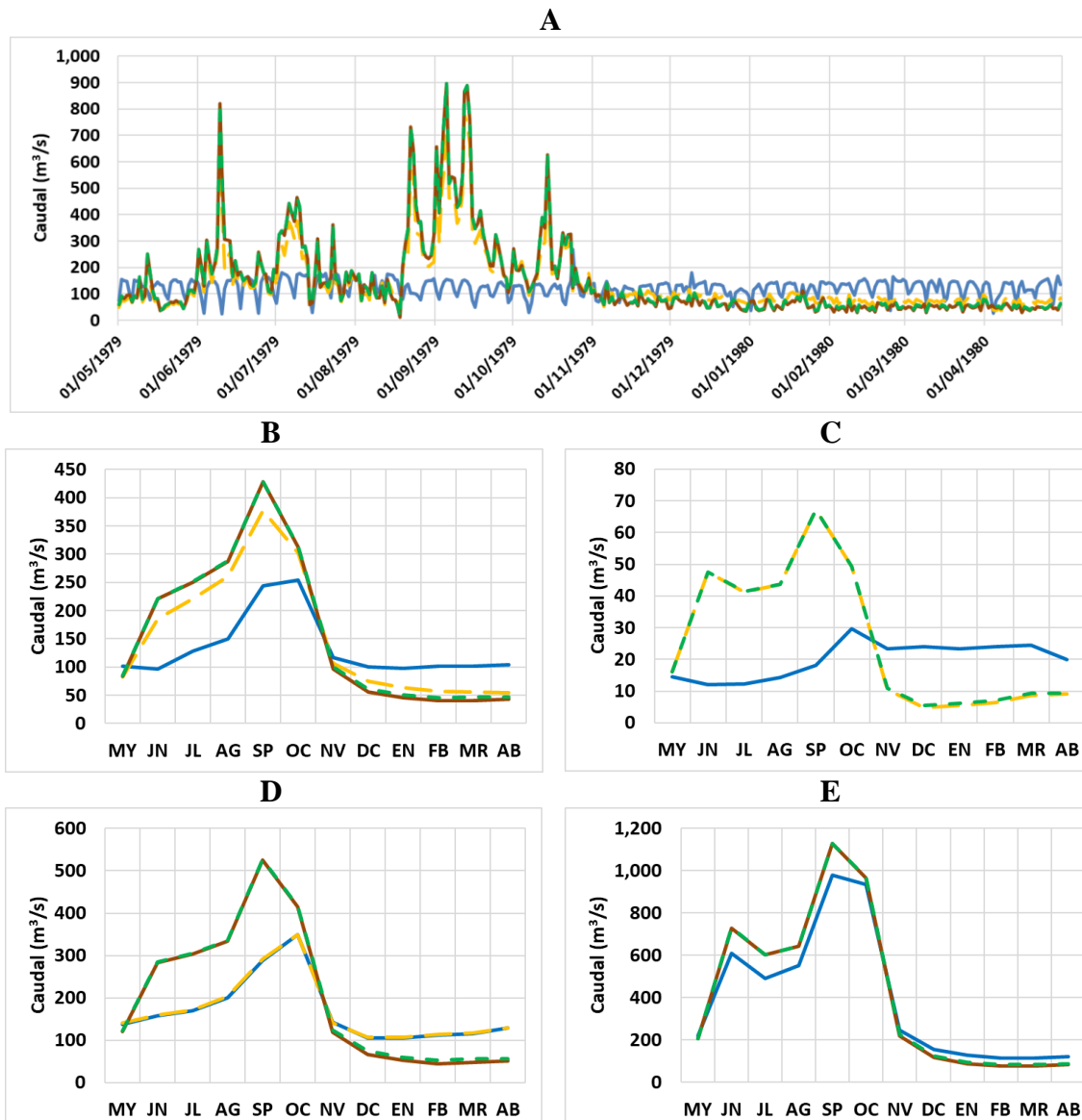
### 6.3.2. Naturalización por demandas de agua consuntivas y no consuntivas

Los puntos de control alterados por ambos tipos de demandas son seis: CH Guajoyo en el lago de Güija, EH Paso del Oso en la cuenca alta del río Lempa, CH Cerrón Grande y CH 5 de Noviembre, ambas en la cuenca media del río Lempa, CH 15 de Septiembre en la cuenca baja del río Lempa y EH San Marcos Lempa en la desembocadura del río Lempa. Este proceso de naturalización demostró el alto grado de alteración que tiene el río Lempa en sus caudales, con una variabilidad diaria que supera los cientos de  $m^3/s$  de un día a otro y de forma permanente durante todos los días del año hidrológico, sin distinción entre la estación lluviosa y seca, salvo en los años húmedos, como se muestra en la **Figura 24 A**, en ella además, se aprecia una importante recuperación parcial del régimen hídrico del río, a partir de la etapa 1: corrección por embalse local, pues se generan crecidas durante la estación lluviosa y disminuye la variabilidad durante la estación seca. En la **Figura 24 B**, se denotan las bondades de cada etapa de naturalización, abonando la segunda en corregir los caudales por embalsamientos aguas arriba, y la tercera, en incrementar los caudales durante la estación seca.

Es menester indicar que no fue posible restaurar la alteración total generada por los embalses a causa de diversos factores, como: precisión del registro de niveles, cambios en las curvas de almacenamiento, estimación de pérdidas por ETP e infiltración, entre otras; sin embargo, se aprecia una considerable mejora en la restauración del régimen hídrico natural, como se aprecia en la **Figura 24 C**, en donde se muestra que la CH Guajoyo invierte totalmente el régimen hídrico del desagüe del lago de Güija, descargando en torno a  $15 m^3/s$  durante la estación lluviosa, y en torno a  $25 m^3/s$  durante la estación seca, régimen que, posterior a la naturalización, muestra las características típicas de una cuenca del CSC, con una estación lluviosa bimodal entre mayo y octubre, un período de canículas entre julio y agosto, y una estación seca entre noviembre y abril.

La **Figura 24 D**, muestra la naturalización del embalse 5 de Noviembre, que resalta por la similitud entre los caudales registrados y los corregidos en etapa 1, lo que denota que la central funciona “a filo de agua”, dada la baja capacidad de almacenamiento de su embalse.

Finalmente, la **Figura 24 E** muestra la naturalización en la desembocadura, en donde los caudales registrados reflejan la dilución de la alteración de los embalses de la cuenca alta y media, por las aportaciones de los ríos Sumpul, Mocal, Guarajambala y Torola, que se encuentran en régimen casi natural. Los resultados de todos los puntos de control se muestran en el **Anexo 02**.



**Figura 24.** Comparación de los procesos de naturalización por demandas consuntivas y no consuntivas para algunos puntos de control. Línea continua azul: caudal registrado ( $Q_{Reg}$ ), línea discontinua larga amarilla: caudal corregido por embalse local ( $Q_{Cor1}$ ), línea continua café: caudal corregido por embalse aguas arriba ( $Q_{Cor2}$ ), línea discontinua corta verde: caudal naturalizado ( $Q_{Nat}$ ). A: caudales promedio diarios del año hidrológico 1979-1980 de la CH Cerrón Grande. B: caudales promedio mensuales interanuales “QPM” de la CH Cerrón Grande. C: QPM de la CH Guajoyo. D: QPM de la CH 5 de Noviembre. E: QPM de la EH San Marcos Lempa, en la desembocadura.

#### 6.4. Elaboración de modelos hidrológicos

El Algoritmo Genético para optimización de Parámetros “GAP” resultó ser más eficiente a las corridas Monte Carlo “MC”, al alcanzar con mayor rapidez un set de parámetros máximo; mientras que, de las funciones objetivo utilizadas entre individuales y combinadas, fue la combinación 1 ( $0.3R_{eff} + 0.3R_2 + 0.4LogR_{eff}$ ) la que presentó la mejor habilidad para representar la hidrología de las cuencas. Para cada cuenca individual se realizaron 1,000,000 de corridas por función objetivo en MC y 20,000 corridas en GAP, haciendo un total para las cinco cuencas y las siete funciones objetivo de 35,000,000 de corridas en MC y 700,000 en GAP.

##### 6.4.1. Resultados de la calibración de cuencas individuales

En la **Figura 25** se presenta la comparación entre procesos de calibración para la cuenca del río Suquiapa, EH Las Pavas; mostrando en cada uno las 100 corridas con mejor habilidad para la función objetivo combinada 1, resaltando la corrida de máxima habilidad y comparándola con la escorrentía observada naturalizada. El proceso MC presenta una alta variabilidad, pues los sets de parámetros son escogidos aleatoriamente en todo el rango de escogencia de cada parámetro, presentándose el ajuste de las 100 mejores corridas de una muestra de 1,000,000 de corridas; mientras que el proceso GAP realiza una evolución de los sets de parámetros con mejor habilidad, mejorándolos en cada generación, por ello, lo que se muestra son las últimas 100 generaciones evolucionadas durante 20,000 corridas, disminuyendo la variabilidad al mínimo.

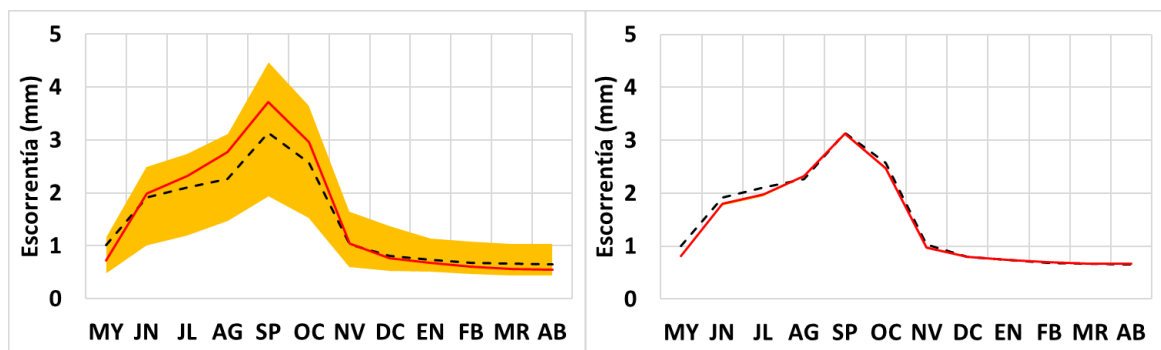


Figura 25. Comparación de las 100 mejores corridas para la función objetivo combinada 1, en la cuenca del río Suquiapa. Izquierda: MC. Derecha: GAP. Línea negra discontinua: escorrentía observada naturalizada; línea roja continua: escorrentía simulada para la corrida con mejor habilidad, y rango anaranjado: escorrentía simulada para las 100 corridas con mejor habilidad.

En la calibración GAP las funciones objetivo son consideradas como Poblaciones “P”, y cada una de las utilizadas mostró una bondad específica para ambos procesos de calibración MC y GAP. En la **Figura 26 izquierda**, se presenta la habilidad de las funciones objetivo base para la cuenca del río Torola: la eficiencia del modelo “Rf” o “P1”, se ajusta mejor a los caudales altos, pero compromete totalmente los caudales en estiaje, cayendo estos casi a cero; el coeficiente de determinación “R2” o “P2”, no se ajustó a la magnitud de la escorrentía, estando siempre por encima de los valores observados, pero sí replicó la forma del hidrograma; y la eficiencia basada en logaritmos naturales “LR” o “P3”, se ajustó a los caudales de estiaje, más no a los de crecidas.

Las funciones objetivo combinadas buscan retomar estas bondades, de manera que exista un medio para calibrar tanto caudales altos como bajos. En la **Figura 26 derecha**, se presenta la habilidad de estas poblaciones para la cuenca del río Torola: La “P4” ( $0.3Rf + 0.3R2 + 0.4LR$ ) mostró la mejor habilidad de todas las poblaciones a nivel general en todos los ríos, y en ambos procesos de calibración, esta combinación pondera con 30% los caudales altos, 30% la forma del hidrograma con caudales altos, y 40% los caudales bajos; la “P5” ( $0.5Rf + 0.5LR$ ) pondera por igual caudales altos y bajos, y fue la segunda mejor combinación, fallando solo en algunos casos en caudales bajos; la “P6” ( $0.5R2 + 0.5LR$ ) pondera por igual caudales bajos y la forma del hidrograma con caudales altos, pero mostró mejoras solo en algunos ríos; finalmente, “P7” ( $0.5Rf + 0.5R2$ ) que pondera caudales altos con la forma del hidrograma, también mostró mejoras pero de forma local.

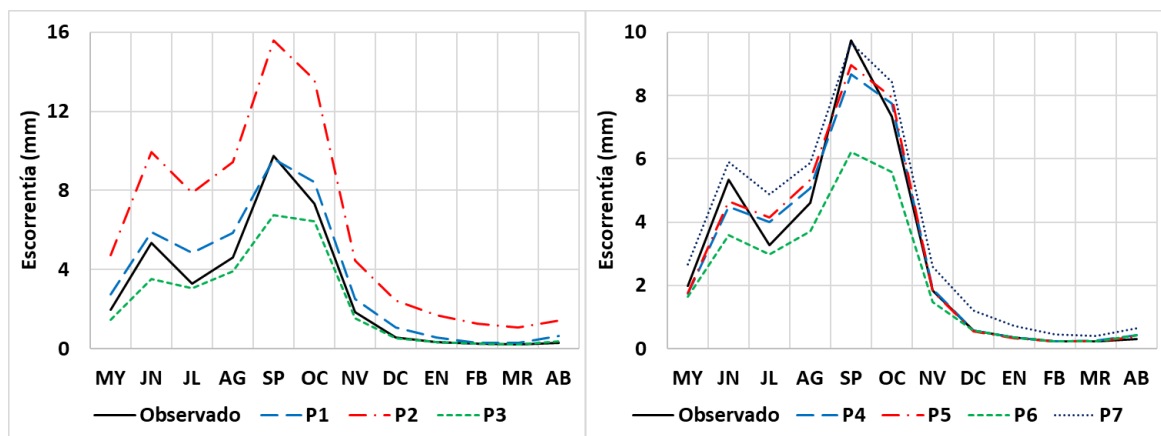


Figura 26. Comparación de la habilidad de cada función objetivo, consideradas en el modelo como Poblaciones “P”, para la cuenca del río Torola. Izquierda: funciones objetivo base. Derecha: funciones objetivo combinadas.

La calibración de las cinco cuencas individuales permitió observar la mejora de cada población según el número de corridas (20,000 por cada población), considerando 50 sets de datos de partida. En la **Figura 27**, se observa que la mayor parte de la habilidad se alcanza en las primeras 500 corridas, y entre las 1,000 y las 5,000 se tienen valores máximos casi estables, incrementando de forma poco significativa con mayor número de corridas. A partir de estos resultados se calibraron el resto de puntos de control con más de una cuenca afluyente, con el proceso GAP, considerando un incremento de 5,000 corridas y 50 sets de datos más de partida, por cada cuenca afluyente al punto de control.

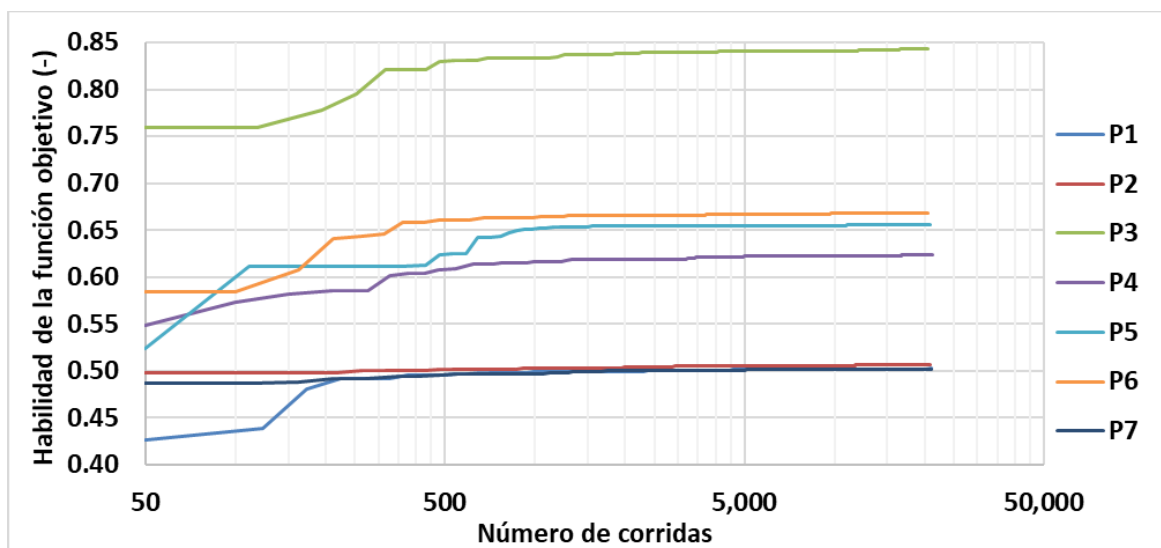


Figura 27. Evolución de cada función objetivo con base al número de corridas realizadas en la cuenca Torola.

#### 6.4.2. Calibración del modelo completo y obtención de caudales naturales.

Los sectores de calibración por punto de control se muestran en el mapa de la **Figura 28** (también en Anexo 1), de donde cabe destacar que la cuenca Mocal (N°14) no pudo ser calibrada por ninguno de los métodos de calibración (MC o GAP) ni función objetivo (P1 a P7), por lo que sus parámetros finales se incorporaron manualmente e iguales a los de la cuenca Sumpul (N°12), que tiene similar climatología, área de escurrimiento y ubicación. Los caudales naturales para la cuenca alta, en EH Paso del Oso ( $P4 = 0.835$ ), cuenca media en CH Cerrón Grande ( $P4 = 0.875$ ), cuenca baja en CH 15 de Septiembre ( $P4 = 0.893$ ) y la desembocadura en EH San Marcos Lempa ( $P4 = 0.884$ ), se muestran en la **Figura 29**.

En el **Anexo 02** se adjuntan los resultados del proceso de calibración MC y GAP, las siete funciones objetivo, los parámetros finales por cuenca, las habilidades para el período de calibración, validación y total, así como los caudales naturales para cada cuenca.

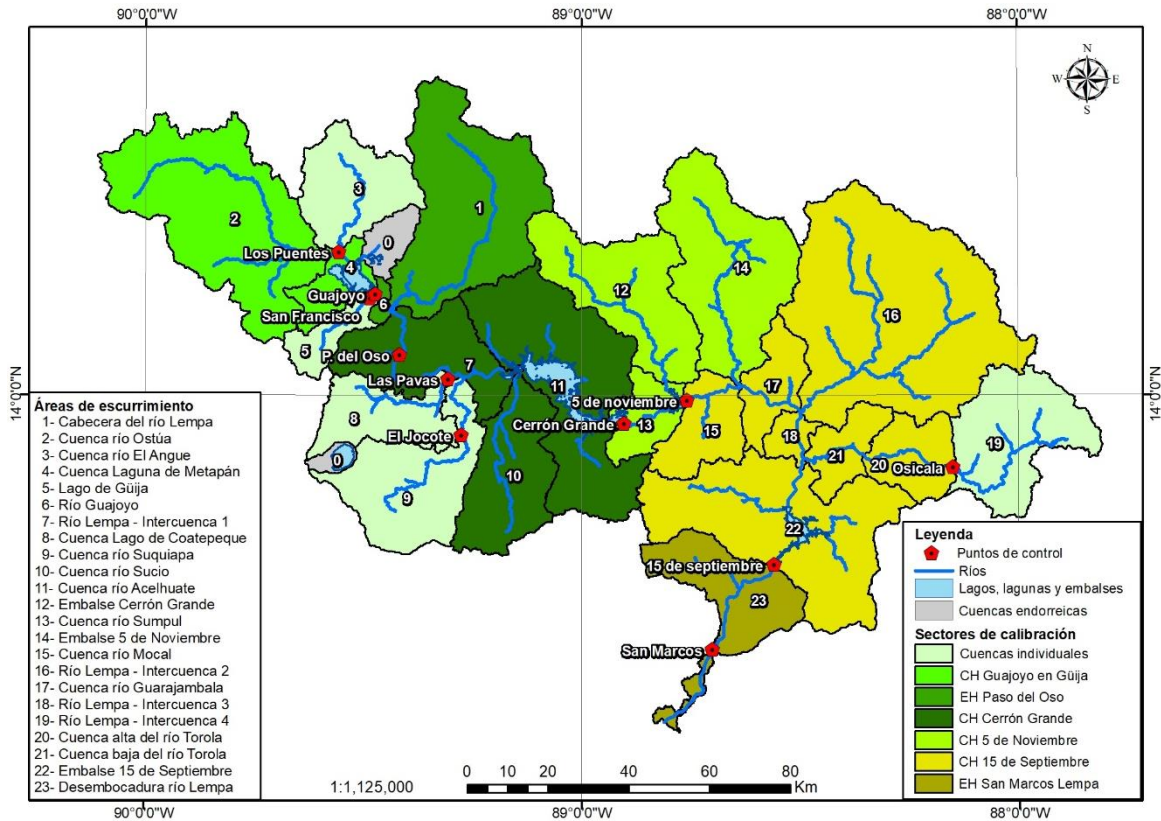


Figura 28. Sectores de calibración por puntos de control (EH y CH) para la cuenca del río Lempa.

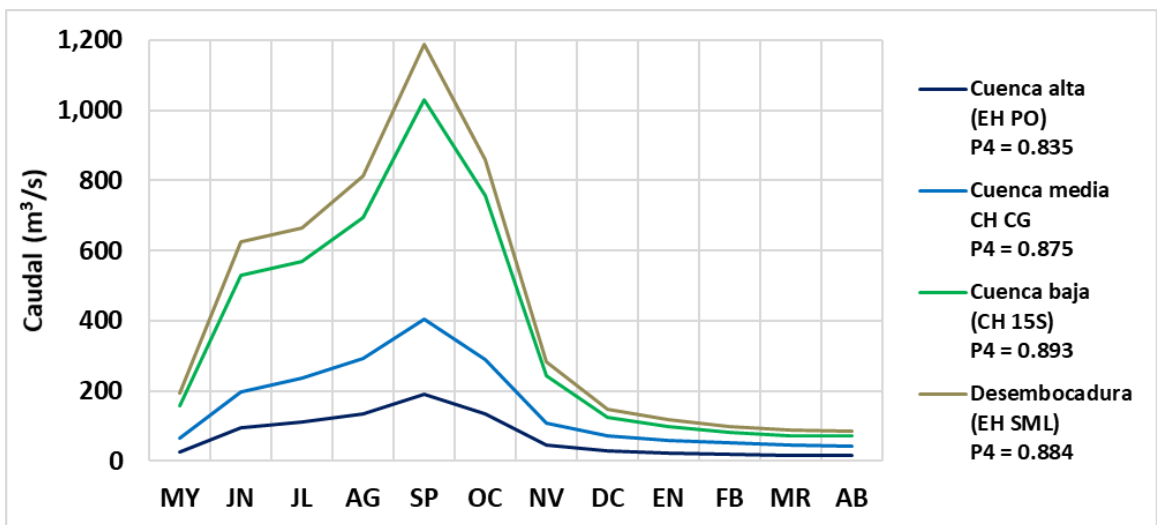


Figura 29. Caudales medios mensuales interanuales naturales 05/1970-04/2000, en la cuenca del río Lempa.

### 6.5. Estimación de caudales ecológicos

A los caudales naturales del período histórico de referencia 05/1970 – 04/2000, compuesto de 30 años hidrológicos, se les aplicó el método de Tennant y la propuesta de régimen mensual para la determinación de caudales ecológicos, resultando que, el método de Tennant fue adecuado para las cuencas: Ostúa, Suquiapa y Sucio; mientras que el resto presentaron regímenes de caudales torrenciales muy variantes entre estaciones climáticas.

En la **Figura 30 izquierda**, se muestra la aplicación de la metodología de Tennant en el río El Angue, con ella, desde enero hasta abril el río alcanza de forma natural el estado de “degradación intensa”; el promedio de caudales naturales diarios mínimos históricos “PQnd.mn\_H”, lo alcanza durante cinco meses consecutivos desde enero hasta mayo; y los mínimos históricos absolutos “Qnd.mn\_H” durante siete meses consecutivos, desde diciembre hasta junio; por su parte, los caudales ecológicos máximos se aprecian excesivos para la estación seca. En la **Figura 30 derecha**, se muestra la aplicación de la metodología mensual propuesta al mismo río, en donde se observa que los caudales medios mensuales naturales, representan siempre el estado “óptimo” del río; el promedio de los mínimos se encuentra en el umbral entre “adecuado” y “degradación inicial” para la estación húmeda, y en estado “excepcional” para la estación seca; mientras que los mínimos absolutos por dos meses se encuentran en “degradación intensa” y cuatro meses en el umbral hacia “degradación inicial” en la estación húmeda, para pasar luego a un estado “adecuado” durante toda la estación seca. Finalmente, los caudales máximos propuestos en este método, se ajustan mejor al hidrograma natural de la cuenca.

Estas condiciones se repitieron de forma similar en todos los ríos cuyos caudales medios mensuales oscilan (o están cerca de oscilar) dentro de tres órdenes de magnitud, para el caso del río El Angue, sus caudales oscilan desde las décimas de  $m^3/s$  hasta las decenas; mientras que para el río Lempa en su desembocadura, oscilan entre las decenas de  $m^3/s$  hasta los miles; en todos estos ríos fue requerido aplicar la metodología mensual propuesta. En el caso de los ríos en los que sí fue aplicable la metodología de Tennant: Ostúa, Suquiapa y Sucio; sus caudales medios mensuales oscilaron en dos órdenes de magnitud, para los tres ríos, desde las unidades hasta las decenas de  $m^3/s$ .

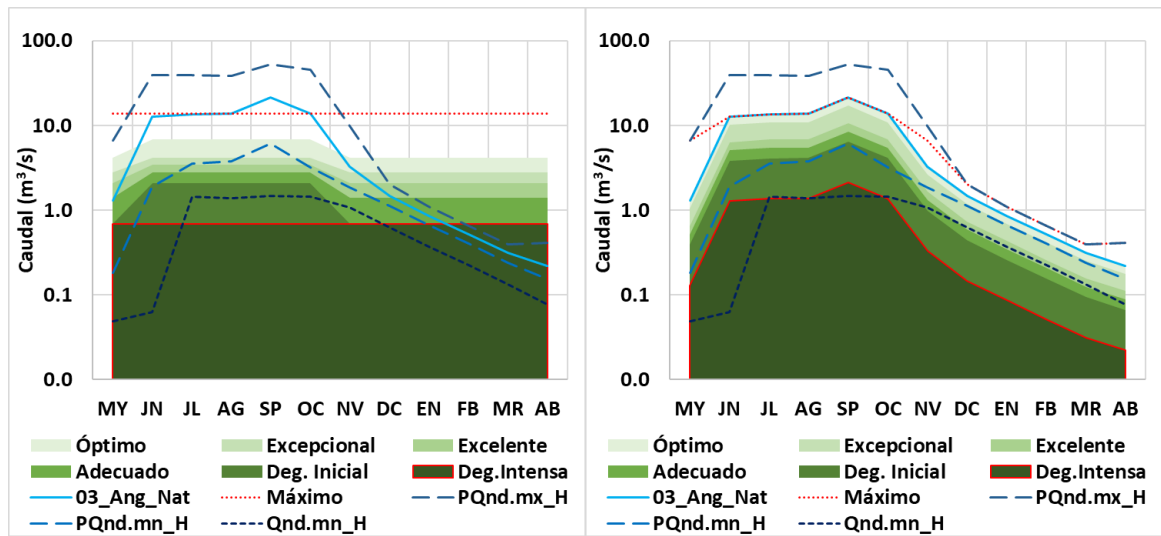


Figura 30. Caudales ecológicos recomendados por estado del río. Izquierda: río El Angue por el método de Tennant. Derecha: río El Angue con propuesta mensual.

Para la aplicación final de ambas metodologías se escogió el estado “Excelente”, por alcanzarse de forma natural con caudales diarios mínimos, que, bajo eventos de sequía extrema, llegan hasta el estado “adecuado” en la época de estiaje.

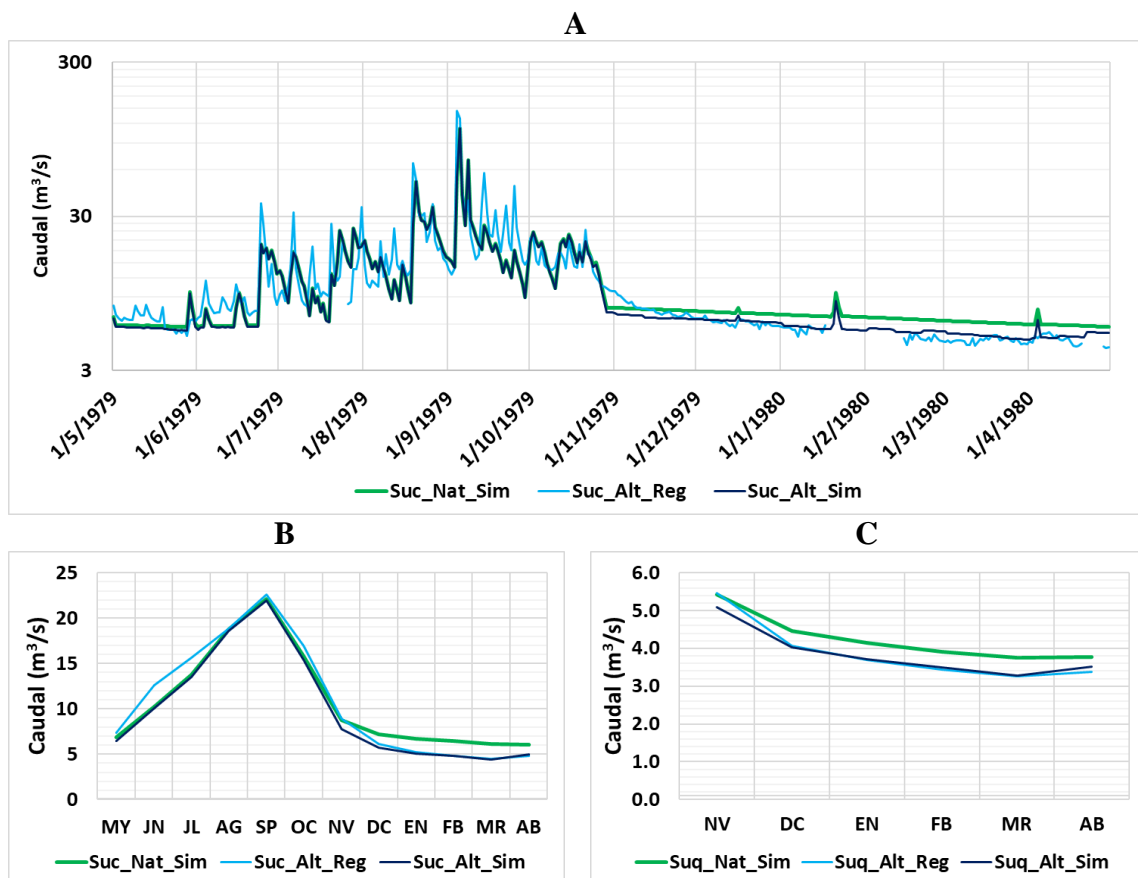
La poca adecuación del método de Tennant al río Lempa y sus afluentes mayores, posiblemente se deba al origen del método en ríos de regiones más templadas y para una biodiversidad diferente a la tropical, en donde, las temperaturas más bajas permiten almacenar parte del agua precipitada como hielo y nieve durante el invierno, por lo que los caudales no se incrementan de forma tan súbita como en las regiones tropicales; luego, este volumen de agua se descongela y derrite, lo que produce en la transición hacia el verano, que los caudales no disminuyan de forma tan drástica, al contar además con el aporte de acuíferos; estas condiciones climáticas permitirían que las diferencias entre caudales medios mensuales altos y bajos no se distancien tanto de los caudales medios anuales. En contraste, en los ríos del CSC, el volumen de agua precipitado se descargaría en gran parte durante la estación lluviosa, descendiendo hasta valores mínimos durante la estación seca, alejándose del caudal medio anual los valores mensuales altos y bajos. Finalmente, ríos como el Ostúa, Suquiapa y Sucio, posiblemente se adecúen bien al método de Tennant por contar con acuíferos de alta producción, que les permiten mantener caudales altos durante el estiaje. Los resultados del caudal ecológico propuesto por cuenca se presentan en el **Anexo 02**.

## 6.6. Evaluación de la alteración actual del régimen fluvial de los ríos

Los resultados de la alteración de los caudales naturales permitieron contar con series de datos completas de caudales afectados por incidencia antropogénica. Las demandas de agua consuntivas se extrajeron de los caudales naturales y las no consuntivas se simularon de acuerdo a las reglas operativas de cada “DE”, y que se incluyen en el **Anexo 02**.

### 6.6.1. Alteración por demandas de agua consuntivas

En la **Figura 31 A** se muestra como ejemplo la alteración a nivel diario de los caudales simulados en el río Sucio en el año hidrológico 1979-1980; en dicho año se tuvieron tres caídas de datos en la estación hidrométrica El Jocote: en julio, de enero a febrero y en abril; lo que no permitiría realizar una evaluación completa de la alteración.



**Figura 31.** Comparación de caudales naturales simulados con los alterados registrados y los simulados alterados, para el período de tiempo con registros. A: caudales promedio diarios en la cuenca baja del río Sucio en EH El Jocote, para el año hidrológico 1979-1980. B: caudales medios mensuales interanuales en río Sucio. C: caudales medios mensuales interanuales en río Suquiapa, EH Las Pavas.

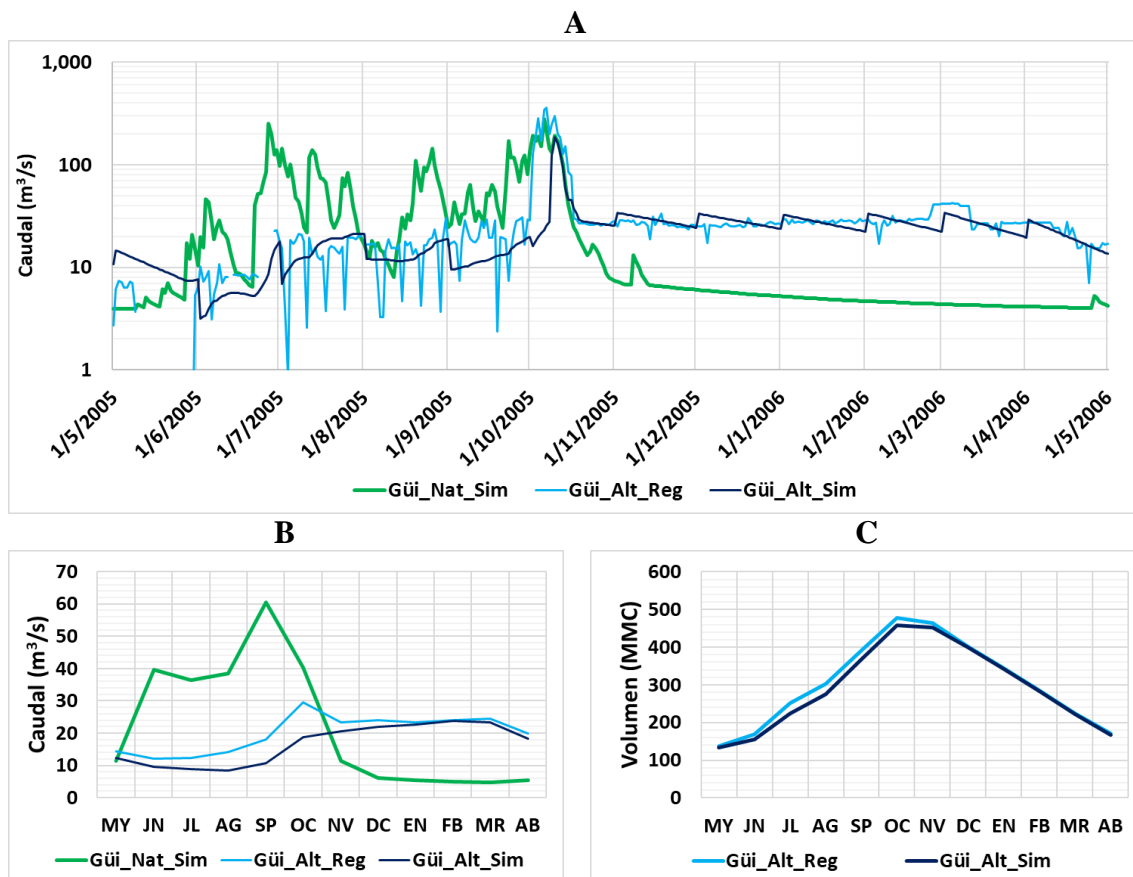
Es importante mencionar que no en todos los años se logró obtener una buena correlación entre los caudales registrados y los simulados alterados; sin embargo a nivel promedio, sí se logró capturar este comportamiento, como se muestra en la **Figura 31 B**, en la que se compara el caudal medio mensual interanual de los caudales registrados, los naturales simulados y los simulados alterados, para todos los períodos con registros disponibles; y en la **Figura 31 C**, se realiza la comparación para la estación seca en el río Suquiapa; ambas cuencas individuales son las más alteradas solo por demandas consuntivas.

### **6.6.2. Alteración por demandas de agua consuntivas y no consuntivas**

Las cuencas afectadas por demandas no consuntivas son las más difíciles de alterar, pues aunque están supeditadas a la hidrología con los caudales afluentes y los volúmenes disponibles, no dependen únicamente de ellos, incidiendo también en el régimen de descargas, variables como: económicas con el precio de la energía, la importación y exportación de la misma; procesos de mantenimiento y operativos de cada central; pronósticos meteorológicos e hidrológicos, que pueden o no cumplirse, y que inciden en las decisiones de descargar los embalses cuando se avecinen eventos de crecidas, o no descargarlos cuando se pronostiquen fuertes sequías; entre otras razones. Todas estas variables no son posibles de simular para los alcances de este estudio, e implicaría contar con bases de datos más extensas con variables de las que no se dispusieron.

A las variables anteriores se suma la alta o baja habilidad con la que se simularon todas las cuencas afluentes a los embalses, lo que también inyecta una alta variabilidad de los caudales disponibles para embalsar. Sin embargo, a pesar de todas las variables anteriores, sí fue posible alterar los caudales naturales a nivel promedio, para representar los caudales turbinados, los descargados por vertedero y los volúmenes almacenados por cada central; lo que permite concluir que los caudales afluentes y los volúmenes disponibles, si bien no son la única variable para la toma de decisiones en cuanto a la descarga y almacenamiento de agua de una central, sí son una condicionante principal para ello, y que, en conjunto con las reglas operativas definidas, son suficientes para representar su comportamiento a nivel promedio para el análisis de cambios ante proyecciones climáticas.

En la **Figura 32 A**, se muestra la simulación de la CH Guajoyo en el lago de Güija para el año hidrológico 2005-2006, con los caudales diarios naturales simulados, los reportados por la central (turbinadas y por vertedero) y los simulados alterados con las reglas operativas; con descargas que oscilan entre las 0 y 30 m<sup>3</sup>/s durante la estación húmeda de un día a otro, variabilidad alta que no ha podido ser replicada; mientras que en la estación seca, las descargas oscilan entre los 20 y 40 m<sup>3</sup>/s, comportamiento que se ha podido replicar mejor por lo estable. En la **Figura 32 B** se muestra que la alteración al régimen hídrico que produce la CH Guajoyo, de descargar mayores caudales en la estación seca que en la húmeda, es replicado con los caudales simulados alterados a nivel promedio mensual interanual; y en la **Figura 32 C**, se muestran los volúmenes embalsados reportados y los simulados que presentan mejor ajuste.



**Figura 32.** Comparación de caudales naturales simulados con los alterados registrados y los simulados alterados, para el período de tiempo con registros en desagüe del lago de Güija, CH Guajoyo. A: caudales promedio diarios del año hidrológico 2005-2006. B: caudales medios mensuales interanuales. C: volúmenes medios mensuales interanuales reportados por la central y los simulados alterados.

La evaluación total se realizó con la acumulación de los porcentajes de alteración de cada mes, tomando en cuenta alteraciones superiores al 1% ya sea en déficit o superávit, y no con caudales medios anuales, pues un solo caudal alto de la estación húmeda podría ocultar el déficit de toda la estación seca; además, el objetivo de establecer caudales ecológicos mensuales, es el de valorar la alteración no solo con los volúmenes descargados, sino también, con la temporalidad en la que estos ocurren, que tiene incidencia en el ecosistema acuático, por las épocas de migración, reproducción y cuidado parental de las especies que lo habitan, entre otras variables del régimen hídrico, como pueden ser procesos de erosión y sedimentación, arrastre de nutrientes y semillas de la vegetación ribereña hacia las partes bajas de las cuencas; a la vez, es importante recalcar que no se ha considerado la variable de calidad del agua dentro del régimen hídrico, lo cual requiere un análisis particular para cada cuenca, e incluso a nivel de tramos y a escala temporal infradiaria, de la demanda poblacional y otros tipos de uso que no han sido considerados para este estudio, como son los industriales, mineros, turísticos, entre otros, que inciden significativamente en la calidad del agua, pero cuyo análisis sobrepasan los alcances de la presente investigación.

En la **Figura 33** se comparan para las cuencas clave, regímenes de caudales promedio mensuales interanuales, para los períodos histórico y futuro, en condición natural y alterada, con los caudales ecológicos máximos y mínimos. La alteración histórica (línea azul cortada) muestra en la gráfica “**A**” que el río Acelhuate, con la mayor DP, cumple el régimen de caudales ecológicos; en la gráfica “**B**” para el río Sucio, con la mayor DA, el régimen alterado histórico también cumple el régimen ecológico; sin embargo, la gráfica “**C**” que corresponde al río Lempa en Cerrón Grande, con la mayor DE, cumple los caudales ecológicos mínimos durante la estación húmeda, a pesar de experimentar importantes reducciones de caudal debido al embalse, mas no en la estación seca, cuando los caudales ecológicos máximos son superados hasta por el doble de su valor para el último trimestre del año hidrológico; en la gráfica “**D**” que corresponde al río Lempa en la desembocadura, el régimen alterado histórico cumple con el régimen ecológico desde mayo hasta diciembre, y gran parte del régimen hídrico se ha restaurado, debido a las aportaciones de las grandes cuencas aguas abajo de Cerrón Grande: Sumpul, Mocal, Guarajambala y Torola.

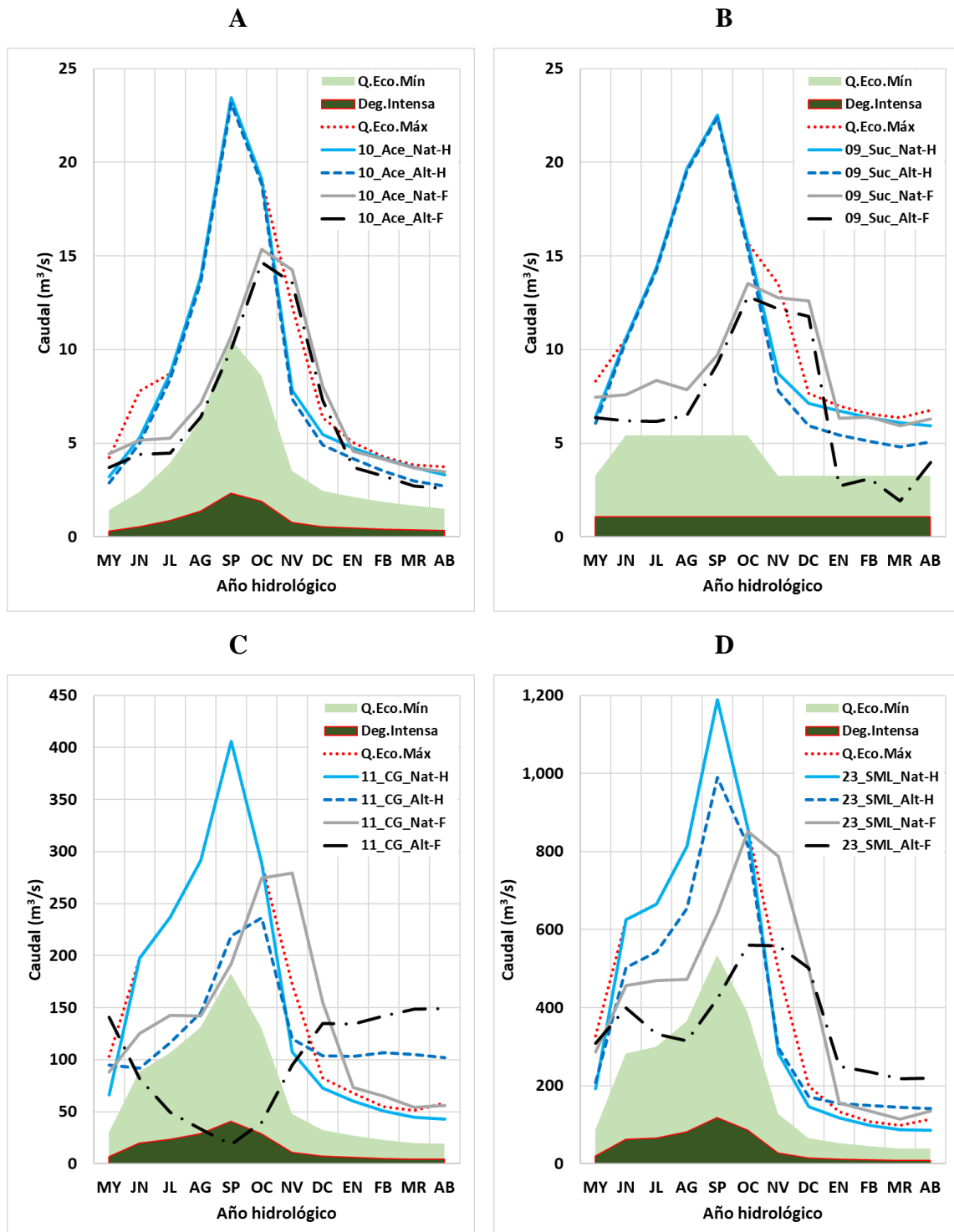


Figura 33. Comparación de caudales promedio mensuales interanuales en estado natural y alterado, para los períodos histórico y futuro, y los regímenes de caudales ecológicos máximo y mínimo y el umbral de degradación intensa. A: Acelhuate, con la mayor DP. B: Sucio, con la mayor DA. C: Lempa en Cerrón Grande, con la mayor DE. D: Lempa en la desembocadura, con la acumulación de todas las alteraciones.

Las alteraciones por Cambio Climático (línea gris continua) y por acción antropogénica futura (línea negra cortada y punteada) de la **Figura 33**, se discuten en las secciones **6.8** y **6.9.1.** respectivamente; y los gráficos para todas las cuencas se incluyen en el **Anexo 02**.

La alteración acumulada anual para el período histórico se muestra con barras azules en la **Figura 34**, en ella se muestra que la cuenca más alterada es el Lago de Güija, que alcanza casi 2,000% de alteración acumulada, debido a que el régimen hídrico se encuentra invertido en su desagüe, como se mostró en la **Figura 32 B**, donde las alteraciones con respecto al régimen natural oscilan mensualmente entre -79% y +7% en la estación húmeda, y entre +76% y +365% en la estación seca; situación que se repite en el río El Desagüe por estar inmediatamente aguas abajo, y que se disminuye levemente por la afluencia del río Guajoyo; posterior a ello, toda la cuenca del Lempa se encuentra alterada en sus caudales máximos durante la estación seca, desde Paso del Oso en la cuenca alta, con variaciones mensuales entre +51% y +118%, hasta San Marcos Lempa en la desembocadura, con variaciones mensuales entre +32% y +65% de los caudales base naturales.

De las cuencas afluentes que solo cuentan con demandas de agua consuntivas, las más alteradas fueron: El Angue con 200% y Sucio con 113% debido a déficits con respecto al caudal natural que oscilan entre -5% y -64%, producidos por demandas agrícolas en la estación seca; seguidas de Acelhuate con 104% de alteración global, acumulado por déficits que van desde -1% hasta -20% a lo largo de todo el año hidrológico.

En el sentido contrario, los ríos con la menor alteración acumulada anual fueron: Mocal con 0%, resultando ser el afluente más natural de toda la cuenca; Sumpul con 6%, acumulado por pequeños déficits de -1% en la estación seca; Guarajambala con 10%, acumulado por pequeños déficits de hasta -3% en la estación seca; la Cabecera con 17%, acumulado por pequeños déficits de hasta -4%; Torola con 32%, Ostúa con 40% y Suquiapa con 58%, acumulados también en los cinco casos, por pequeños déficits en la estación seca que oscilan entre -1% hasta -12% en los meses de febrero y marzo, debidos a demandas agrícolas.

Estos valores pueden consultarse en el **Anexo 02**, en las tablas con caudales promedio mensuales interanuales, en estado alterado para el período histórico, que además incluyen los porcentajes de alteración mensual, estacional y anual.

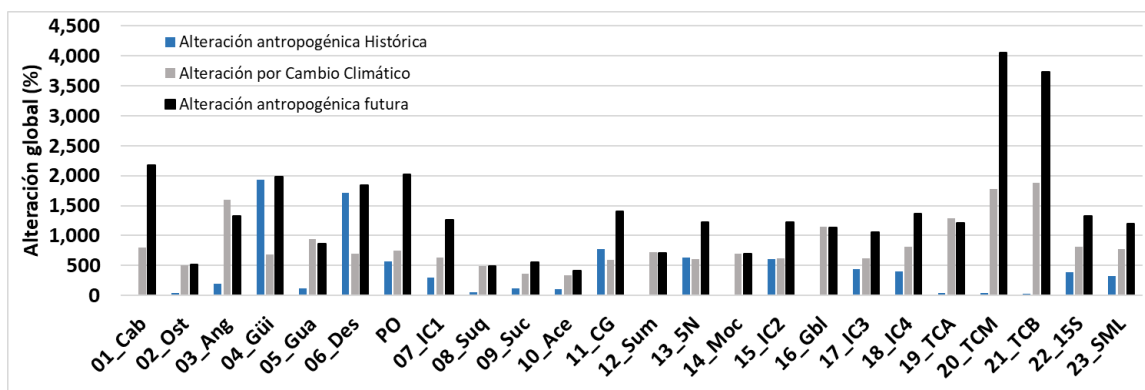
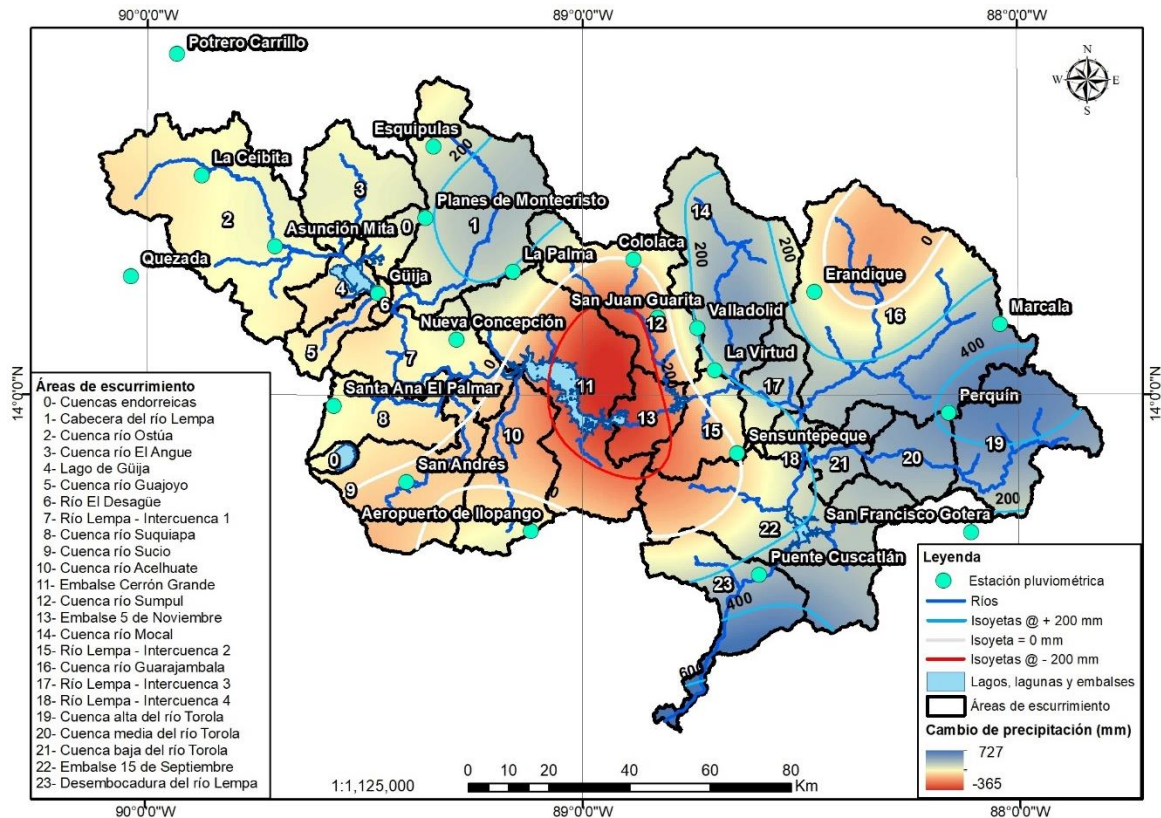


Figura 34. Porcentaje global de alteración del régimen hídrico, por acciones antropogénicas en período histórico, por cambio climático y por acciones antropogénicas en período futuro. El porcentaje de alteración global es la suma, en su valor absoluto, de la alteración promedio mensual interanual para cada período de tiempo.

Los porcentajes de alteración por Cambio Climático (barras grises) y por acción antropogénica futura (barras negras), se discuten en las secciones posteriores **6.8** y **6.9.1** respectivamente.

### 6.7. Extensión de las simulaciones hidrológicas hacia el período futuro

El modelo “cesm1\_cam5\_r1i1p1” en escenario de alta emisión de gases de efecto invernadero, posterior al proceso de corrección de sesgos, presentó buena habilidad para extender las tendencias en precipitación anual para 14 de las cuencas simuladas, siendo su tendencia hacia el horizonte del año 2050, paralela a la tendencia de la precipitación registrada en las estaciones meteorológicas y pluviométricas; estas cuencas fueron: Cabecera (1), Ostúa (2), El Angue (3), Güija (4), Guajoyo (5), El Desagüe (6), Sucio (9), Acelhuate (10), Cerrón Grande (11), 5 de Noviembre (13), Mocal (14), Intercuenca 3 (17), cuenca baja del Torola (21) y 15 de Septiembre (22); luego, seis cuencas presentaron habilidad aceptable para representar las tendencias, con pendientes distintas, pero muy cercanas a la tendencia histórica; estas cuencas fueron: Intercuenca 1 (7), Suquiapa (8), Sumpul (12), Intercuenca 2 (15), y las cuencas alta (19) y media (20) del Torola. Las tres cuencas restantes presentaron tendencias significativamente diferentes: Guarajambala (16), Intercuenca 4 (18) y la desembocadura del Lempa (23). Con lo que se concluye que el modelo climático representa bien las tendencias anuales en Lempa. Los cambios espaciales entre climatologías se muestran en la **Figura 35**, incluida en el **Anexo 01**.

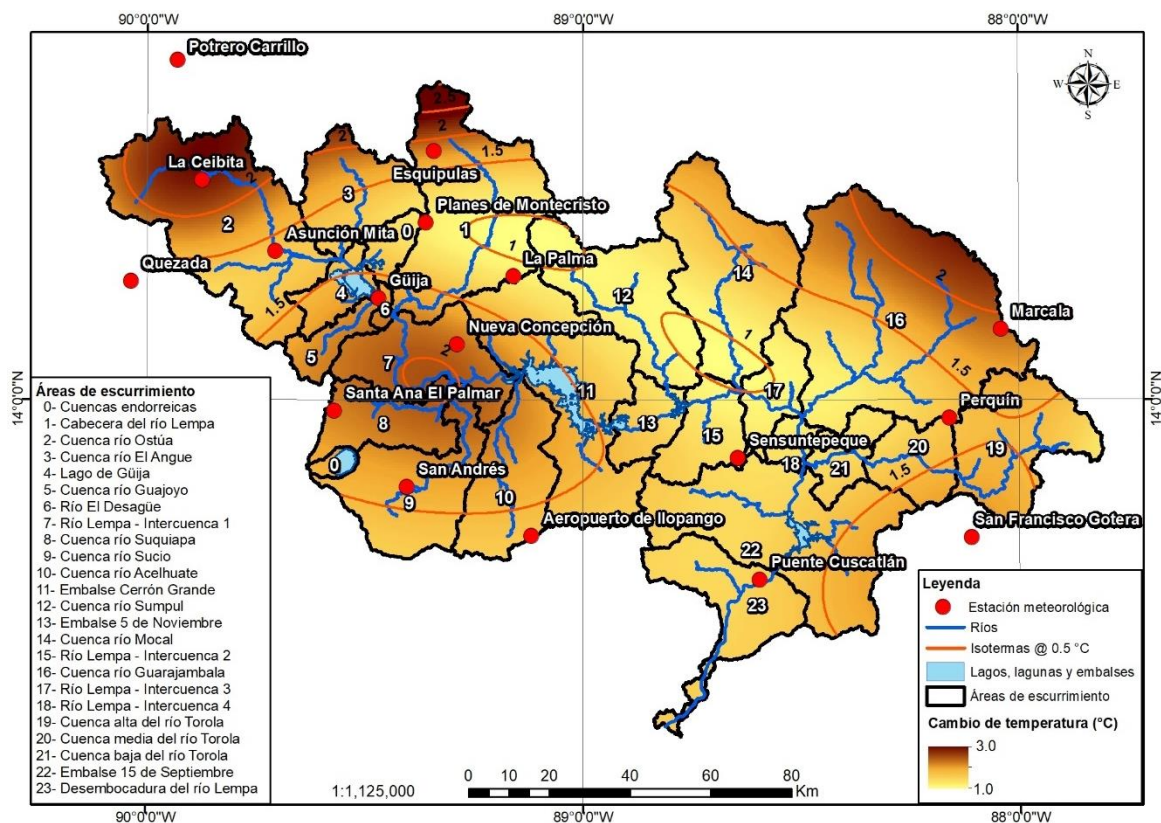


**Figura 35.** Cambios en la precipitación promedio multianual desde el período histórico de referencia hacia el proyectado futuro en la cuenca del río Lempa.

En cuanto a la temperatura, todas las cuencas presentaron tendencias anuales superiores a las históricas, presentando un ajuste de la tendencia del modelo climático casi paralelo a la de los registros históricos en solo tres cuencas: Ostúa (2), Acelhuate (10) y la desembocadura del río Lempa (23); luego, ocho cuencas presentaron un ajuste aceptable, con incremento de la temperatura hacia el horizonte del año 2050, inferior o en torno a 1°C sobre el incremento de la tendencia histórica, estas cuencas son: El Angue (3), Cerrón Grande (11), Sumpul (12), Intercuenca 2 (15), Intercuenca 3 (17), Intercuenca 4 (18), la cuenca baja del Torola (21) y 15 de Septiembre (22). Las doce cuencas restantes presentaron incrementos en torno a los 2 °C sobre el incremento de la tendencia histórica, estas son: Cabecera (1), Güija (4), Guajoyo (5), El Desagüe (6), Intercuenca 1 (7), Suquiapa (8), Sucio (9), 5 de Noviembre (13), Mocal (14), Guarajambala (16), y las cuencas alta (19) y media (20) del Torola. Los cambios entre climatologías se muestran en la **Figura 36** que se incluye en el **Anexo 01** junto con el período histórico y futuro.

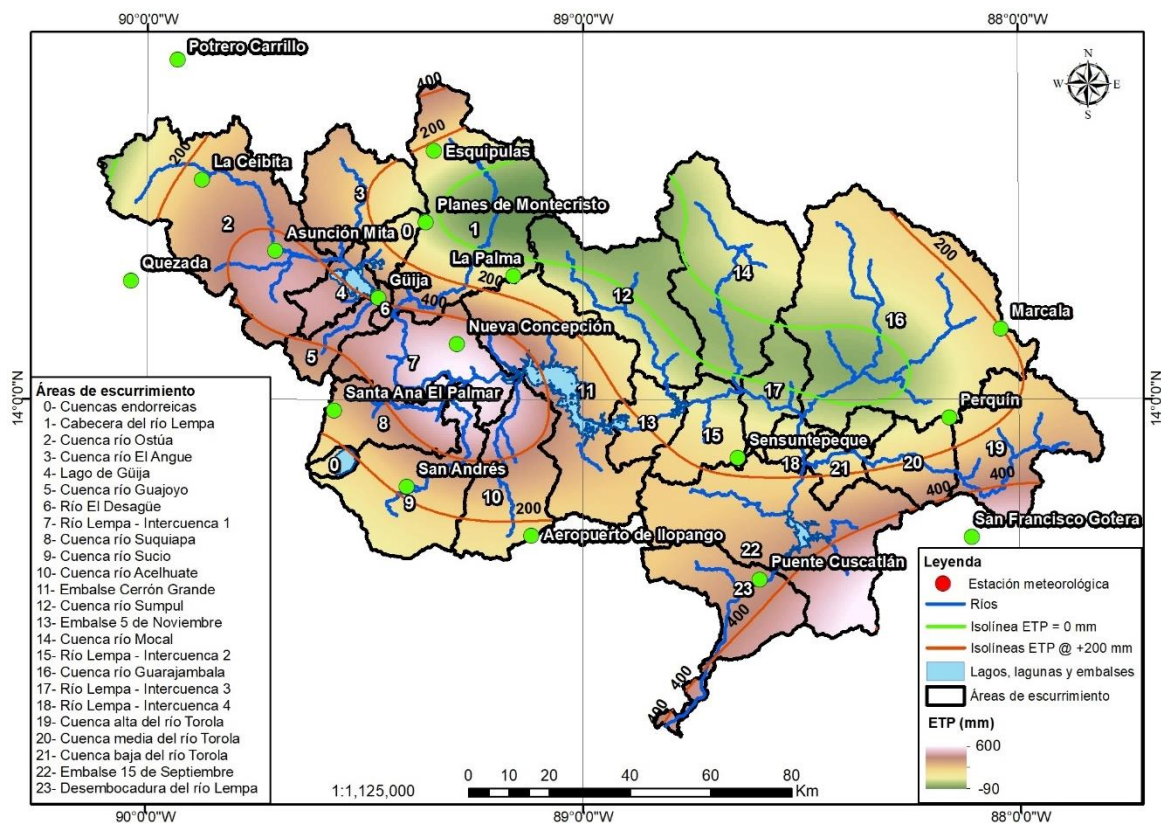
A partir de estos resultados, se concluye que la cuenca del Lempa está medianamente simulada por el modelo climático, en cuanto a las tendencias de temperatura promedio anual históricas y proyectadas, presentando los mejores ajustes en torno al río lempa, en todas las intercuenas, embalses y algunas cuencas afluentes; por otra parte, cabe destacar que ninguna cuenca presentó tendencias al enfriamiento, sino que todas van desde casi mantener el promedio de la temperatura histórica (muy pocas), hacia incrementarla (la mayoría), de modo que en la simulación climática, no hay disparidad en cuanto a enfriamiento o calentamiento de ninguna cuenca, sino solo en la tasa de cambio con que se incrementa la temperatura.

En este punto cabe destacar que también se realizaron pruebas con el modelo climático “ccsm4\_rl1lp1”, el cual, en tendencias anuales de precipitación no mostró buen ajuste en ninguna cuenca, pero en temperaturas anuales fue muy superior al “cesm1\_cam5\_rl1lp1”, alcanzando buen ajuste en 4 cuencas, aceptable en 12, y mal en 7.



**Figura 36. Cambios en la temperatura promedio multianual desde el período histórico de referencia hacia el proyectado futuro en la cuenca del río Lempa.**

Los resultados para la evapotranspiración potencial son similares a los de temperatura, pues para su estimación se utilizó la formulación de Thornthwaite; sin embargo, existen variaciones por la incidencia de la latitud del centroide geográfico de cada cuenca, que, aunque no son suficientes para desviar las tendencias anuales de ETP con respecto a T en cada estación, sí lo son para cambiar las tendencias espaciales de la extrapolación por el método “spline” que se muestran en la **Figura 37**, incluida también en el **Anexo 01**, junto con los mapas de las climatologías histórica de referencia y futura proyectada. Cabe destacar también que esta extrapolación es utilizada solo como referencia visual de los posibles cambios en las cuencas, pero no se utiliza en el modelo hidrológico, donde se utilizaron los polígonos de Thiessen para estimar las variables climáticas por cuenca, dada su eficiencia para el cálculo de estas variables a nivel diario. La ETP se estima que se incrementará principalmente en las cuencas que drenan de la cadena volcánica hacia el valle central y disminuirá en las que drenan desde la cadena montañosa del norte.



**Figura 37.** Cambios en la ETP promedio multianual desde el período histórico de referencia hacia el proyectado futuro en la cuenca del río Lempa.

Con los resultados de la corrección de sesgos del modelo “cesm1\_cam5\_r1i1p1”, se realizó la reducción de escala temporal a paso diario, para extender las simulaciones hidrológicas en régimen natural. Como resultado de este proceso, en la **Figura 38**, se muestran tres patrones encontrados entre precipitación acumulada anual “P” (mm), evapotranspiración potencial acumulada anual “ETP” (mm) y caudales naturales promedio anuales “Q.nat” ( $m^3/s$ ), además del patrón final en la desembocadura del río Lempa; para estos gráficos, es importante mencionar que la P y ETP corresponden a la de la cuenca local, y no a la ponderada de toda la cuenca hasta ese punto, mientras que los caudales sí consideran las aportaciones totales hasta el punto de salida de la cuenca mencionada.

El primer patrón, **Figura 38 A**, correspondiente al del río Ostúa, muestra P y ETP incrementando en el tiempo, mientras que Q.nat tiene a decrecer, esto debido a que la ETP incrementa a una tasa mayor que la P, reduciendo los caudales naturales disponibles de cara al futuro; y, considerando que Ostúa es una cuenca bien simulada por el modelo climático en P y ETP, esto denotaría una importante disminución de recurso hídrico disponible para el lago de Güija y la CH Guajoyo, pues el río Ostúa es su principal afluente.

El segundo patrón, **Figura 38 B**, para el río Sucio, muestra a P estable en el tiempo, pero la ETP incrementa, reduciendo el Q.nat disponible, y siendo esta la cuenca con la mayor demanda consuntiva, podrían existir conflictos entre usuarios dentro de sus ríos afluentes.

El tercer patrón, **Figura 38 C**, para el río Torola en su cuenca media, tanto P, ETP y Q.nat tienden a incrementarse en el tiempo, esto debido a que la P crece a una tasa mayor que la ETP, por lo que la disponibilidad de agua se incrementa, aunque las pérdidas también lo hagan, contrario al río Ostúa donde se generan caudales decrecientes.

El último patrón es el de la desembocadura del Lempa, de donde tiene cuenta analizar la tendencia de Q.nat por ser global de la cuenca, mientras que P y ETP son locales; en dicho punto, se nota que la disponibilidad de caudales naturales tendería a disminuir levemente de cara a la climatología futura 05/2020-04/2050, por lo que el cambio climático “CC” afectaría más a las cuencas afluentes que al río principal.

Las tendencias anuales en precipitación, evapotranspiración potencial y caudales naturales simulados para cada cuenca se adjuntan en el **Anexo 02**.

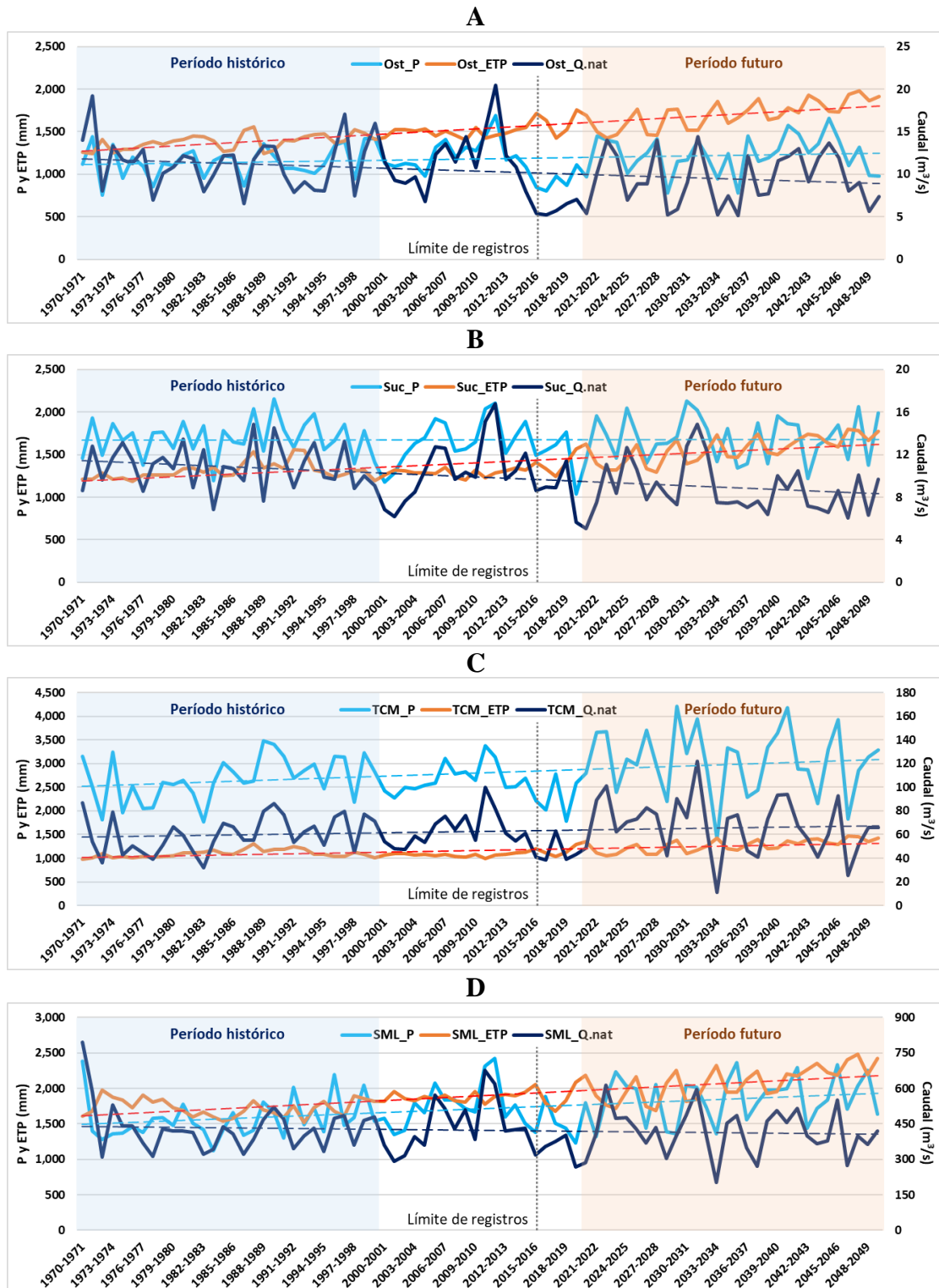
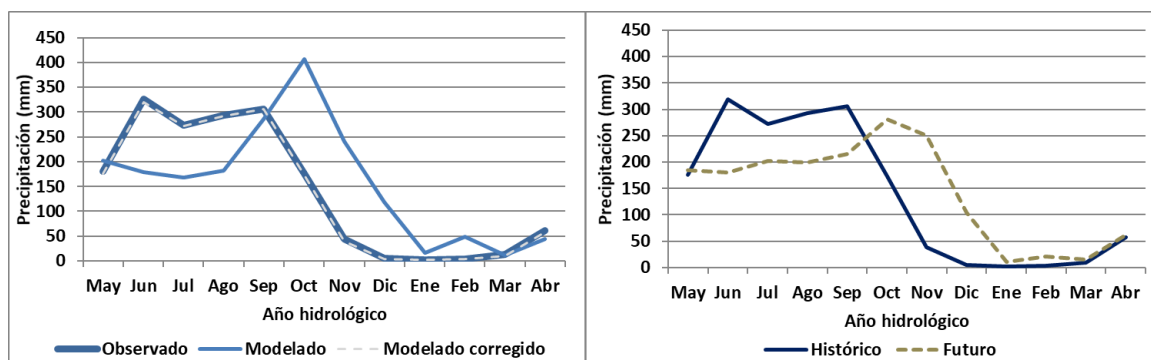


Figura 38. Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P”, evapotranspiración potencial “ETP” y caudal natural “Q.nat”, en período histórico y futuro. A: río Ostúa “Ost”; B: río Sucio “Suc”; C: Torola cuenca media “TCM”; y D: desembocadura del río Lempa en la EH San Marcos Lempa “SML”.

### 6.8. Evaluación de la alteración del régimen fluvial natural futuro

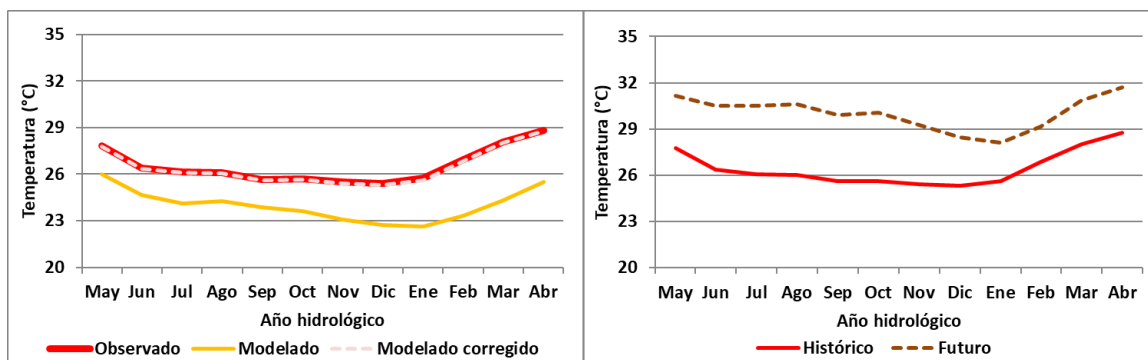
A pesar que el modelo “cesm1\_cam5\_r1i1p1” mostró de aceptable a buena habilidad para replicar las tendencias anuales de precipitación de cara al futuro, no mostró buena habilidad para representar la variabilidad intra-anual del régimen de precipitaciones para ninguna estación; la corrección de sesgos permitió ajustar los volúmenes precipitados mas no la variabilidad mensual como se muestra en la **Figura 39** para la estación meteorológica “EM” Nueva Concepción, en donde a la izquierda, se muestra el resultado de la corrección de sesgos en el período común de datos; y a la derecha, la comparación de corrección de sesgos en período con datos y período futuro modelado, en esta última, se destaca una estación húmeda de acumulados menores, pero extendida hasta diciembre y con un máximo que se atrasa de septiembre a octubre; el mes de transición de estación húmeda a seca desaparece, y el mes de transición de estación seca a húmeda se mantiene, lo que acorta la estación seca de seis a cuatro meses. Este comportamiento se encontró en todas las estaciones con algunas variaciones entre ellas.



**Figura 39.** Comparación de precipitación mensual promedio interanual en la EM Nueva Concepción. Izquierda: Datos observados, modelados y modelados corregidos para el período común entre registros y modelo 1979-2016. Derecha: Datos modelados corregidos para el período histórico 1979-2016 y período futuro completo 2017-2099.

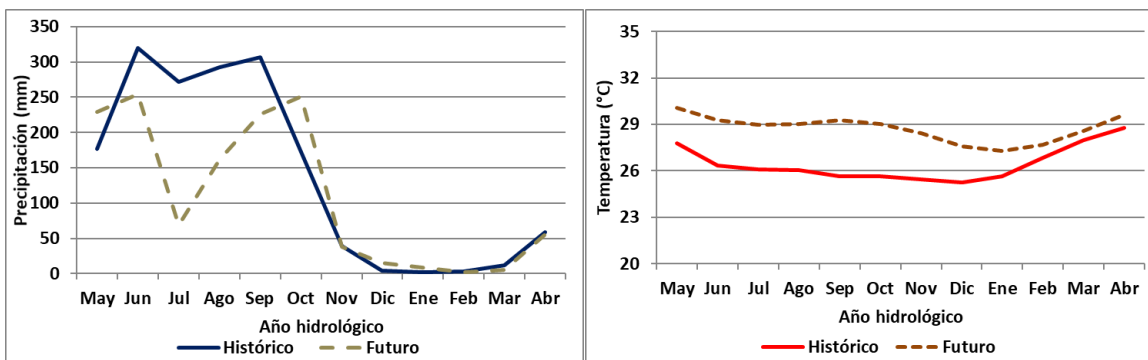
En cuanto a temperatura, ocurre lo contrario que en precipitación, pues aunque el modelo “cesm1\_cam5\_r1i1p1” presentó habilidad de aceptable a mala para representar las tendencias anuales registradas, sí mostró buena habilidad para representar la variabilidad intra-anual de la temperatura, como se muestra en la **Figura 40 izquierda** para la EM Nueva Concepción; donde el modelo tiene el mismo comportamiento que los registros, necesitando solo corrección de magnitud.

En la **Figura 40 derecha**, que muestra los promedios históricos y futuros corregidos por sesgos, se aprecia que la variabilidad intra-anual, en cuanto al momento en que ocurren los máximos y mínimos se mantiene de cara al futuro, variando solo la magnitud. Estos resultados se presentaron también en todas las EM, con leves variaciones entre ellas.



**Figura 40.** Comparación de temperatura mensual promedio interanual en la EM Nueva Concepción. Izquierda: Datos observados, modelados y modelados corregidos para el período común entre registros y modelo 1979-2016. Derecha: Datos modelados corregidos para el período histórico 1979-2016 y período futuro completo 2017-2099.

Como complemento, cabe destacar los resultados del modelo “ccsm4\_r1i1p1” a este respecto. En la **Figura 41 izquierda**, se muestra que la habilidad de este modelo para replicar el régimen mensual de precipitaciones es relativamente mejor que la del modelo “cesm1\_cam5\_r1i1p1”, sin embargo, como se indicó anteriormente, su habilidad para replicar las tendencias anuales no fue buena en ninguna estación; por otra parte, en la **Figura 41 izquierda** se aprecia que el modelo “ccsm4\_r1i1p1” no tiene tan buena habilidad para replicar la variabilidad intra-anual de temperatura, aunque sus tendencias anuales fueron todas superiores a las del modelo en uso: “cesm1\_cam5\_r1i1p1”.



**Figura 41.** Comparación de valores mensuales promedios interanuales del modelo “ccsm4\_r1i1p1” para la EM Nueva Concepción, en los períodos histórico (1979-2016) y futuro (2017-2099). Izquierda: Precipitación modelada corregida por sesgos. Derecha: Temperatura modelada corregida por sesgos.

Finalmente, los resultados de las simulaciones hidrológicas respondieron de forma consecuente a la variabilidad intra-anual de la precipitación del GCM, con la diferencia que el mes de transición de la estación seca a la lluviosa, que se había adelantado a abril, no se presentó en el caudal simulado, posiblemente como resultado de la falta de habilidad del modelo en todos los ríos para simular las primeras crecidas del año, como se muestra con las líneas grises continuas de las gráficas de la **Figura 33**.

En cuanto al cumplimiento de caudales ecológicos, la alteración introducida por Cambio Climático “CC” a los caudales naturales, produjo una reducción significativa durante toda la estación lluviosa, de manera que la mayoría de los ríos en el primer cuatrimestre se encuentran levemente por encima del umbral establecido como caudales mínimos por mes. Los caudales máximos se presentan de octubre a noviembre, y en algunos ríos hasta diciembre, lo que recorta de uno a dos meses la estación seca; y, sin haber mes de transición entre estaciones climáticas, se entra a la estación seca con caudales base ligeramente superiores a los del período histórico, y superando en algunos casos, el umbral para los caudales máximos.

En la **Figura 34** se incluyen los porcentajes de alteración global, que se producirían por CC en los caudales naturales, en ella, los ríos más alterados serían Torola con 1,885% de alteración, principalmente por exceso de caudal en noviembre, diciembre y abril; río El Angue con 1,597% de alteración, por exceso de caudal en los mismos meses que Torola; y Guarajambala con poco más de 1,153% de alteración, principalmente por los caudales altos de diciembre. Los ríos más afectados por caudales bajos son todos los de la parte alta de la cuenca del Lempa, exceptuando la cabecera, además del río Sucio y Guarajambala; con reducciones entre -56% y -62%, principalmente entre los meses de agosto y septiembre, por la intensificación del período canicular, que al igual que el resto de características hidrológicas, se ve desfasado entre uno y dos meses.

Tablas con caudales promedio mensuales interanuales naturales en período futuro, y su porcentaje de alteración con respecto a los caudales del período histórico se incluyen en el **Anexo 02**.

## 6.9. Evaluación de la alteración en la disponibilidad de agua para usos productivos

### 6.9.1. Demandas de agua futuras y alteración de caudales futuros

La variabilidad intra-anual incide en las demandas agrícolas y energéticas, las primeras debido a las fechas de siembra y a la etapa de desarrollo de cultivo, para las cuales ya no se tiene el mismo régimen de mínimos y máximos de precipitación y temperatura. En la **Figura 42** se aprecian estos cambios entre dos cuencas contiguas con distintos gradientes de precipitación y bajo condiciones de temperatura opuestas: el río Ostúa y la Cabecera del Lempa. Del período histórico hacia el futuro, en la cuenca del Ostúa que es más seca y cálida, el requerimiento de agua de cultivo “RAC” para el maíz se incrementa para la primera siembra, debido a la reducción de la precipitación durante esos meses en el GCM; luego, el RAC se disminuye en la segunda siembra por encontrarse en los meses con los máximos acumulados de lluvia; y en la tercera siembra se incrementa dado el incremento en la ETP para el final del año hidrológico; por el contrario, en la cabecera del río Lempa, el RAC se reduce para el período futuro en las primeras dos siembras, mientras que se incrementa en la tercera, debido al incremento de la ETP.

De esta manera, cada cuenca se ha visto afectada según sus cambios en P, ETP, caudales disponibles y áreas de cultivo.

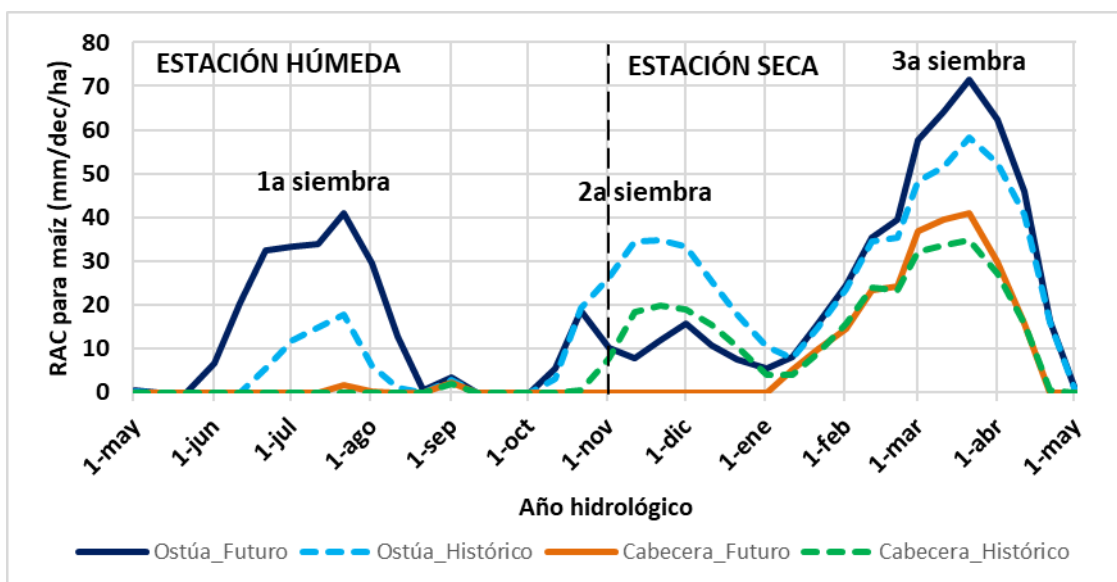
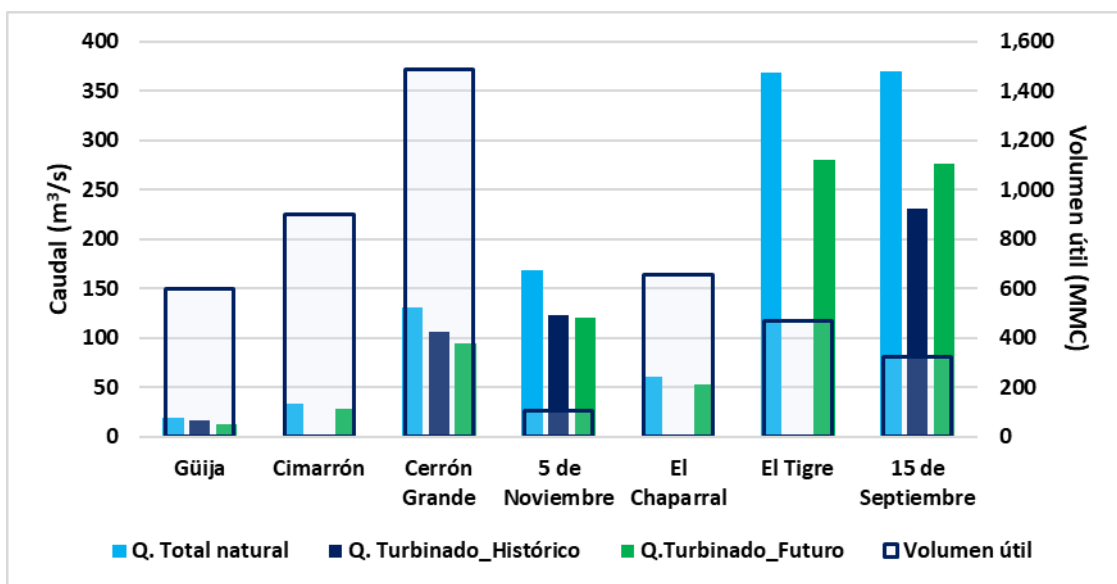


Figura 42. Comparación del Requerimiento de Agua de Cultivo “RAC” para maíz, en cuencas de gradientes pluviométricos opuestos: Cabecera del río Lempa y río Ostúa, para el período histórico y futuro.

Por su parte, debido a su capacidad de almacenamiento, las DE se ven menos afectadas por los cambios climáticos del período futuro y el aumento en las demandas de agua consuntivas, sin embargo, a pesar de ello se encontraron reducciones en los caudales turbinados, siendo que, Guajoyo turbinaría -25% de los caudales históricos, por encontrarse en la zona más afectada por Cambio Climático; Cerrón Grande turbinaría -10.9%, reduciendo las pérdidas por el almacenamiento extra de Cimarrón; 5 de Noviembre turbinaría -1.3%, manteniéndose casi invariable debido a que funciona a filo de agua; y 15 de Septiembre +19.7%, por al almacenamiento extra de las CH El Tigre y El Chaparral. En la **Figura 43** se muestra la comparación entre los caudales naturales históricos, el promedio de caudales turbinados para los períodos histórico y futuro, y el volumen útil de cada embalse. Las CH Cimarrón y El Chaparral se simularon con las reglas operativas de la CH Guajoyo en el Lago de Güija, por contar con los caudales naturales y volúmenes útiles disponibles de mayor similitud, por lo que ambas centrales, invierten el ciclo hidrológico en la cabecera de la cuenca y el río Torola, respectivamente, descargando caudales mayores en la estación seca que en la húmeda. La CH El Tigre funciona casi como central a filo de agua, pues se simuló con las reglas operativas de la CH 15 de Septiembre. Un mapa con la ubicación y el área que cubrirían estos embalses se incluye en el **Anexo 01**.



**Figura 43.** Comparación del caudal natural histórico, los caudales turbinados en período histórico y futuro, y el volumen útil de cada embalse operativo y proyectado en la cuenca del río Lempa.

En las gráficas de la **Figura 33** se muestran los caudales alterados futuros con líneas negras cortadas y punteadas, para las principales cuencas y la desembocadura del río Lempa; la gráfica “**A**” muestra que el río Acelhuate, con la mayor DP, mantendría su régimen hídrico mensual dentro de los márgenes del caudal ecológico con incumplimientos poco significativos, en septiembre por déficit de caudal en torno a -57%, permitiendo el régimen ecológico hasta una reducción máxima de -55% del caudal natural, e incumplimientos por exceso de caudal en noviembre con 173% sobre 157% permitido, y diciembre con 134% sobre 117% permitido. La gráfica “**B**” muestra que el río Sucio, con la mayor DA, tendría reducciones significativas en sus aportaciones de junio a septiembre, pero sin incumplir los caudales ecológicos; mientras que los incumpliría en diciembre por exceso de caudal con 165% sobre el 107% permitido, y por déficit de caudal, en enero con -59% del -52% permitido, en febrero con -51% del -49% permitido, y en marzo con -69% de -46% permitido, alcanzando la degradación de ecosistemas acuáticos por períodos prolongados, debido al incremento en las demandas agrícolas en la estación seca.

Ahora, las mayores alteraciones se dan en el propio río Lempa, como se muestra en la gráfica “**C**” para Cerrón Grande, donde se ubica la mayor DE, ahí, los caudales ecológicos se incumplirían por déficit de junio a octubre, alcanzando “degradación intensa” en septiembre con el -95% de los caudales naturales; y se incumplirían por exceso de caudal, desde diciembre hasta mayo, con valores que van desde +85% hasta +250% de los caudales naturales; ambas condiciones de déficit y exceso debidas a la inversión del régimen hídrico en el Lago de Güija por la central Guajoyo y en la cabecera por la central Cimarrón.

En la desembocadura de la cuenca, en la EH San Marcos Lempa “SML”, gráfica “**D**”, el régimen ecológico se incumpliría por déficit de agosto a septiembre, con valores de reducción superiores a -60%, y por exceso de caudal desde noviembre hasta abril, con valores que van desde +98% hasta +243%; denotando que, se podrían tener conflictos por uso de agua en el período de canículas o veranillo, entre julio y agosto, contrario al período histórico, cuando estos déficits no se presentaron en el cauce del Lempa; por otra parte, procesos erosivos mayores a los que ya se tienen en la desembocadura del río, se producirían en la estación seca debido al alto porcentaje de incremento de caudales.

### 6.9.2. Evaluación de la disponibilidad de agua para usos productivos

La disponibilidad de agua para usos productivos es el caudal remanente entre el caudal alterado y el umbral mínimo del caudal ecológico, por lo que, hasta este punto que se tienen dichos umbrales y los caudales alterados en los períodos histórico y futuro, es que es posible conocer los cambios en dicha disponibilidad de agua.

En el período histórico, solamente la cuenca del lago de Güija y el río El Desagüe habían utilizado todo el caudal disponible desde junio hasta septiembre por el efecto de la central Guajoyo; además del río El Angue, que en marzo lo utiliza todo por las DA. En el período futuro las condiciones cambian considerablemente, pues solo las cuencas Sumpul, Mocal y el Torola alto y bajo, se mantienen con caudales mensuales por encima del caudal ecológico en todos los meses (**Figura 44**); otras cuencas que se mantienen en relativo buen estado, con solo un mes en el que se tienen cambios de -100% del caudal disponible para usos productivos, son: Ostúa, Suquiapa, Acelhuate, Garajambala y la cuenca media del Torola. Por el contrario, las cuencas más afectadas que presentaron un cambio de -100% en la disponibilidad durante tres a cinco meses, son principalmente las que tienen incidencia de CH y en menor medida por DA, estas son: Cabecera del Lempa, El Angue, Güija, Guajoyo, El Desagüe, Intercuenca 1, Sucio, Cerrón Grande, 5 de Noviembre, Intercuenca 2, Intercuenca 3 y 15 de Septiembre.

Cuadros con los caudales alterados en período futuro y su porcentaje de alteración con respecto al régimen natural histórico se incluyen en el **Anexo 02**, así como los cuadros con la disponibilidad de agua para usos productivos en los períodos histórico y futuro; y un cuadro con el porcentaje de cambio entre ambos períodos.

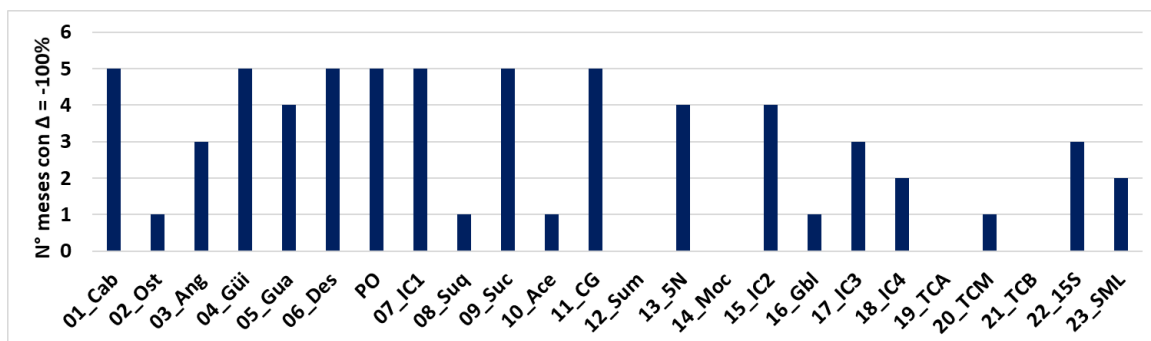


Figura 44. Número de meses con 0% de disponibilidad de agua para usos productivos en escenario futuro.

## 7. Conclusiones

### 7.1. Sobre la determinación de las aportaciones en régimen natural de la cuenca, de acuerdo al período histórico base de 30 años

La naturalización de caudales permitió remover gran parte de la alteración de los registros hidrométricos; en las cuencas afluentes a través de las DP y DA estimadas; y en el río Lempa con el balance de agua de los cuatro embalses de las principales CH; este proceso resultó satisfactorio al reestablecer el régimen hídrico típico para ríos en el Corredor Seco Centroamericano, es decir, con estación húmeda de mayo a octubre, estación seca de noviembre a abril, caudales máximos entre junio y septiembre, caudales mínimos entre febrero y abril, y la disminución típica de las canículas o veranillo entre julio y agosto. En el lago de Güija el régimen estaba invertido con caudales bajos de mayo a octubre y caudales altos de noviembre a abril; en Cerrón Grande y 5 de Noviembre los caudales descargados oscilaban de 0 a 200 m<sup>3</sup>/s de un día a otro y de forma constante en todo el año; mientras que en 15 de Septiembre y San Marcos Lempa, las alteraciones se encontraban principalmente en la estación seca. Estas alteraciones y otras menores fueron restituidas en su mayoría.

La habilidad del modelo hidrológico para replicar los caudales naturalizados, se evaluó con siete coeficientes, definidos en HBV Light como poblaciones “P”, sus resultados fueron: P1= eficiencia del modelo “Reff”, se ajustó a los caudales altos y simuló mal los caudales bajos; P2= coeficiente de determinación “R2”, se ajustó a la forma del hidrograma, pero no a la magnitud de los caudales; P3 = Eficiencia con base al logaritmo natural de los caudales “LogReff”, se ajustó a los caudales bajos, pero no a los altos; P4= coeficiente con que se buscó equilibrar las bondades de los tres coeficientes base:  $0.3\text{Reff} + 0.3\text{R2} + 0.4\text{LogReff}$ , se ajustó a caudales altos, bajos y a la forma del hidrograma, resultó ser ligeramente superior al P5, y significativamente superior al resto de coeficientes; P5=  $0.5(\text{Reff} + \text{LogReff})$ , busca equilibrar caudales altos con bajos y presentó buenos resultados; P6=  $0.5(\text{R2} + \text{LogReff})$ , busca equilibrar la forma del hidrograma con los caudales bajos, pero por lo general presentó ajustes insatisfactorios; y P7=  $0.5(\text{Reff} + \text{R2})$ , busca equilibrar caudales altos y la forma del hidrograma, y también presentó resultados insatisfactorios.

Se evaluaron dos procesos de calibración: el Algoritmo Genético para optimización de Parámetros “GAP” y corridas de Monte Carlo “MC”, para los que en la versión final del modelo se realizaron 880,000 y 35,000,000 de corridas, respectivamente; ambos procesos se emplearon solo en las cuencas individuales, de manera que no se tuviera la influencia de cuencas afluentes que añadieran variabilidad a los resultados. A la vez, se probaron los siete coeficientes de habilidad, con 1,000,000 de corridas en MC y 20,000 en GAP para cada “P”. Como resultado, GAP fue superior que MC, obteniendo resultados iguales o superiores, en un décimo del tiempo y con una centésima parte de las corridas.

La calibración de los modelos hidrológicos permitió constatar que el proceso de naturalización, principalmente en los embalses, fue correcto, pues se obtuvieron altos coeficientes de habilidad en los 11 puntos de control y a lo largo del río Lempa, cuyo régimen hídrico se encuentra totalmente perturbado; los coeficientes fueron: en la cuenca alta en EH Paso del Oso  $P4=0.835$ , en la cuenca media en CH Cerrón Grande  $P4=0.875$  y en CH 5 de Noviembre  $P4=0.879$ , en la cuenca baja en CH 15 de Septiembre  $P4=0.893$ , y en la desembocadura en EH San Marcos Lempa  $P4=0.884$ ; en el lago de Güija en CH Guajoyo  $P4=0.726$ ; mientras que en las cuencas afluentes menores, las calibraciones resultaron con habilidad inferior, posiblemente por su régimen más torrencial y por microclimas que puedan haber en ellas que no son capturados por la red de estaciones utilizada; los coeficientes de habilidad fueron: para El Angue en EH Los Puentes  $P4=0.727$ , para Guajoyo en EH San Francisco  $P4=0.652$ , para Suquiapa en EH Las Pavas  $P4=0.684$ , para Sucio en EH El Jocote  $P4=0.666$  y para Torola en EH Osicala  $P4=0.662$ .

Lo anterior permite concluir que se obtuvieron caudales naturales para el período histórico de referencia, con la suficiente fiabilidad para realizar proyecciones de cambio climático y evaluaciones de caudales alterados por demandas consuntivas y no consuntivas, definiéndose las aportaciones medias mensuales interanuales en régimen natural para la desembocadura del río Lempa, desde los 600 m<sup>3</sup>/s hasta los 1,200 m<sup>3</sup>/s durante la estación lluviosa de junio a octubre; entre 200 m<sup>3</sup>/s y 300 m<sup>3</sup>/s durante los meses de transición en mayo y noviembre; y desde los 150 m<sup>3</sup>/s hasta los 86 m<sup>3</sup>/s durante la estación seca de diciembre a abril; cumpliendo el primer objetivo específico de la investigación.

## **7.2. Sobre el grado de alteración del régimen fluvial de la cuenca evaluando las principales demandas de agua**

El análisis de la alteración por demandas consuntivas (DP + DA) mostró que las principales cuencas afluentes y el mismo río Lempa, cumplen a nivel promedio mensual interanual con el caudal ecológico propuesto en el período histórico, con la única excepción del río El Angue en el mes de marzo. Esto no implica que no existan momentos en los que en algún río no se hayan cumplido los caudales ecológicos, sino que implica que no existen alteraciones permanentes, que mantengan a los ríos bajo continuas condiciones de estrés hídrico y degradación de los ecosistemas acuáticos. Los porcentajes de alteración acumulados anualmente más altos, se determinaron en: río El Angue con 200%, río Guajoyo con 121% y río Sucio con 113%, de los que 197%, 114% y 102%, respectivamente, son reducciones de caudal que se acumulan de noviembre a abril por las altas DA.

En cuanto a la alteración por demandas no consuntivas (DE), las cuencas lago de Güija y río El Desagüe, resultaron las más alteradas debido a la inversión de su régimen hídrico por la CH Guajoyo, descargando caudales bajos durante la estación lluviosa (de -79% a -67% de los caudales naturales) y caudales de más del doble de magnitud de los caudales naturales durante la estación seca (de +200% a +365%). A partir de la confluencia del río El Desagüe con la Cabecera en Paso del Oso, todo el cauce del río Lempa presenta incumplimiento del caudal ecológico durante la estación seca por exceso de caudales, desde diciembre hasta abril, siendo siempre marzo el mes más crítico, en el que desde aguas arriba hacia aguas abajo se tienen excesos de caudal de: +118% en Intercuenca 1, +135% en Cerrón Grande, a partir de este punto, las cuencas naturales Sumpul (-1%), Mocal (0%), Guarajambala (-3%) y Torola (-10%) permiten disminuir la alteración del río, siguiendo con +114% en 5 de Noviembre, +112% en Intercuenca 2, +81% en Intercuenca 3; +83% en Intercuenca 4, +79% en 15 de Septiembre y +65% en la desembocadura en San Marcos Lempa.

Lo anterior da cumplimiento al segundo objetivo específico, y en suma, refleja que en lo concerniente a volúmenes de agua durante el período histórico, las principales cuencas afluentes se han encontrado en buen estado, al contrario que el Lago de Güija, el río El Desagüe y el propio cauce del río Lempa.

### **7.3. Sobre los cambios en las aportaciones medias de los ríos de acuerdo a un escenario de Cambio Climático de alta emisión de gases de efecto invernadero para el período futuro**

El modelo de circulación general “GCM” utilizado “cesm1\_cam5\_r1i1p1”, tiene buena habilidad para replicar las tendencias anuales de precipitación “P”, pero mala para replicar su variabilidad intra-anual; en cuanto a temperatura “T” las tendencias anuales no se ajustaron a las registradas por estaciones meteorológicas, pero sí replicó bien la variabilidad intra-anual; por lo tanto, las evaluaciones en la disponibilidad de agua en régimen natural, para el período futuro, tienen mayor validez en los caudales medios anuales que en los medios mensuales. La proyección mostró que en precipitación (**Figura 35**) la cuenca baja del río Lempa y las cuencas que drenan de la cadena montañosa del norte se volverán más húmedas, mientras que las que drenan de la cadena volcánica hacia el Valle central, pasarán de volverse ligeramente más húmedas en la parte alta a mucho más secas en la parte baja, en torno al embalse Cerrón Grande. En cuanto a temperatura (**Figura 36**), toda la cuenca se volverá más cálida, principalmente en la parte alta de las cuencas: Ostúa, Angue, Güija, Guajoyo, Suquiapa, Intercuenca 1 y Guarajambala. En ETP (**Figura 37**), se presentará un comportamiento similar, pero incrementándose también en la cuenca baja en torno al embalse 15 de Septiembre y la desembocadura; y disminuyendo en las cuencas que drenan de la cadena montañosa del norte: Cabecera, Sumpul, Mocal y Guarajambala.

A escala mensual, el GCM “cesm1\_cam5\_r1i1p1”, se caracteriza por producir una estación húmeda de acumulados menores de lluvia, pero extendida hasta diciembre y con un máximo que se atrasa de septiembre a octubre; el mes de transición de estación húmeda a seca desaparece, y el de estación seca a húmeda se mantiene en la mitad de las cuencas, y en otras, se vuelve parte de la estación húmeda, lo que acorta la estación seca de seis a tres meses; por otra parte, en T y ETP, el modelo simula la variación intra anual de forma correcta. Estas características producen en los caudales naturales futuros, que se incumpla el umbral de caudal ecológico máximo, durante toda la estación seca, con porcentajes que alcanzan hasta los 300% de los caudales naturales, con excepción de los ríos Ostúa, Suquiapa y Sucio, que se mantienen con caudales similares a los históricos por tres meses.

Para la estación lluviosa todas las cuencas reducen sus aportaciones mensuales en torno al -30%, llegándose a presentar en las cuencas afluentes de la cuenca media y alta del Lempa incumplimientos al umbral mínimo de caudales ecológicos entre agosto y septiembre. Estos resultados dan cumplimiento al tercer objetivo específico de la investigación.

Ahora, como alternativa para mejorar las simulaciones a nivel intra-anual, se evaluó el GCM “ccsm4\_r1i1p1”, que presentó habilidad inversa a la del “cesm1\_cam5\_r1i1p1”, pues no replicó bien las tendencias anuales de lluvia, pero sí la variabilidad intra-anual; mientras que en temperatura, las tendencias anuales sí fueron bien replicadas, pero no la variabilidad intra-anual. Con base a esto, se recomienda que para proyecciones de cambio climático en la cuenca del río Lempa, se utilice un promedio ponderado de ambos GCM, de manera que se capturen en alguna medida, las bondades de cada uno; o utilizar una envolvente de varios modelos, entre los que también se podría considerar al GCM “ccsm4\_r2i1p1”, que también presentó buena habilidad para replicar la variabilidad intra-anual de precipitación, aunque sus tendencias anuales no fueron evaluadas.

#### **7.4. Sobre los cambios en la disponibilidad del recurso hídrico para mantenimiento de ecosistemas acuáticos de los ríos y para usos productivos en los principales rubros**

La alteración de caudales futuros mostró que, los cambios en la disponibilidad de agua para usos productivos, se producirían en primer lugar por el Cambio Climático, dada la extensión de la estación lluviosa desde seis hasta ocho meses y su disminución mensual en los volúmenes de precipitación, características inherentes del GCM cesm1\_cam5\_r1i1p1, condiciones que cambiarían al utilizar otro GCM o una envolvente de los mismos, como se indicó en la conclusión anterior. En segundo lugar, los cambios se producirían por las demandas energéticas de las CH actualmente operativas y las proyectadas; las nuevas condiciones generarían que durante la estación lluviosa se sobrepase el umbral mínimo de caudales ecológicos, alcanzando cambios en la disponibilidad de agua de -100% en la cuenca media y alta del Lempa, en donde las mayores alteraciones estarían en: La Cabecera, que invertiría su régimen hídrico por la CH El Cimarrón, superando el -100% durante la estación lluviosa y hasta +800% en marzo y abril; luego, el lago de Güija y el río El Desagüe

mantienen la inversión del régimen hídrico por la CH Guajoyo (**Figura 32**), con disponibilidad de agua para usos productivos igual a cero desde junio hasta octubre, y alcanzando el estado de degradación intensa de los ecosistemas durante cuatro meses, de julio a octubre. A partir de la confluencia en Lempa del río El Desagüe y la Cabecera, todo el cauce es afectado de la misma manera hacia aguas abajo, hasta Cerrón Grande (**Figura 33 C**), donde la disponibilidad de agua para usos productivos se mantiene en cero desde junio hasta octubre, y a pesar de la incorporación de las aportaciones de las cuencas afluentes al embalse y de los ríos Suquiapa, Sucio y Acelhuate, el estado de degradación intensa se mantiene por casi tres meses, desde agosto hasta octubre. Posteriormente, desde el embalse 5 de Noviembre, la alteración se mantiene casi como en Cerrón Grande, pero el río comienza a recuperarse, debido a la incorporación de las grandes cuencas afluentes en estado casi natural: Sumpul, Mocal y Guarajambala, llegando a recortar la nula disponibilidad de agua para usos productivos al trimestre julio-septiembre; luego, previo a alcanzar la cuenca baja, el río Torola, que en el período histórico era un río casi natural, incorpora en el período futuro más alteración debido a la CH El Chaparral, cuyas alteraciones se darían principalmente en la estación seca, con caudales descargados que oscilan entre +400% y +2,000% de los caudales naturales históricos; mientras que las centrales El Tigre y 15 de Septiembre, incorporan ambas poca alteración, al contar con baja capacidad de almacenamiento con respecto a los caudales que circulan por ellas.

En tercer lugar y en mucho menor magnitud, los cambios en la disponibilidad de agua para usos productivos, se dan por el incremento en las demandas consuntivas. Las cuencas más afectadas en esta área, presentarían el consumo total de la disponibilidad ( $\Delta=-100\%$ ) o gran parte de ella durante tres meses, entre julio y septiembre, pero incumpliendo a penas el caudal ecológico mínimo propuesto, estas cuencas son: Ostúa, El Angue, Suquiapa, Sucio y Acelhuate; y las cuencas con la menor alteración total, actual y futura serían: Sumpul, Mocal y Guarajambala que se mantienen naturales para todo el período de análisis.

Con lo expuesto anteriormente, se cumple el objetivo general y el cuarto objetivo específico de la investigación, sobre evaluar en la cuenca del río Lempa los cambios en el recurso hídrico por CC y los usos futuros.

## Bibliografía

- Alfaro, E. J., & Soley, F. J. (2009). Descripción de dos métodos de rellenado de datos ausentes en series de tiempo meteorológicas. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, p. 59-74.
- Aparicio, F. (1989). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Editorial Limusa, S.A. de C.V., p. 56 y 140-142,
- Flores Fonseca, M. A. (2003). *50 Años de Crecimiento Demográfico Hondureño*. Universidad Autónoma de Honduras, Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales, p. 9-26.
- GADM. (30 de octubre de 2017). *Boundaries without limits*. 2015. Obtenido de Global Administrative Areas: <http://www.gadm.org/country>.
- Hidalgo et al. (2017). Observed (1970-1999) climate variability in Central America using a high-resolution meteorological dataset with implication to climate change studies. *Climatic Change*, 141: 13-28. DOI 10.1007/s10584-016-1786-y.
- Hidalgo, H. G., and Alfaro, E. J. (2015). Skill of CMIP5 Climate Models in Reproducing 20th Century Basic Climate Features in Central America. *International Journal of Climatology*, 35: 3397-3421. <https://doi.org/10.1002/joc.4216>.
- INE - MAGA Guatemala. (2004). *IV Censo Nacional Agropecuario*. Número de fincas censales, superficie cosechada, producción obtenida de cultivos anuales o temporales y viveros. 2003. Instituto Nacional de Estadística - Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Tomo II.
- INE Guatemala. (1996). *X Censo de Población y Habitación*. 1994. Instituto Nacional de Estadística, p. 7-8 y 15-22.
- INE Guatemala. (2003). *Características de la Población y de los Locales de Habitación Censados*. Censos Nacionales XI de Población y VI de Habitación. 2002. Instituto Nacional de Estadística, Anexo 01. A1, p. 67-73.
- INE Honduras. (2008a). *Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008. Cultivos Anuales*. Instituto Nacional de Estadística de Honduras.

- INE Honduras. (2008b). Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008. Cultivos Permanentes. Instituto Nacional de Estadística de Honduras.
- INE Honduras. (22 de octubre de 2017). Obtenido de Instituto Nacional de Estadística de Honduras: <http://www.ine.gob.hn/index.php>
- MARN (2017a). Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador, con énfasis en Zonas Prioritarias. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, p. 64.
- MARN (2017b). Producto N°13. Documento final del PNGIRH. Anexo 05. Caudales ecológicos. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, p. 40, 68-99.
- Mas, M. (2005). Caudales ecológicos: conceptos, métodos e interpretaciones. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas “CEDEX” de España, p. 9, 57-60.
- MINEC El Salvador. (1965). Tercer Censo Nacional de Población 1961. Ministerio de Economía, Dirección General de Estadística y Censos, Cuadros, p.1-6.
- MINEC El Salvador. (1974a). Cuarto Censo Nacional de Población 1971. Volumen 1. Ministerio de Economía, Dirección General de Estadística y Censos, Volumen I. Cuadros, p. 1-7.
- MINEC El Salvador. (1974b). Tercer Censo Nacional Agropecuario 1971. Volumen I - Características a nivel nacional, departamental y municipal. Ministerio de Economía. Dirección General de Estadística y Censos.
- MINEC El Salvador. (1992). Censos Nacionales V de Población y IV de Vivienda. 1992 El Salvador. Ministerio de Economía, Dirección General de Estadística y Censos, Tomos I-XIV. Obtenido de Dirección General de Estadística y Censos de El Salvador.
- MINEC El Salvador. (1997). Censos Nacionales de Población 1930-1992. Ministerio de Economía, Dirección General de Estadística y Censos, Tabulados, p. 35.
- MINEC El Salvador. (2009). IV Censo Agropecuario 2007-2008. Ministerio de Economía. Dirección General de Estadística y Censos.
- MINEC El Salvador. (17 de octubre de 2017). Ministerio de Economía de El Salvador. Obtenido de Dirección General de Estadística y Censos (DYGESTIC):

<http://www.digestyc.gob.sv/index.php/temas/des/poblacion-y-estadisticas-demograficas/censo-de-poblacion-y-vivienda/poblacion-censos.html>

- MINEC Guatemala. (1957). VI Censo de Población. 1950. Ministerio de Economía, Dirección General de Estadística, Departamento de Censos y Encuestas, Tabulaciones, p. 5-42.
- MINEC Guatemala. (1966). VII Censo de Población. 1964. Ministerio de Economía, Dirección General de Estadística, Departamento de Censos y Encuestas, p. 49-51.
- MINEC Guatemala. (1983). Censos Nacionales de 1981. IX Censo de Población. Ministerio de Economía, Dirección General de Estadística, Departamento de Censos y Encuestas, Tomo I. p. 37-68.
- Palau, A. (2004). Método QBM (Caudal básico de mantenimiento). Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Universidad de Lleida, p. 6-9.
- Poveda, C., & Picado, L. (2012). Estudio de Caracterización del Corredor Seco Centroamericano (Países CA-4). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Tomo I: p. 8-9.
- Seibert, J (2005). HBV Light versión 2. User's Manual. Stockholm University. Department of Physical Geography and Quaternary Geology, p. 8.
- SNET (2005). Balance hídrico integrado y dinámico en El Salvador. Componente evaluación de recursos hídricos. Servicio Nacional de Estudios Territoriales – Servicio Hidrológico Nacional, p. 76.
- Van der Zee Arias, A., Van der Zee, J., Meyrat, A.,  
Villela, R. & Banderas, A. (2015). Metodologías para el cálculo de caudales ecológicos y ambientales en ríos regulados por presas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, p. 15,

**ANEXO 1 - MAPAS**



Figura A1- 1. Principales cuencas dentro del Corredor Seco Centroamericano y cuencas del río Lempa.

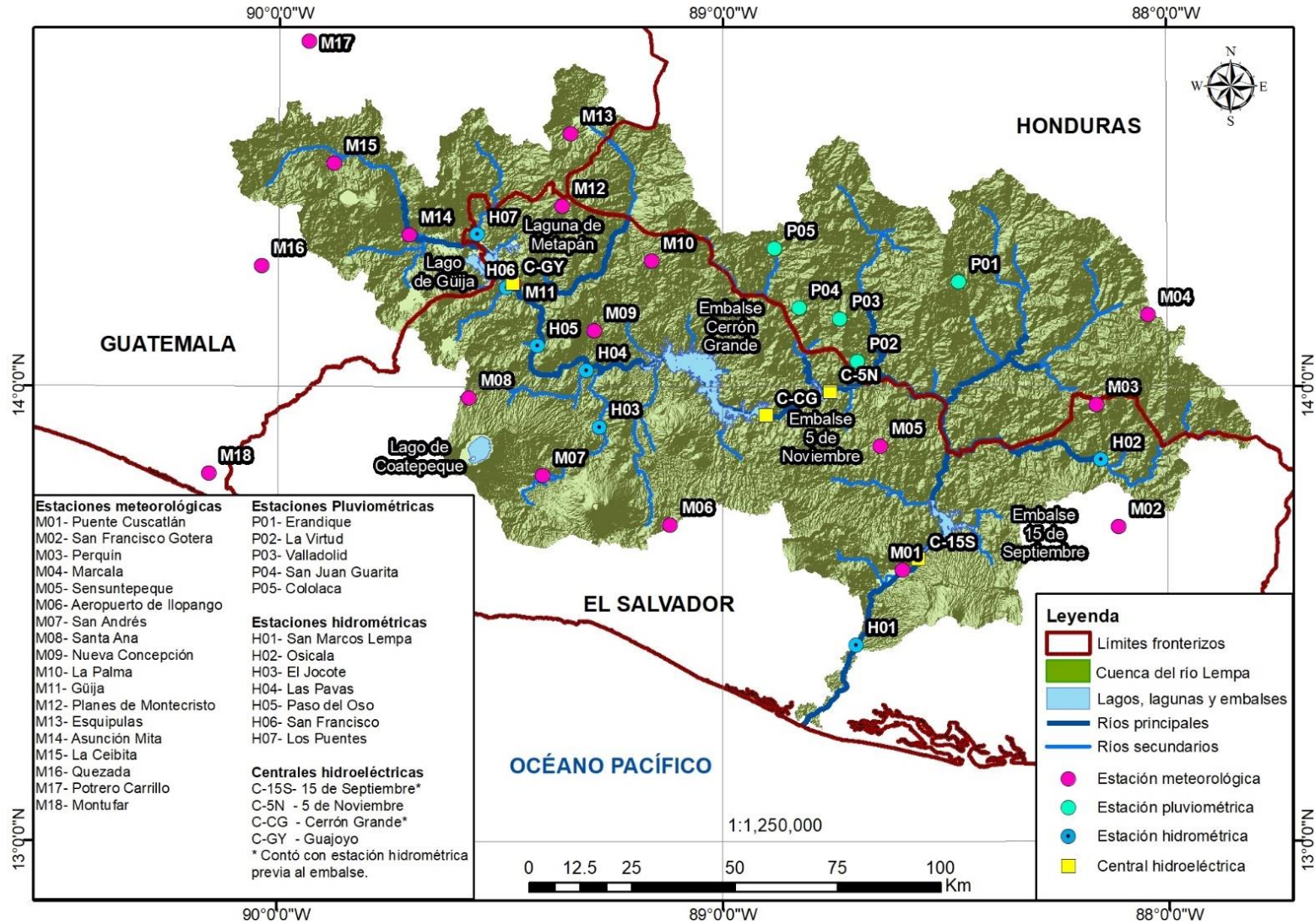


Figura A1- 2. Estaciones meteorológicas, pluviométricas, hidrométricas y centrales hidroeléctricas utilizadas para simular la cuenca del río Lempa.

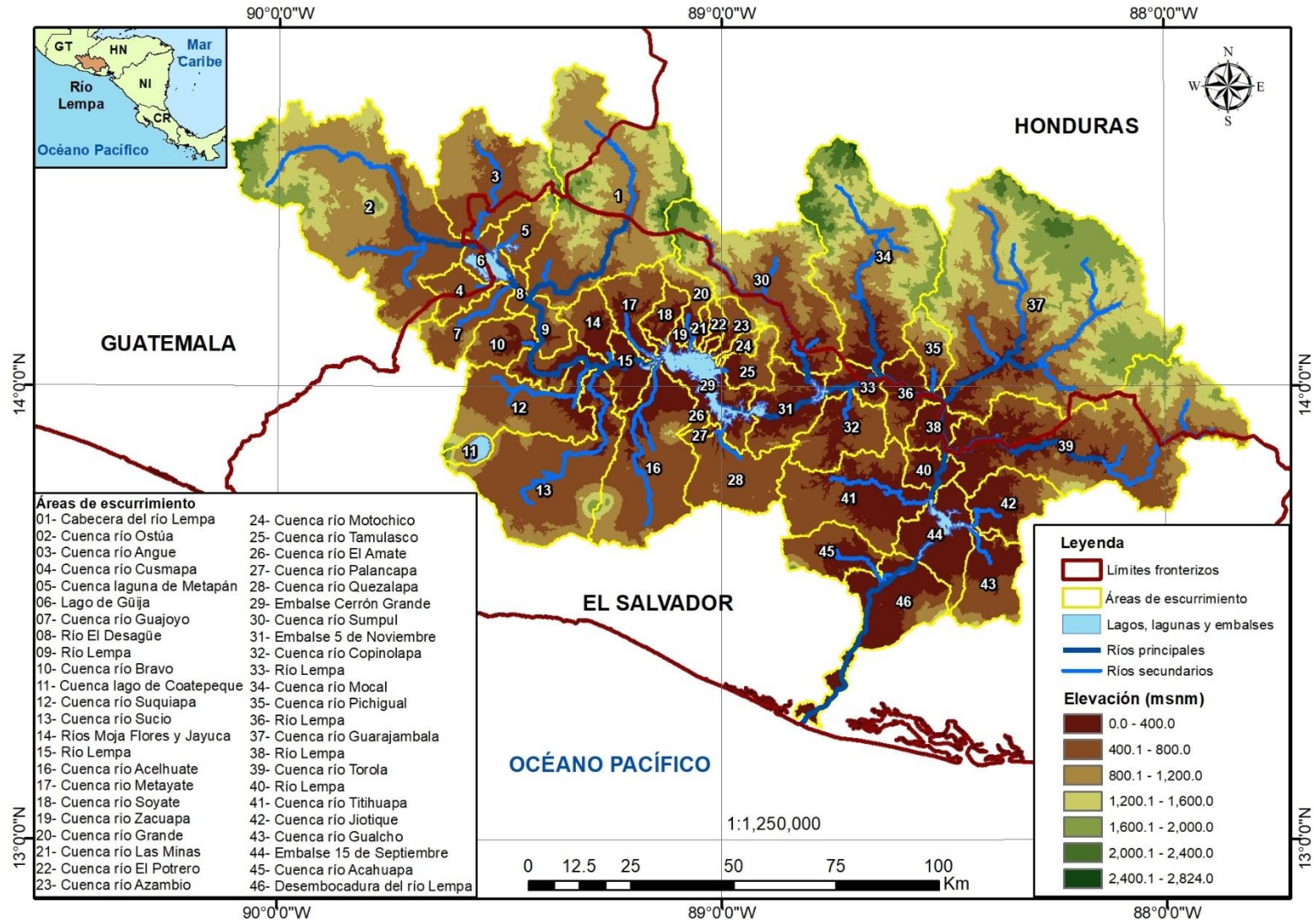


Figura A1- 3. Áreas de escurrimiento principales en la cuenca del río Lempa.

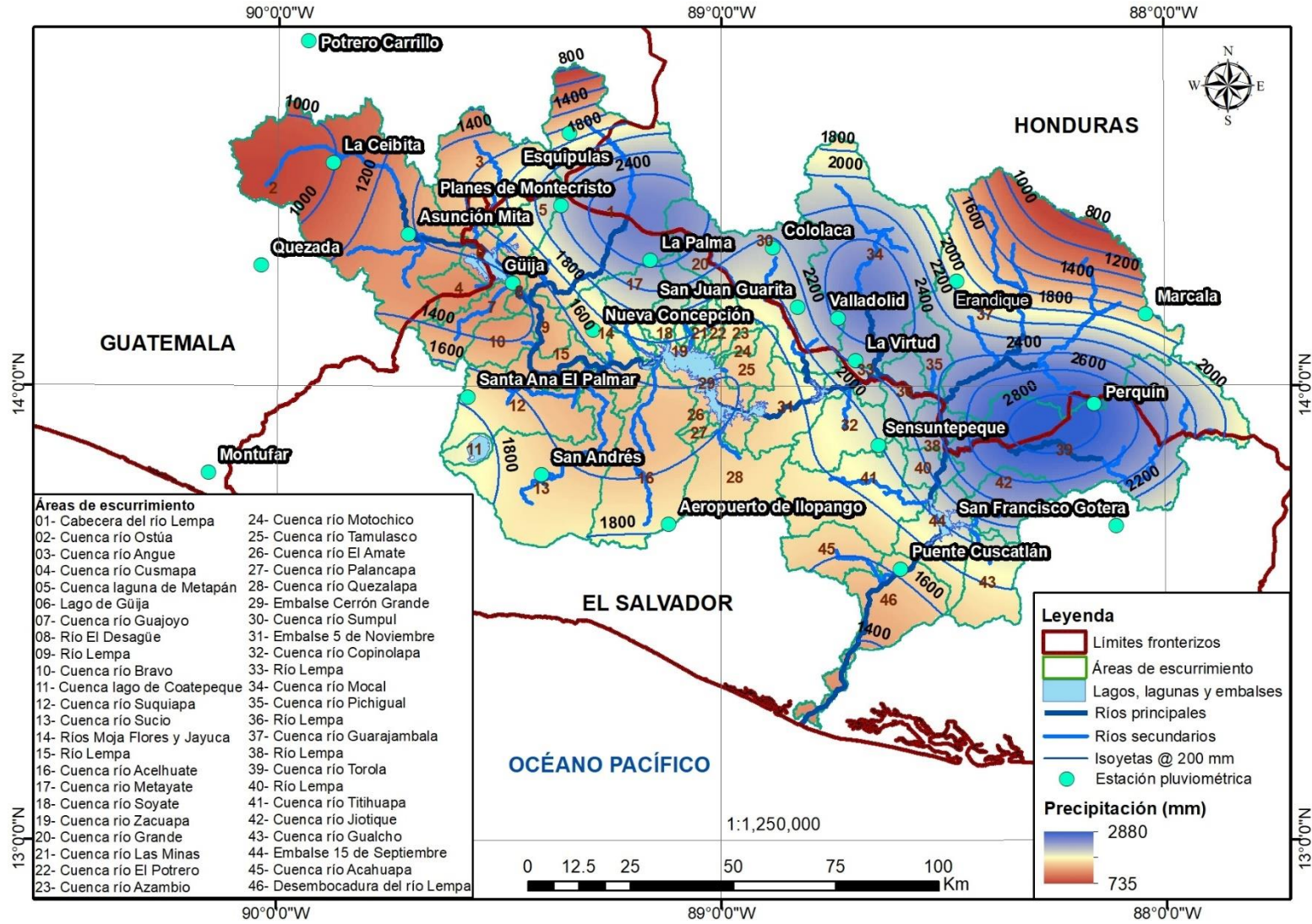


Figura A1- 4. Precipitación promedio multianual del período 1970-2016 para la cuenca del río Lempa.

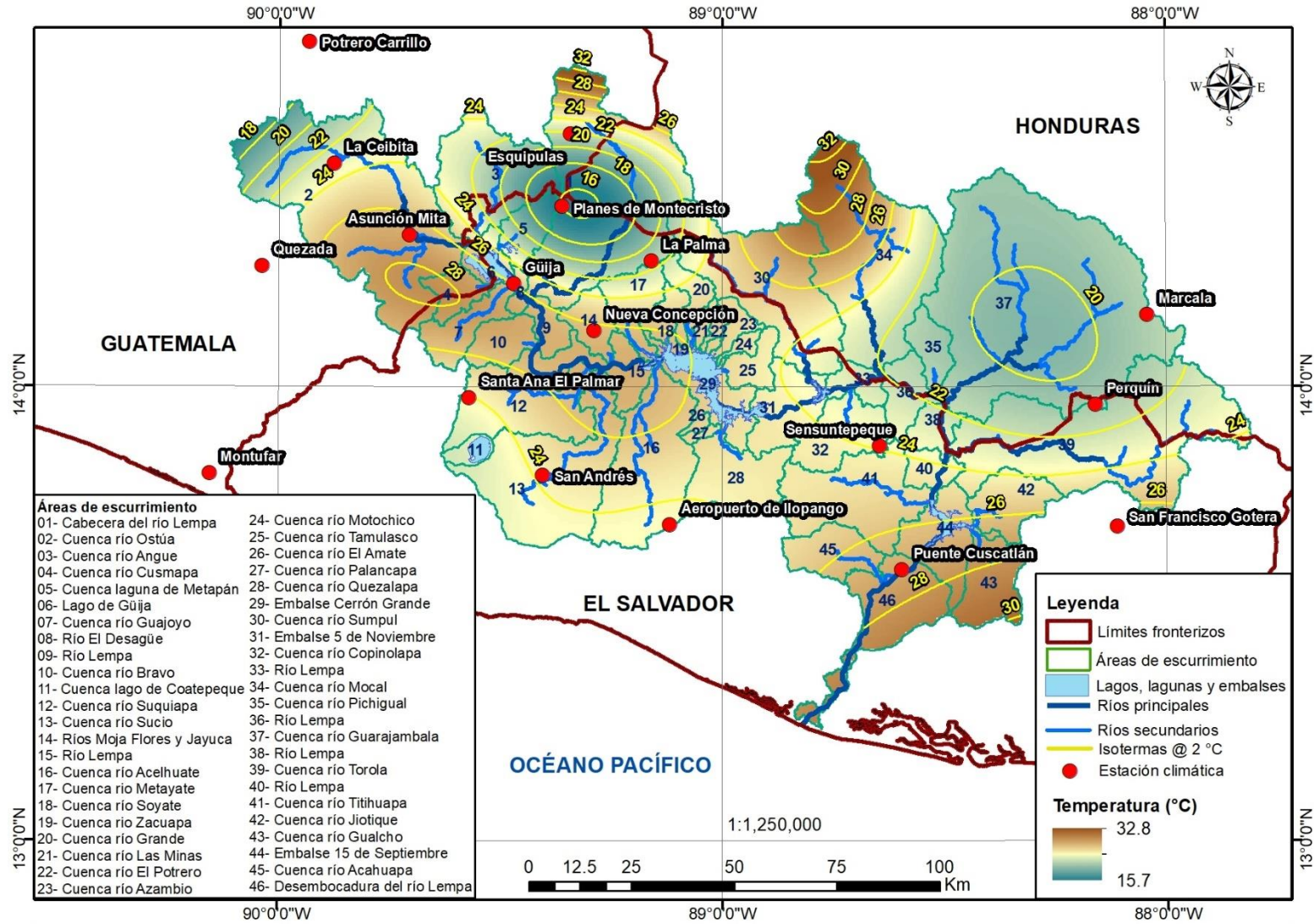


Figura A1- 5. Temperatura promedio multianual del período 1970-2016 para la cuenca del río Lempa.

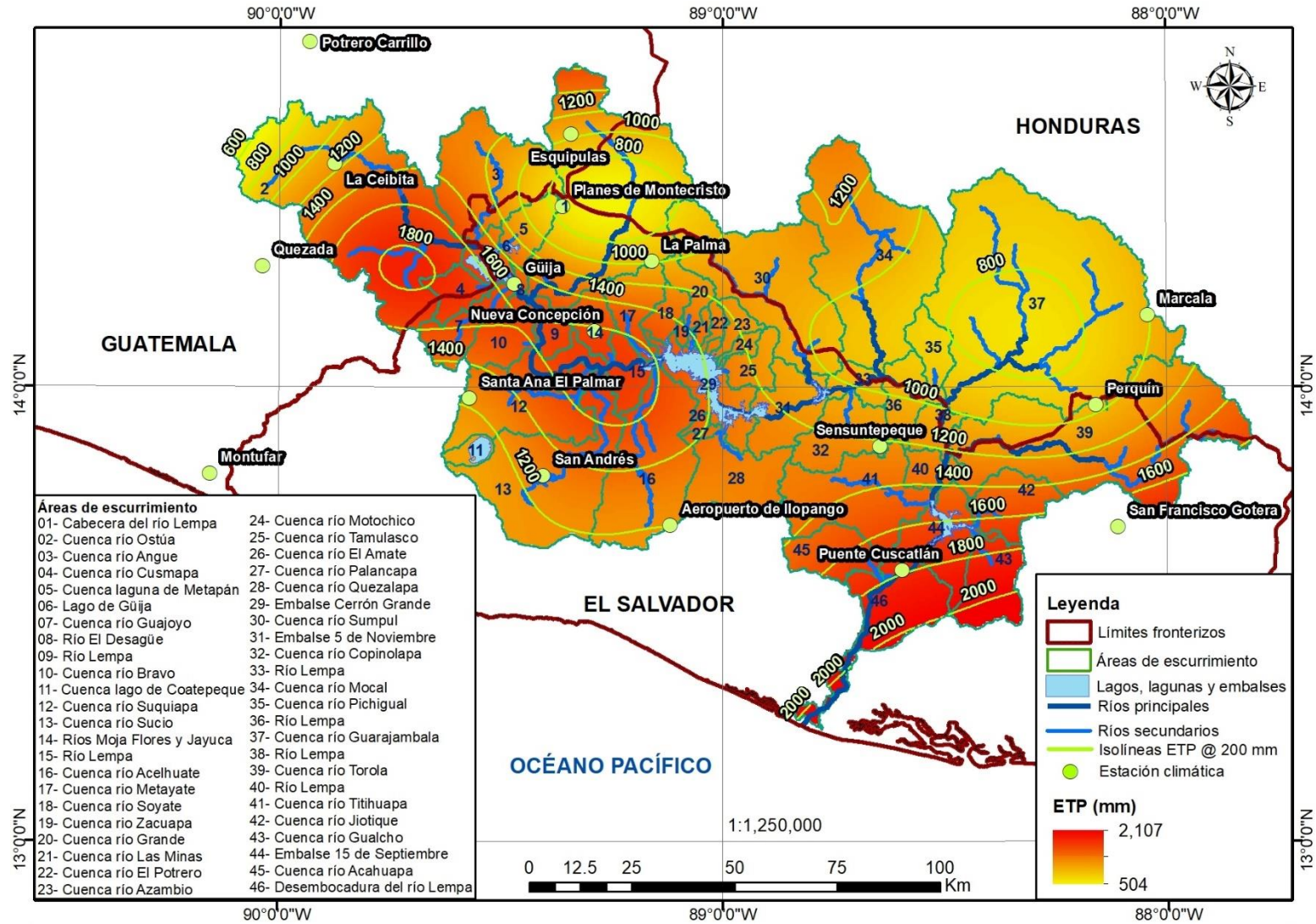


Figura A1- 6. Evapotranspiración potencial promedio multianual del período 1970-2016 para la cuenca del río Lempa, calculada por el método de Thornthwaite.

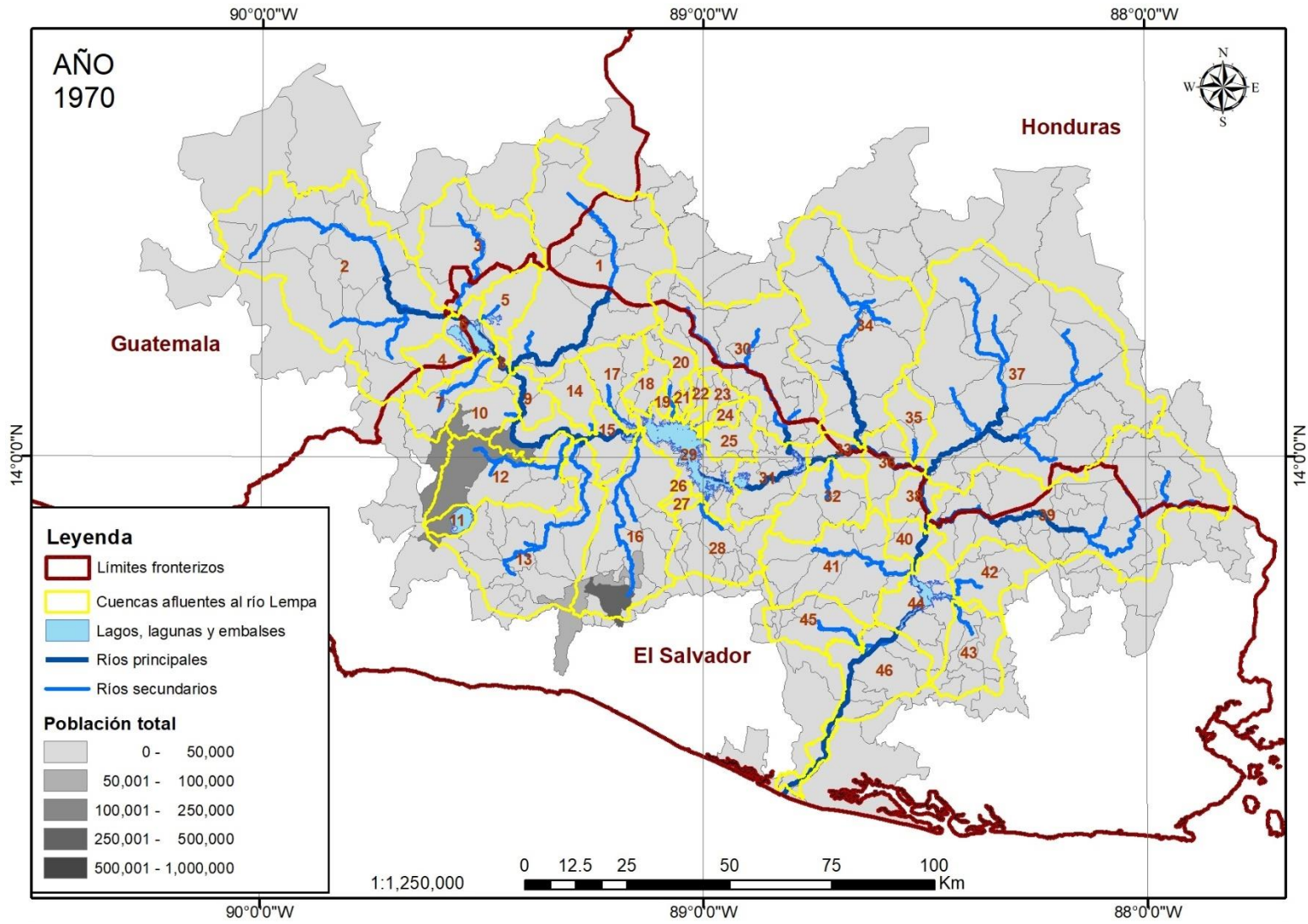


Figura A1- 7. Población total municipal, interpolada para 1970, en la cuenca del río Lempa.

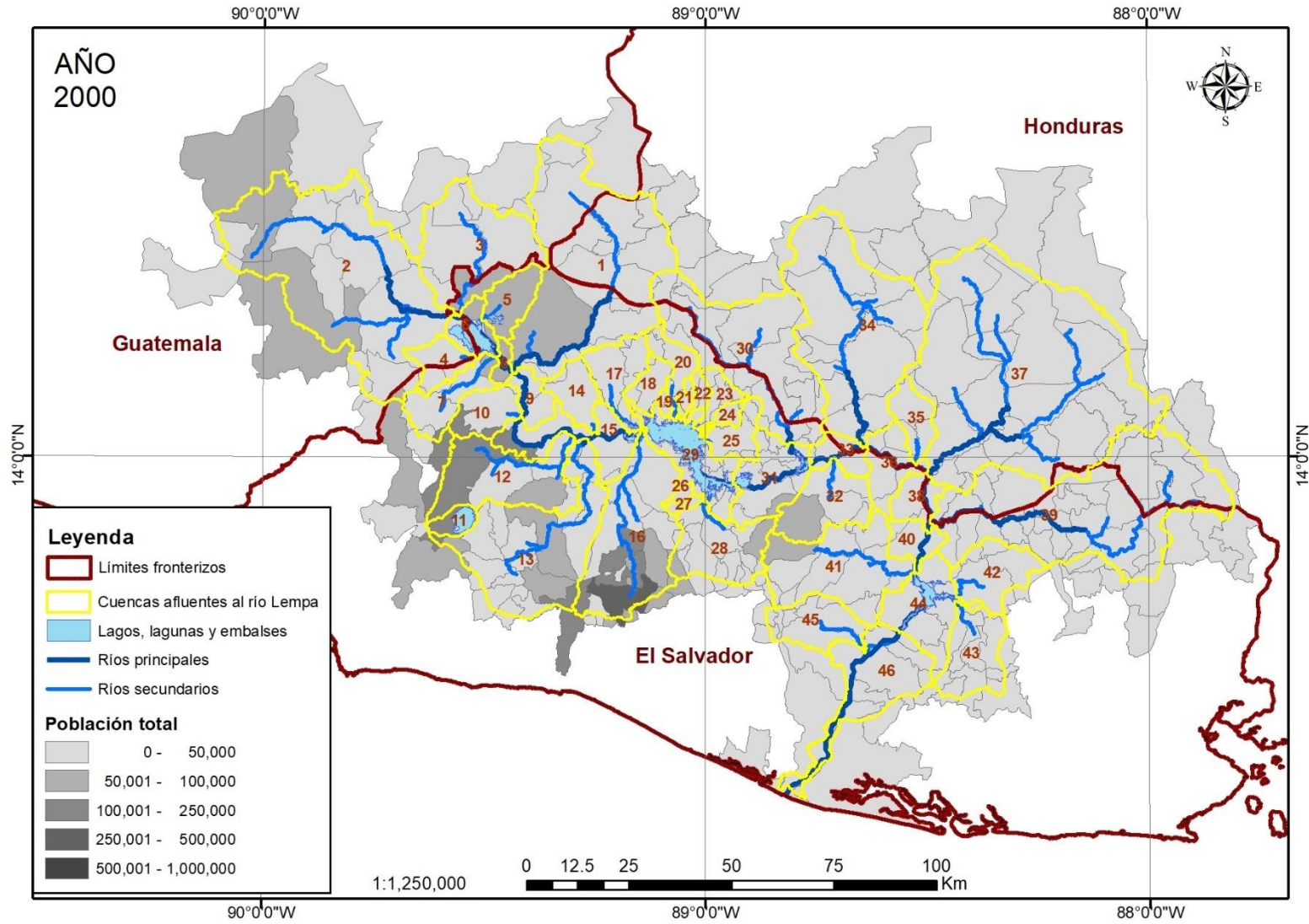


Figura A1- 8. Población total municipal, interpolada para el año 2000, en la cuenca del río Lempa.

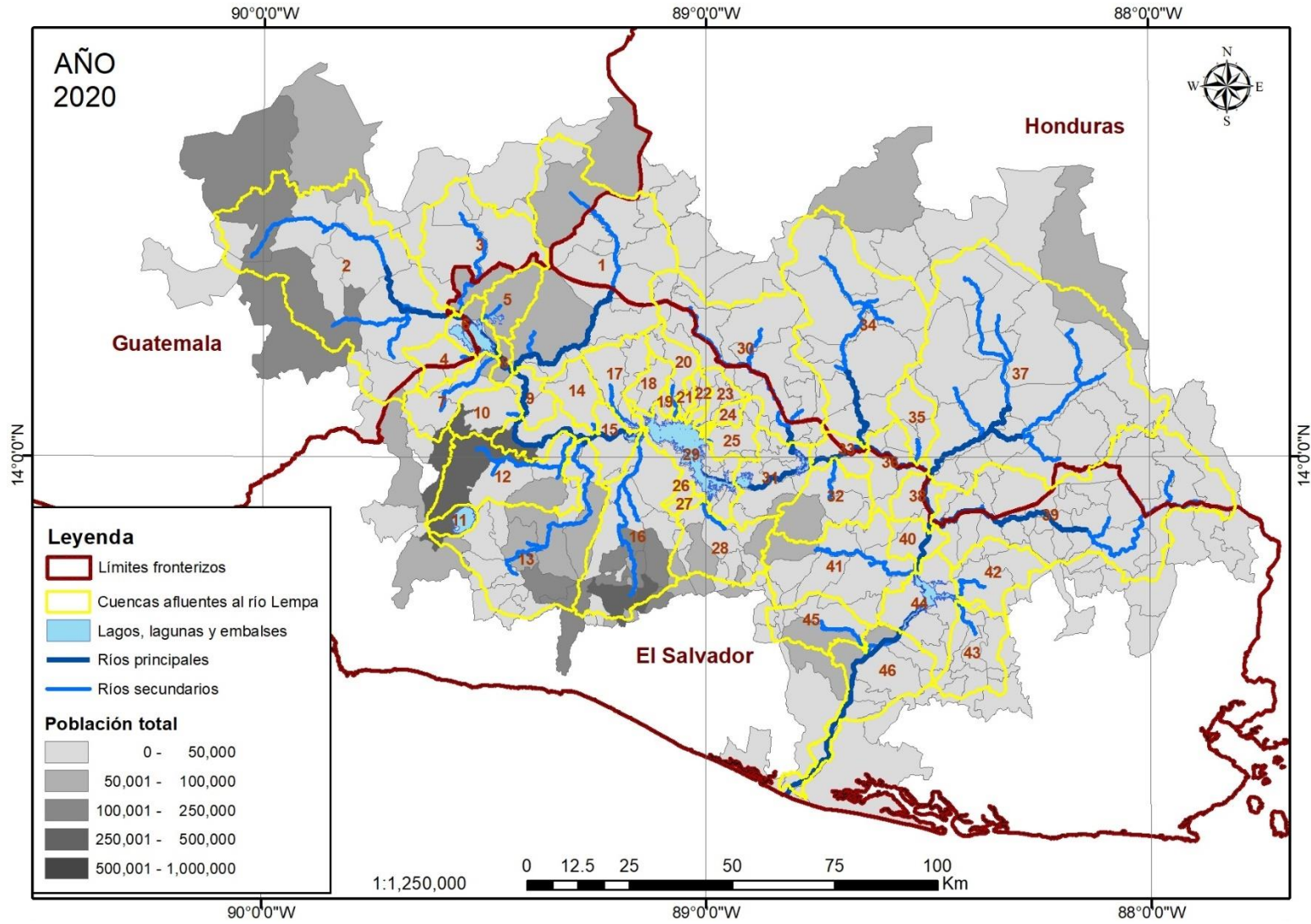


Figura A1- 9. Población total municipal, proyectada para el año 2020, en la cuenca del río Lempa.

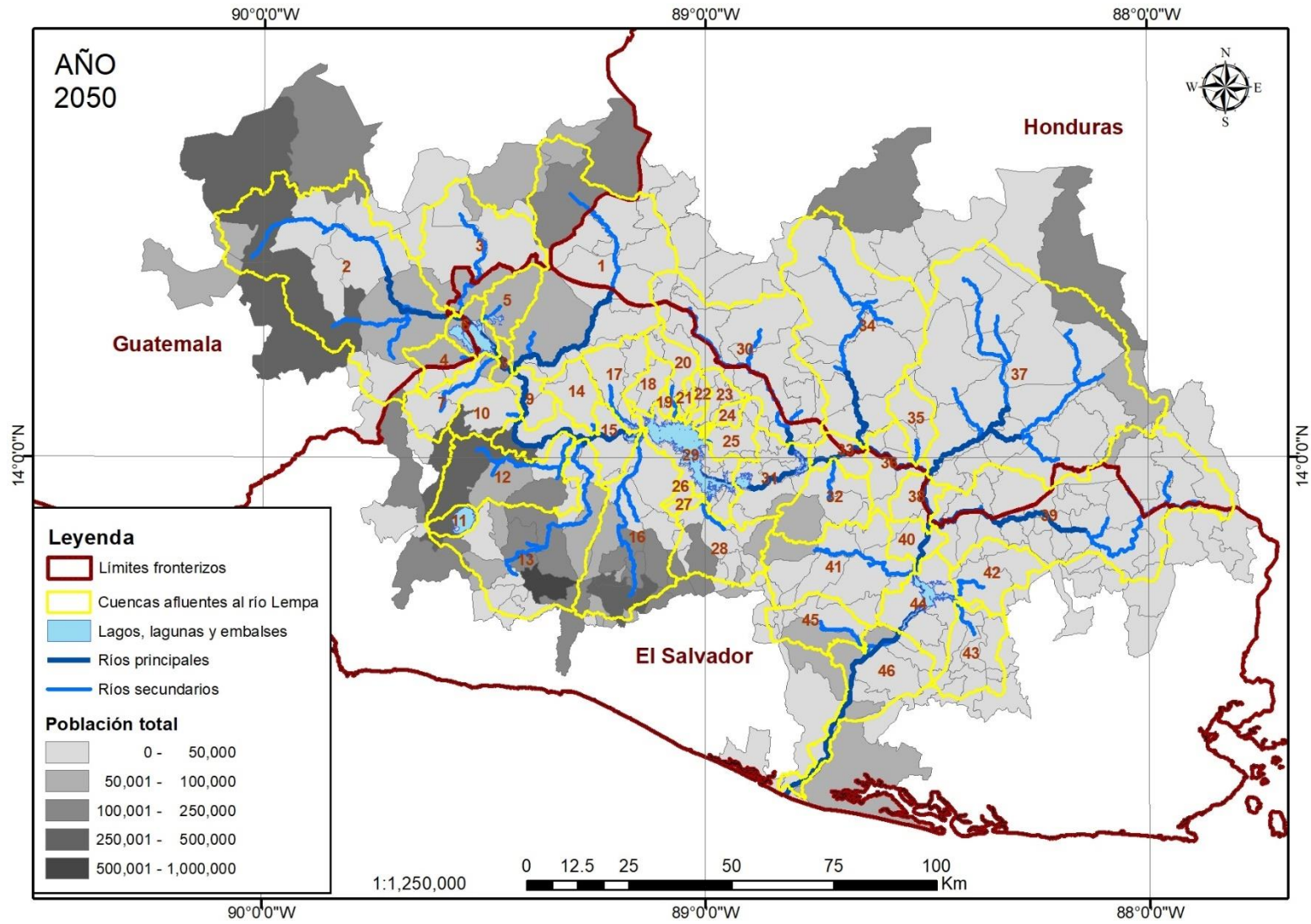


Figura A1- 10. Población total municipal, proyectada para el año 2050, en la cuenca del río Lempa.

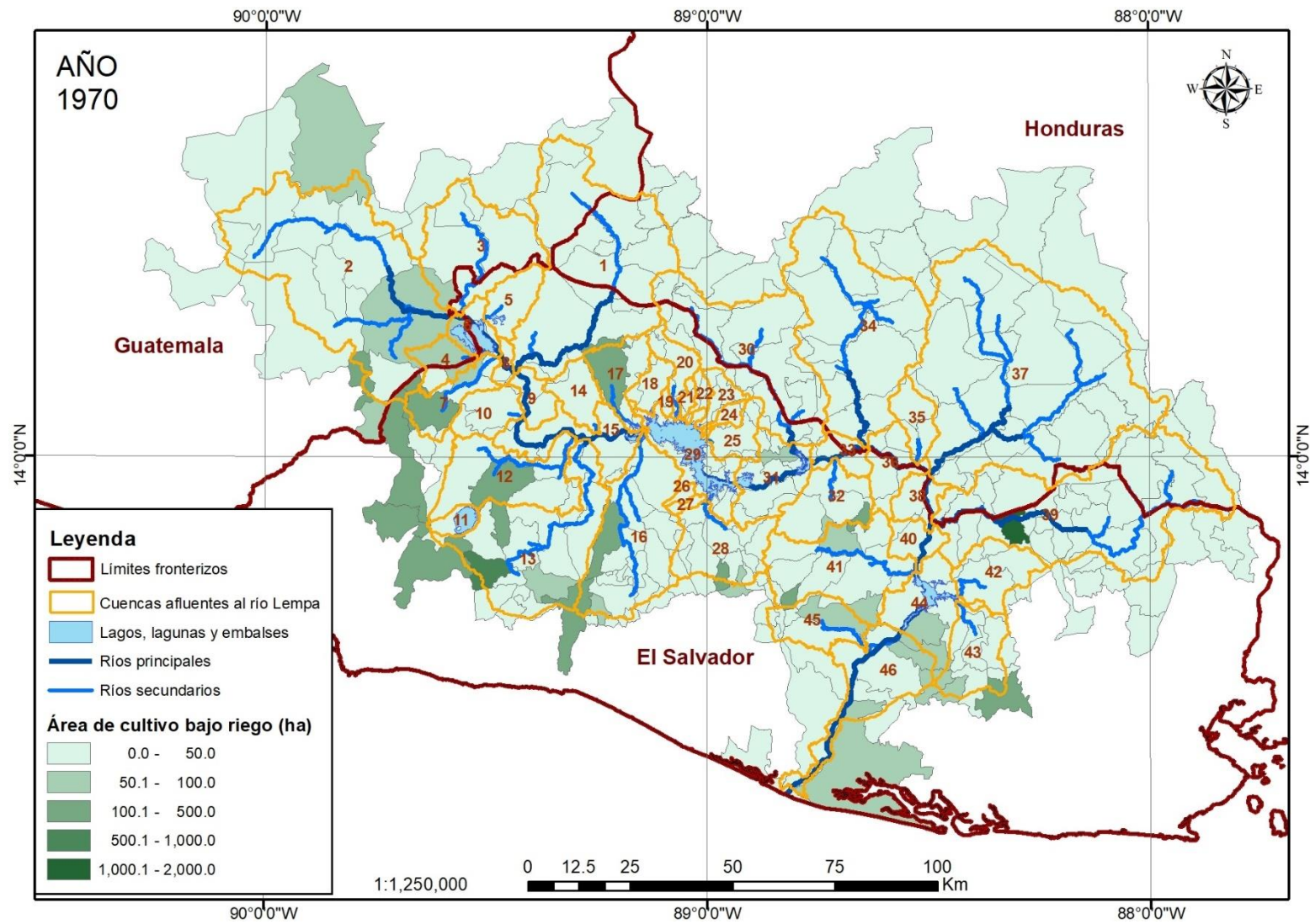


Figura A1- 11. Área total municipal de cultivos bajo riego con recursos superficiales, interpolada para 1970, en la cuenca del río Lempa.

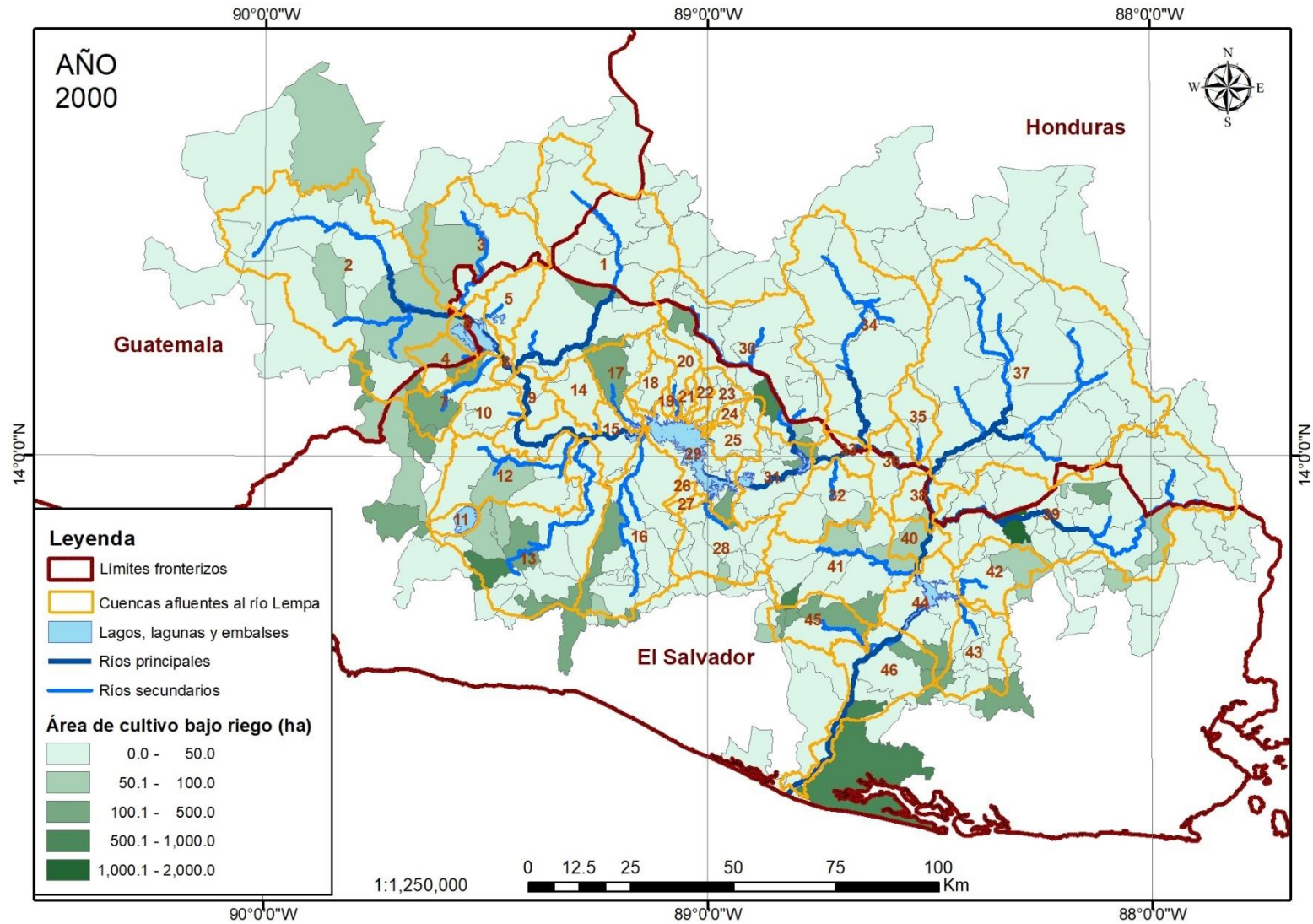


Figura A1- 12. Área total municipal de cultivos bajo riego con recursos superficiales, interpolada para el año 2000, en la cuenca del río Lempa.

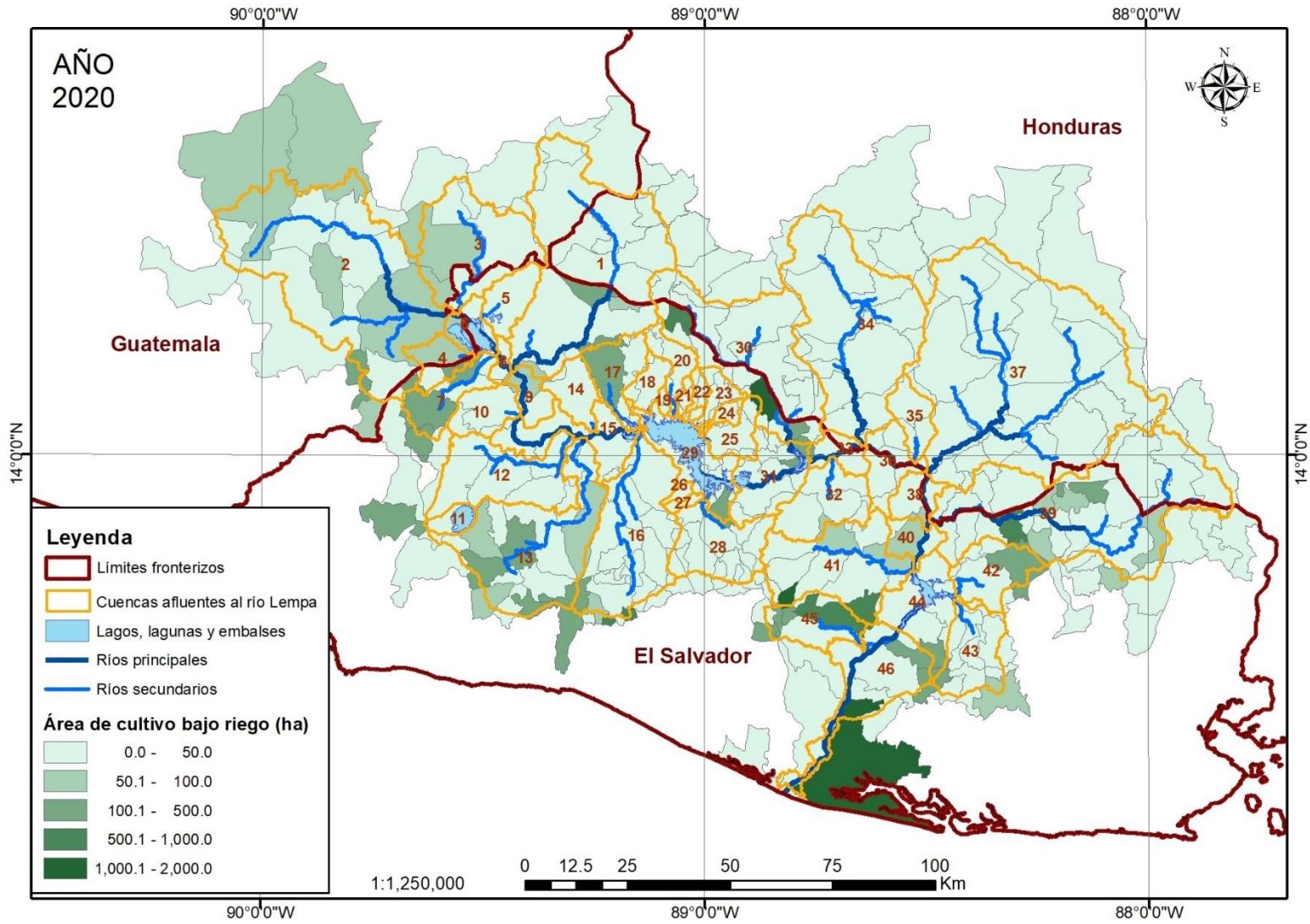


Figura A1- 13. Área total municipal de cultivos bajo riego con recursos superficiales, proyectada para el año 2020, en la cuenca del río Lempa.

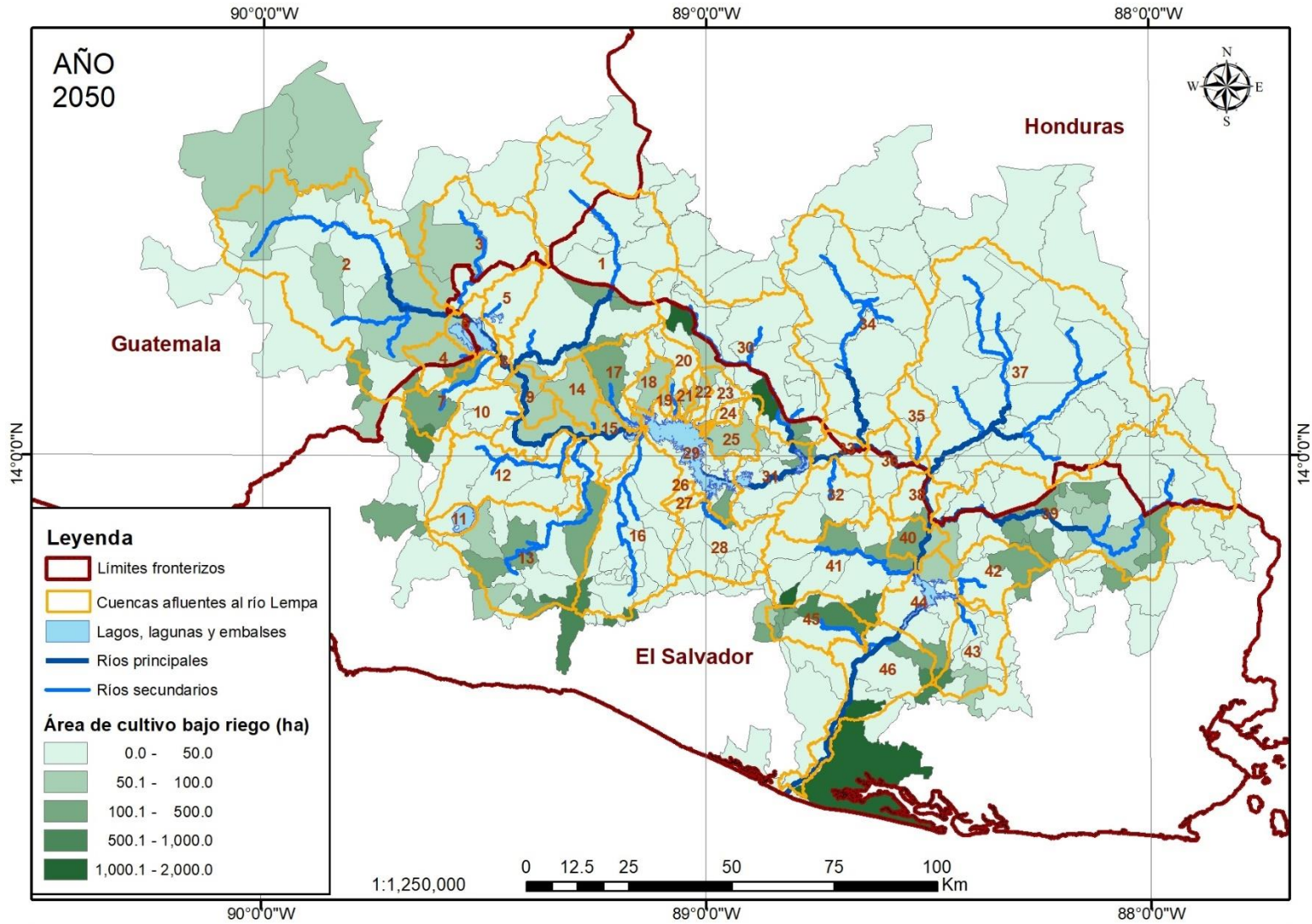


Figura A1- 14. Área total municipal de cultivos bajo riego con recursos superficiales, proyectada para el año 2050, en la cuenca del río Lempa.

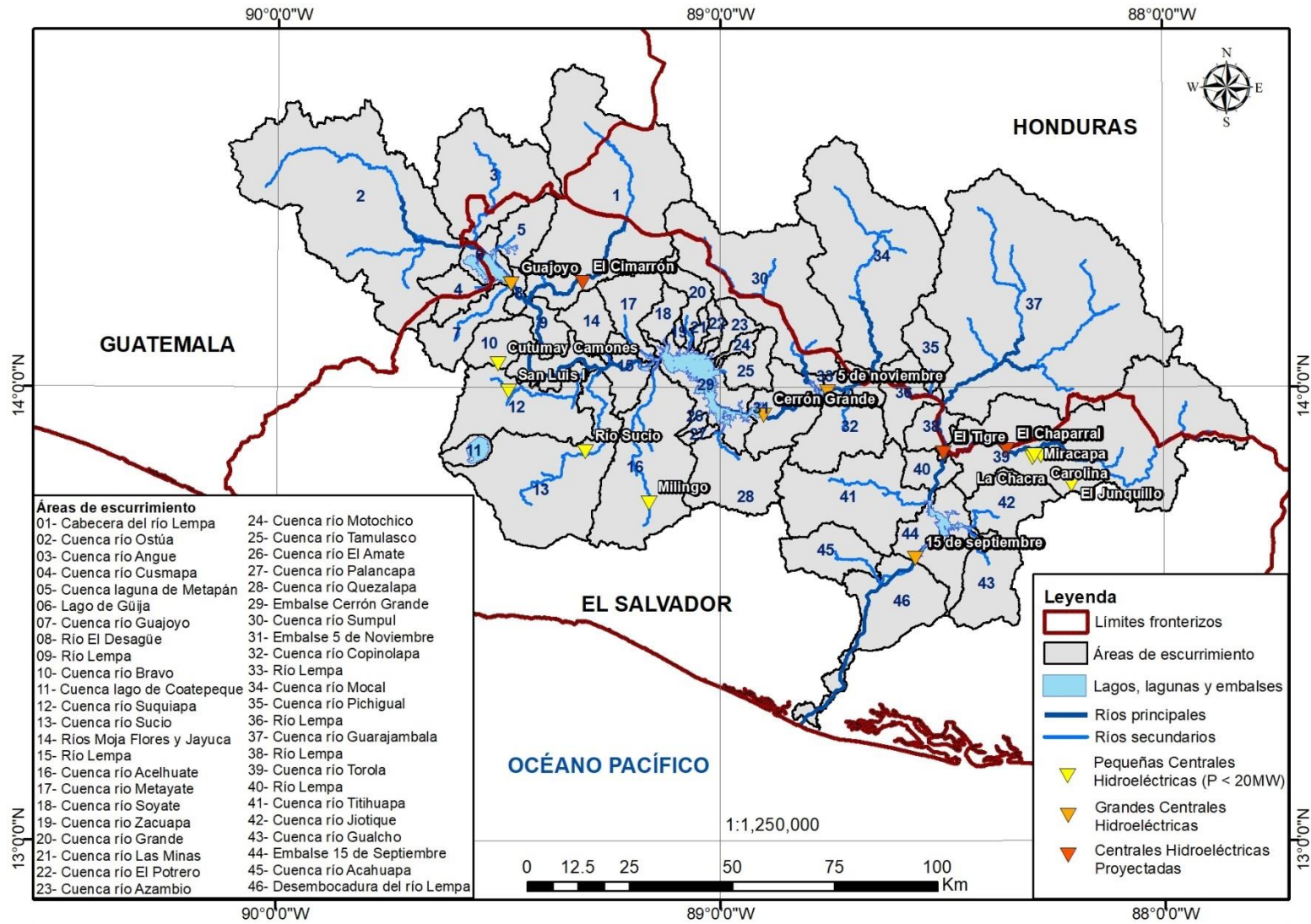


Figura A1- 15. Centrales hidroeléctricas operativas y proyectadas en la cuenca del río Lempa.

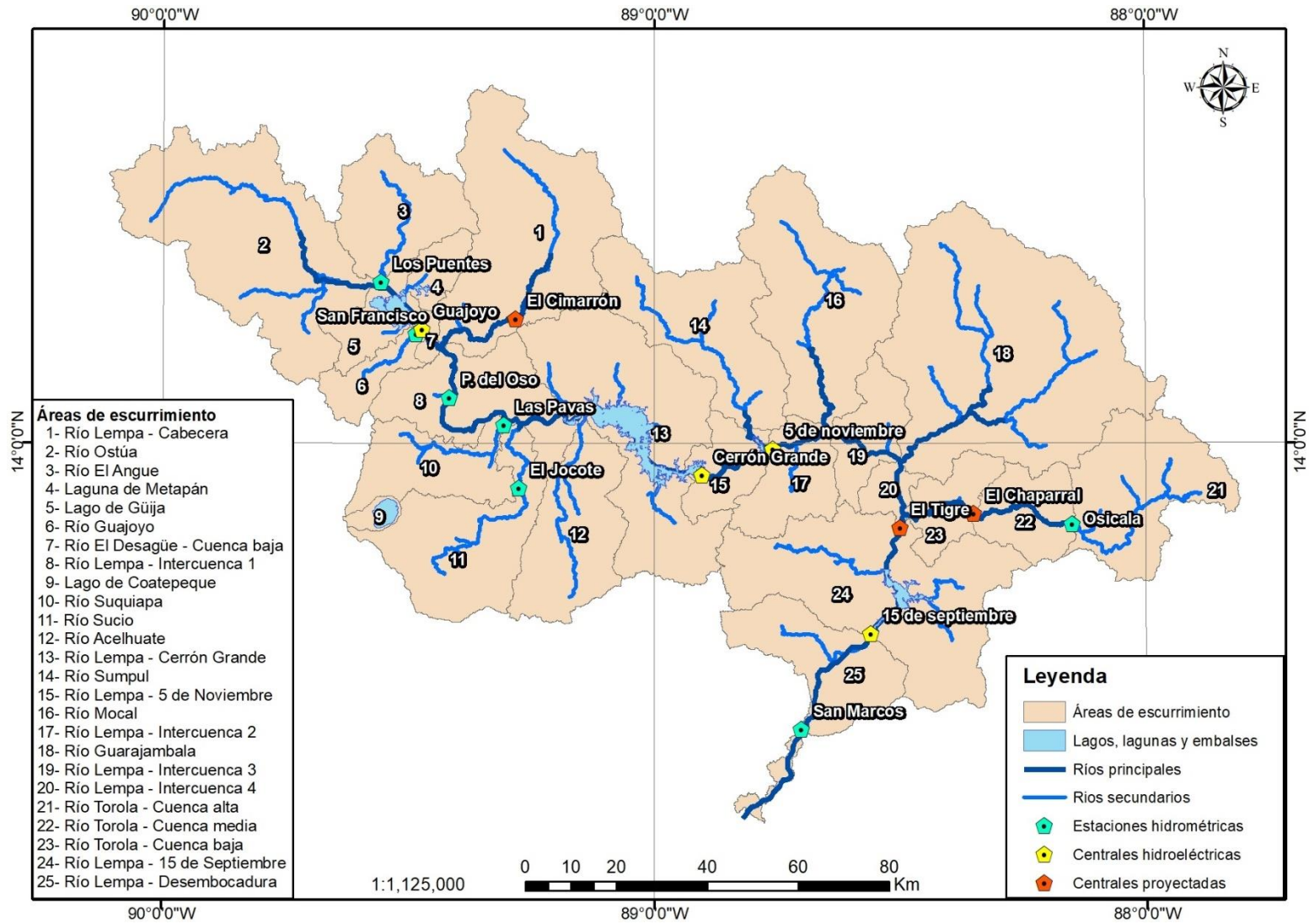


Figura A1- 16. Áreas de escurrimiento para simular la cuenca del río Lempa. Las cuencas endorreicas (Metapán N°4 y Coatepeque N°9) no fueron simuladas.

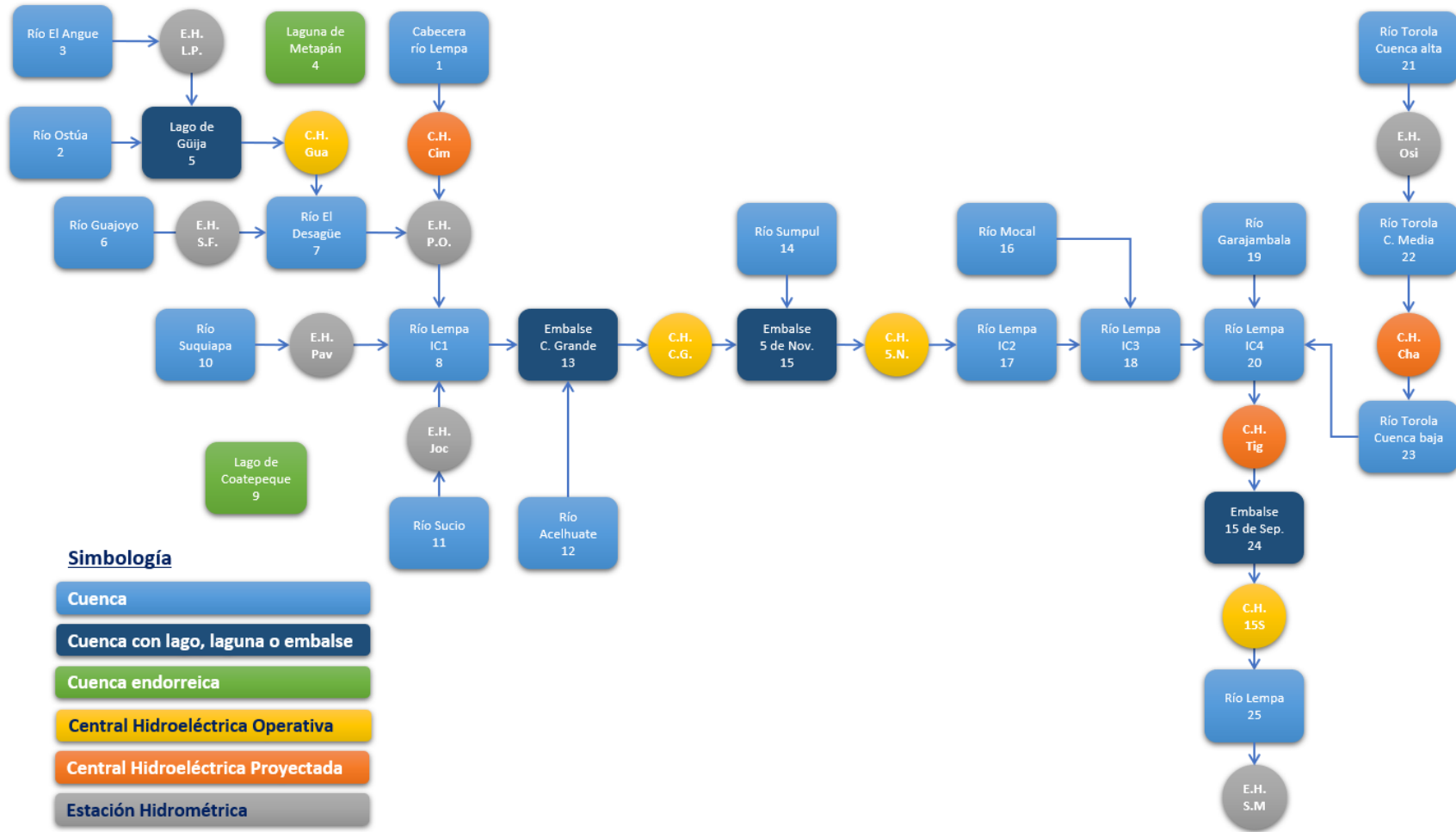


Figura A1- 17. Esquema topológico de la cuenca del río Lempa.

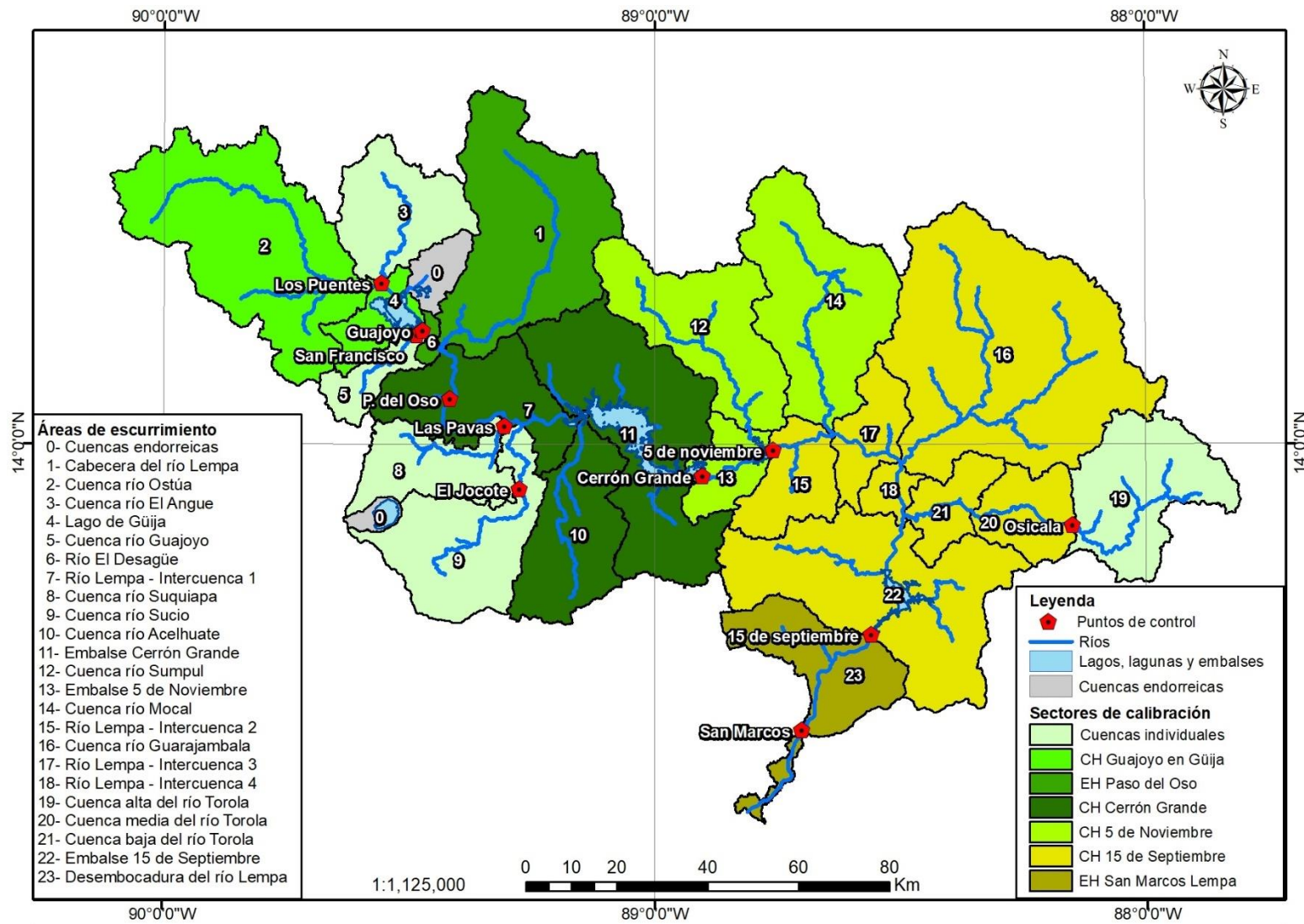


Figura A1- 18. Sectores de calibración por estación hidrométrica “EH” y centrales hidroeléctricas “CH” para la cuenca del río Lempa.

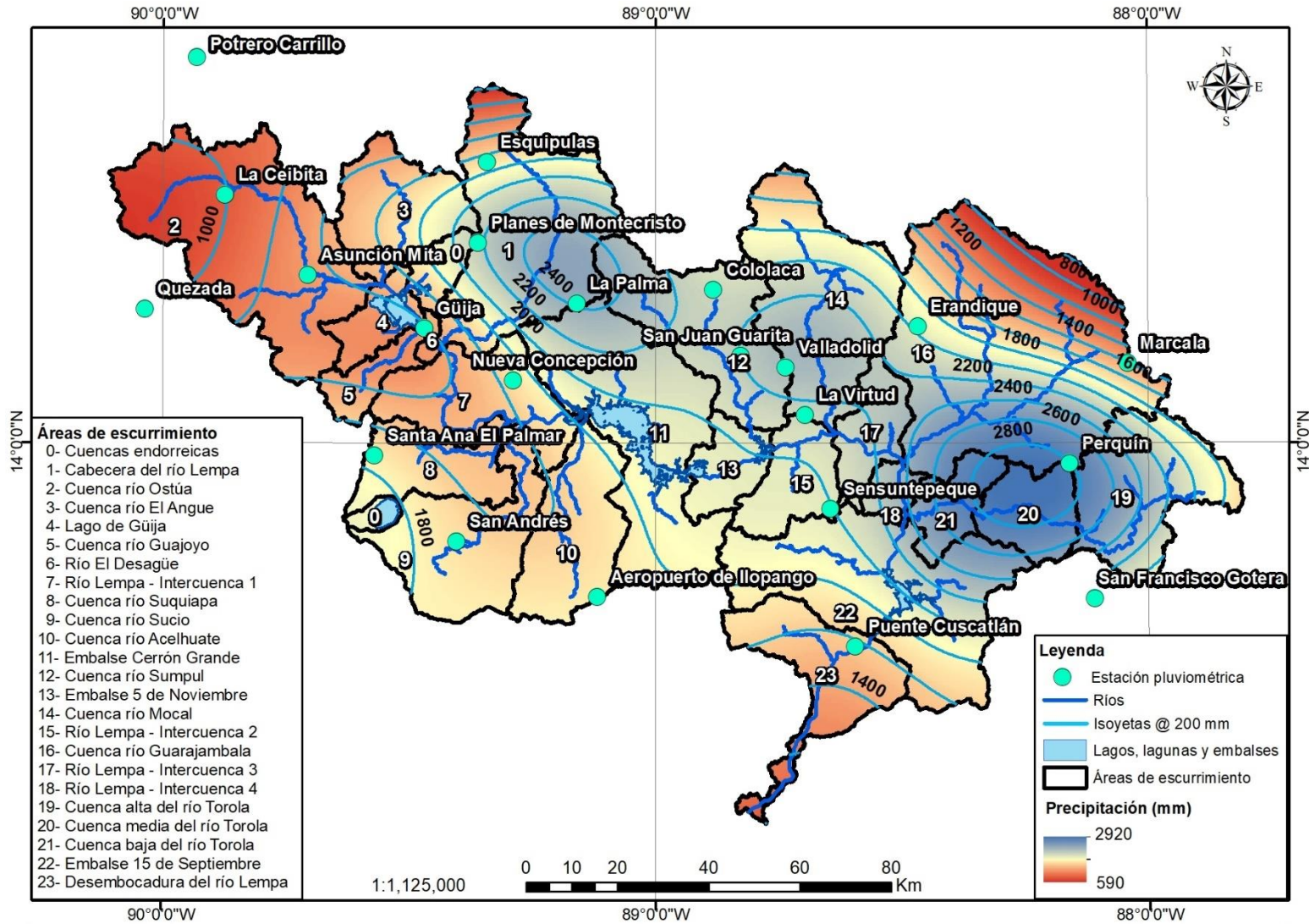


Figura A1- 19. Precipitación promedio multianual por año hidrológico, para el período histórico de referencia May/1970 – Abr/2000 en la cuenca del río Lempa.

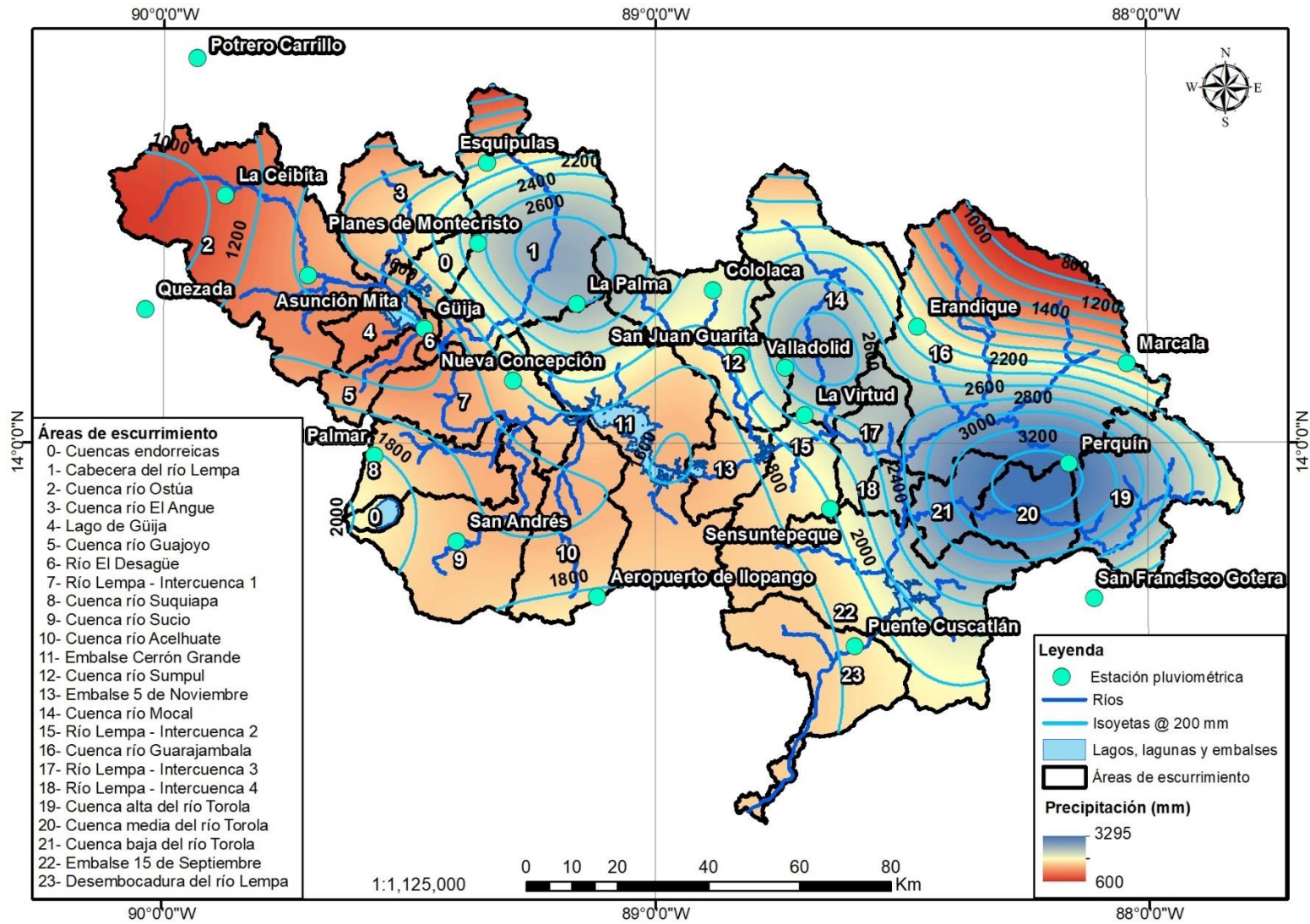


Figura A1- 20. Precipitación promedio multianual por año hidrológico, para el período proyectado futuro May/1970 – Abr/2000 en la cuenca del río Lempa.

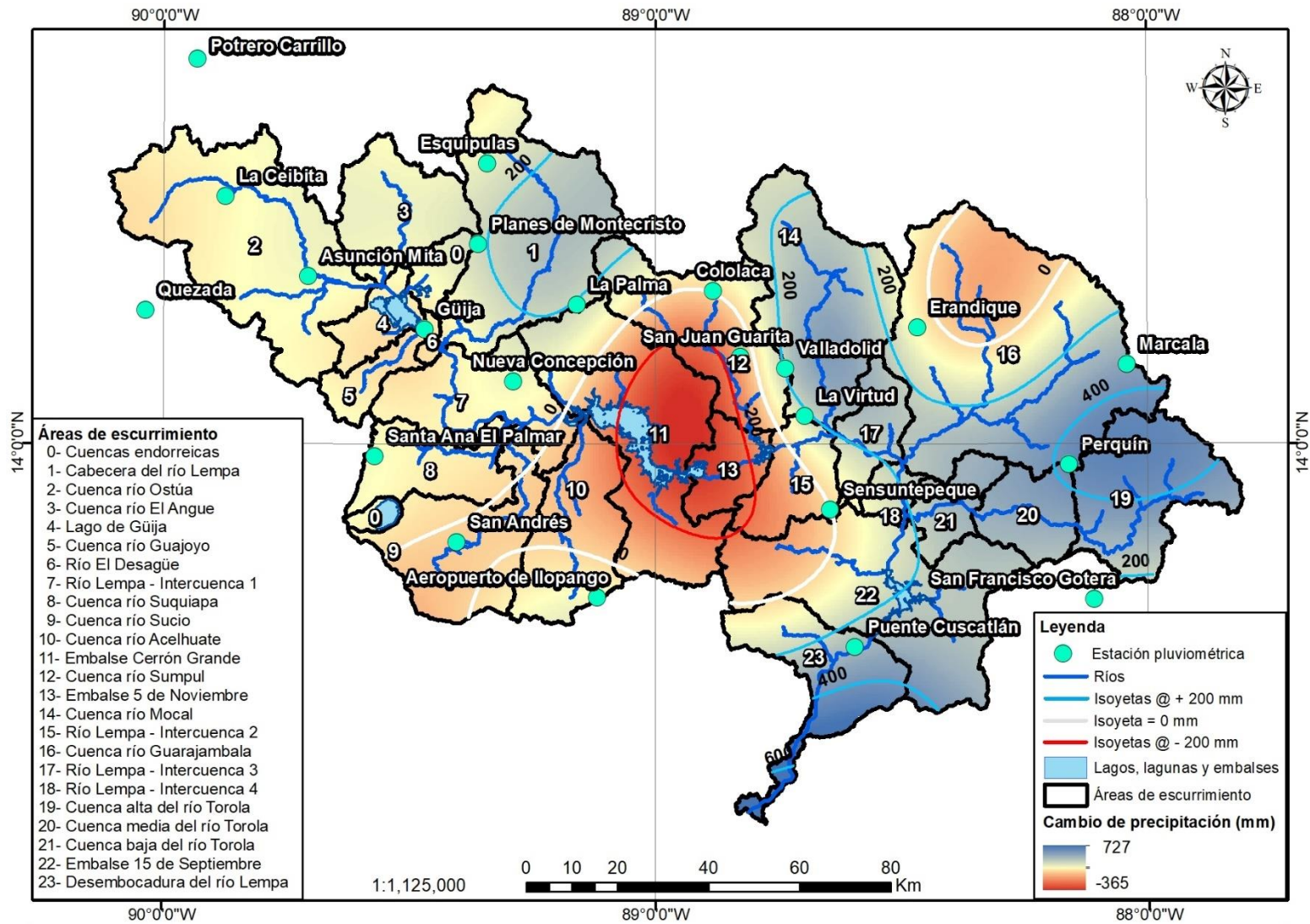


Figura A1- 21. Cambios en la precipitación promedio multianual desde el período histórico de referencia hacia el proyectado futuro en la cuenca del río Lempa.

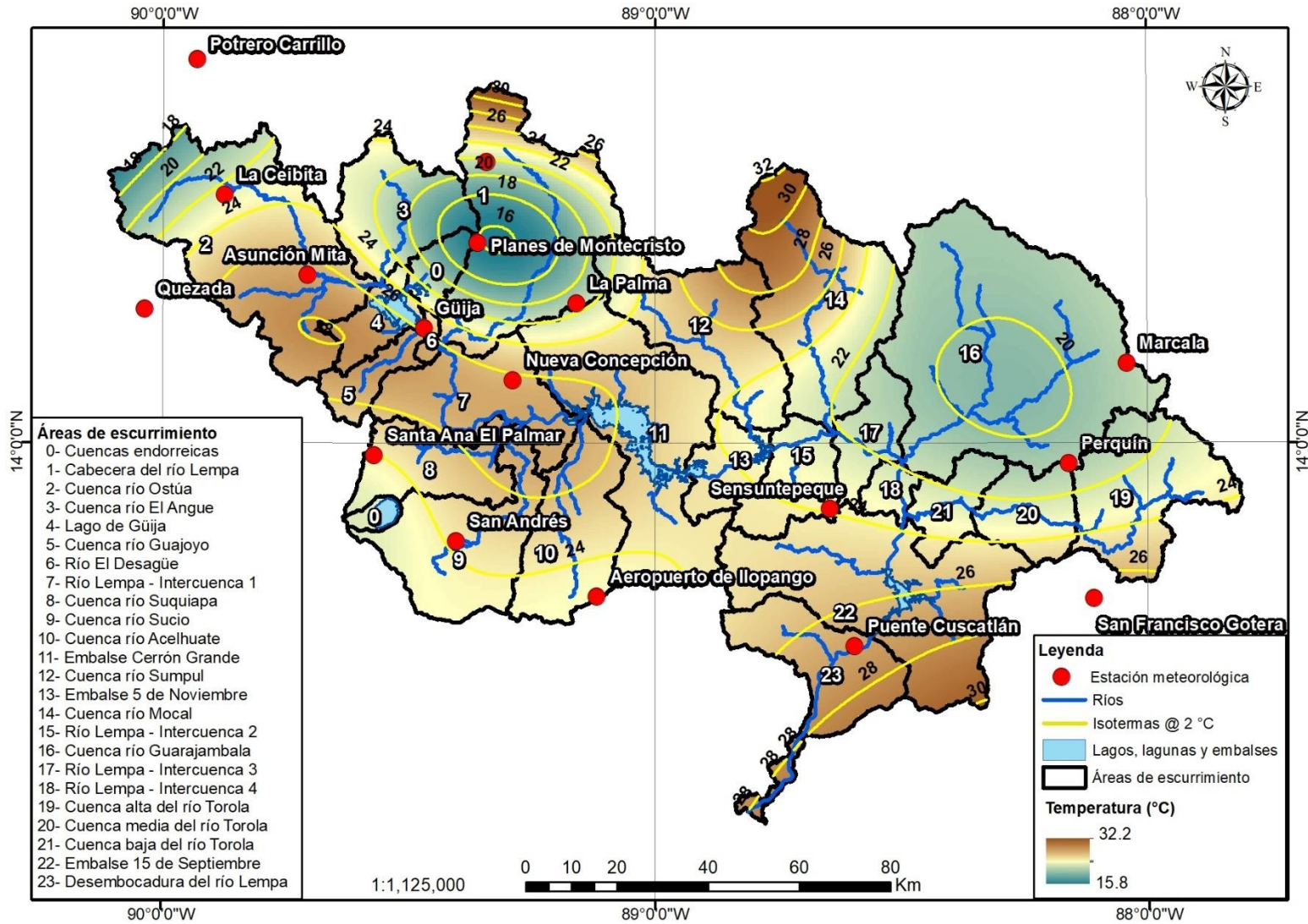


Figura A1- 22. Temperatura promedio multianual por año hidrológico, para el período histórico de referencia May/1970 – Abr/2000 en la cuenca del río lempa.

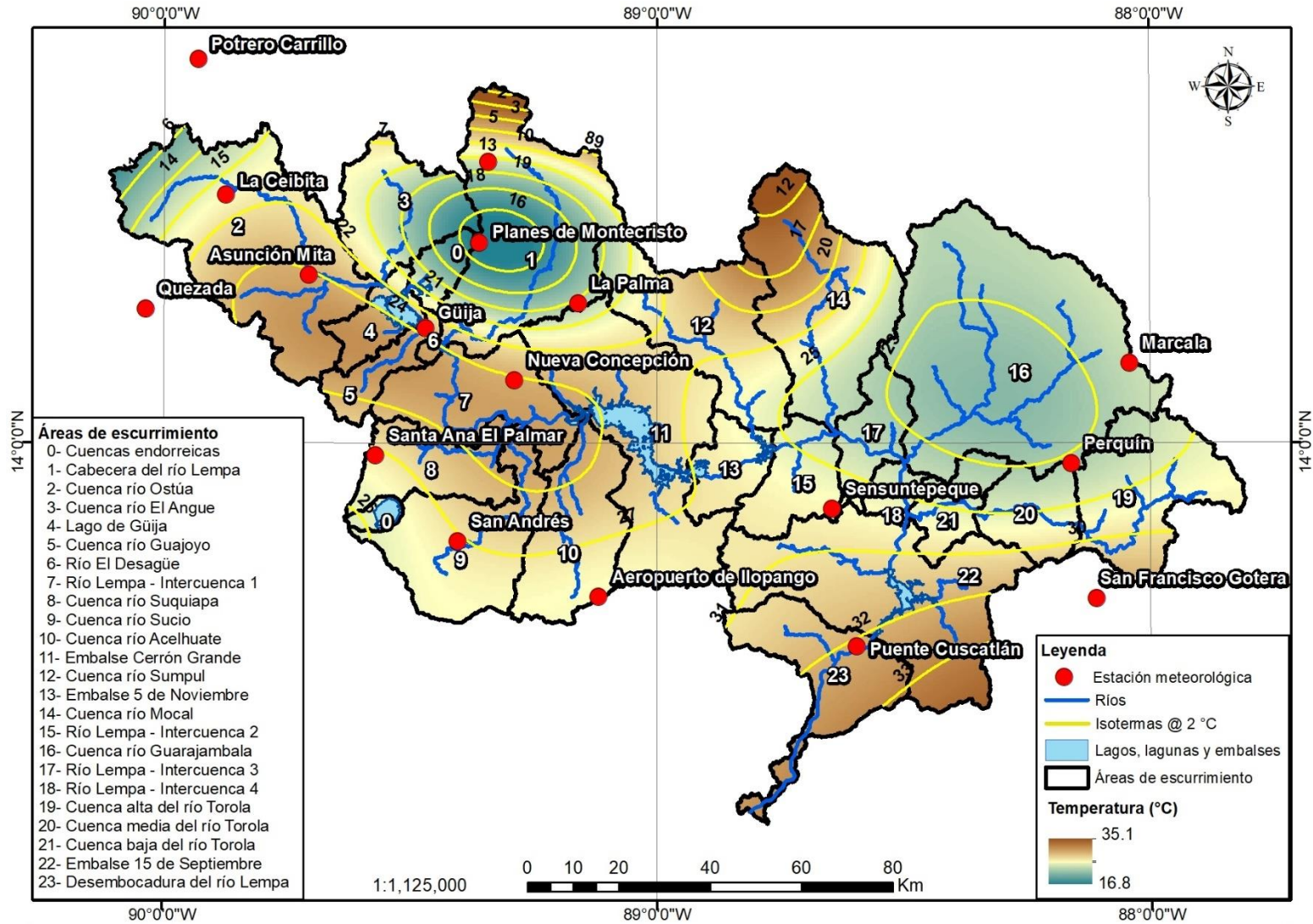


Figura A1- 23. Temperatura promedio multianual por año hidrológico, para el período proyectado futuro May/2020 – Abr/2050 en la cuenca del río Lempa.

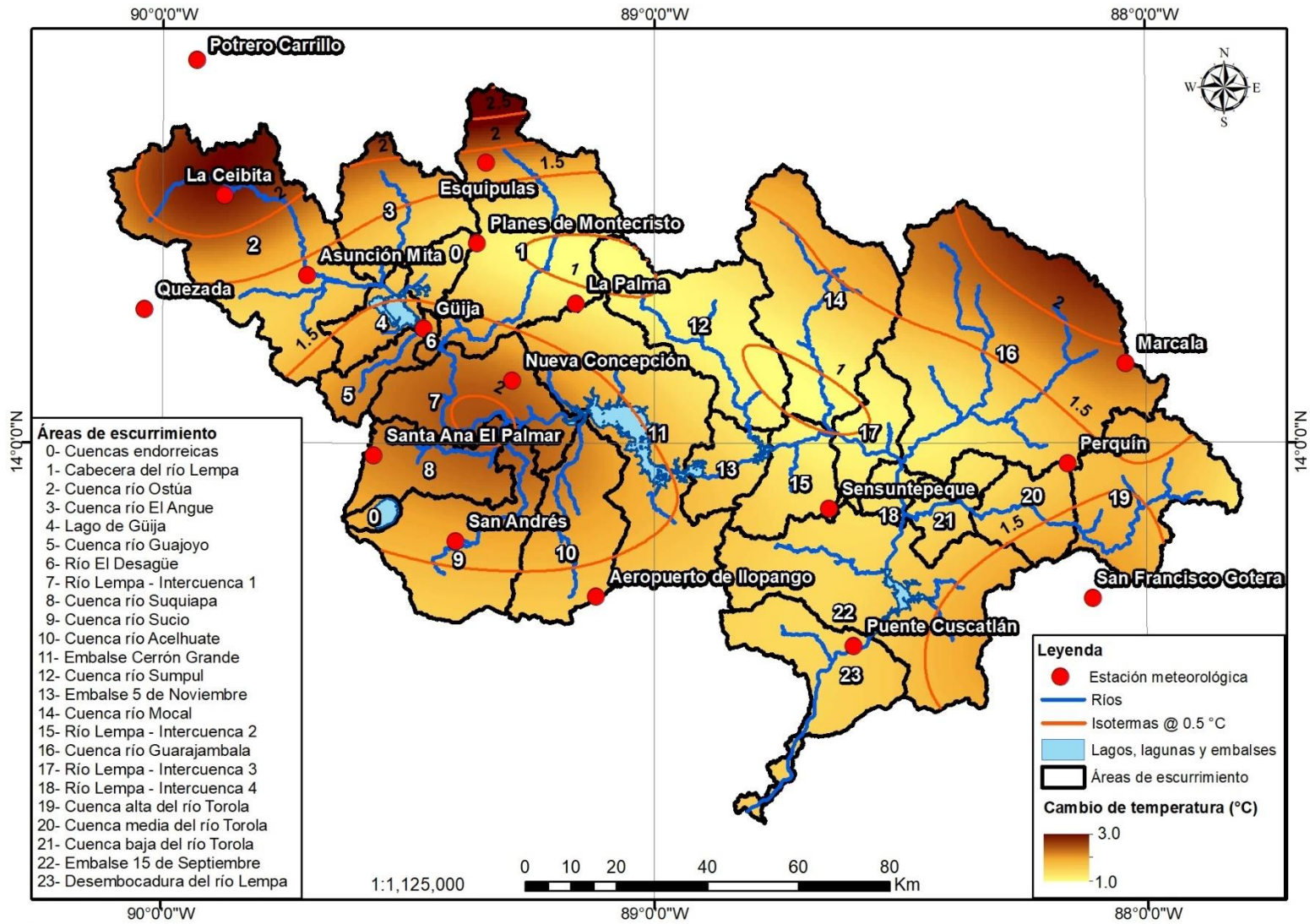


Figura A1- 24. Cambios en la temperatura promedio multianual desde el período histórico de referencia hacia el proyectado futuro en la cuenca del río Lempa.

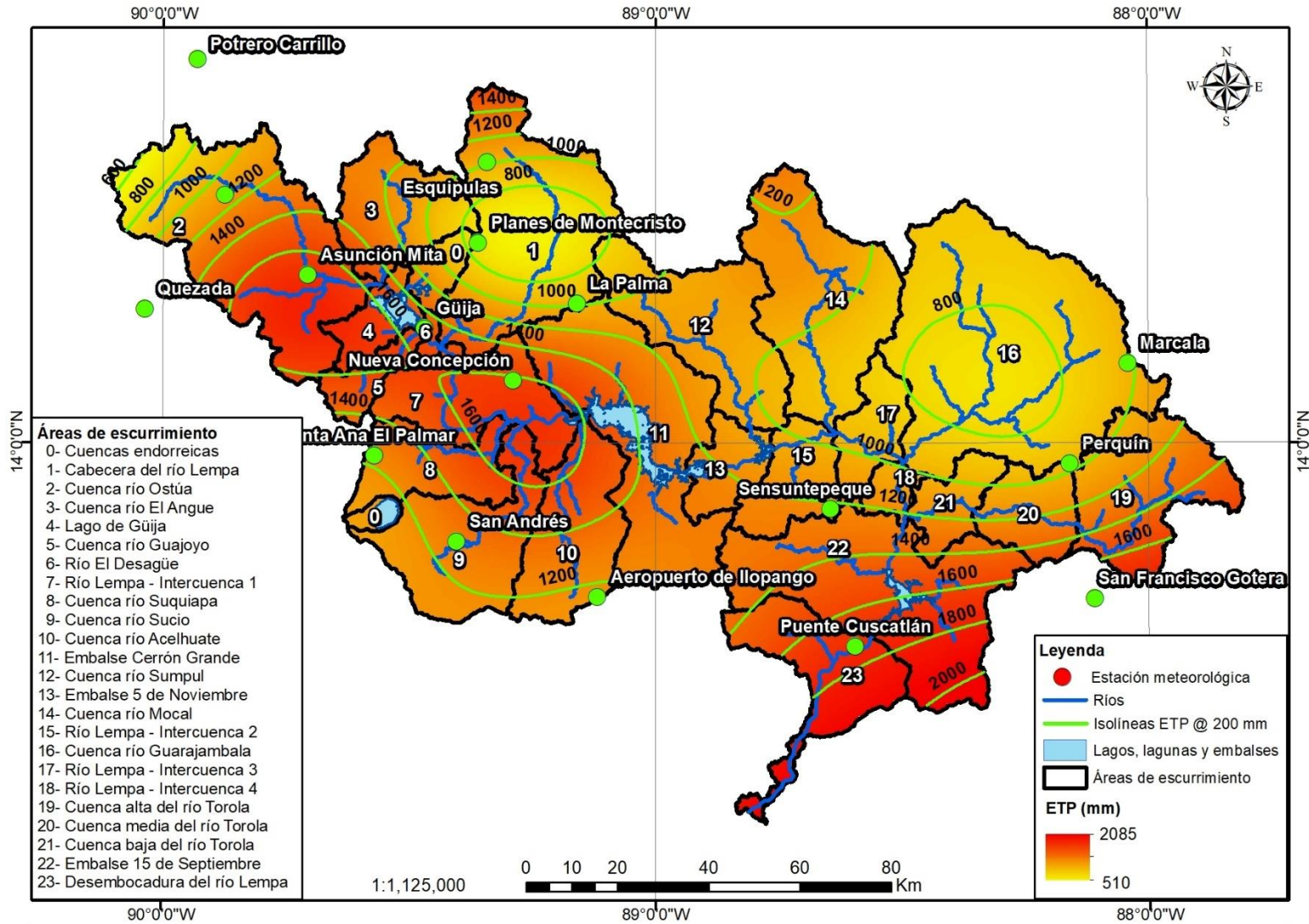


Figura A1- 25. ETP promedio multianual por año hidrológico, para el período histórico de referencia May/1970 – Abr/2000 en la cuenca del río lempa.

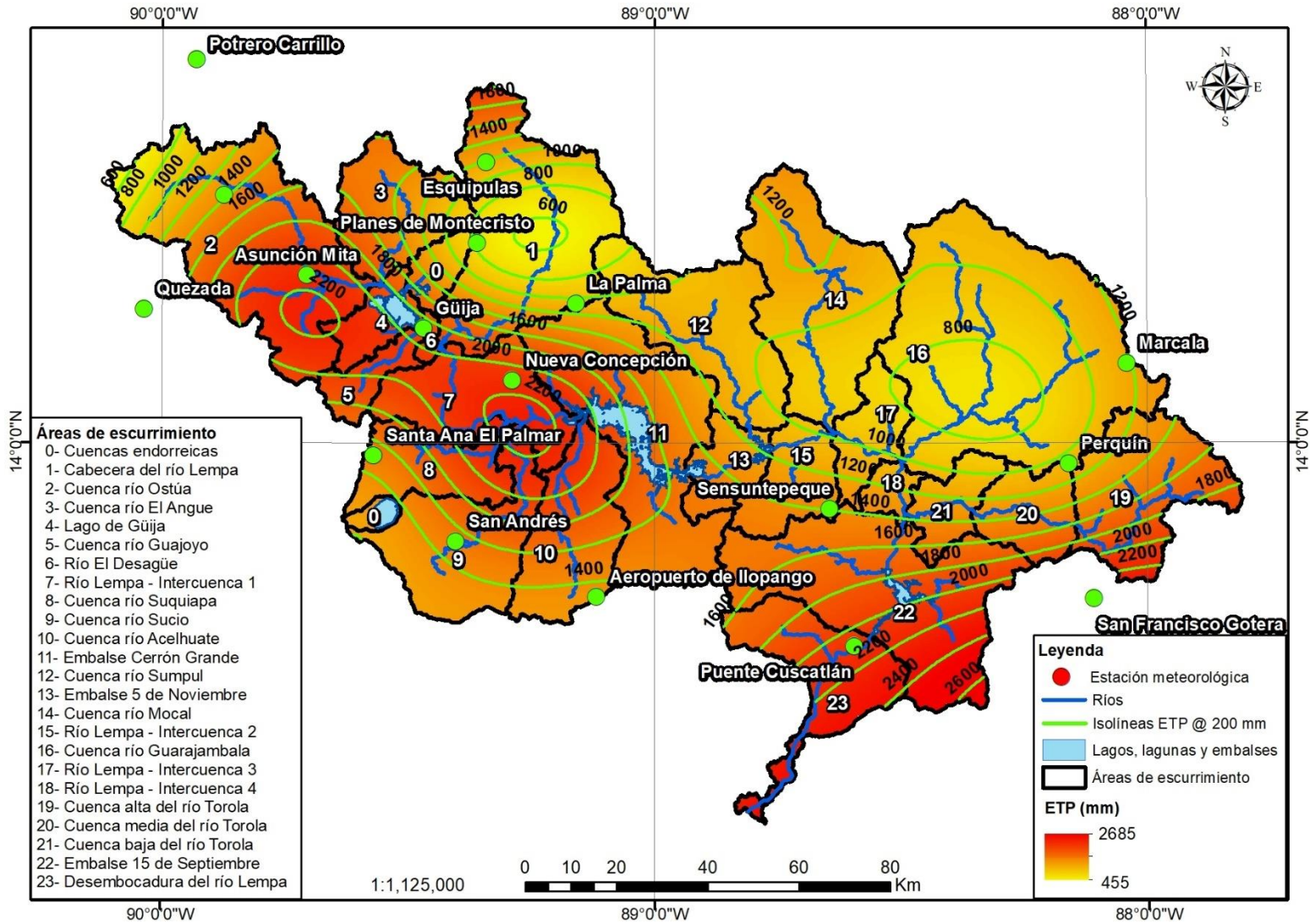


Figura A1- 26. ETP promedio multianual por año hidrológico, para el período proyectado futuro May/2020 – Abr/2050 en la cuenca del río Lempa.

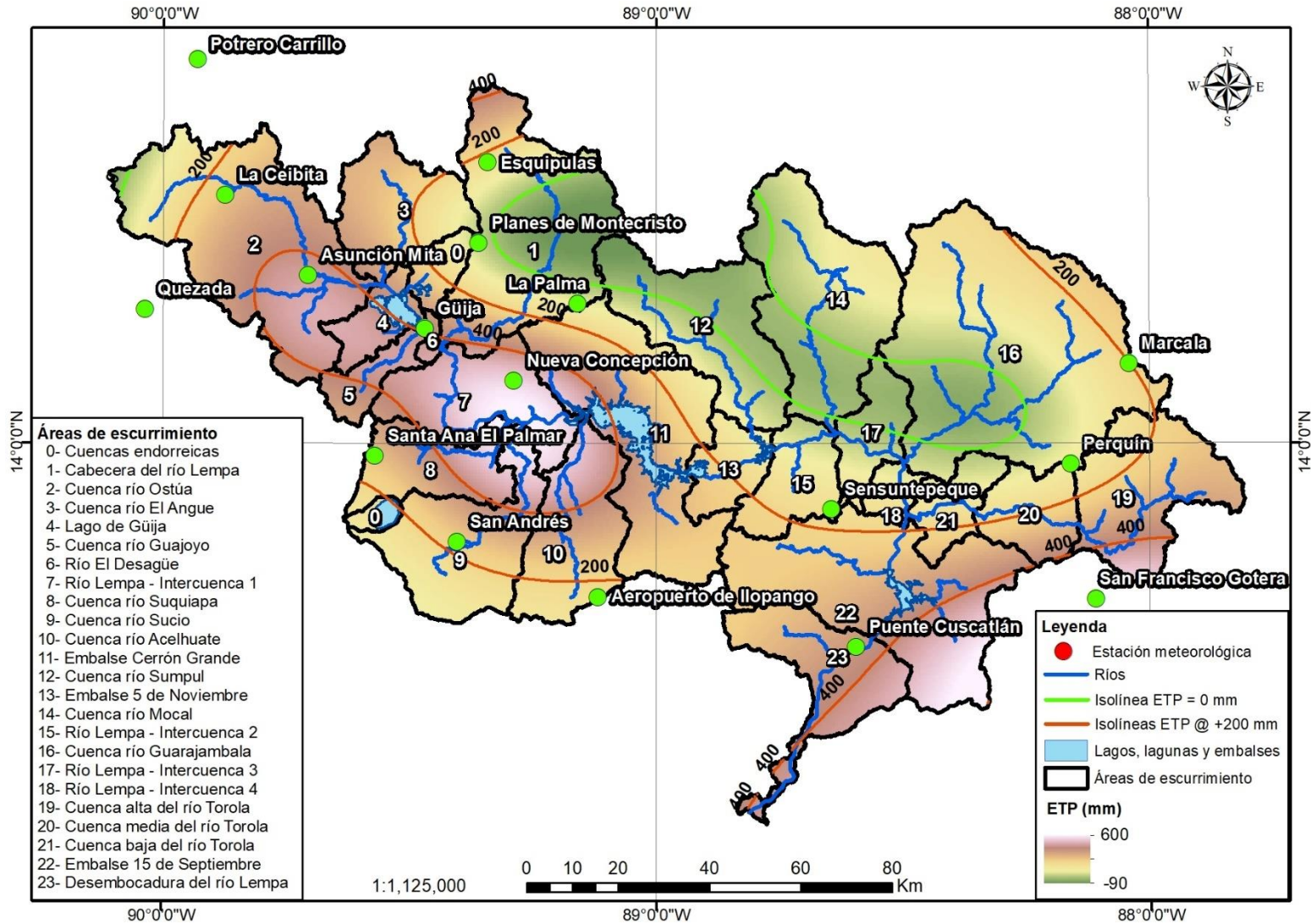


Figura A1- 27. Cambios en la ETP promedio multianual desde el período histórico de referencia hacia el proyectado futuro en la cuenca del río Lempa.

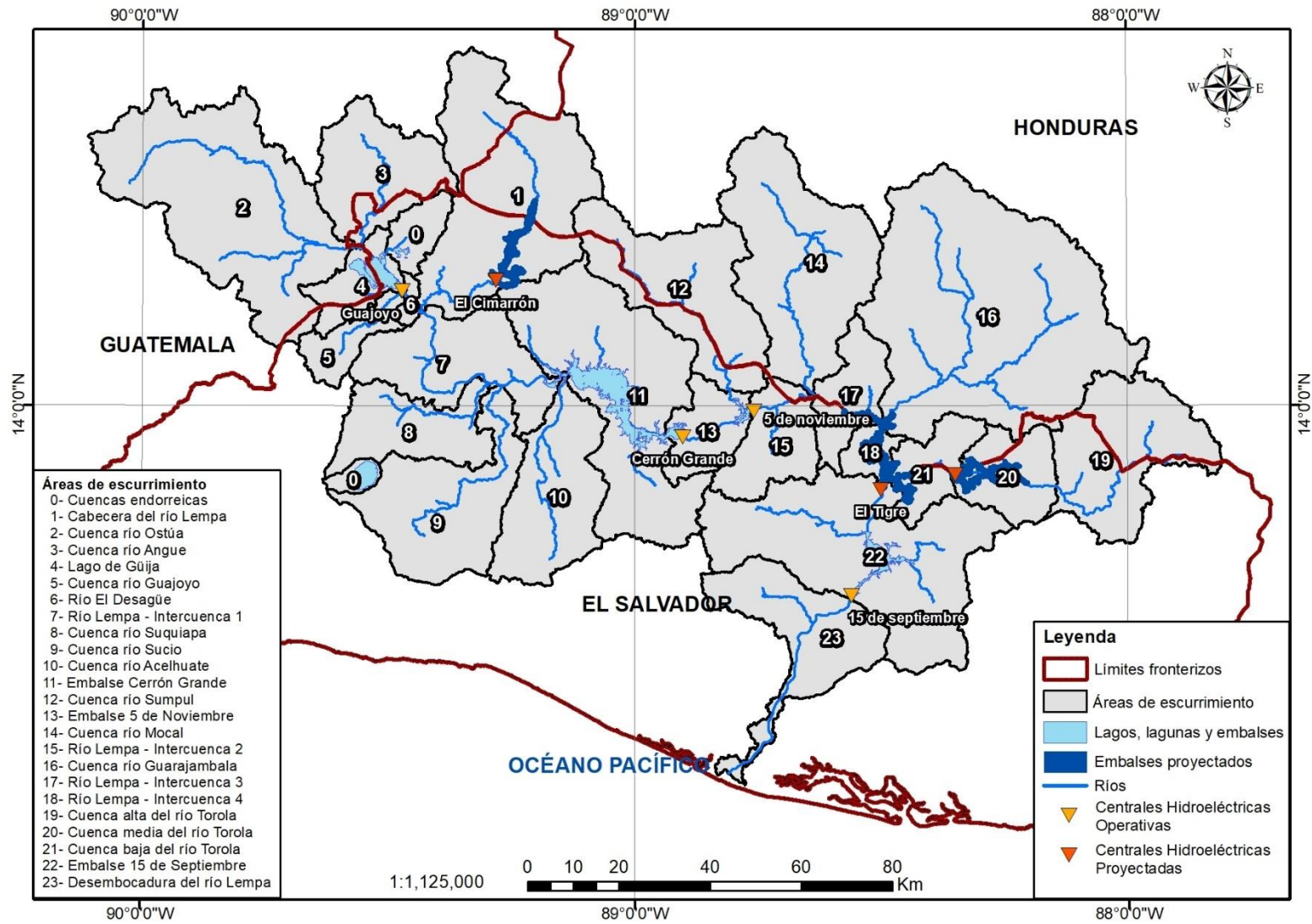


Figura A1- 28. Embalses de las grandes centrales hidroeléctricas operativas y proyectadas en la cuenca del río Lempa.

## **ANEXO 2 – RESULTADOS**

## A2 – 1. Control de calidad y relleno de datos

### A2 – 1.1. Registros hidrometeorológicos

Las coordenadas y altitud de las estaciones en Lempa se incluyen en la **Tabla A2- 1** y su disponibilidad de registros en la **Tabla A2- 2**. Se muestran los gráficos Scree para precipitación en la **Figura A2- 1** y para temperatura en la **Figura A2- 2**, del Análisis de Componentes Principales “ACP” para todas las estaciones disponibles dentro del Corredor Seco Centroamericano “CSC” para este estudio. Los resultados mensuales del relleno de precipitación se presentan, desde la **Figura A2- 3** hasta la **Figura A2- 8**; y para temperatura desde la **Figura A2- 9** hasta la **Figura A2- 13**.

**Tabla A2- 1. Estaciones meteorológicas “M”, pluviométricas “P” e hidrométricas “H” (incluyendo centrales hidroeléctricas operativas y proyectadas).**

N	T	Nombre	Lon (°)	Lat (°)	Alt msnm	N	T	Nombre	Long (°)	Lat (°)	Alt. msnm
1	M	P. Cuscatlán	-88.5943	13.5984	33	19	P	L. Virtud	-88.6950	14.0575	280
2	M	S.F. Gotera	-88.1085	13.6923	273	20	P	Valladolid	-88.7347	14.1514	1240
3	M	Perquín	-88.1584	13.9610	1166	21	P	SJ. Guarita	-88.8264	14.1756	1013
4	M	Marcala	-88.0403	14.1589	1340	22	P	Cololaca	-88.8819	14.3056	730
5	M	Sensuntepeque	-88.6448	13.8713	695	23	H	SM. Lempa	-88.7000	13.4320	24
6	M	A. Ilopango	-89.1170	13.6974	624	24	H	Osicala	-88.1483	13.8393	300
7	M	S. Andrés	-89.4038	13.8065	480	25	H	E. Jocote	-89.2758	13.9117	334
8	M	S. Ana	-89.5700	13.9800	725	26	H	L. Pavas	-89.3058	14.0367	268
9	M	N. Concepción	-89.2883	14.1254	327	27	H	P. Oso	-89.4167	14.0907	322
10	M	L. Palma	-89.1591	14.2783	1024	28	H	S. Francisco	-89.4855	14.2187	386
11	M	Güija	-89.4691	14.2284	449	29	H	L. Puentes	-89.5520	14.3354	447
12	M	P. Montecristo	-89.3606	14.3989	1857	30	H	15 de Sep.	-88.5594	13.6227	29
13	M	Esquipulas	-89.3419	14.5589	950	31	H	5 de Nov.	-88.7580	13.9900	173
14	M	A. Mita	-89.7058	14.3344	478	32	H	C. Grande	-88.9016	13.9384	189
15	M	L. Ceibita	-89.8756	14.4928	960	33	H	Guajoyo	-89.4728	14.2277	391
16	M	Quezada	-90.0378	14.2661	980	34	H	E. Tigre	-88.4996	13.8322	58
17	M	P. Carrillo	-89.9322	14.7606	1760	35	H	E. Chaparral	-88.3497	13.8612	161
18	P	Erandique	-88.4667	14.2322	1150	36	H	E. Cimarrón	-89.2822	14.2479	572



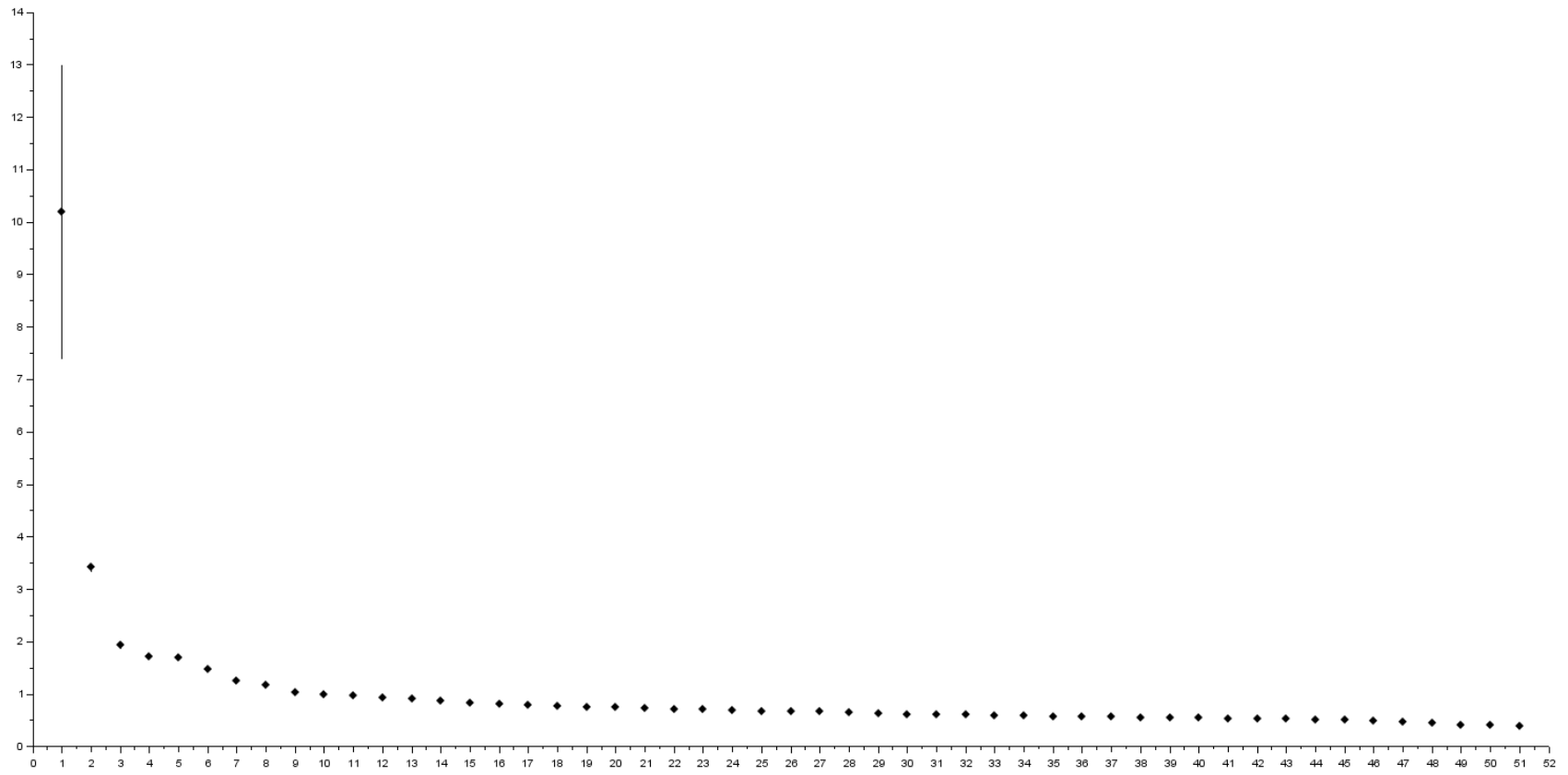


Figura A2- 1. Gráfico “Scree” para 51 estaciones de precipitación de GT, SV, HN y CR.

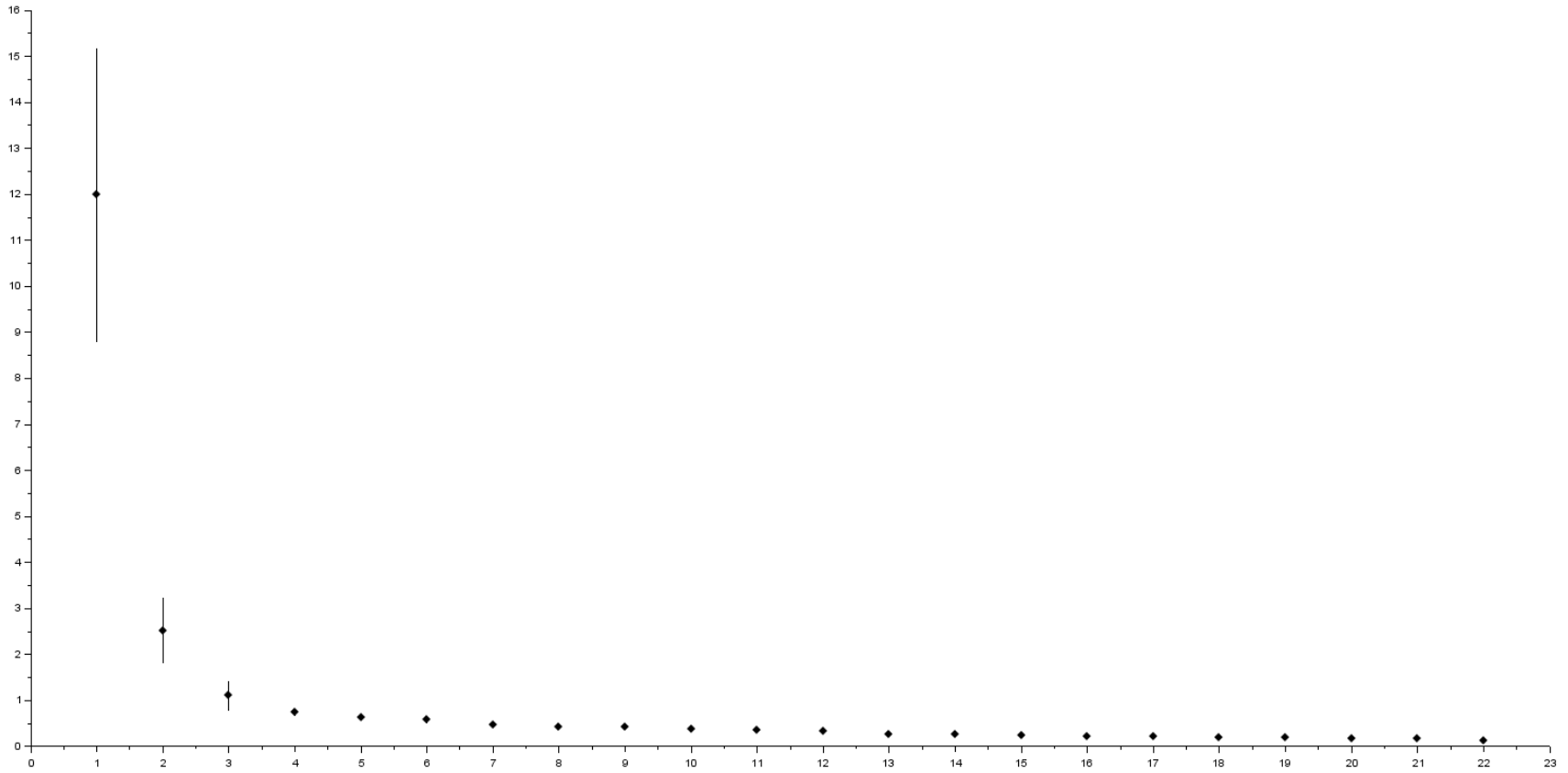
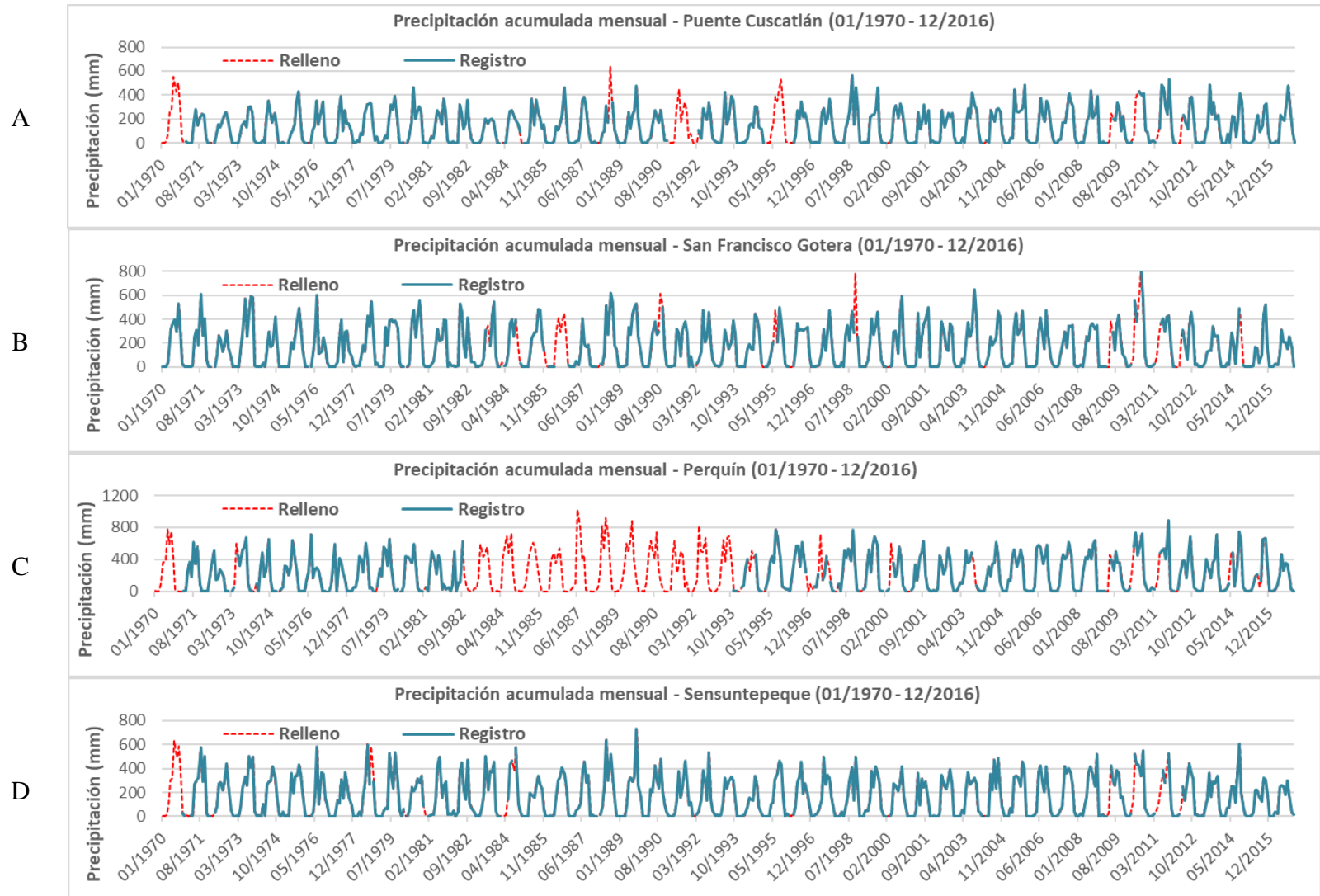


Figura A2- 2. Gráfico “Scree” para 22 estaciones termométricas de GT y SV.



**Figura A2- 3. Precipitación acumulada mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. Puente Cuscatlán; B. San Francisco Gotera; C. Perquín; y D. Sensuntepeque.**



**Figura A2- 4. Precipitación acumulada mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. Aeropuerto de Ilopango; B. San Andrés; C. Santa Ana El Palmar/UNICAES; y D. Nueva Concepción.**

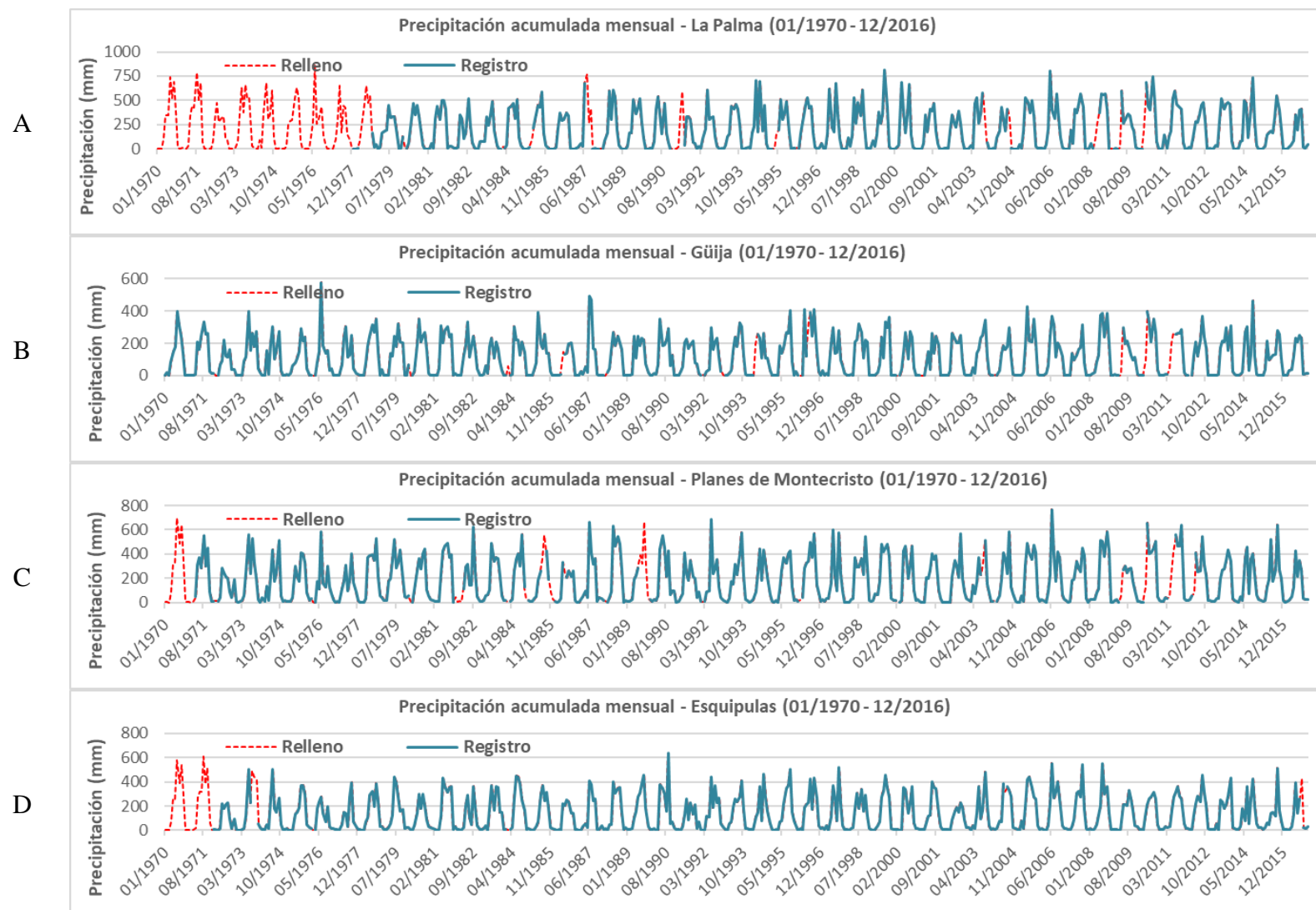


Figura A2- 5. Precipitación acumulada mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. La Palma; B. Güija; C. Planes de Montecristo; y D. Esquipulas.

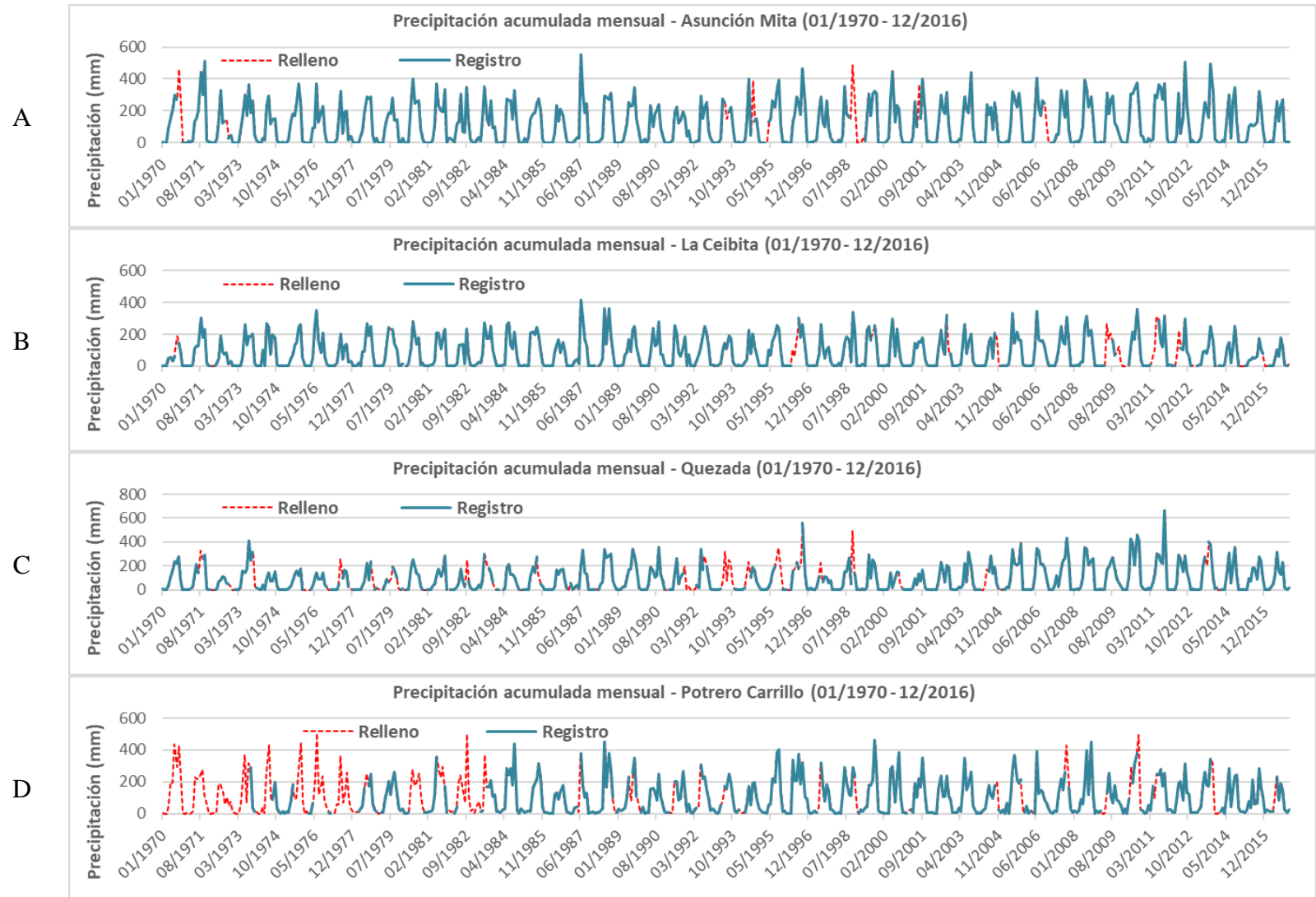


Figura A2- 6. Precipitación acumulada mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. Asunción Mita; B. La Ceibita; C. Quezada; y D. Potrero Carrillo.

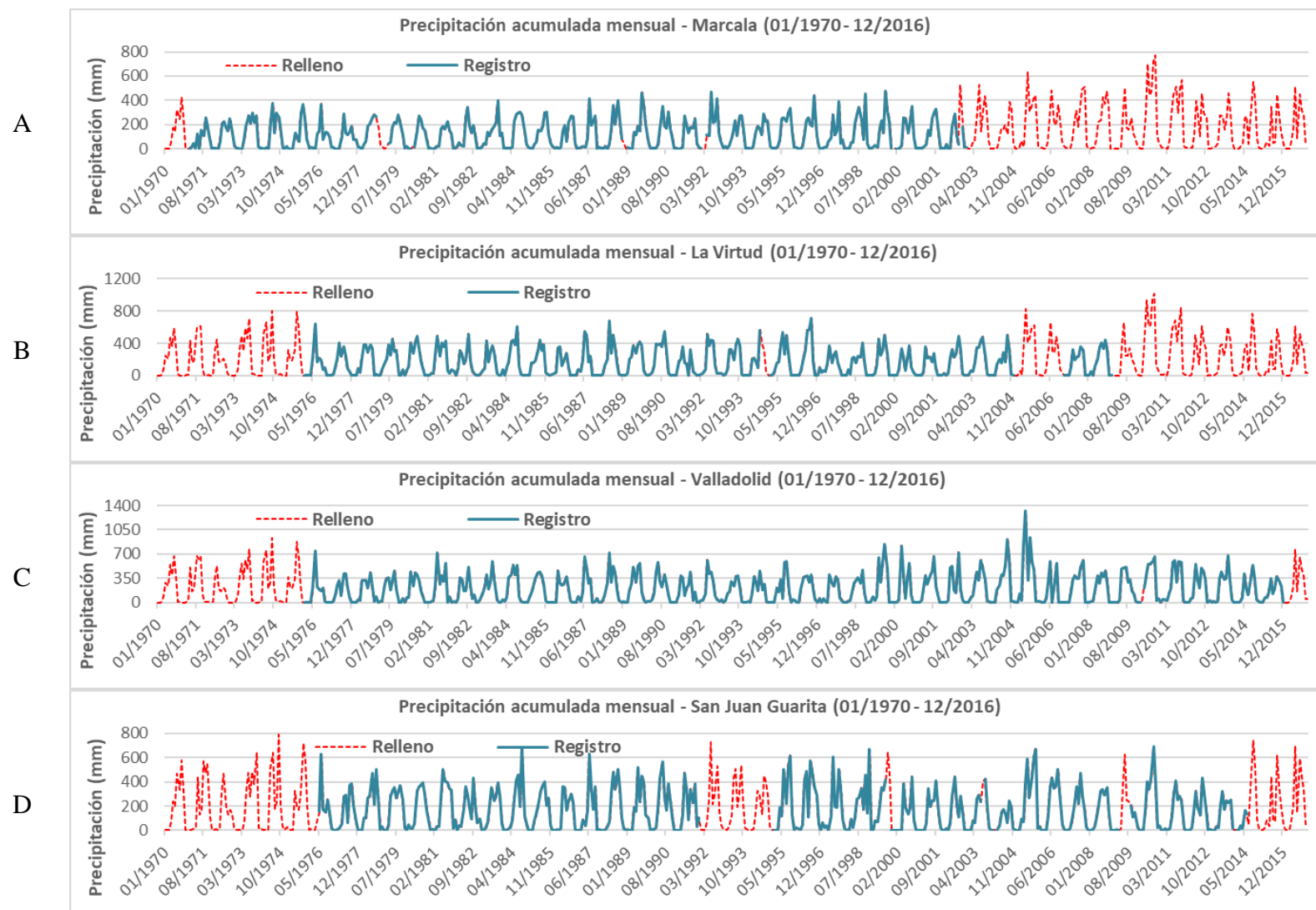


Figura A2- 7. Precipitación acumulada mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. Marcala; B. La Virtud; C. Valladolid; y D. San Juan Guarita.

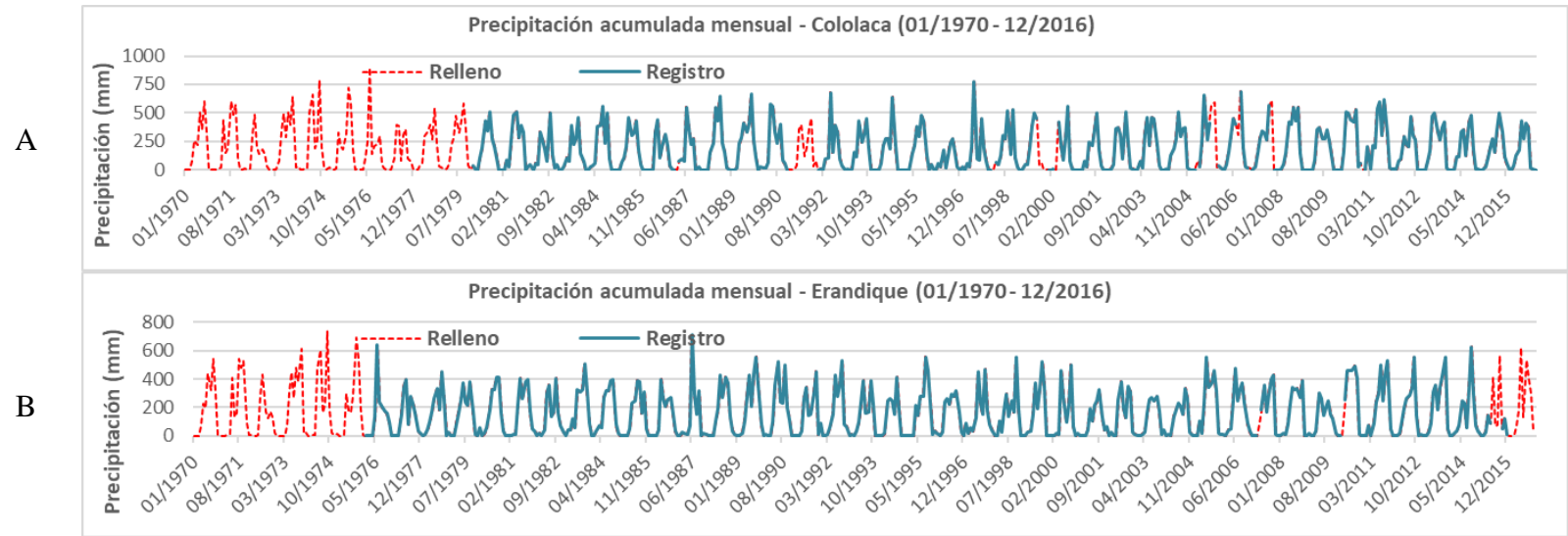


Figura A2- 8. Precipitación acumulada mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. Cololaca; y B. Erandique.

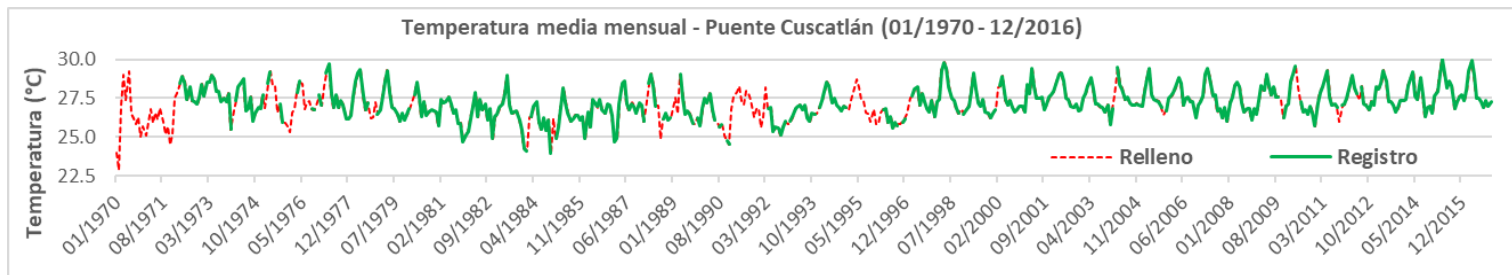


Figura A2- 9. Temperatura media mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para la estación Puente Cuscatlán.



Figura A2- 10. Temperatura media mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. San Francisco Gotera; B. Perquín; C. Sensuntepeque; y D. Aeropuerto de Ilopango.



Figura A2- 11. Temperatura media mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. San Andrés; B. Santa Ana El Palmar/UNICAES; C. Nueva Concepción; y D. La Palma.

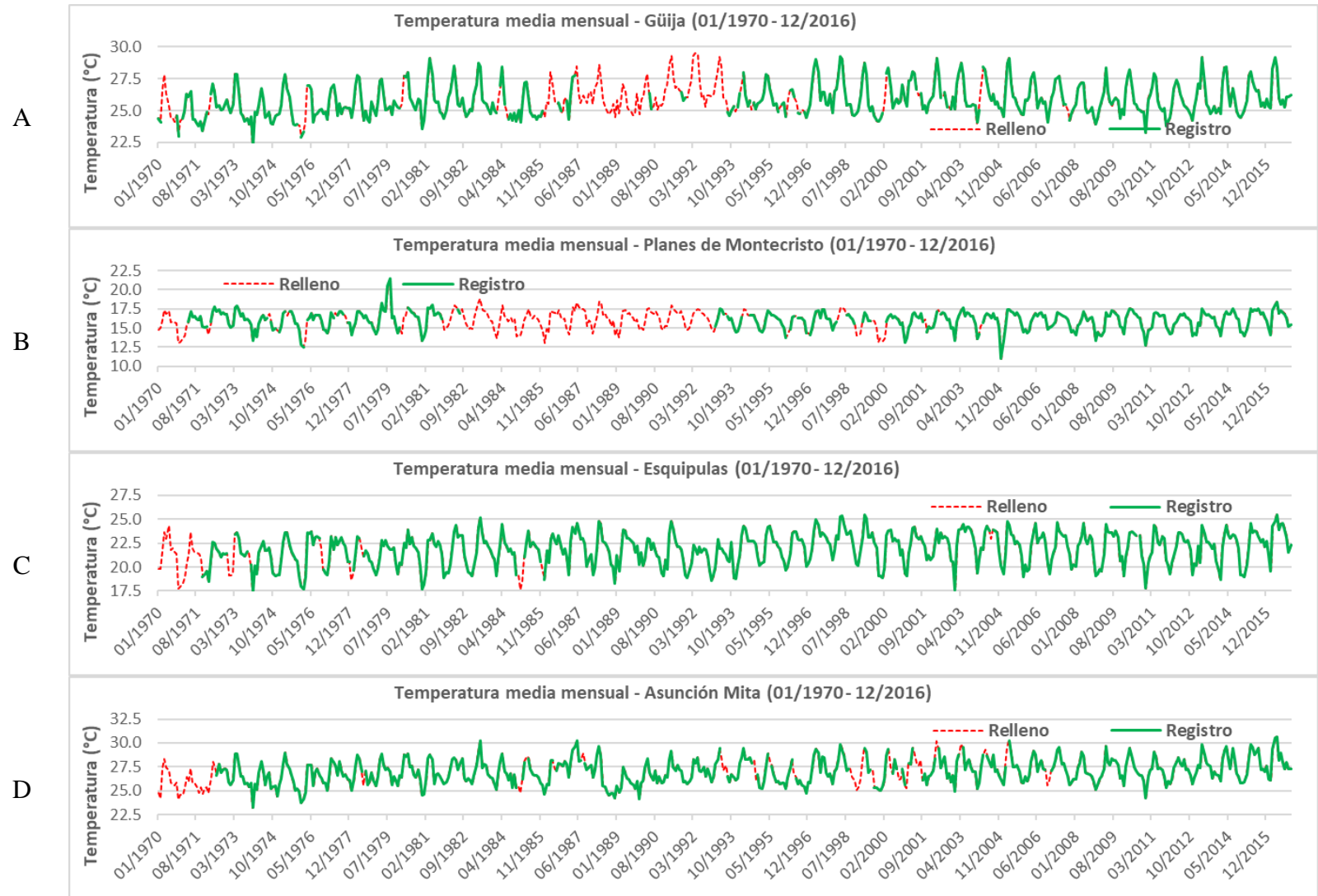


Figura A2- 12. Temperatura media mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día rellenado, para las estaciones: A. Güija; B. Planes de Montecristo; C. Esquipulas; y D. Asunción Mita.



Figura A2- 13. Temperatura media mensual registrada con control de calidad y meses con al menos un día relleno, para las estaciones: A. La Ceibita; B. Quezada; C. Potrero Carrillo; y D. Marcala.

## A2 – 1.2. Información geográfica

La cuenca del río Lempa no requirió de correcciones geográficas como la delineación del río en zonas llanas o la confluencia de afluentes.

En cuanto a las divisiones administrativas, los límites nacionales, departamentales y municipales de Guatemala, El Salvador y Honduras fueron consistentes con los de los censos poblacionales más recientes de 2002, 2007 y 2013, respectivamente, de modo que no se requirió realizar correcciones en dichas divisiones.

## A2 – 1.3. Censos poblacionales y agrícolas

Se detectaron vacíos de información en los censos poblacionales de dos municipios de El Salvador: San Fernando, del departamento de Chalatenango (**Figura A2- 14**) y San Luís La Herradura, del departamento de La Paz (**Figura A2- 15**); mientras que en Honduras, los censos de 1950, 1961 y 1974 contaban con población total, pero no con segregación por tipo urbana y rural, por lo que se proyectaron dichas poblaciones de todos los municipios considerados hacia el pasado a partir de los censos de 1988, 2001 y 2013; como ejemplo, se muestra el relleno de Ocotepeque, municipio del departamento homónimo (**Figura A2- 16**).

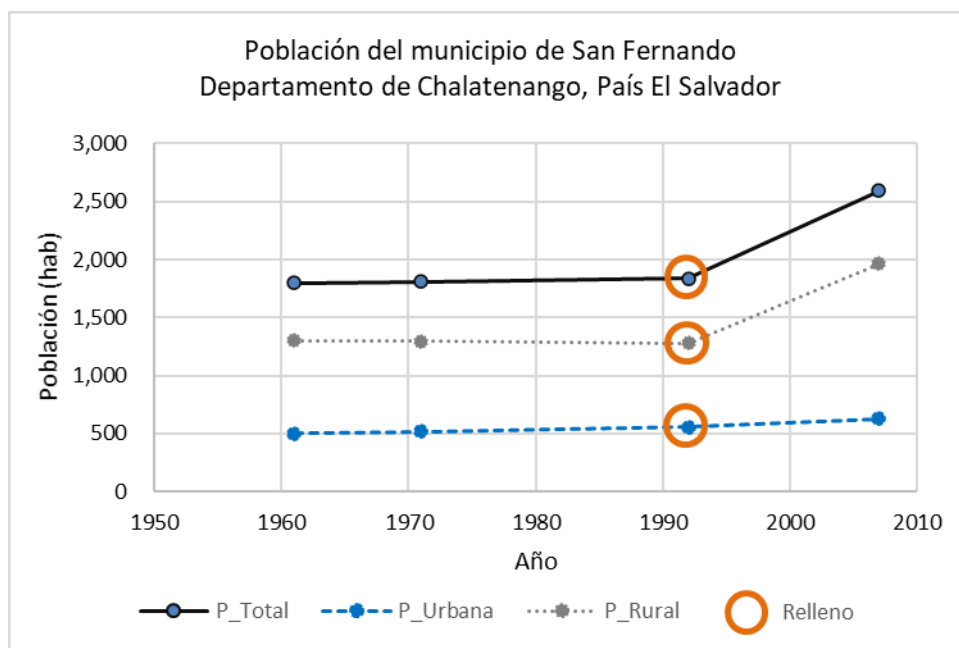
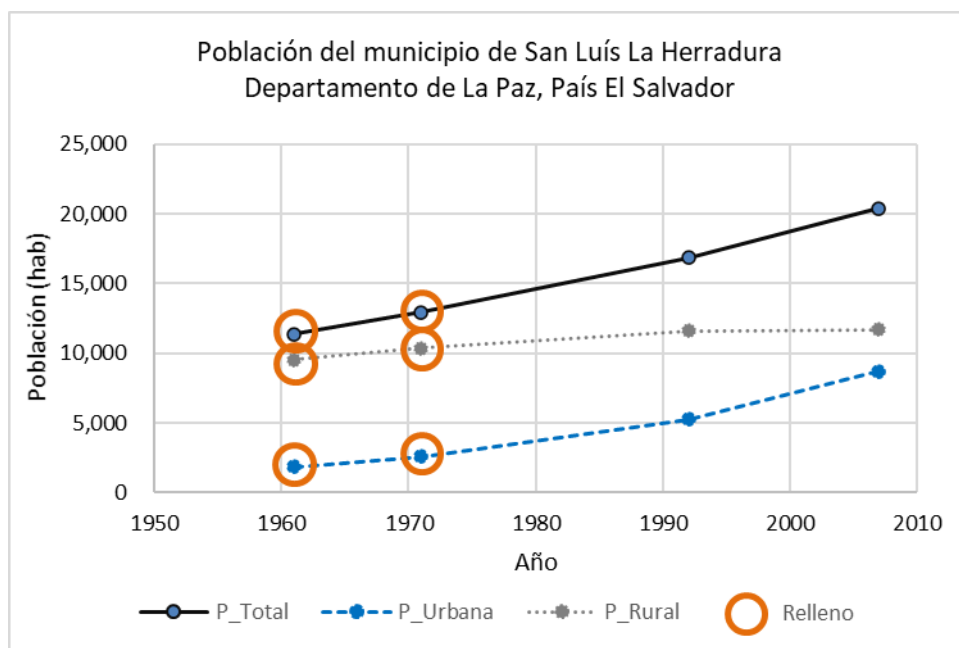
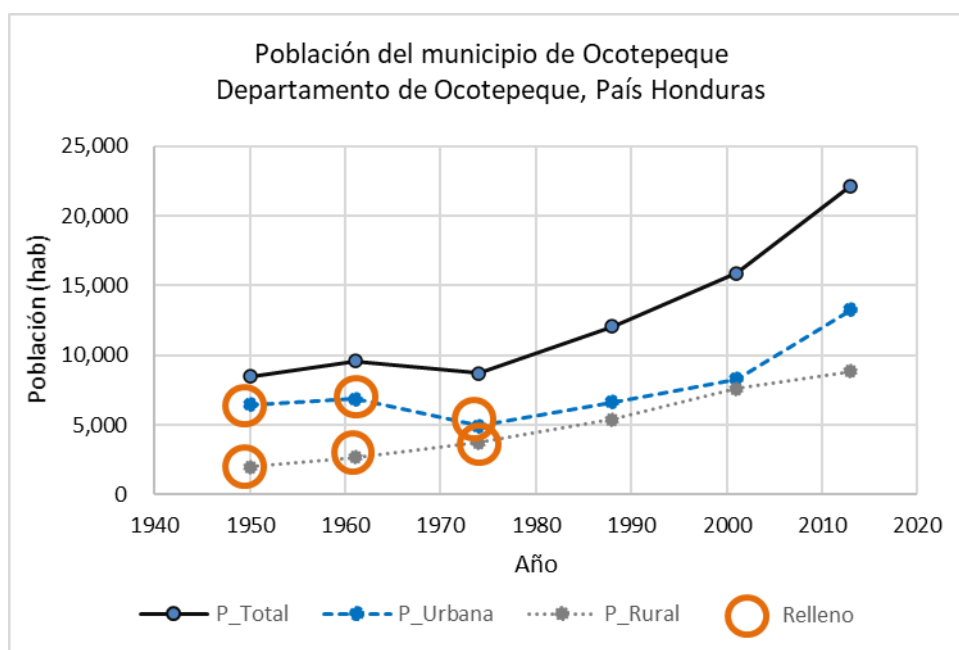


Figura A2- 14. Relleno poblacional del municipio de San Fernando por el método de progresión geométrica.



**Figura A2- 15. Relleno poblacional del municipio de San Luís La Herradura por el método de progresión geométrica.**



**Figura A2- 16. Relleno poblacional del municipio de Ocotepeque por el método de progresión geométrica.**

## A2 – 2. Demandas de agua

### A2 – 2.1. Población y Demanda de agua poblacional

#### A2 – 2.1.1. Población “Pob”

Se calculó por municipio con el método de progresión geométrica, a cada cinco años desde 1950 hasta 2050, luego, las poblaciones se acumularon proporcionalmente al área municipal dentro de la cuenca. Los censos utilizados con su resolución espacial y el tipo de población, se muestran en la **Tabla A2- 3**; y las poblaciones urbanas y rurales por cuenca en la **Tabla A2- 4** y **Tabla A2- 5**, respectivamente.

**Tabla A2- 3. Censos poblacionales utilizados, resolución y tipo de población en cada uno.**

N°	País	Año	Resolución	Tipos de población
1	GT	1950	Municipal	Total, urbana y rural
2	GT	1981	Municipal	Total, urbana y rural
3	GT	1994	Municipal	Total, urbana y rural
4	GT	2002	Municipal	Total, urbana y rural
5	SV	1961	Municipal	Total, urbana y rural
6	SV	1971	Municipal	Total, urbana y rural
7	SV	1992	Municipal	Total, urbana y rural
8	SV	2007	Municipal	Total, urbana y rural
9	HN	1950	Municipal	Total
10	HN	1961	Municipal	Total
11	HN	1974	Municipal	Total
12	HN	1988	Municipal	Total, urbana y rural
13	HN	2001	Municipal	Total, urbana y rural
14	HN	2013	Municipal	Total, urbana y rural

Tabla A2- 4. Población urbana en número de habitantes por lustro y número de área de escurrimiento.

<b>Año</b>	<b>01 Cab</b>	<b>02 Ost</b>	<b>03 Ang</b>	<b>04 Güi</b>	<b>05 Gua</b>	<b>06 Des</b>	<b>07 IC1</b>	<b>08 Suq</b>	<b>09 Suc</b>	<b>10 Ace</b>	<b>11 CG</b>	<b>12 Sum</b>
<b>1950</b>	12862	15440	413	39527	9714	2072	3671	3780	36115	31064	22913	13695
<b>1955</b>	13644	18678	916	45951	11337	2419	4881	4304	42663	41723	29227	14585
<b>1960</b>	14468	22404	1460	53405	13226	2821	8273	4910	51088	57780	37423	15805
<b>1965</b>	13907	26700	2057	62051	15420	3290	13122	5601	61142	83086	48790	16728
<b>1970</b>	13274	31662	2729	72078	17972	3834	20162	6390	73271	122745	65741	18190
<b>1975</b>	12616	37039	3532	79475	19779	4219	24872	6971	88363	160862	77800	18817
<b>1980</b>	13373	43321	4611	86431	21441	4574	29229	7526	106350	204848	89013	20060
<b>1985</b>	14695	48875	5103	93876	23226	4955	34510	8130	127727	263254	102297	21702
<b>1990</b>	16490	54562	5383	101867	25140	5363	40963	8789	153264	341749	118036	23764
<b>1995</b>	20926	63325	6353	115987	28884	6162	56391	11458	185816	478457	128802	25902
<b>2000</b>	26514	81232	7756	133052	33487	7144	63667	15218	215166	557178	135754	27785
<b>2005</b>	32796	97010	9065	149184	37860	8076	69079	18737	243824	621022	144120	29534
<b>2010</b>	38571	110968	10301	163339	42104	8982	73871	22458	270488	675714	153520	31399
<b>2015</b>	44056	125714	11571	176322	46336	9884	78489	26456	296668	726770	163033	33293
<b>2020</b>	49214	141490	12977	189186	50613	10797	83321	30524	324239	779947	173236	35037
<b>2025</b>	54707	158441	14546	202036	54975	11727	88410	34678	353444	823706	184977	36750
<b>2030</b>	60568	176708	16307	214960	59454	12683	93796	38940	384556	863269	197774	38433
<b>2035</b>	66805	196417	18293	228045	64087	13671	99513	43327	417869	899436	211763	40083
<b>2040</b>	73412	217705	20542	241371	68909	14700	105603	47859	453709	937619	227083	41704
<b>2045</b>	80361	240680	23098	255016	73957	15777	112108	52554	492433	978107	243896	43288
<b>2050</b>	87594	269611	26010	269051	79273	16910	119063	57432	534454	1021181	249407	44832

Tabla A2- 4. Continuación.

<b>Año</b>	<b>13 5N</b>	<b>14 Moc</b>	<b>15 IC2</b>	<b>16 Gbl</b>	<b>17 IC3</b>	<b>18 IC4</b>	<b>19 TCA</b>	<b>20 TCM</b>	<b>21 TCB</b>	<b>22 15S</b>	<b>23 SML</b>	<b>Total Lempa</b>
<b>1950</b>	5569	5173	1804	18755	3433	379	5368	32795	4711	32524	10868	<b>312645</b>
<b>1955</b>	6847	5608	2250	18114	2999	413	5909	39939	4851	37123	12329	<b>366710</b>
<b>1960</b>	8356	6376	2771	18038	3128	449	6610	48692	5045	42430	13971	<b>438929</b>
<b>1965</b>	10145	5097	3247	15039	2485	426	6486	59074	4456	48607	15811	<b>522767</b>
<b>1970</b>	12261	3671	3914	12493	1925	402	6892	71916	3983	55855	17865	<b>639225</b>
<b>1975</b>	14002	1991	4340	9748	1354	305	7267	85857	3628	63575	19271	<b>745683</b>
<b>1980</b>	15587	881	4730	8474	842	196	7716	101393	3394	71141	20502	<b>865633</b>
<b>1985</b>	17177	521	5169	8451	727	172	8296	119190	3554	78707	21772	<b>1012086</b>
<b>1990</b>	18785	544	5659	9047	694	167	9039	139310	3785	86365	23090	<b>1191855</b>
<b>1995</b>	19481	1166	5975	10600	707	205	9502	154267	3738	93486	26022	<b>1453612</b>
<b>2000</b>	19613	1945	6166	12451	700	279	9671	164884	3511	100427	29611	<b>1653211</b>
<b>2005</b>	19822	2301	6383	16754	693	362	9783	175863	3238	107721	32830	<b>1836057</b>
<b>2010</b>	20303	2555	7059	22250	675	444	10050	187850	3425	114845	36424	<b>2007595</b>
<b>2015</b>	20943	2817	8007	27836	653	522	10441	200709	3918	121808	40386	<b>2176632</b>
<b>2020</b>	21600	3080	8941	33081	645	607	10858	214062	4413	128944	44367	<b>2351179</b>
<b>2025</b>	22276	3363	9856	39063	633	699	11297	227938	4907	136269	48405	<b>2523103</b>
<b>2030</b>	22976	3673	10759	45886	617	798	11757	242367	5403	143796	52529	<b>2698009</b>
<b>2035</b>	23697	4007	11652	53666	595	906	12242	257381	5902	151530	56779	<b>2877666</b>
<b>2040</b>	24447	4369	12536	62536	567	1022	12754	273013	6404	159487	61186	<b>3068537</b>
<b>2045</b>	25226	4761	13413	72647	535	1148	13296	289297	6911	167658	65778	<b>3271945</b>
<b>2050</b>	26033	5187	14283	84175	497	1284	13875	306269	7423	175730	70597	<b>3480171</b>

Tabla A2- 5. Población rural en número de habitantes por lustro y número de área de escurrimiento.

<b>Año</b>	<b>01 Cab</b>	<b>02 Ost</b>	<b>03 Ang</b>	<b>04 Güi</b>	<b>05 Gua</b>	<b>06 Des</b>	<b>07 IC1</b>	<b>08 Suq</b>	<b>09 Suc</b>	<b>10 Ace</b>	<b>11 CG</b>	<b>12 Sum</b>
<b>1950</b>	22705	62272	17729	33042	12889	2750	13848	17035	58881	64561	81111	33016
<b>1955</b>	24493	67470	18321	37336	14532	3100	16170	19307	66554	78012	92888	37933
<b>1960</b>	26483	73142	18944	42193	16389	3496	17480	21989	74872	94311	106744	43508
<b>1965</b>	28540	79319	19593	47687	18490	3944	19025	25179	84647	113628	122582	50027
<b>1970</b>	30551	86030	20247	53902	20866	4451	20844	28994	96175	137683	139712	57215
<b>1975</b>	31900	92930	20941	57000	22087	4711	23281	32254	105979	151166	140522	59337
<b>1980</b>	34023	100065	21503	59302	23024	4911	26361	35587	116228	166304	139357	61273
<b>1985</b>	37557	109098	22800	61640	24024	5125	30178	39323	127949	187962	139903	63805
<b>1990</b>	42214	119633	24471	64075	25097	5354	34926	43516	141354	217675	141739	66983
<b>1995</b>	45826	129609	25661	59476	23807	5079	26582	43311	135428	156748	144786	69826
<b>2000</b>	50766	136621	26772	51238	21344	4553	22710	40219	122488	118963	148733	72629
<b>2005</b>	54188	145692	28057	44424	19302	4118	21035	37442	111825	101486	153642	75337
<b>2010</b>	58928	156509	29459	39345	17774	3791	20140	35649	104677	95409	165890	78068
<b>2015</b>	65413	169588	31007	35358	16558	3532	19584	34464	99585	95685	185211	80761
<b>2020</b>	73065	185175	32681	31916	15481	3303	19111	33382	94967	98927	208505	83374
<b>2025</b>	82162	203631	34482	28939	14523	3098	18702	32397	90792	105081	235847	86337
<b>2030</b>	92948	225398	36418	26365	13669	2916	18343	31501	87024	114309	268851	89674
<b>2035</b>	105729	251019	38496	24137	12905	2753	18027	30688	83640	126959	308734	93423
<b>2040</b>	120874	281135	40726	22206	12218	2606	17744	29952	80616	128956	324805	97610
<b>2045</b>	138844	316530	43118	20532	11599	2474	17486	29289	77933	127114	332352	102278
<b>2050</b>	160186	353966	45686	19079	11040	2355	17255	28694	75572	125560	340717	107469

Tabla A2- 5. Continuación.

<b>Año</b>	<b>13 5N</b>	<b>14 Moc</b>	<b>15 IC2</b>	<b>16 Gbl</b>	<b>17 IC3</b>	<b>18 IC4</b>	<b>19 TCA</b>	<b>20 TCM</b>	<b>21 TCB</b>	<b>22 15S</b>	<b>23 SML</b>	<b>Total Lempa</b>
<b>1950</b>	19466	19846	13739	33043	9550	1945	20188	50426	16633	81022	20782	<b>706479</b>
<b>1955</b>	22249	22163	15567	37255	10678	2062	23068	58801	18436	94818	24555	<b>805768</b>
<b>1960</b>	25482	24563	17699	41469	11500	2188	26307	68594	20403	111125	29064	<b>917945</b>
<b>1965</b>	29239	27321	20257	47674	12777	2333	30397	80194	22893	130415	34458	<b>1050619</b>
<b>1970</b>	33609	29812	23131	53348	13892	2477	34375	93641	25364	153263	40921	<b>1200503</b>
<b>1975</b>	33075	32856	22900	59518	14553	2325	34636	97026	25632	150843	41958	<b>1257430</b>
<b>1980</b>	31589	37268	22149	68023	15487	2218	34958	98102	25623	144208	41755	<b>1309318</b>
<b>1985</b>	30442	41374	21611	76597	16124	2120	35781	99367	25338	139992	41873	<b>1379983</b>
<b>1990</b>	29581	46016	21223	87161	16972	2086	37021	101036	25230	137770	42314	<b>1473447</b>
<b>1995</b>	29468	51471	20859	100886	18380	2152	39322	101618	25664	137792	40854	<b>1434605</b>
<b>2000</b>	29759	57708	20535	117385	20072	2255	42564	101419	26330	138888	38503	<b>1412454</b>
<b>2005</b>	30080	63788	20285	129469	21264	2359	45695	101233	26587	140526	36703	<b>1414537</b>
<b>2010</b>	30437	70297	20103	141246	22359	2437	48574	100932	26732	141708	35365	<b>1445829</b>
<b>2015</b>	30826	77227	19964	153917	23404	2491	51320	100554	26886	142449	34269	<b>1500053</b>
<b>2020</b>	31244	84389	19868	166935	24330	2542	54201	100245	27040	143376	33345	<b>1567402</b>
<b>2025</b>	31692	92312	19816	181411	25300	2596	57315	100032	27220	144497	32571	<b>1650753</b>
<b>2030</b>	32168	101084	19807	197522	26317	2651	60682	99916	27424	145821	31931	<b>1752739</b>
<b>2035</b>	32679	110796	19837	215470	27385	2708	64331	99900	27652	147364	31407	<b>1876039</b>
<b>2040</b>	33217	121556	19908	235485	28505	2768	68279	99985	27904	149146	30986	<b>1977187</b>
<b>2045</b>	33790	133480	20018	257827	29679	2830	72560	100176	28182	151195	30661	<b>2079947</b>
<b>2050</b>	34399	146699	20168	282794	30912	2894	77200	100476	28484	153859	30416	<b>2195880</b>

### A2 – 2.1.2. Demanda de agua poblacional “DP”

Se calculó por cada municipio con base a las dotaciones de agua para poblaciones urbanas y rurales de cada región; estos valores se modificaron según la eficiencia de suministro para obtener la demanda bruta (Tabla A2- 6); demanda que se subdividió en superficial y subterránea según el porcentaje que cada región utiliza de cada tipo de recurso (Tabla A2- 7), y para efectos de naturalización se consideró un coeficiente de consumo. Las DP superficiales y subterráneas se muestran en la Tabla A2- 8 y Tabla A2- 9, respectivamente.

Tabla A2- 6. Dotaciones y eficiencia de suministro por tipo de población según la región.

Región	Urbana		Rural	
	Dotación (l/s)	Eficiencia (%)	Dotación (l/s)	Eficiencia (%)
GT-Total	200	55	90	80
SV-Occidente	220	43	100	80
SV-Centro	220	58	100	80
SV-Restante	220	49	100	80
HN-Ocotepeque*	314	-	90	80
HN-Copán*	270	-	90	80
HN-Fco. Morazán*	178	-	90	80
HN-El Paraíso*	222	-	90	80
HN-Choluteca*	178	-	90	80
HN-Lempira*	270	-	90	80
HN-Intibucá*	287	-	90	80
HN-La Paz*	389	-	90	80

\* Se muestran dotaciones brutas, por lo que la eficiencia no es necesaria.

Tabla A2- 7. Coeficiente de consumo y factor de recursos superficiales con respecto al recurso hídrico total.

Región	Coeficiente de consumo (-)	Factor superficial (-)
Guatemala	0.2	0.699
El Salvador	0.2	0.298
Honduras	0.2	0.900

**Tabla A2- 8. Demanda de agua superficial en m<sup>3</sup>/s, por lustro y número de área de escurrimiento.**

<b>Año</b>	<b>01 Cab</b>	<b>02 Ost</b>	<b>03 Ang</b>	<b>04 Güi</b>	<b>05 Gua</b>	<b>06 Des</b>	<b>07 IC1</b>	<b>08 Suq</b>	<b>09 Suc</b>	<b>10 Ace</b>	<b>11 CG</b>	<b>12 Sum</b>
<b>1950</b>	0.0568	0.0963	0.0171	0.0864	0.0227	0.0048	0.0122	0.0134	0.0772	0.0695	0.0704	0.0512
<b>1955</b>	0.0601	0.1100	0.0192	0.0998	0.0264	0.0056	0.0148	0.0153	0.0896	0.0893	0.0853	0.0542
<b>1960</b>	0.0640	0.1248	0.0212	0.1154	0.0304	0.0065	0.0202	0.0174	0.1056	0.1178	0.1033	0.0582
<b>1965</b>	0.0633	0.1418	0.0238	0.1333	0.0352	0.0075	0.0275	0.0200	0.1241	0.1594	0.1267	0.0614
<b>1970</b>	0.0620	0.1612	0.0261	0.1542	0.0407	0.0087	0.0378	0.0229	0.1464	0.2219	0.1579	0.0666
<b>1975</b>	0.0609	0.1825	0.0290	0.1690	0.0445	0.0095	0.0453	0.0251	0.1714	0.2777	0.1758	0.0681
<b>1980</b>	0.0658	0.2064	0.0327	0.1827	0.0477	0.0102	0.0527	0.0274	0.2002	0.3420	0.1912	0.0716
<b>1985</b>	0.0731	0.2302	0.0352	0.1972	0.0513	0.0110	0.0616	0.0300	0.2337	0.4282	0.2104	0.0768
<b>1990</b>	0.0831	0.2555	0.0373	0.2129	0.0552	0.0118	0.0725	0.0329	0.2742	0.5438	0.2333	0.0834
<b>1995</b>	0.0988	0.2889	0.0407	0.2364	0.0612	0.0130	0.0896	0.0372	0.3170	0.6975	0.2500	0.0900
<b>2000</b>	0.1184	0.3467	0.0451	0.2636	0.0683	0.0146	0.0984	0.0420	0.3539	0.7848	0.2626	0.0968
<b>2005</b>	0.1389	0.3997	0.0492	0.2896	0.0751	0.0160	0.1058	0.0466	0.3906	0.8617	0.2773	0.1033
<b>2010</b>	0.1589	0.4493	0.0537	0.3130	0.0820	0.0175	0.1127	0.0520	0.4253	0.9312	0.2971	0.1096
<b>2015</b>	0.1794	0.5038	0.0582	0.3348	0.0888	0.0190	0.1195	0.0581	0.4602	0.9986	0.3203	0.1164
<b>2020</b>	0.1994	0.5631	0.0628	0.3568	0.0959	0.0205	0.1266	0.0643	0.4974	1.0698	0.3456	0.1226
<b>2025</b>	0.2218	0.6285	0.0683	0.3788	0.1034	0.0220	0.1341	0.0709	0.5366	1.1301	0.3748	0.1284
<b>2030</b>	0.2456	0.7007	0.0741	0.4012	0.1108	0.0236	0.1424	0.0774	0.5790	1.1862	0.4090	0.1351
<b>2035</b>	0.2719	0.7808	0.0806	0.4243	0.1186	0.0253	0.1509	0.0845	0.6241	1.2394	0.4474	0.1422
<b>2040</b>	0.3008	0.8697	0.0876	0.4479	0.1268	0.0271	0.1600	0.0916	0.6726	1.2903	0.4779	0.1491
<b>2045</b>	0.3327	0.9683	0.0955	0.4722	0.1357	0.0289	0.1700	0.0989	0.7256	1.3434	0.5073	0.1569
<b>2050</b>	0.3676	1.0857	0.1040	0.4973	0.1446	0.0309	0.1804	0.1067	0.7832	1.3992	0.5195	0.1652

Tabla A2- 8. Continuación.

<b>Año</b>	<b>13 5N</b>	<b>14 Moc</b>	<b>15 IC2</b>	<b>16 Gbl</b>	<b>17 IC3</b>	<b>18 IC4</b>	<b>19 TCA</b>	<b>20 TCM</b>	<b>21 TCB</b>	<b>22 15S</b>	<b>23 SML</b>	<b>Total Lempa</b>
<b>1950</b>	0.0171	0.0373	0.0096	0.0977	0.0190	0.0027	0.0234	0.0757	0.0230	0.0858	0.0260	<b>0.9953</b>
<b>1955</b>	0.0203	0.0412	0.0114	0.1002	0.0189	0.0028	0.0262	0.0906	0.0246	0.0987	0.0300	<b>1.1345</b>
<b>1960</b>	0.0239	0.0463	0.0131	0.1050	0.0201	0.0030	0.0296	0.1084	0.0261	0.1137	0.0344	<b>1.3084</b>
<b>1965</b>	0.0284	0.0459	0.0147	0.1022	0.0194	0.0029	0.0301	0.1293	0.0259	0.1322	0.0393	<b>1.4943</b>
<b>1970</b>	0.0335	0.0447	0.0172	0.1015	0.0190	0.0030	0.0321	0.1549	0.0260	0.1526	0.0452	<b>1.7361</b>
<b>1975</b>	0.0361	0.0436	0.0177	0.1009	0.0182	0.0027	0.0330	0.1778	0.0251	0.1641	0.0480	<b>1.9260</b>
<b>1980</b>	0.0379	0.0457	0.0181	0.1077	0.0181	0.0024	0.0347	0.2025	0.0249	0.1734	0.0499	<b>2.1459</b>
<b>1985</b>	0.0398	0.0497	0.0185	0.1179	0.0185	0.0023	0.0367	0.2307	0.0252	0.1834	0.0522	<b>2.4136</b>
<b>1990</b>	0.0417	0.0553	0.0193	0.1326	0.0197	0.0022	0.0394	0.2632	0.0260	0.1943	0.0546	<b>2.7442</b>
<b>1995</b>	0.0432	0.0639	0.0196	0.1543	0.0213	0.0024	0.0428	0.2873	0.0268	0.2052	0.0582	<b>3.1453</b>
<b>2000</b>	0.0435	0.0737	0.0198	0.1799	0.0230	0.0027	0.0461	0.3040	0.0272	0.2164	0.0624	<b>3.4939</b>
<b>2005</b>	0.0438	0.0818	0.0201	0.2073	0.0243	0.0028	0.0491	0.3210	0.0275	0.2287	0.0672	<b>3.8274</b>
<b>2010</b>	0.0446	0.0901	0.0211	0.2384	0.0257	0.0031	0.0520	0.3399	0.0278	0.2402	0.0720	<b>4.1572</b>
<b>2015</b>	0.0459	0.0992	0.0224	0.2704	0.0265	0.0032	0.0554	0.3600	0.0292	0.2513	0.0777	<b>4.4983</b>
<b>2020</b>	0.0473	0.1081	0.0241	0.3021	0.0275	0.0034	0.0591	0.3810	0.0301	0.2631	0.0836	<b>4.8542</b>
<b>2025</b>	0.0485	0.1187	0.0254	0.3381	0.0288	0.0039	0.0626	0.4027	0.0312	0.2748	0.0894	<b>5.2218</b>
<b>2030</b>	0.0497	0.1297	0.0268	0.3782	0.0296	0.0040	0.0669	0.4257	0.0324	0.2871	0.0958	<b>5.6110</b>
<b>2035</b>	0.0512	0.1421	0.0282	0.4240	0.0308	0.0041	0.0709	0.4492	0.0335	0.3002	0.1021	<b>6.0263</b>
<b>2040</b>	0.0525	0.1553	0.0296	0.4753	0.0320	0.0044	0.0765	0.4738	0.0346	0.3133	0.1088	<b>6.4575</b>
<b>2045</b>	0.0539	0.1710	0.0311	0.5334	0.0332	0.0046	0.0817	0.4996	0.0358	0.3269	0.1157	<b>6.9223</b>
<b>2050</b>	0.0555	0.1876	0.0326	0.5991	0.0345	0.0049	0.0875	0.5267	0.0372	0.3406	0.1233	<b>7.4138</b>

Tabla A2- 9. Demanda de agua subterránea en m<sup>3</sup>/s, por lustro y número de área de escurrimiento.

Año	01 Cab	02 Ost	03 Ang	04 Güi	05 Gua	06 Des	07 IC1	08 Suq	09 Suc	10 Ace	11 CG	12 Sum
1950	0.0252	0.0565	0.0077	0.1934	0.0534	0.0114	0.0284	0.0316	0.1814	0.1640	0.1660	0.0566
1955	0.0276	0.0642	0.0088	0.2240	0.0621	0.0132	0.0350	0.0359	0.2120	0.2109	0.2003	0.0663
1960	0.0303	0.0740	0.0096	0.2593	0.0717	0.0153	0.0473	0.0409	0.2485	0.2774	0.2430	0.0776
1965	0.0328	0.0841	0.0107	0.3001	0.0829	0.0177	0.0646	0.0469	0.2927	0.3756	0.2982	0.0905
1970	0.0359	0.0964	0.0119	0.3473	0.0959	0.0205	0.0892	0.0537	0.3453	0.5227	0.3723	0.1058
1975	0.0366	0.1079	0.0133	0.3805	0.1045	0.0223	0.1070	0.0593	0.4038	0.6545	0.4135	0.1121
1980	0.0380	0.1208	0.0150	0.4109	0.1124	0.0240	0.1240	0.0647	0.4716	0.8059	0.4496	0.1182
1985	0.0407	0.1332	0.0164	0.4433	0.1211	0.0258	0.1447	0.0706	0.5512	1.0087	0.4949	0.1252
1990	0.0440	0.1469	0.0177	0.4781	0.1300	0.0277	0.1708	0.0774	0.6458	1.2813	0.5497	0.1337
1995	0.0543	0.1657	0.0208	0.5311	0.1442	0.0308	0.2114	0.0875	0.7471	1.6427	0.5895	0.1414
2000	0.0680	0.1946	0.0251	0.5923	0.1610	0.0343	0.2319	0.0990	0.8332	1.8486	0.6186	0.1473
2005	0.0799	0.2223	0.0292	0.6511	0.1769	0.0377	0.2493	0.1095	0.9191	2.0293	0.6536	0.1531
2010	0.0925	0.2475	0.0331	0.7032	0.1930	0.0412	0.2654	0.1222	1.0019	2.1931	0.6999	0.1595
2015	0.1065	0.2746	0.0368	0.7514	0.2094	0.0447	0.2812	0.1367	1.0843	2.3515	0.7536	0.1656
2020	0.1215	0.3038	0.0414	0.7998	0.2262	0.0483	0.2982	0.1517	1.1716	2.5201	0.8141	0.1720
2025	0.1386	0.3358	0.0464	0.8484	0.2433	0.0519	0.3161	0.1667	1.2643	2.6624	0.8844	0.1784
2030	0.1582	0.3704	0.0521	0.8975	0.2610	0.0557	0.3352	0.1826	1.3633	2.7948	0.9641	0.1844
2035	0.1801	0.4088	0.0587	0.9477	0.2796	0.0596	0.3555	0.1987	1.4701	2.9201	1.0546	0.1910
2040	0.2054	0.4507	0.0661	0.9990	0.2988	0.0638	0.3772	0.2156	1.5852	3.0408	1.1275	0.1974
2045	0.2341	0.4969	0.0750	1.0516	0.3191	0.0681	0.4004	0.2332	1.7093	3.1644	1.1956	0.2037
2050	0.2671	0.5514	0.0849	1.1062	0.3408	0.0727	0.4253	0.2515	1.8443	3.2967	1.2232	0.2100

Tabla A2- 9. Continuación.

<b>Año</b>	<b>13 5N</b>	<b>14 Moc</b>	<b>15 IC2</b>	<b>16 Gbl</b>	<b>17 IC3</b>	<b>18 IC4</b>	<b>19 TCA</b>	<b>20 TCM</b>	<b>21 TCB</b>	<b>22 15S</b>	<b>23 SML</b>	<b>Total Lempa</b>
<b>1950</b>	0.0401	0.0047	0.0192	0.0123	0.0047	0.0015	0.0323	0.1656	0.0204	0.2017	0.0611	<b>1.5392</b>
<b>1955</b>	0.0477	0.0054	0.0226	0.0128	0.0052	0.0016	0.0364	0.2005	0.0224	0.2328	0.0703	<b>1.8180</b>
<b>1960</b>	0.0568	0.0058	0.0265	0.0134	0.0058	0.0019	0.0410	0.2427	0.0244	0.2688	0.0810	<b>2.1630</b>
<b>1965</b>	0.0671	0.0060	0.0312	0.0136	0.0062	0.0019	0.0460	0.2937	0.0264	0.3114	0.0931	<b>2.5934</b>
<b>1970</b>	0.0792	0.0058	0.0367	0.0136	0.0066	0.0021	0.0519	0.3553	0.0282	0.3612	0.1074	<b>3.1449</b>
<b>1975</b>	0.0850	0.0058	0.0380	0.0130	0.0066	0.0018	0.0536	0.4105	0.0285	0.3868	0.1135	<b>3.5584</b>
<b>1980</b>	0.0894	0.0061	0.0388	0.0132	0.0063	0.0016	0.0547	0.4691	0.0283	0.4079	0.1178	<b>3.9883</b>
<b>1985</b>	0.0942	0.0063	0.0395	0.0138	0.0065	0.0014	0.0566	0.5355	0.0283	0.4319	0.1222	<b>4.5120</b>
<b>1990</b>	0.0993	0.0066	0.0411	0.0153	0.0066	0.0013	0.0592	0.6107	0.0286	0.4574	0.1277	<b>5.1569</b>
<b>1995</b>	0.1018	0.0075	0.0419	0.0177	0.0068	0.0015	0.0613	0.6658	0.0280	0.4834	0.1371	<b>5.9193</b>
<b>2000</b>	0.1023	0.0088	0.0420	0.0206	0.0070	0.0018	0.0631	0.7044	0.0271	0.5104	0.1478	<b>6.4892</b>
<b>2005</b>	0.1033	0.0095	0.0424	0.0241	0.0072	0.0022	0.0649	0.7440	0.0259	0.5387	0.1580	<b>7.0312</b>
<b>2010</b>	0.1056	0.0105	0.0448	0.0273	0.0075	0.0025	0.0672	0.7874	0.0265	0.5663	0.1696	<b>7.5677</b>
<b>2015</b>	0.1082	0.0114	0.0480	0.0309	0.0076	0.0027	0.0694	0.8340	0.0281	0.5929	0.1835	<b>8.1130</b>
<b>2020</b>	0.1110	0.0124	0.0514	0.0348	0.0077	0.0031	0.0720	0.8822	0.0301	0.6195	0.1966	<b>8.6895</b>
<b>2025</b>	0.1141	0.0136	0.0546	0.0385	0.0079	0.0035	0.0747	0.9329	0.0317	0.6477	0.2110	<b>9.2669</b>
<b>2030</b>	0.1171	0.0149	0.0580	0.0432	0.0081	0.0038	0.0774	0.9852	0.0334	0.6766	0.2256	<b>9.8626</b>
<b>2035</b>	0.1204	0.0163	0.0612	0.0483	0.0082	0.0043	0.0802	1.0401	0.0351	0.7067	0.2402	<b>10.4855</b>
<b>2040</b>	0.1235	0.0179	0.0646	0.0542	0.0084	0.0047	0.0831	1.0971	0.0367	0.7376	0.2562	<b>11.1115</b>
<b>2045</b>	0.1270	0.0195	0.0679	0.0607	0.0084	0.0052	0.0863	1.1567	0.0386	0.7698	0.2727	<b>11.7642</b>
<b>2050</b>	0.1307	0.0211	0.0712	0.0681	0.0086	0.0057	0.0894	1.2190	0.0403	0.8022	0.2906	<b>12.4210</b>

## A2 – 2.2. Áreas de cultivo, Lámina de agua y Demanda de agua agrícola

### A2 – 2.2.1. Áreas de cultivo “ACul”

Las áreas de cultivo se interpolaron linealmente por cada municipio y tipo de cultivo, con base a los censos que se presentan en la **Tabla A2- 10**, a cada cinco años dentro del período 1950-2050; las áreas se corrigieron con los factores de fuente superficial de la **Tabla A2- 11**, y los resultados acumulados proporcionalmente al área municipal dentro de la cuenca se muestran en la **Tabla A2- 12**.

**Tabla A2- 10. Censos agrícolas utilizados, resolución y tipo de cultivo en cada uno.**

Nº	País	Año	Resolución	Tipos de población
1	GT	1950	Departamental	Cultivos individuales
2	GT	1964	Departamental	Cultivos individuales
3	GT	1979	Departamental	Cultivos individuales
4	GT	2003	Municipal	Cultivos individuales
5	SV	1961	Departamental	Agrupaciones de cultivos
6	SV	1971	Municipal	Cultivos individuales
8	SV	2007	Municipal	Cultivos individuales
9	HN	2007	Departamental	Cultivos individuales

**Tabla A2- 11. Factor de recursos superficiales utilizado en cada país.**

Región	GT <sup>2</sup>	SV <sup>3</sup>	HN <sup>4</sup>
Factor de recursos superficiales <sup>1</sup>	0.87	0.86	0.95

- 1: Área bajo riego según fuente superficial y subterránea, se tuvo solo en El Salvador.
- 2: Promedio de los municipios del departamento de Santa Ana, fronterizo con Guatemala.
- 3: Promedio de los factores municipales de El Salvador que se ubican dentro de la cuenca.
- 4: Promedio de los municipios de los departamentos de Chalatenango, Cabañas y Morazán, fronterizos con Honduras.

Tabla A2- 12. Área de cultivo bajo riego con recursos superficiales en ha, por lustro y área de escurrimiento.

<b>Año</b>	<b>01 Cab</b>	<b>02 Ost</b>	<b>03 Ang</b>	<b>04 Güi</b>	<b>05 Gua</b>	<b>06 Des</b>	<b>07 IC1</b>	<b>08 Suq</b>	<b>09 Suc</b>	<b>10 Ace</b>	<b>11 CG</b>	<b>12 Sum</b>
<b>1950</b>	746	341	286	14	17	4	96	674	694	876	322	27
<b>1955</b>	855	355	306	16	23	5	98	630	759	823	315	31
<b>1960</b>	964	369	325	18	30	6	99	611	899	770	308	34
<b>1965</b>	1086	393	355	23	38	8	101	605	1067	719	303	38
<b>1970</b>	1218	460	405	32	50	11	104	599	1283	669	304	46
<b>1975</b>	1418	527	456	40	61	13	255	644	1644	626	351	71
<b>1980</b>	1619	581	500	48	72	15	415	699	2012	584	408	99
<b>1985</b>	1774	581	515	52	83	18	574	755	2379	542	465	128
<b>1990</b>	1930	581	530	56	95	20	733	810	2747	501	522	156
<b>1995</b>	2086	581	545	61	106	23	893	865	3115	459	579	184
<b>2000</b>	2241	581	561	65	117	25	1053	921	3483	418	636	212
<b>2005</b>	2396	581	576	69	129	27	1213	977	3850	377	693	241
<b>2010</b>	2552	581	591	73	140	30	1372	1054	4226	337	752	270
<b>2015</b>	2707	581	606	77	151	32	1532	1157	4611	298	820	299
<b>2020</b>	2862	582	623	82	163	35	1691	1261	4997	259	893	328
<b>2025</b>	3018	592	644	87	174	37	1851	1363	5381	257	965	356
<b>2030</b>	3174	606	664	93	185	40	2010	1466	5767	266	1037	385
<b>2035</b>	3330	619	685	98	196	42	2169	1569	6154	274	1109	414
<b>2040</b>	3485	633	706	104	208	44	2329	1672	6548	283	1181	442
<b>2045</b>	3641	646	726	109	219	47	2489	1776	6942	291	1252	471
<b>2050</b>	3796	659	747	115	230	49	2648	1878	7335	300	1326	500

Tabla A2- 12. Continuación.

<b>Año</b>	<b>13 5N</b>	<b>14 Moc</b>	<b>15 IC2</b>	<b>16 Gbl</b>	<b>17 IC3</b>	<b>18 IC4</b>	<b>19 TCA</b>	<b>20 TCM</b>	<b>21 TCB</b>	<b>22 15S</b>	<b>23 SML</b>	<b>Total Lempa</b>
<b>1950</b>	24	20	48	197	1	15	170	48	14	307	69	<b>5011</b>
<b>1955</b>	26	23	48	229	1	14	197	51	14	290	71	<b>5179</b>
<b>1960</b>	28	27	48	259	1	14	225	55	14	277	75	<b>5455</b>
<b>1965</b>	31	30	48	290	1	13	253	58	14	278	108	<b>5859</b>
<b>1970</b>	34	33	52	321	3	14	280	63	14	288	168	<b>6449</b>
<b>1975</b>	40	36	64	354	9	18	338	81	14	346	254	<b>7660</b>
<b>1980</b>	47	39	78	388	15	22	401	100	14	411	344	<b>8912</b>
<b>1985</b>	54	43	92	422	22	26	464	119	14	475	434	<b>10032</b>
<b>1990</b>	62	46	106	456	29	30	527	138	14	540	525	<b>11153</b>
<b>1995</b>	69	49	120	490	36	34	590	157	14	604	615	<b>12275</b>
<b>2000</b>	76	52	134	523	42	38	653	177	15	669	705	<b>13395</b>
<b>2005</b>	84	55	148	556	49	42	716	196	15	734	796	<b>14519</b>
<b>2010</b>	91	59	162	590	56	46	778	215	15	799	888	<b>15678</b>
<b>2015</b>	98	62	175	623	63	50	842	234	16	864	982	<b>16882</b>
<b>2020</b>	106	65	189	658	70	54	904	254	17	936	1075	<b>18101</b>
<b>2025</b>	113	69	203	691	76	58	967	273	18	1011	1169	<b>19372</b>
<b>2030</b>	120	71	217	725	83	62	1030	293	19	1085	1262	<b>20661</b>
<b>2035</b>	127	75	232	758	90	66	1093	312	20	1160	1356	<b>21948</b>
<b>2040</b>	135	78	246	792	97	70	1156	332	21	1239	1450	<b>23250</b>
<b>2045</b>	143	81	261	826	104	75	1219	351	22	1321	1543	<b>24555</b>
<b>2050</b>	150	84	276	859	111	80	1282	371	23	1403	1637	<b>25861</b>

### A2 – 2.2.2. Lámina de agua “h<sub>Cul</sub>”

Se calcularon las láminas de agua “h<sub>Cul</sub>” o Requerimiento de Agua de Cultivo “RAC”, para cada cuenca a cada cinco años, considerando la precipitación y ETP promedio mensual interanual por lustro, a partir de 1970. Dado que la variedad de tipos de cultivos era alta, alcanzando los 139 en el censo SV-2007, se consideraron solo aquellos que representaran como mínimo un 1% del área de cultivo en cada cuenca; en algunos casos se agruparon cultivos, como hortalizas, frutales, entre otros, pero manteniendo individuales los que entraran en estas categorías y que representaran un porcentaje importante. Las fechas de siembra utilizadas para calcular el RAC en CROPWAT 8.0 se muestran en la **Tabla A2- 13** y la composición promedio de las áreas de cultivo por cuenca, en la **Tabla A2- 14**.

**Tabla A2- 13. Fechas de siembra según tipo de cultivo o agrupación de los mismos.**

Cultivo		Fecha de siembra		
Agrupación <sup>1</sup>	Individual	1	2	3
GB	Maíz	01/May	01/Sep	01/Ene
	Frijol	01/May	21/Ago	01/Dic
	Arroz	01/Jun	01/Nov	-
	Otros GB	01/May	01/Nov	-
AF	Café	01/Jun	-	-
	Otros AF	01/May	-	-
APS	Caña de azúcar	01/Dic	-	-
	Otros APS	21/Ago	-	-
AA	Palma	01/May	-	-
	Otros AA	01/May	-	-
H	Hortalizas	01/May	01/Nov	-
P	Pastos	01/May	-	-

1: GB = Granos Básicos, AF = Árboles Frutales, APS = Agroindustriales Permanentes y Semipermanentes, AA = Agroindustriales Anuales, H = Hortalizas, P = Pastos. También se consideró la agrupación Ornamentales “O”; sin embargo, en ninguna cuenca alcanzó el 1% del área total de cultivo bajo riego, por lo que su demanda de agua no fue calculada.

Tabla A2- 14. Composición del área de cultivo en porcentaje (%) por tipo de cultivo, en promedio desde 1950 hasta 2050, según cada cuenca.

N°	Cuenca	Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
1	Cab	Cultivo	Café	Maíz	H	Frijol	Pasto	Banano	Maicillo	GB	AF	Caña	-	-	10
		%_Área	45.11	16.80	10.15	8.55	6.96	3.20	2.98	2.39	1.81	1.29	-	-	99.22
2	Ost	Cultivo	Maíz	Frijol	Café	Maicillo	H	Caña	-	-	-	-	-	-	6
		%_Área	44.00	30.42	13.69	7.33	2.04	1.29	-	-	-	-	-	-	98.76
3	Ang	Cultivo	Maíz	Frijol	Café	Maicillo	Frutales	Arroz	Banano	-	-	-	-	-	7
		%_Área	32.81	27.63	25.23	4.05	3.79	2.53	2.01	-	-	-	-	-	98.05
4	Güi	Cultivo	Maíz	Maicillo	Frijol	Café	H	Pasto	-	-	-	-	-	-	6
		%_Área	47.08	23.12	20.23	3.53	2.89	2.17	-	-	-	-	-	-	99.02
5	Gua	Cultivo	Maíz	Frijol	Maicillo	Café	Caña	Pasto	Arroz	AF	-	-	-	-	8
		%_Área	37.72	21.02	14.73	13.39	5.98	3.77	1.16	1.03	-	-	-	-	98.8
6	Des	Cultivo	Maíz	Frijol	Maicillo	Café	Caña	Pasto	Arroz	AF	-	-	-	-	8
		%_Área	37.72	21.02	14.73	13.39	5.98	3.77	1.16	1.03	-	-	-	-	98.8
7	IC1	Cultivo	Maicillo	Caña	Maíz	Pasto	Frijol	Café	Arroz	-	-	-	-	-	7
		%_Área	22.93	22.11	20.82	20.33	4.83	3.53	3.40	-	-	-	-	-	97.95
8	Suq	Cultivo	Maíz	Café	Maicillo	Pasto	Frijol	Caña	AF	H	-	-	-	-	8
		%_Área	26.24	23.18	18.25	11.16	8.27	7.81	2.08	1.38	-	-	-	-	98.37
9	Suc	Cultivo	Café	Maíz	Caña	Frijol	Maicillo	H	Pasto	Arroz	AF	-	-	-	9
		%_Área	31.15	26.06	12.62	11.33	5.70	3.85	3.84	3.08	1.99	-	-	-	99.62
10	Ace	Cultivo	Maíz	Caña	Café	Frijol	Maicillo	Pasto	H	GB	Naranja	AA	AF	-	11
		%_Área	29.35	22.54	21.50	8.10	5.82	3.58	2.43	2.00	1.84	1.44	1.40	-	99.99
11	CG	Cultivo	Maíz	Pasto	Frijol	Maicillo	Caña	Café	Pipían	H	AF	-	-	-	9
		%_Área	29.34	19.37	15.70	13.97	10.63	2.82	2.78	1.94	1.79	-	-	-	98.34
12	Sum	Cultivo	Maíz	Frijol	Pasto	Café	GB	Maicillo	H	AF	Marañón	Palma	Caña	Naranja	12
		%_Área	27.73	21.34	14.24	9.16	8.64	5.49	4.33	2.05	2.03	1.84	1.65	1.48	99.96



### A2 – 2.2.3. Demanda de agua agrícola “DA”

Las láminas de agua resultantes (mm/10 días) para cada tipo de cultivo en cada cuenca, es la demanda neta para el desarrollo óptimo de una hectárea de dicho cultivo. Estas  $h_{Cul}$  se multiplicaron por la respectiva área de cultivo por cuenca y se transformaron a  $m^3/s$ ; posteriormente, se corrigieron por un factor de eficiencia de riego para obtener la demanda bruta, que es el caudal de agua que se extrae de los ríos. Esta eficiencia de riego para la cuenca del río Lempa “Ef\_Lempa” resulta de considerar los distintos tipos de riego que se realizan en El Salvador, en cuanto a su porcentaje de uso “Uso\_%”, eficiencia de suministro “Ef\_sum”, eficiencia de conducción “Ef\_Cond” y Eficiencia de cada tipo de riego “Ef\_Tipo”; los factores utilizados se presentan en la **Tabla A2- 15**, y los resultados finales para la demanda agrícola bruta, por cuenca, en caudales medios mensuales interanuales por lustro, se presentan en la **Tabla A2- 16**.

**Tabla A2- 15. Factor de eficiencia ponderado en la cuenca del Lempa, con base al porcentaje de uso de cada sistema de riego y a su eficiencia en general.**

Tipo	Uso_%	Ef_Sum	Ef_Cond	Ef_Tipo	Ef_Sist <sup>1</sup>	Ef_Lempa <sup>2</sup>
Aspersión	<b>0.45</b>	0.90	0.70	0.75	<b>0.4725</b>	<b>0.45</b>
Goteo	<b>0.21</b>	0.90	0.70	0.90	<b>0.5670</b>	
Gravedad	<b>0.16</b>	0.90	0.70	0.50	<b>0.3150</b>	
Mixto	<b>0.18</b>	0.90	0.70	0.60	<b>0.3780</b>	

1: La eficiencia por sistema se tiene de multiplicar las eficiencias de suministro, de conducción y del tipo de riego.

2: La eficiencia del Lempa se ponderó con base a la eficiencia de cada sistema de riego y su porcentaje de uso reportados en El Salvador.

Tabla A2- 16. Demandas de agua Agrícola “DA” bruta en m<sup>3</sup>/s, por lustro desde 1970 hasta 2049. Cuencas: Cabecera del río Lempa (01) y río Ostúa (02).

C	Mes	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04	05-09	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	
01	May	0.001	0.001	0.001	0.008	0.001	0.004	0.001	0.001	0.001	0.003	0.000	0.002	0.003	0.003	0.006	0.014	
	Jun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	
	Jul	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.020	0.015	0.009	0.016
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000
	Sep	0.003	0.004	0.006	0.008	0.010	0.013	0.016	0.018	0.019	0.024	0.025	0.028	0.031	0.036	0.039	0.042	
	Oct	0.001	0.001	0.001	0.013	0.001	0.001	0.012	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.004	0.004
	Nov	0.307	0.378	0.461	0.796	0.496	0.234	0.688	0.526	0.815	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Dic	0.601	0.583	0.658	0.882	0.680	0.865	1.064	1.104	1.096	0.892	0.178	0.137	0.037	0.180	0.005	0.298	
	Ene	0.502	0.488	0.663	0.830	0.913	0.855	0.932	0.985	1.078	1.030	1.019	1.417	1.532	1.556	1.624	1.864	
	Feb	0.199	0.271	0.337	0.423	0.508	0.549	0.634	0.621	0.631	0.706	0.814	0.999	1.184	1.258	1.341	1.460	
	Mar	0.215	0.303	0.395	0.496	0.575	0.561	0.650	0.740	0.696	0.865	0.827	1.013	1.107	1.171	1.280	1.615	
Abr	0.118	0.093	0.228	0.180	0.179	0.303	0.357	0.223	0.297	0.384	0.151	0.352	0.401	0.598	0.583	0.653		
02	May	0.002	0.002	0.003	0.007	0.006	0.007	0.005	0.008	0.005	0.053	0.016	0.008	0.010	0.014	0.014	0.024	
	Jun	0.017	0.019	0.007	0.001	0.030	0.020	0.030	0.010	0.058	0.361	0.092	0.196	0.381	0.141	0.324	0.698	
	Jul	0.135	0.133	0.125	0.064	0.264	0.125	0.190	0.105	0.217	0.545	0.326	0.364	0.435	0.424	0.338	0.559	
	Ago	0.000	0.018	0.098	0.003	0.031	0.026	0.111	0.031	0.018	0.115	0.118	0.143	0.124	0.192	0.110	0.249	
	Sep	0.004	0.006	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.011	0.021	0.056	0.050	0.016	0.066	0.067	
	Oct	0.041	0.113	0.103	0.152	0.162	0.043	0.240	0.098	0.122	0.184	0.184	0.142	0.205	0.072	0.199	0.132	
	Nov	0.258	0.313	0.304	0.358	0.349	0.208	0.407	0.296	0.417	0.086	0.018	0.148	0.048	0.113	0.104	0.083	
	Dic	0.252	0.296	0.325	0.365	0.316	0.346	0.352	0.353	0.332	0.232	0.177	0.135	0.164	0.166	0.042	0.106	
	Ene	0.247	0.281	0.318	0.339	0.354	0.349	0.356	0.362	0.353	0.303	0.266	0.340	0.332	0.368	0.375	0.398	
	Feb	0.311	0.377	0.428	0.422	0.486	0.481	0.514	0.489	0.484	0.425	0.427	0.444	0.432	0.435	0.461	0.489	
	Mar	0.338	0.437	0.435	0.418	0.443	0.429	0.448	0.415	0.407	0.405	0.393	0.427	0.419	0.478	0.503	0.528	
Abr	0.211	0.217	0.262	0.254	0.257	0.289	0.324	0.275	0.267	0.283	0.198	0.264	0.279	0.323	0.351	0.403		

Tabla A2- 16. Continuación. Cuencas: río El Angue (03) y lago de Güija (04)

C	Mes	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04	05-09	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	
03	May	0.055	0.056	0.055	0.053	0.040	0.033	0.026	0.019	0.011	0.007	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	
	Jun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.004	0.021	0.009	0.019	0.048	0.103	
	Jul	0.000	0.012	0.002	0.000	0.027	0.000	0.011	0.002	0.007	0.103	0.075	0.078	0.071	0.146	0.132	0.145	
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.029	0.014	0.066	0.022	0.029	0.073	
	Sep	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.006	0.007
	Oct	0.054	0.080	0.064	0.084	0.076	0.032	0.085	0.018	0.013	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	Nov	0.148	0.194	0.190	0.276	0.204	0.081	0.252	0.193	0.262	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.004	
	Dic	0.202	0.199	0.208	0.252	0.197	0.232	0.270	0.283	0.271	0.185	0.172	0.019	0.030	0.085	0.009	0.068	
	Ene	0.185	0.190	0.225	0.254	0.267	0.254	0.259	0.278	0.293	0.269	0.206	0.294	0.317	0.323	0.325	0.362	
	Feb	0.180	0.207	0.223	0.238	0.271	0.282	0.311	0.289	0.296	0.279	0.306	0.312	0.370	0.353	0.352	0.375	
	Mar	0.163	0.193	0.208	0.215	0.234	0.229	0.248	0.265	0.251	0.284	0.280	0.331	0.334	0.372	0.399	0.475	
Abr	0.094	0.073	0.125	0.107	0.098	0.133	0.159	0.121	0.151	0.168	0.080	0.136	0.153	0.188	0.219	0.314		
04	May	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.016	
	Jun	0.000	0.000	0.001	0.001	0.003	0.001	0.007	0.001	0.003	0.038	0.031	0.032	0.031	0.033	0.071	0.070	
	Jul	0.002	0.005	0.011	0.006	0.021	0.007	0.016	0.008	0.020	0.059	0.060	0.045	0.073	0.080	0.086	0.103	
	Ago	0.000	0.000	0.003	0.001	0.003	0.000	0.006	0.005	0.000	0.025	0.028	0.028	0.047	0.038	0.039	0.066	
	Sep	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.004	0.007	0.008	0.006	0.011	0.009	
	Oct	0.003	0.005	0.004	0.012	0.015	0.004	0.017	0.006	0.006	0.009	0.021	0.015	0.017	0.015	0.016	0.018	
	Nov	0.017	0.024	0.027	0.037	0.027	0.021	0.051	0.030	0.049	0.016	0.016	0.028	0.017	0.016	0.031	0.020	
	Dic	0.021	0.026	0.031	0.039	0.042	0.040	0.049	0.050	0.051	0.050	0.030	0.028	0.039	0.048	0.025	0.054	
	Ene	0.021	0.026	0.034	0.039	0.047	0.043	0.047	0.051	0.053	0.046	0.044	0.061	0.070	0.060	0.072	0.083	
	Feb	0.029	0.041	0.044	0.051	0.065	0.066	0.073	0.073	0.077	0.074	0.080	0.077	0.088	0.094	0.114	0.112	
	Mar	0.033	0.050	0.051	0.058	0.070	0.072	0.077	0.075	0.080	0.082	0.076	0.099	0.089	0.114	0.130	0.152	
Abr	0.017	0.018	0.025	0.022	0.026	0.032	0.043	0.031	0.033	0.039	0.038	0.047	0.051	0.062	0.068	0.101		

Tabla A2- 16. Continuación. Cuencas: río Guajoyo (05) y intercuenca del río El Desagüe (06)

C	Mes	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04	05-09	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	
05	May	0.007	0.008	0.008	0.010	0.010	0.010	0.009	0.006	0.003	0.006	0.007	0.010	0.016	0.013	0.022	0.024	
	Jun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.004	0.001	0.001	0.046	0.038	0.068	0.020	0.066	0.083	0.074	
	Jul	0.000	0.001	0.002	0.001	0.017	0.001	0.008	0.003	0.010	0.062	0.054	0.074	0.081	0.092	0.122	0.133	
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.021	0.037	0.028	0.056	0.053	0.046	0.071	
	Sep	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.004	0.007	0.006	0.010	0.010	0.021
	Oct	0.010	0.016	0.012	0.021	0.019	0.010	0.022	0.010	0.004	0.006	0.008	0.008	0.015	0.011	0.008	0.010	0.013
	Nov	0.029	0.033	0.042	0.054	0.043	0.032	0.078	0.045	0.080	0.007	0.007	0.004	0.013	0.015	0.005	0.011	0.005
	Dic	0.030	0.037	0.041	0.060	0.061	0.058	0.069	0.081	0.083	0.071	0.041	0.041	0.059	0.060	0.079	0.025	0.084
	Ene	0.029	0.034	0.047	0.061	0.070	0.066	0.078	0.088	0.088	0.077	0.091	0.111	0.134	0.125	0.139	0.139	0.146
	Feb	0.035	0.045	0.054	0.069	0.083	0.085	0.100	0.109	0.117	0.120	0.122	0.131	0.147	0.158	0.180	0.180	0.202
	Mar	0.031	0.049	0.057	0.071	0.087	0.093	0.109	0.111	0.121	0.134	0.130	0.165	0.155	0.197	0.226	0.226	0.262
	Abr	0.016	0.019	0.033	0.032	0.040	0.045	0.063	0.041	0.053	0.063	0.061	0.089	0.107	0.127	0.135	0.135	0.183
06	May	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.004	0.003	0.005	0.005	
	Jun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.010	0.008	0.015	0.004	0.014	0.018	0.016	
	Jul	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.002	0.001	0.002	0.013	0.012	0.016	0.017	0.020	0.026	0.028	
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.008	0.006	0.012	0.011	0.010	0.015	
	Sep	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.005	
	Oct	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004	0.002	0.005	0.002	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	
	Nov	0.006	0.007	0.009	0.012	0.009	0.007	0.017	0.010	0.017	0.002	0.001	0.003	0.003	0.001	0.002	0.001	
	Dic	0.006	0.008	0.009	0.013	0.013	0.012	0.015	0.017	0.018	0.015	0.009	0.012	0.013	0.017	0.005	0.018	
	Ene	0.006	0.007	0.010	0.013	0.015	0.014	0.017	0.019	0.019	0.016	0.019	0.024	0.029	0.027	0.030	0.031	
	Feb	0.007	0.010	0.012	0.015	0.018	0.018	0.021	0.023	0.025	0.025	0.026	0.028	0.031	0.034	0.038	0.043	
	Mar	0.007	0.010	0.012	0.015	0.019	0.020	0.023	0.024	0.026	0.029	0.028	0.035	0.033	0.042	0.048	0.056	
	Abr	0.003	0.004	0.007	0.007	0.008	0.010	0.013	0.009	0.011	0.013	0.013	0.019	0.023	0.027	0.029	0.029	

Tabla A2- 16. Continuación. Cuencas: río Intercuenca 1 (07) y río Suquiapa (08)

C	Mes	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04	05-09	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49
07	May	0.005	0.031	0.069	0.165	0.187	0.227	0.252	0.241	0.224	0.369	0.566	0.607	1.005	1.080	1.651	1.988
	Jun	0.000	0.001	0.013	0.026	0.055	0.041	0.061	0.061	0.076	0.631	0.404	0.682	0.694	1.322	1.532	1.936
	Jul	0.001	0.022	0.029	0.060	0.165	0.052	0.106	0.107	0.195	0.518	0.940	0.858	1.050	1.499	2.752	2.628
	Ago	0.000	0.001	0.009	0.022	0.043	0.013	0.072	0.052	0.014	0.425	0.741	1.104	0.975	0.928	1.326	2.052
	Sep	0.001	0.002	0.003	0.004	0.006	0.006	0.007	0.008	0.008	0.090	0.070	0.087	0.156	0.443	0.250	1.142
	Oct	0.008	0.031	0.052	0.119	0.149	0.067	0.197	0.111	0.117	0.152	0.247	0.311	0.378	0.277	0.279	0.339
	Nov	0.062	0.142	0.220	0.375	0.327	0.219	0.548	0.396	0.673	0.027	0.096	0.049	0.199	0.030	0.105	0.123
	Dic	0.070	0.161	0.264	0.461	0.497	0.551	0.697	0.804	0.876	0.590	0.220	1.090	0.357	0.450	0.254	0.958
	Ene	0.084	0.165	0.294	0.499	0.621	0.639	0.792	0.976	1.034	0.849	1.189	1.481	1.725	1.718	2.028	2.124
	Feb	0.092	0.239	0.417	0.654	0.848	0.932	1.147	1.255	1.398	1.298	1.518	1.889	1.911	2.016	2.605	2.871
	Mar	0.100	0.296	0.519	0.761	0.995	1.128	1.416	1.516	1.718	2.017	2.053	2.801	2.895	3.400	3.975	4.847
	Abr	0.053	0.146	0.351	0.463	0.691	0.791	0.947	0.735	0.905	1.235	1.106	2.024	1.632	2.308	2.752	3.116
08	May	0.004	0.007	0.015	0.032	0.027	0.029	0.021	0.030	0.018	0.038	0.045	0.063	0.158	0.169	0.209	0.180
	Jun	0.000	0.000	0.001	0.002	0.011	0.004	0.002	0.002	0.001	0.112	0.088	0.546	0.070	0.365	0.281	0.313
	Jul	0.000	0.000	0.002	0.006	0.053	0.001	0.009	0.004	0.007	0.252	0.176	0.503	0.265	0.297	0.896	0.724
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.159	0.141	0.192	0.288	0.294	0.457
	Sep	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.006	0.007	0.007	0.007	0.009	0.011	0.012	0.011	0.047	0.026	0.275
	Oct	0.016	0.047	0.027	0.076	0.046	0.016	0.081	0.012	0.004	0.006	0.005	0.018	0.032	0.013	0.015	0.024
	Nov	0.301	0.301	0.339	0.407	0.384	0.171	0.491	0.339	0.443	0.007	0.000	0.005	0.081	0.007	0.000	0.008
	Dic	0.355	0.357	0.365	0.555	0.453	0.436	0.466	0.561	0.587	0.430	0.153	0.356	0.174	0.502	0.094	0.359
	Ene	0.299	0.333	0.398	0.519	0.524	0.475	0.533	0.608	0.601	0.521	0.744	0.853	1.012	1.051	1.171	1.234
	Feb	0.207	0.258	0.336	0.460	0.509	0.502	0.607	0.637	0.684	0.692	0.677	0.875	0.935	1.137	1.165	1.474
	Mar	0.203	0.292	0.398	0.507	0.570	0.557	0.705	0.728	0.829	0.999	1.029	1.258	1.283	1.615	1.848	2.090
	Abr	0.115	0.120	0.243	0.264	0.337	0.347	0.357	0.255	0.386	0.509	0.343	0.693	0.784	0.895	1.061	1.156

Tabla A2- 16. Continuación. Cuencas: río Sucio (09) y río Acelhuate (10)

C	Mes	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04	05-09	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49
09	May	0.075	0.148	0.208	0.321	0.283	0.335	0.370	0.415	0.425	0.494	0.536	0.653	0.904	0.937	1.470	1.207
	Jun	0.002	0.005	0.012	0.015	0.055	0.036	0.040	0.056	0.022	0.593	0.581	2.107	0.819	1.183	1.339	1.647
	Jul	0.001	0.002	0.003	0.011	0.161	0.007	0.071	0.035	0.047	1.775	1.061	1.147	1.168	0.812	5.518	3.404
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.004	0.000	0.000	0.141	0.390	0.691	0.919	0.940	1.511	3.019
	Sep	0.008	0.011	0.014	0.018	0.021	0.024	0.027	0.031	0.035	0.043	0.290	0.066	0.088	0.184	0.161	0.692
	Oct	0.082	0.200	0.224	0.418	0.326	0.318	0.726	0.243	0.241	0.307	0.319	0.387	0.536	0.569	0.569	0.590
	Nov	0.537	0.807	0.920	1.156	1.488	0.643	1.886	1.396	1.461	0.090	0.000	0.251	0.561	0.444	0.857	0.104
	Dic	0.715	0.800	1.025	1.630	1.560	1.510	2.025	2.096	2.248	2.409	0.248	0.281	0.199	2.535	0.300	0.461
	Ene	0.611	0.854	1.228	1.590	1.783	1.792	2.048	2.407	2.447	2.059	2.634	3.527	3.751	3.749	4.135	4.925
	Feb	0.681	0.894	1.138	1.527	1.711	1.769	2.086	2.240	2.382	2.260	2.260	2.659	2.609	4.067	4.115	4.779
	Mar	0.667	0.958	1.217	1.516	1.763	1.726	2.079	2.284	2.652	3.030	3.009	3.370	3.670	4.652	5.282	5.773
	Abr	0.391	0.433	0.836	0.965	1.164	1.156	1.093	1.082	1.688	2.158	1.121	2.230	2.155	2.160	3.107	3.217
10	May	0.086	0.110	0.079	0.094	0.072	0.069	0.038	0.027	0.017	0.041	0.028	0.028	0.029	0.032	0.058	0.065
	Jun	0.004	0.004	0.004	0.007	0.007	0.007	0.005	0.006	0.001	0.039	0.026	0.061	0.061	0.028	0.070	0.130
	Jul	0.000	0.002	0.000	0.002	0.026	0.001	0.011	0.002	0.005	0.053	0.096	0.072	0.053	0.094	0.114	0.164
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.063	0.023	0.052	0.056	0.048	0.073	0.086
	Sep	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.002	0.002	0.002	0.003	0.007	0.008
	Oct	0.005	0.009	0.013	0.032	0.014	0.006	0.018	0.000	0.003	0.000	0.001	0.004	0.005	0.003	0.001	0.002
	Nov	0.217	0.204	0.234	0.220	0.166	0.056	0.183	0.079	0.150	0.007	0.002	0.029	0.018	0.010	0.001	0.002
	Dic	0.301	0.323	0.263	0.316	0.252	0.238	0.241	0.205	0.184	0.135	0.047	0.037	0.011	0.095	0.010	0.035
	Ene	0.310	0.286	0.309	0.317	0.292	0.241	0.235	0.219	0.190	0.149	0.134	0.148	0.158	0.147	0.177	0.195
	Feb	0.402	0.384	0.371	0.360	0.342	0.302	0.293	0.260	0.236	0.182	0.125	0.185	0.196	0.214	0.226	0.239
	Mar	0.497	0.494	0.464	0.435	0.419	0.359	0.326	0.285	0.257	0.245	0.216	0.234	0.225	0.281	0.310	0.333
	Abr	0.366	0.305	0.322	0.331	0.332	0.286	0.242	0.144	0.148	0.179	0.096	0.204	0.147	0.226	0.258	0.228

Tabla A2- 16. Continuación. Cuencas: embalse Cerrón Grande (11) y río Sumpul (12)

C	Mes	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04	05-09	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	
11	May	0.003	0.005	0.006	0.012	0.007	0.012	0.007	0.006	0.007	0.020	0.016	0.022	0.027	0.036	0.070	0.089	
	Jun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.007	0.107	0.025	0.036	0.264	0.131	
	Jul	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.001	0.000	0.000	0.022	0.042	0.071	0.074	0.179	0.277	0.228	
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.026	0.046	0.105	0.055	0.044	0.084	
	Sep	0.002	0.002	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.007	0.007	0.008	0.009	0.009	0.010	0.012	0.016
	Oct	0.001	0.001	0.005	0.024	0.005	0.001	0.019	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001
	Nov	0.092	0.096	0.130	0.193	0.155	0.075	0.262	0.137	0.295	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Dic	0.131	0.162	0.150	0.266	0.246	0.140	0.352	0.346	0.393	0.331	0.031	0.144	0.020	0.086	0.017	0.082	
	Ene	0.136	0.142	0.210	0.271	0.295	0.284	0.353	0.401	0.420	0.349	0.396	0.559	0.619	0.641	0.788	0.856	
	Feb	0.209	0.247	0.298	0.365	0.405	0.414	0.490	0.507	0.510	0.433	0.451	0.630	0.624	0.695	0.836	0.905	
	Mar	0.237	0.268	0.329	0.398	0.461	0.421	0.522	0.566	0.582	0.689	0.711	0.823	0.870	0.962	0.997	1.019	
Abr	0.131	0.091	0.153	0.161	0.191	0.247	0.288	0.179	0.245	0.292	0.193	0.419	0.389	0.623	0.656	0.604		
12	May	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	
	Jun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Jul	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Sep	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	
	Oct	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
	Nov	0.009	0.008	0.021	0.038	0.043	0.032	0.075	0.047	0.085	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Dic	0.019	0.031	0.031	0.071	0.062	0.026	0.106	0.095	0.117	0.071	0.007	0.008	0.000	0.002	0.000	0.006	
	Ene	0.026	0.034	0.052	0.074	0.087	0.084	0.106	0.116	0.130	0.111	0.126	0.177	0.211	0.220	0.225	0.221	
	Feb	0.030	0.041	0.060	0.085	0.103	0.106	0.127	0.129	0.112	0.103	0.127	0.170	0.134	0.138	0.198	0.185	
	Mar	0.031	0.037	0.049	0.076	0.101	0.081	0.113	0.130	0.121	0.164	0.155	0.173	0.207	0.215	0.236	0.276	
Abr	0.014	0.006	0.017	0.015	0.019	0.043	0.042	0.019	0.037	0.052	0.020	0.055	0.081	0.079	0.106	0.106		

Tabla A2- 16. Continuación. Cuencas: embalse 5 de Noviembre (13) y río Mocal (14)

C	Mes	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04	05-09	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	
13	May	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.005	0.005	0.006	0.006	
	Jun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.001	0.004	0.004	
	Jul	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004	0.035	0.007	0.003	0.009	0.006	
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.007	0.002	0.002	
	Sep	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
	Oct	0.001	0.002	0.002	0.004	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.005	0.005	0.005	0.005
	Nov	0.009	0.007	0.012	0.022	0.021	0.014	0.031	0.021	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Dic	0.015	0.021	0.019	0.033	0.030	0.024	0.042	0.040	0.047	0.042	0.020	0.010	0.004	0.024	0.006	0.013	
	Ene	0.016	0.018	0.025	0.035	0.036	0.031	0.042	0.049	0.049	0.036	0.046	0.074	0.082	0.097	0.110	0.108	
	Feb	0.023	0.030	0.033	0.047	0.055	0.049	0.057	0.061	0.066	0.056	0.057	0.079	0.081	0.089	0.084	0.116	
	Mar	0.028	0.027	0.040	0.043	0.055	0.049	0.060	0.071	0.073	0.085	0.085	0.098	0.102	0.096	0.107	0.114	
Abr	0.015	0.008	0.009	0.009	0.014	0.026	0.028	0.016	0.026	0.024	0.023	0.039	0.062	0.069	0.071	0.078		
14	May	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	
	Jun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	
	Jul	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	
	Sep	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Oct	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	
	Nov	0.007	0.003	0.007	0.011	0.014	0.007	0.017	0.010	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Dic	0.016	0.016	0.016	0.025	0.021	0.021	0.026	0.028	0.028	0.018	0.006	0.005	0.000	0.003	0.001	0.005	
	Ene	0.021	0.021	0.025	0.030	0.032	0.027	0.033	0.035	0.037	0.037	0.042	0.047	0.052	0.052	0.055	0.054	
	Feb	0.020	0.023	0.024	0.029	0.032	0.029	0.032	0.032	0.026	0.025	0.026	0.031	0.034	0.038	0.042	0.039	
	Mar	0.023	0.022	0.023	0.026	0.030	0.023	0.028	0.034	0.030	0.044	0.041	0.050	0.053	0.057	0.063	0.075	
Abr	0.013	0.005	0.010	0.007	0.008	0.015	0.012	0.006	0.012	0.018	0.006	0.021	0.026	0.025	0.027	0.033		

Tabla A2- 16. Continuación. Cuencas: Intercuenca 2 (15) y río Guarajambala (16)

C	Mes	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04	05-09	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	
15	May	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002	
	Jun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.004	0.000	0.000	0.008	0.007	
	Jul	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.006	0.066	0.013	0.012	0.026	0.030	
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.005	0.002	0.000	0.018	0.013	0.016	
	Sep	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	
	Oct	0.000	0.000	0.000	0.005	0.003	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	Nov	0.015	0.008	0.019	0.033	0.033	0.017	0.046	0.035	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	
	Dic	0.025	0.034	0.030	0.054	0.044	0.062	0.071	0.076	0.077	0.075	0.019	0.013	0.016	0.026	0.007	0.017	
	Ene	0.026	0.030	0.045	0.063	0.068	0.064	0.075	0.089	0.094	0.081	0.091	0.126	0.138	0.143	0.176	0.179	
	Feb	0.040	0.051	0.059	0.082	0.093	0.090	0.104	0.111	0.122	0.102	0.107	0.149	0.134	0.176	0.168	0.226	
	Mar	0.039	0.048	0.064	0.072	0.088	0.084	0.102	0.123	0.130	0.155	0.167	0.197	0.228	0.246	0.277	0.299	
Abr	0.020	0.016	0.019	0.018	0.029	0.047	0.056	0.037	0.051	0.049	0.057	0.095	0.148	0.170	0.163	0.187		
16	May	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.005	0.002	0.003	0.011	0.010	
	Jun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.004	
	Jul	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.002	0.016	0.097	
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.009	
	Sep	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
	Oct	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	
	Nov	0.056	0.027	0.062	0.086	0.084	0.033	0.107	0.061	0.077	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Dic	0.147	0.160	0.172	0.229	0.200	0.216	0.196	0.227	0.249	0.084	0.001	0.001	0.000	0.003	0.007	0.001	
	Ene	0.181	0.184	0.231	0.270	0.274	0.245	0.291	0.307	0.312	0.303	0.334	0.382	0.450	0.435	0.450	0.442	
	Feb	0.167	0.180	0.190	0.237	0.263	0.248	0.261	0.280	0.268	0.249	0.234	0.283	0.340	0.385	0.398	0.385	
	Mar	0.182	0.173	0.206	0.251	0.244	0.184	0.240	0.292	0.280	0.310	0.344	0.454	0.462	0.523	0.586	0.699	
Abr	0.094	0.040	0.093	0.065	0.044	0.096	0.107	0.042	0.077	0.147	0.060	0.118	0.153	0.251	0.275	0.322		

Tabla A2- 16. Continuación. Cuencas: Intercuenca 3 (17) e Intercuenca 4 (18)

C	Mes	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04	05-09	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49
17	May	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Jun	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.006	0.003
	Jul	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.002	0.019	0.005	0.004	0.012	0.013
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.006	0.004	0.004
	Sep	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	Oct	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
	Nov	0.000	0.001	0.002	0.008	0.008	0.006	0.016	0.011	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Dic	0.000	0.003	0.005	0.013	0.013	0.016	0.021	0.024	0.028	0.028	0.007	0.006	0.003	0.010	0.003	0.007
	Ene	0.001	0.004	0.010	0.015	0.017	0.016	0.024	0.029	0.031	0.027	0.033	0.045	0.051	0.056	0.065	0.065
	Feb	0.001	0.007	0.012	0.019	0.024	0.026	0.032	0.034	0.039	0.036	0.035	0.050	0.055	0.064	0.061	0.081
	Mar	0.001	0.005	0.012	0.016	0.023	0.025	0.033	0.041	0.045	0.054	0.061	0.075	0.085	0.094	0.110	0.127
Abr	0.000	0.001	0.003	0.004	0.007	0.013	0.015	0.009	0.016	0.019	0.015	0.031	0.053	0.061	0.061	0.072	
18	May	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Jun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	
	Jul	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.001	0.009	0.002	0.007	0.004	
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	0.000	0.000	0.003	0.003	
	Sep	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001		
	Oct	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001		
	Nov	0.004	0.001	0.005	0.008	0.009	0.003	0.011	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014		
	Dic	0.008	0.010	0.008	0.016	0.010	0.017	0.019	0.023	0.023	0.022	0.003	0.005	0.014	0.006		
	Ene	0.007	0.010	0.013	0.018	0.020	0.020	0.022	0.025	0.028	0.029	0.026	0.037	0.041	0.041		
	Feb	0.010	0.013	0.017	0.024	0.026	0.027	0.030	0.032	0.034	0.028	0.030	0.042	0.032	0.048		
	Mar	0.010	0.014	0.020	0.022	0.025	0.024	0.028	0.034	0.035	0.045	0.050	0.059	0.069	0.075		
Abr	0.006	0.005	0.006	0.005	0.011	0.015	0.019	0.013	0.016	0.016	0.022	0.033	0.047	0.053			

Tabla A2- 16. Continuación. Cuencas: Torola cuenca alta (19) y Torola cuenca media (20)

C	Mes	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04	05-09	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	
19	May	0.001	0.001	0.002	0.004	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.010	0.002	0.009	0.007	0.007	0.016	0.016	
	Jun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.002	0.000	0.001	0.022	0.026	
	Jul	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.010	0.012	0.002	0.168	0.156	
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.017	0.019	0.126	
	Sep	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.025
	Oct	0.001	0.001	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.006	0.007	0.009	0.009	0.010	0.011	0.011
	Nov	0.042	0.021	0.079	0.093	0.085	0.007	0.076	0.073	0.072	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
	Dic	0.164	0.174	0.202	0.324	0.256	0.306	0.374	0.358	0.430	0.016	0.001	0.000	0.001	0.019	0.039	0.001	
	Ene	0.200	0.238	0.317	0.409	0.420	0.386	0.476	0.531	0.532	0.398	0.512	0.655	0.809	0.725	0.798	0.631	
	Feb	0.181	0.229	0.296	0.372	0.407	0.393	0.450	0.497	0.515	0.530	0.591	0.600	0.659	0.835	0.979	1.062	
	Mar	0.188	0.232	0.308	0.362	0.376	0.328	0.363	0.497	0.482	0.462	0.481	0.778	0.895	0.961	1.057	1.196	
Abr	0.078	0.053	0.155	0.144	0.124	0.152	0.134	0.081	0.076	0.073	0.075	0.088	0.129	0.200	0.306	0.252		
20	May	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Jun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	
	Jul	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.013	
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	
	Sep	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003	0.008	
	Oct	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
	Nov	0.008	0.004	0.024	0.036	0.035	0.001	0.029	0.036	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	
	Dic	0.030	0.036	0.040	0.076	0.053	0.073	0.094	0.094	0.122	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Ene	0.032	0.039	0.052	0.071	0.074	0.062	0.090	0.101	0.097	0.045	0.072	0.106	0.145	0.123	0.138	0.079	
	Feb	0.033	0.040	0.052	0.067	0.071	0.067	0.080	0.086	0.085	0.090	0.101	0.101	0.094	0.123	0.152	0.166	
	Mar	0.035	0.045	0.062	0.072	0.074	0.062	0.068	0.096	0.091	0.083	0.083	0.134	0.148	0.154	0.158	0.173	
Abr	0.011	0.008	0.025	0.022	0.023	0.028	0.025	0.018	0.014	0.010	0.009	0.013	0.020	0.024	0.042	0.034		

Tabla A2- 16. Continuación. Cuencas: río Torola cuenca baja (21) y embalse 15 de Septiembre (22)

C	Mes	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04	05-09	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49
21	May	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Jun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Jul	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Ago	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Sep	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Oct	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Nov	0.003	0.000	0.003	0.003	0.003	0.000	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Dic	0.006	0.007	0.005	0.008	0.004	0.006	0.006	0.006	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Ene	0.007	0.007	0.008	0.009	0.008	0.006	0.006	0.006	0.007	0.004	0.004	0.008	0.009	0.010	0.014	0.011
	Feb	0.009	0.010	0.009	0.011	0.011	0.009	0.010	0.010	0.009	0.007	0.007	0.010	0.008	0.012	0.015	0.016
	Mar	0.007	0.009	0.010	0.010	0.010	0.006	0.007	0.009	0.008	0.008	0.007	0.012	0.014	0.013	0.015	0.017
Abr	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.004	0.003	0.005	0.005	
22	May	0.003	0.010	0.004	0.007	0.007	0.012	0.008	0.009	0.008	0.013	0.016	0.015	0.026	0.019	0.047	0.047
	Jun	0.004	0.004	0.003	0.010	0.014	0.015	0.033	0.020	0.023	0.181	0.073	0.167	0.100	0.114	0.334	0.386
	Jul	0.025	0.034	0.025	0.037	0.100	0.059	0.103	0.082	0.114	0.304	0.223	0.462	0.364	0.364	0.548	0.689
	Ago	0.000	0.000	0.007	0.000	0.011	0.002	0.013	0.011	0.006	0.128	0.108	0.155	0.148	0.298	0.418	0.458
	Sep	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004	0.005	0.006	0.007	0.007	0.010	0.011	0.028	0.040	0.059	0.121	0.190
	Oct	0.010	0.024	0.017	0.061	0.041	0.016	0.042	0.022	0.038	0.019	0.045	0.054	0.062	0.107	0.078	0.156
	Nov	0.164	0.156	0.187	0.250	0.285	0.190	0.378	0.291	0.424	0.019	0.044	0.017	0.041	0.275	0.117	0.176
	Dic	0.235	0.268	0.285	0.401	0.341	0.458	0.541	0.549	0.638	0.530	0.432	0.290	0.455	0.452	0.195	0.525
	Ene	0.223	0.253	0.305	0.384	0.427	0.460	0.523	0.587	0.639	0.590	0.566	0.708	0.699	0.838	1.014	1.036
	Feb	0.215	0.258	0.301	0.378	0.436	0.483	0.562	0.600	0.618	0.528	0.613	0.738	0.679	0.899	1.006	1.139
	Mar	0.247	0.308	0.348	0.411	0.488	0.538	0.602	0.683	0.701	0.751	0.746	0.931	0.970	1.105	1.241	1.366
Abr	0.122	0.127	0.172	0.185	0.211	0.340	0.404	0.352	0.344	0.389	0.413	0.500	0.526	0.618	0.614	0.643	

Tabla A2- 16. Continuación. Cuencas: Desembocadura del Lempa (23) y Lempa total (T)

C	Mes	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	00-04	05-09	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49
23	May	0.008	0.026	0.017	0.026	0.029	0.054	0.061	0.083	0.112	0.169	0.177	0.190	0.245	0.217	0.349	0.381
	Jun	0.023	0.027	0.025	0.057	0.043	0.090	0.154	0.156	0.135	0.584	0.294	0.613	0.561	0.593	0.956	1.484
	Jul	0.060	0.094	0.107	0.108	0.194	0.190	0.342	0.301	0.369	0.699	0.649	0.830	0.925	0.829	1.174	1.417
	Ago	0.020	0.027	0.045	0.021	0.041	0.048	0.066	0.085	0.085	0.278	0.279	0.454	0.371	0.517	0.937	0.726
	Sep	0.027	0.035	0.039	0.041	0.051	0.055	0.086	0.077	0.067	0.037	0.038	0.086	0.095	0.135	0.239	0.241
	Oct	0.015	0.046	0.028	0.103	0.057	0.047	0.084	0.062	0.100	0.083	0.133	0.189	0.179	0.253	0.224	0.438
	Nov	0.101	0.153	0.155	0.243	0.301	0.264	0.466	0.346	0.599	0.120	0.227	0.359	0.186	0.413	0.309	0.427
	Dic	0.127	0.173	0.238	0.328	0.319	0.474	0.593	0.622	0.774	0.714	0.819	0.465	0.524	0.583	0.323	1.010
	Ene	0.124	0.175	0.216	0.304	0.388	0.483	0.601	0.708	0.798	0.757	0.737	0.863	0.751	1.082	1.305	1.334
	Feb	0.149	0.217	0.273	0.373	0.490	0.636	0.809	0.938	0.996	0.902	1.112	1.287	1.253	1.631	1.965	2.086
	Mar	0.279	0.390	0.443	0.582	0.748	0.928	1.083	1.233	1.305	1.206	1.154	1.474	1.477	1.776	2.064	2.302
	Abr	0.106	0.148	0.204	0.252	0.288	0.524	0.662	0.675	0.692	0.847	0.816	0.953	0.925	1.085	1.171	1.196
T	May	0.252	0.409	0.472	0.746	0.675	0.806	0.802	0.847	0.832	1.231	1.410	1.620	2.444	2.542	3.941	4.081
	Jun	0.051	0.061	0.068	0.119	0.221	0.241	0.338	0.313	0.321	2.637	1.647	4.627	2.779	3.917	5.370	7.039
	Jul	0.224	0.305	0.307	0.296	1.040	0.476	0.871	0.650	0.993	4.433	3.731	4.657	4.636	4.882	12.253	10.561
	Ago	0.020	0.046	0.162	0.047	0.149	0.107	0.272	0.185	0.124	1.254	1.955	2.867	3.096	3.440	4.881	7.528
	Sep	0.059	0.077	0.088	0.103	0.121	0.132	0.175	0.178	0.176	0.253	0.498	0.404	0.513	0.970	0.963	2.758
	Oct	0.251	0.583	0.558	1.136	0.923	0.571	1.563	0.599	0.664	0.785	0.980	1.158	1.453	1.345	1.422	1.744
	Nov	2.393	2.890	3.450	4.713	4.569	2.321	6.117	4.389	6.054	0.380	0.407	0.901	1.168	1.346	1.538	0.960
	Dic	3.479	3.886	4.386	6.420	5.671	6.126	7.689	8.040	8.677	6.941	2.623	3.099	2.122	5.371	1.370	4.112
	Ene	3.293	3.817	5.034	6.414	7.033	6.894	7.939	8.976	9.331	8.085	9.330	12.043	13.116	13.585	15.268	16.438
	Feb	3.230	4.072	4.983	6.305	7.256	7.563	8.829	9.313	9.729	9.149	9.846	11.769	12.029	14.900	16.548	18.513
	Mar	3.558	4.660	5.674	6.835	7.899	7.927	9.330	10.252	10.920	12.147	12.125	14.990	15.791	18.599	20.994	23.883
	Abr	1.997	1.940	3.299	3.514	4.102	4.941	5.393	4.367	5.550	6.970	4.918	8.424	8.296	10.174	12.110	13.004

## A2 – 3. Naturalización de caudales

### A2 – 3.1. Naturalización por demandas de agua consuntivas

Este proceso contempla sumar el balance de las demandas de agua poblacionales “DP” y las demandas de agua agrícolas “DA”, a los caudales registrados. Se realizó para cinco estaciones hidrométricas “EH” cuyos resultados promedio mensuales interanuales para sus respectivos períodos con datos se muestran en la **Tabla A2- 17** y **Figura A2- 17**. Estas son:

- 1- EH Los Puentes en la desembocadura del río El Angue, afluente al lago de Güija.
- 2- EH San Francisco en la desembocadura del río Guajoyo, afluente al río El Desagüe, del lago de Güija.
- 3- EH Las Pavas en la desembocadura del río Suquiapa, afluente al río Lempa en la Intercuenca 1 “IC1”.
- 4- EH El Jocote, en la cuenca baja del río Sucio, afluente al río Lempa en la IC1.
- 5- EH Osicala, en la cuenca alta del río Torola, afluente al río Lempa en la IC4.

**Tabla A2- 17. Caudales promedios mensuales interanuales registrados y naturalizados por demandas consuntivas.**

Mes	Angue		Guajoyo		Suquiapa		Sucio		Torola	
<b>Datos</b>	1970-1982		1970-1985		1970-1982 1990-1993 2004-2007 2013-2016	1974-1986 1992-2000 2003-2011 2014-2016	1970-1980 2002-2011 2013-2016			
<b>Tipo</b>	<b>Reg</b>	<b>Nat</b>	<b>Reg</b>	<b>Nat</b>	<b>Reg</b>	<b>Nat</b>	<b>Reg</b>	<b>Nat</b>	<b>Reg</b>	<b>Nat</b>
<b>MY</b>	1.47	1.53	0.85	0.87	5.62	5.65	7.37	7.77	19.13	19.15
<b>JN</b>	14.83	14.83	4.61	4.63	10.74	10.77	12.64	12.84	51.86	51.87
<b>JL</b>	14.69	14.69	3.48	3.49	11.80	11.85	15.61	15.88	31.76	31.78
<b>AG</b>	17.42	17.41	3.84	3.86	12.73	12.75	18.83	18.98	44.63	44.65
<b>SP</b>	25.70	25.70	6.73	6.75	17.57	17.60	22.61	22.76	94.54	94.55
<b>OC</b>	20.08	20.14	4.76	4.79	14.38	14.43	16.95	17.32	71.15	71.17
<b>NV</b>	2.55	2.71	0.79	0.85	5.47	5.80	8.91	9.90	17.78	17.84
<b>DC</b>	1.20	1.40	0.40	0.46	4.07	4.51	6.10	7.52	5.26	5.53
<b>EN</b>	0.54	0.73	0.35	0.40	3.70	4.13	5.23	6.84	2.99	3.35
<b>FB</b>	0.32	0.51	0.28	0.34	3.43	3.85	4.84	6.43	2.01	2.35
<b>MR</b>	0.23	0.41	0.21	0.27	3.26	3.75	4.50	6.12	1.87	2.20
<b>AB</b>	0.19	0.27	0.27	0.30	3.38	3.63	4.85	5.87	2.83	2.92

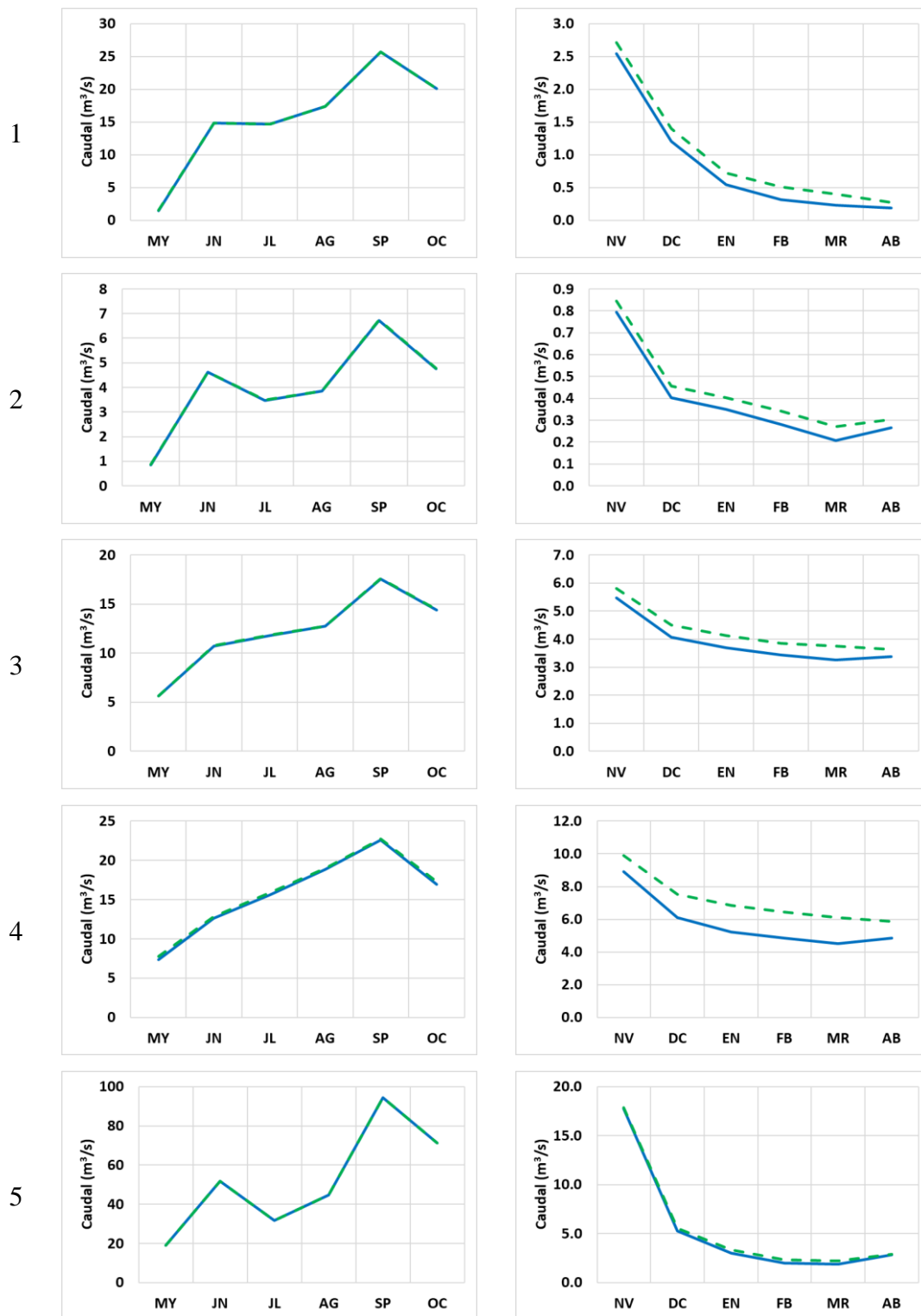


Figura A2- 17. Caudal promedio mensual interanual registrado (línea continua azul) y naturalizado por demandas consuntivas (línea cortada verde) para: 1. EH Los Puentes en río El Angue; 2. EH San Francisco en río Guajoyo; 3. EH Las Pavas en río Suquiapa; 4. EH El Jocote en río Sucio; y EH Osicala en río Torola.

### A2 – 3.2. Naturalización por demandas de agua consuntivas y no consuntivas

Este proceso contempla tres etapas: corrección de caudales registrados por embalse en el sitio, corrección por embalse aguas arriba y suma de las demandas de agua consuntivas. Se realizó para dos estaciones hidrométricas “EH” y cuatro centrales hidroeléctricas “CH”, cuyos resultados se muestran en la **Tabla A2- 18** y **Figura A2- 18**. Estas son:

- 1- CH Guajoyo ubicada en el lago de Güija, afluente al río El Desagüe.
- 2- EH Paso del Oso, ubicada en la cuenca alta del río Lempa, aguas arriba de la Intercuenca 1.
- 3- CH Cerrón Grande, ubicada en el embalse homónimo, sobre el río Lempa en la cuenca media.
- 4- CH 5 de Noviembre, ubicada en el embalse homónimo, sobre el río Lempa en la cuenca media.
- 5- CH 15 de Septiembre, ubicada en el embalse homónimo, sobre el río Lempa en la cuenca baja.
- 6- EH San Marcos Lempa, ubicada en la desembocadura del río Lempa.

**Tabla A2- 18. Caudales promedios mensuales interanuales registrados y naturalizados por demandas consuntivas y no consuntivas en m<sup>3</sup>/s.**

Mes	Güija		Paso Oso		C. Grande		5 Nov.		15 Sep.		SML	
	Reg	Nat	Reg	Nat	Reg	Nat	Reg	Nat	Reg	Nat	Reg	Nat
<b>Datos</b>	1972-2016		1972-1982 1990-1993 2002-2010 2014-2016		1972-1976 1978-2016		2001-2016		1972-1976 1978-1979 2001-2016		1972-1975 1978-1979 1992-1993 2004-2006	
<b>MY</b>	14.5	16.2	28	30	102	85	138	122	182	176	220	206
<b>JN</b>	12.1	47.5	88	128	97	221	158	285	398	507	609	730
<b>JL</b>	12.2	41.4	81	106	128	252	170	306	352	474	491	602
<b>AG</b>	14.2	43.6	81	107	149	288	200	335	428	554	550	642
<b>SP</b>	18.1	67.1	133	184	243	428	289	527	756	968	978	1128
<b>OC</b>	29.6	49.4	110	128	254	313	349	418	722	783	935	967
<b>NV</b>	23.3	11.0	53	40	116	100	143	124	219	209	246	225
<b>DC</b>	24.0	5.5	46	27	101	61	106	74	126	101	155	124
<b>EN</b>	23.3	6.1	37	21	98	51	106	60	112	77	129	93
<b>FB</b>	24.1	7.1	32	17	101	46	112	53	109	66	114	82
<b>MR</b>	24.6	9.3	30	17	101	46	115	56	112	67	115	84
<b>AB</b>	19.9	9.4	26	17	104	47	128	56	123	68	120	87

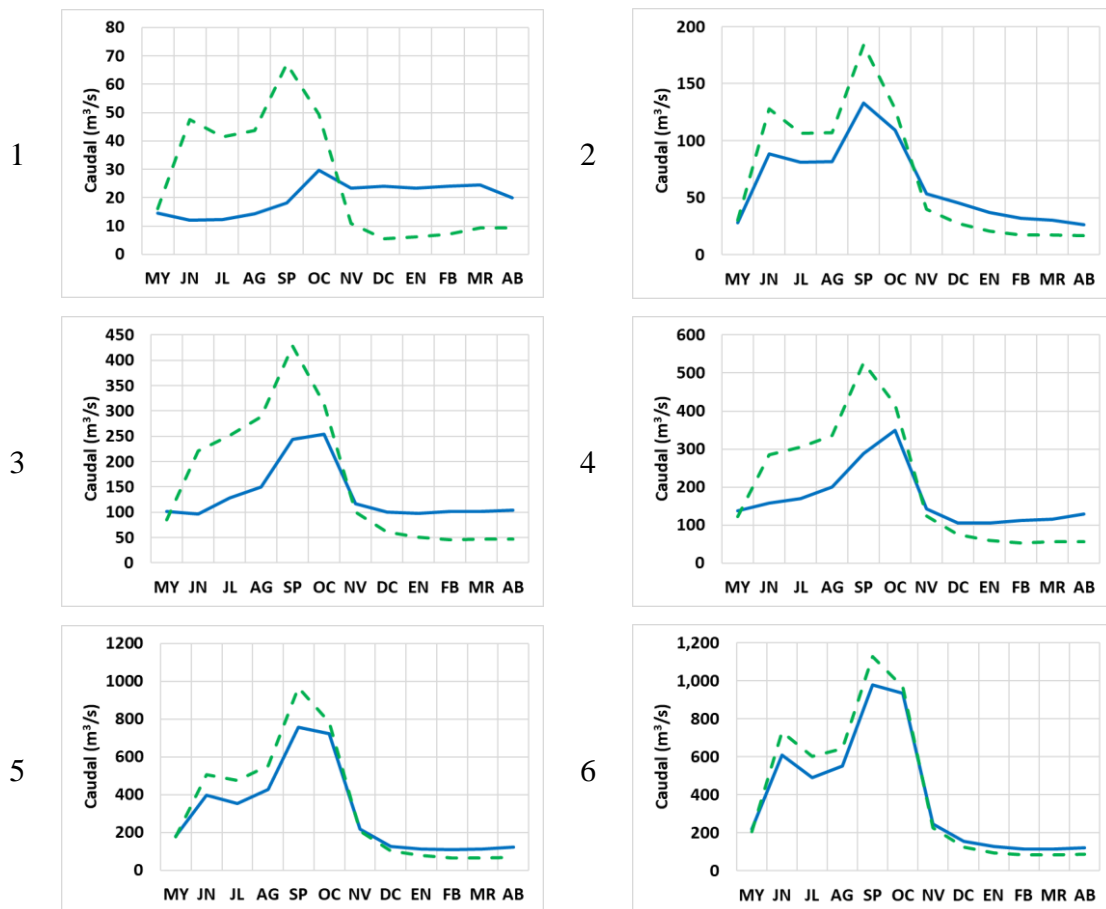


Figura A2- 18. Caudal promedio mensual interanual registrado (línea continua azul) y naturalizado (línea cortada verde) para: 1. CH Guajoyo en el lago de Güija; 2. EH Paso del Oso en la cuenca alta del río Lempa; 3. CH Cerrón Grande en la cuenca media del río Lempa; 4. CH 5 de Noviembre en la cuenca media del río Lempa; 5. CH 15 de Septiembre en la cuenca baja del río Lempa y 6. EH San Marcos Lempa en la desembocadura del Lempa.

## A2 – 4. Elaboración de modelos hidrológicos

Se utilizaron valores de P (mm), T (°C), ETP (mm) y Q (mm) del lustro 1975 – 1979 para el lustro 1965-1969 que fue utilizado como período de calentamiento, de esta manera, no se perdieron datos reales. Los períodos de calibración y validación para cada punto de control se presentan en la **Tabla A2- 19**, priorizando para cada una el período más antiguo posible, por presentar menor alteración antropogénica, y por lo tanto el proceso de naturalización es menos intensivo.

**Tabla A2- 19. Períodos de calibración, validación y final de simulación.**

Cuenca	Calibración		Validación		T
	Período	Años	Período	Años	
Ang	01/01/1970 – 31/12/1979	10	01/01/1980 – 31/12/1982	3	13
Güi	01/01/1972 – 31/12/1999	28	01/01/2000 – 31/12/2016	17	45
Gua	01/01/1970 – 31/12/1979	10	01/01/1980 – 31/12/1985	6	16
PO <sup>1</sup>	01/01/1972 – 31/12/1982	11	01/01/1990 – 31/12/2016	16	27
Suq <sup>2</sup>	01/01/1970 – 31/12/1982	13	01/01/1990 – 31/12/2016	12	25
Suc <sup>3</sup>	01/01/1974 – 31/12/1985	12	01/01/1992 – 31/12/2016	19	31
CG <sup>4</sup>	01/01/1972 – 31/12/1999	27	01/01/2000 – 31/12/2016	17	44
5N	01/01/2001 – 31/12/2010	10	01/01/2011 – 31/12/2016	6	16
Tor <sup>5</sup>	01/01/1970 – 31/12/1980	11	01/01/2002 – 31/12/2016	14	25
15S <sup>6</sup>	01/01/2001 – 31/12/2016	16	01/01/1972 – 31/12/1979	7	23
SML <sup>7</sup>	01/01/1972 – 31/12/1979	6	01/01/1992 – 31/12/2006	5	11

- 1: La validación se compone de tres rangos de años incompletos con datos: 4 + 9 + 3.
- 2: La validación se compone de tres rangos de años incompletos con datos: 4 + 4 + 4.
- 3: La validación se compone de tres rangos de años incompletos con datos: 8 + 8 + 3.
- 4: La calibración se compone de dos rangos de años con datos: 5 + 22.
- 5: La validación se compone de tres rangos de años incompletos con datos: 2 + 8 + 4.
- 6: La validación se compone de dos rangos de años con datos: 5 + 2.
- 7: Tanto la calibración como la validación se componen de dos rangos de años con datos: 4 + 2 y 2 + 3, respectivamente.

El número de corridas realizadas por proceso de calibración y punto de control se encuentran en la **Tabla A2- 20**. Cabe destacar que este es el número de corridas realizado para la versión final del estudio, pero entre modificaciones al modelo, a la naturalización, entre otras importantes, se superaron por mucho las 100,000,000 de corridas.

**Tabla A2- 20. Número de corridas realizadas por método de calibración.**

Cuenca	Método de calibración		Total
	Corridas Monte Carlo	Optimización GAP	
Angue	7,000,000	140,000	7,140,000
Güija	0	20,000	20,000
Guajoyo	7,000,000	140,000	7,140,000
Paso del Oso	0	30,000	30,000
Suquiapa	7,000,000	140,000	7,140,000
Sucio	7,000,000	140,000	7,140,000
Cerrón Grande	0	45,000	45,000
5 de Noviembre	0	20,000	20,000
Torola	7,000,000	140,000	7,140,000
15 de Septiembre	0	45,000	45,000
San Marcos Lempa	0	20,000	20,000
<b>Total</b>	<b>35,000,000</b>	<b>880,000</b>	<b>35,880,000</b>

Los resultados para cuencas individuales se presentan: de la **Figura A2- 19** a la **Figura A2- 22** para el proceso MC; de la **Figura A2- 23** a la **Figura A2- 26** para el proceso GAP; y en la **Figura A2- 27** la calibración GAP para las cuencas con al menos un afluente.

De la **Figura A2- 28** a la **Figura A2- 33**, se presentan los períodos de calibración y validación, para cada punto de control, en escorrentía promedio mensual.

En la **Tabla A2- 21** se incluyen los parámetros de la mejor calibración por cuenca, de manera que el modelo pueda ser replicado al contar con series de P (mm), T (°C) y ETP (mm), para las ubicaciones de las estaciones utilizadas.

En la **Tabla A2- 22** se incluyen los caudales medios mensuales interanuales en régimen natural para período histórico, y en la **Tabla A2- 23**, la habilidad para los períodos de calibración, validación y total.

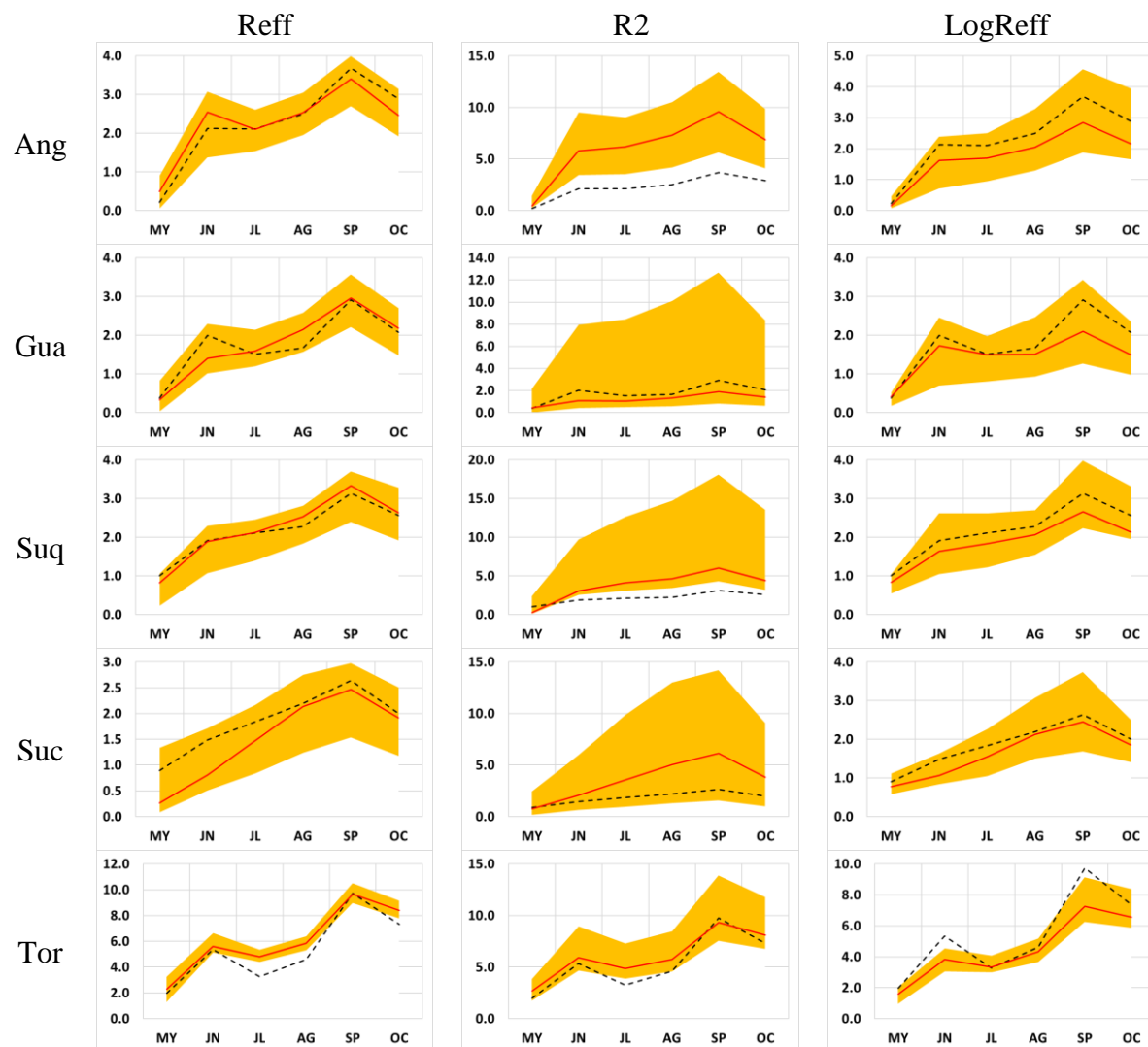


Figura A2- 19. Calibración Monte Carlo por cuenca e índice, durante la estación lluviosa. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm), línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad.

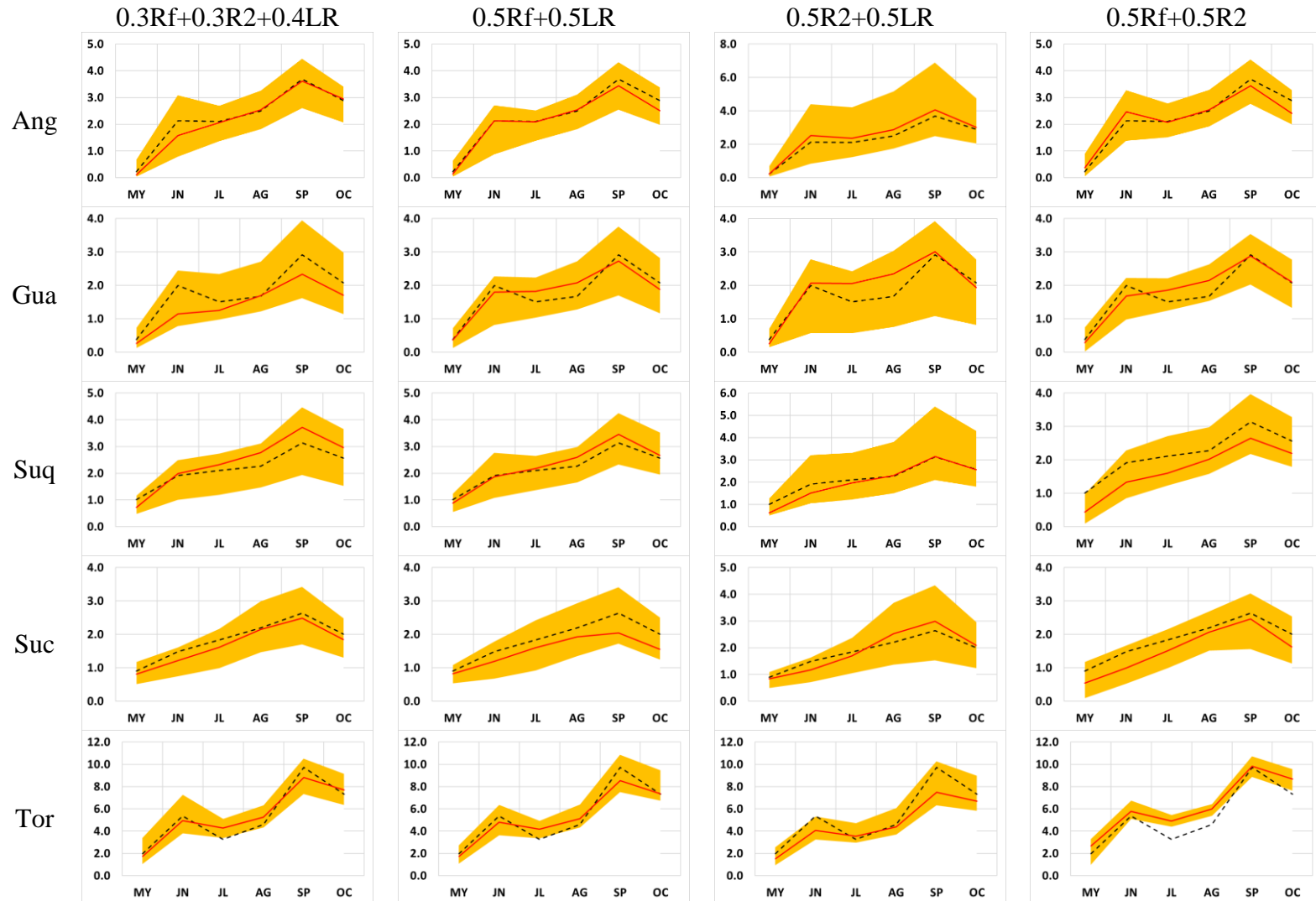


Figura A2- 20. Calibración Monte Carlo por cuenca y combinación de índices, durante la estación lluviosa. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm); línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad.

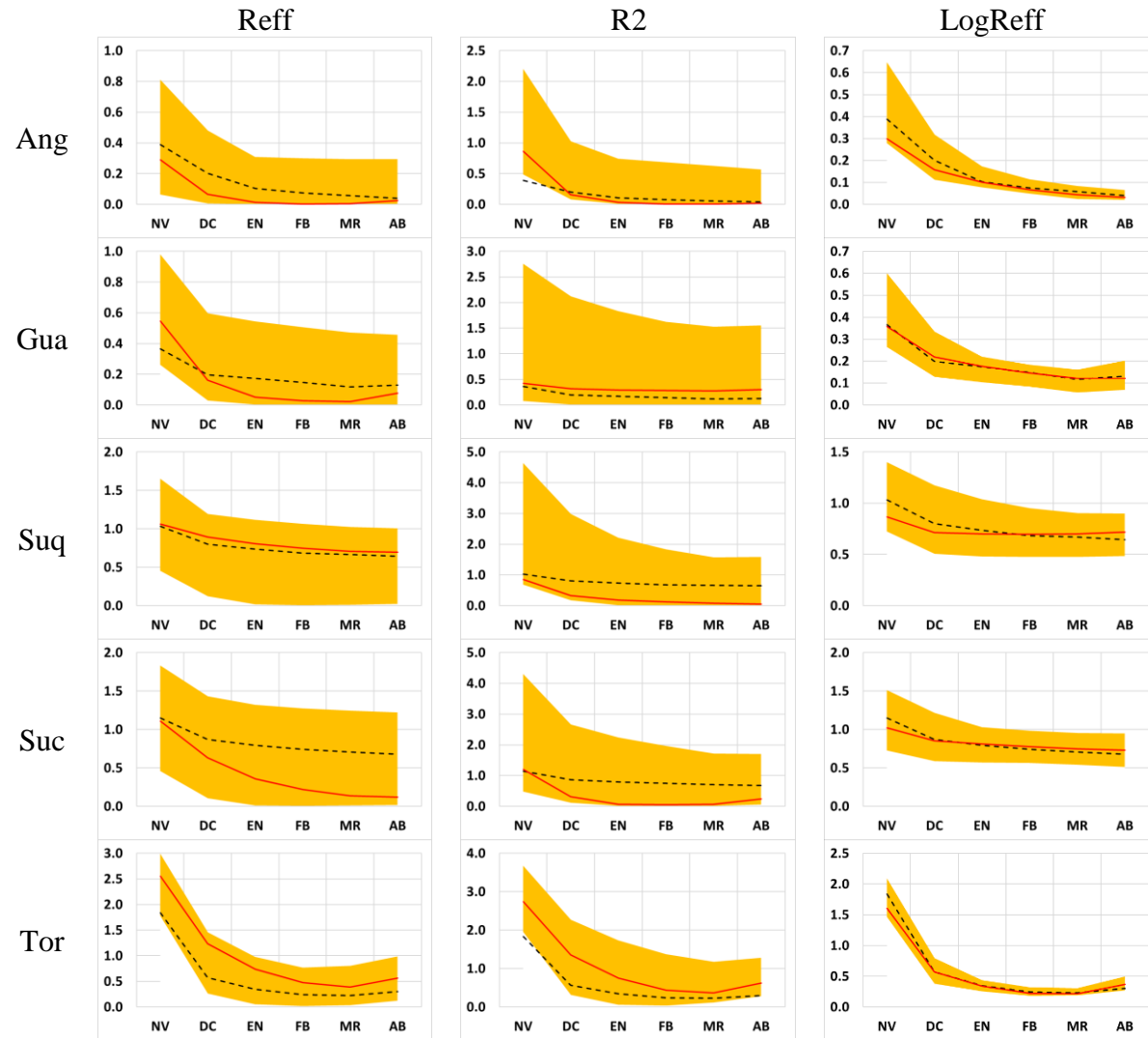


Figura A2- 21. Calibración Monte Carlo por cuenca e índice, durante la estación seca. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm), línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad.

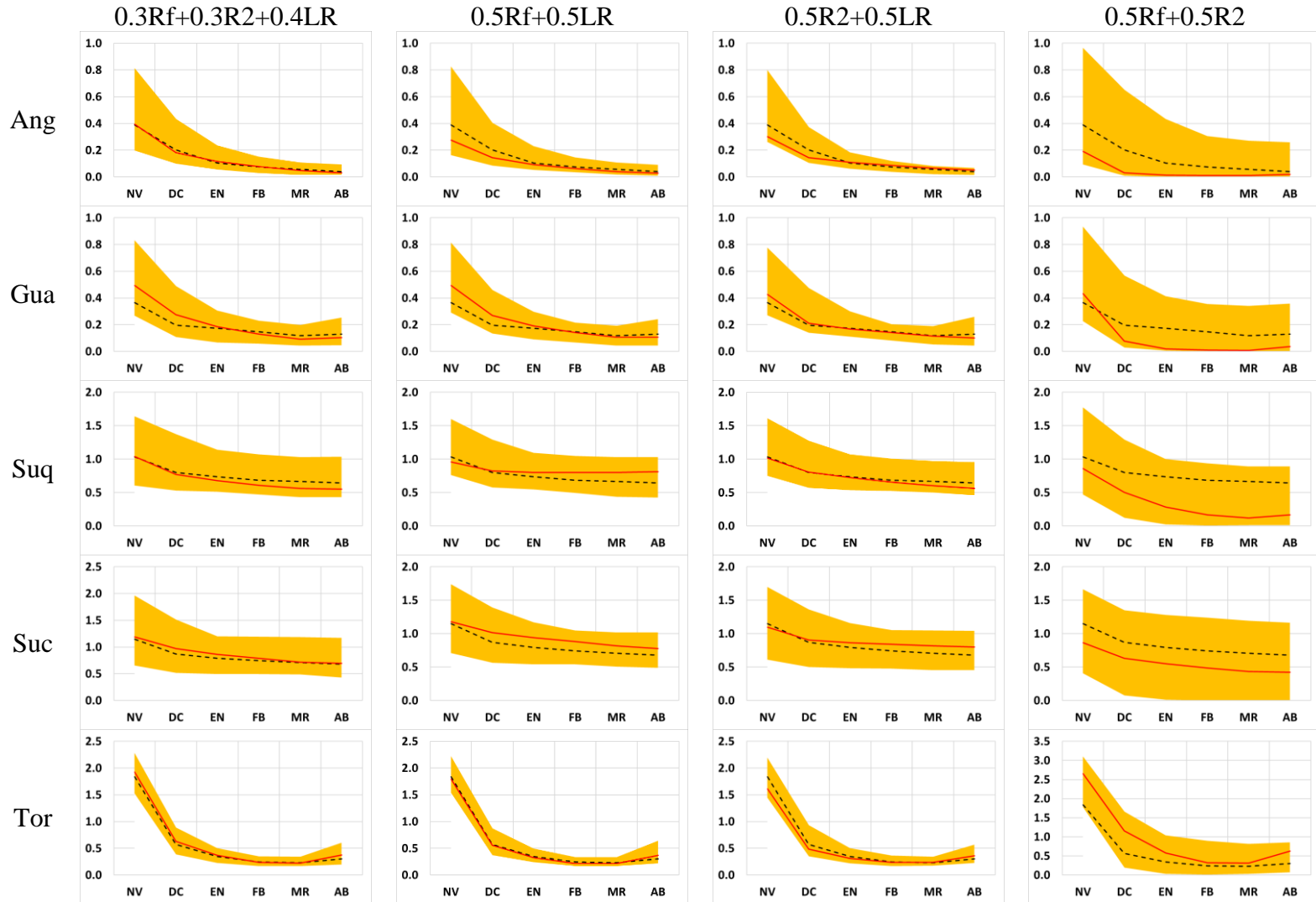


Figura A2- 22. Calibración Monte Carlo por cuenca y combinación de índices, durante la estación seca. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm); línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad.

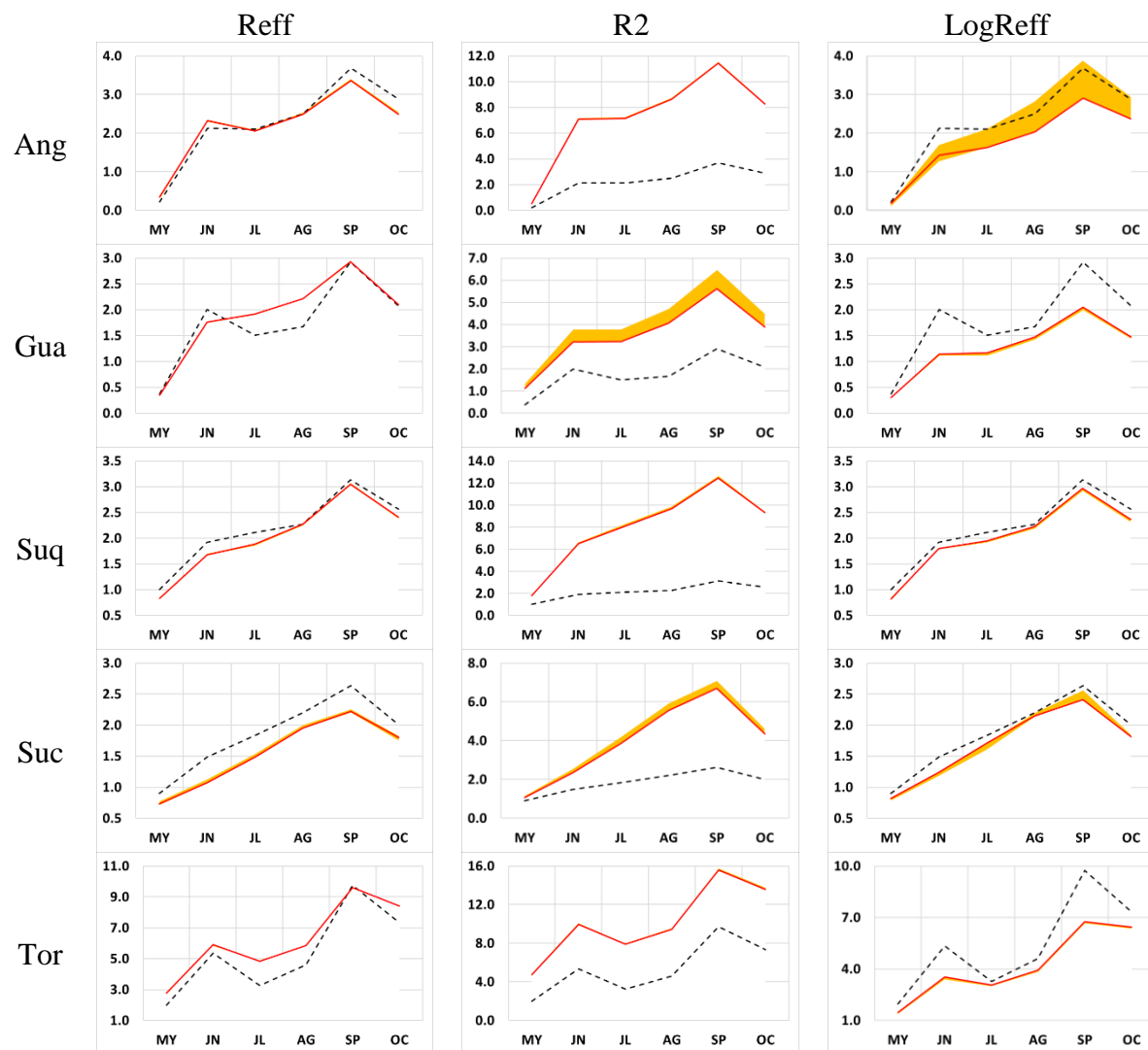


Figura A2- 23. Calibración GAP por cuenca e índice, durante la estación lluviosa. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm), línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad.

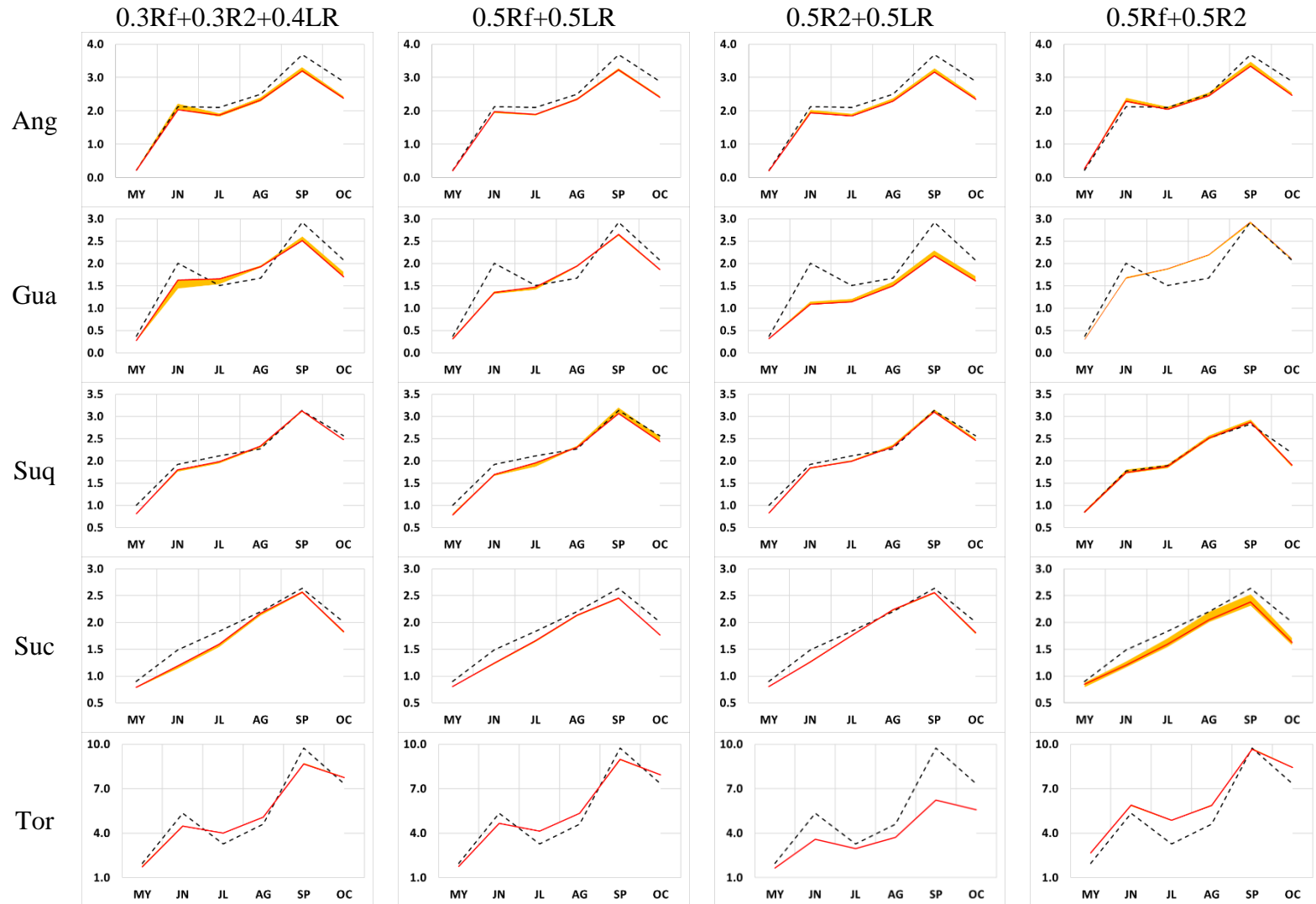


Figura A2- 24. Calibración GAP por cuenca y combinación de índices, durante la estación lluviosa. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm); línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad.

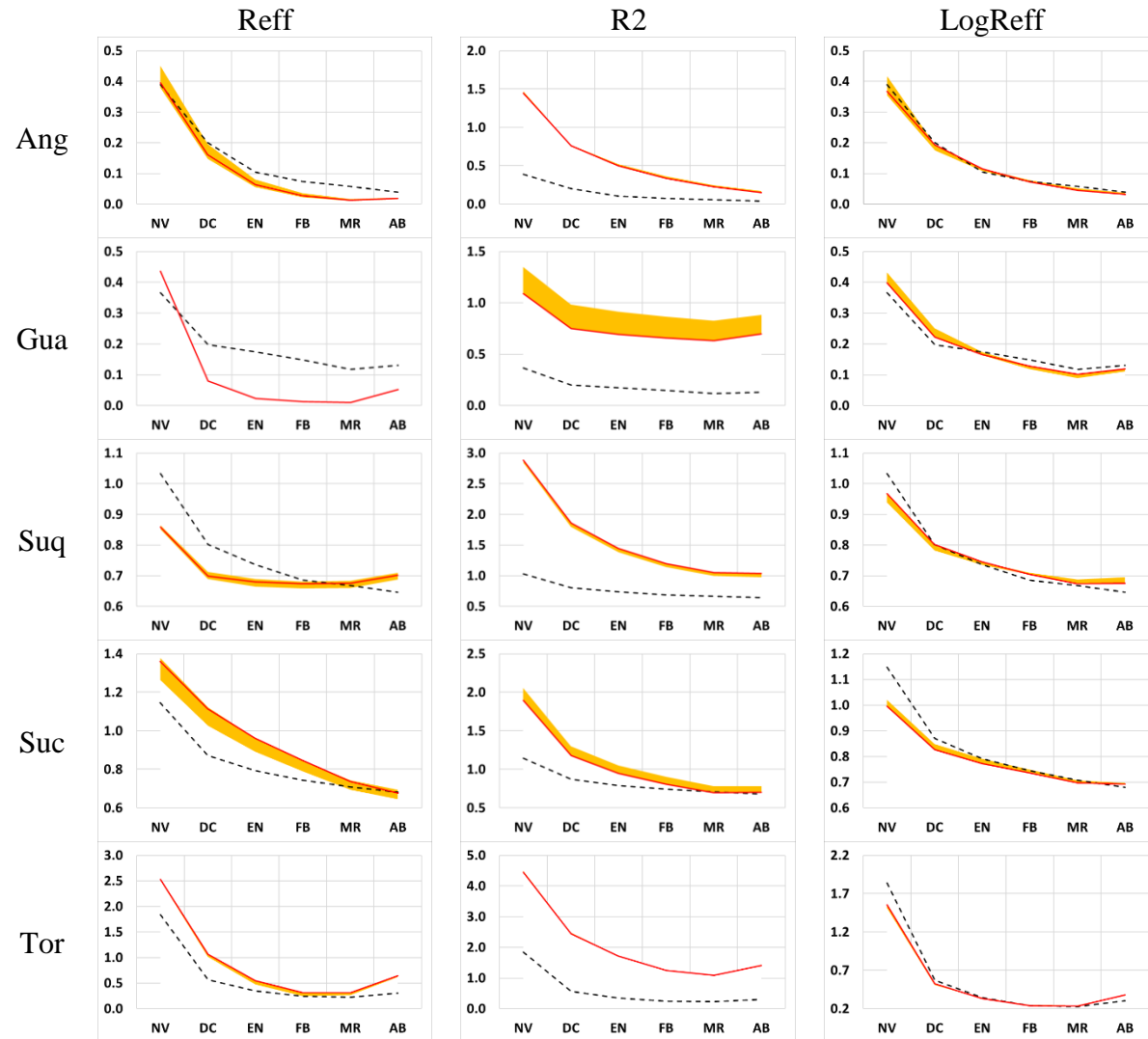


Figura A2- 25. Calibración GAP por cuenca e índice, durante la estación seca. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm), línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad.

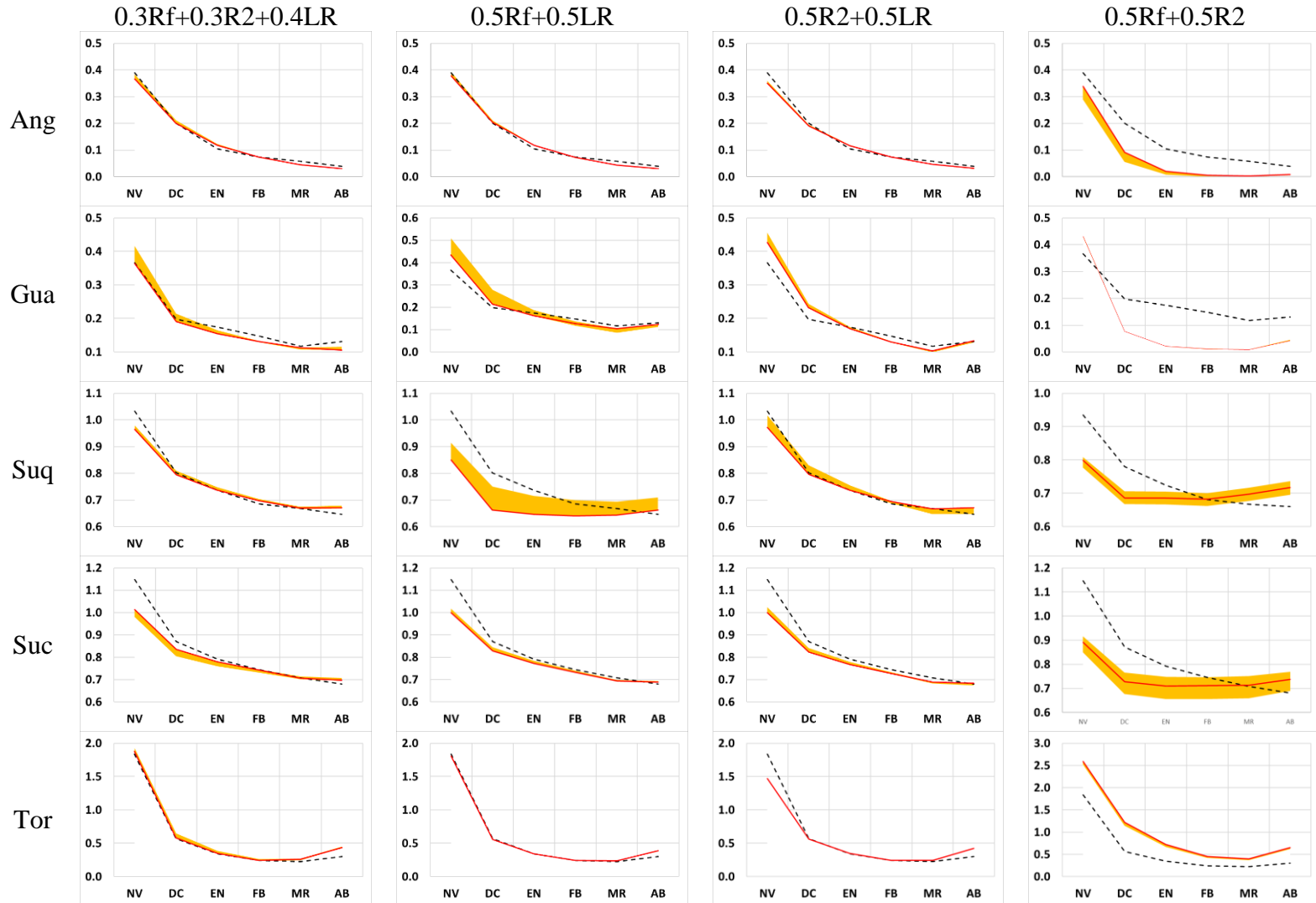


Figura A2- 26. Calibración GAP por cuenca y combinación de índices, durante la estación seca. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm); línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 100 corridas con mejor habilidad.

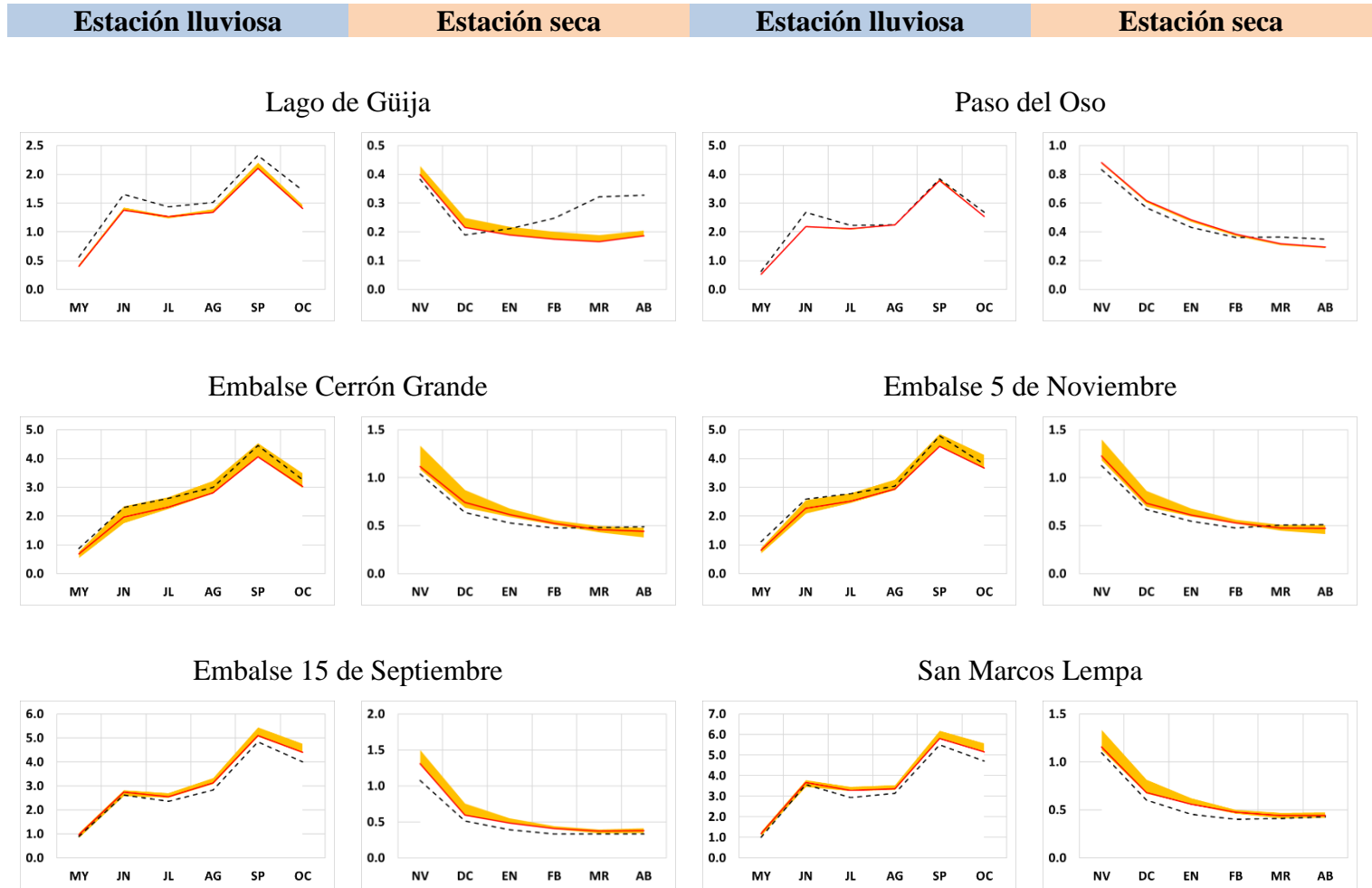


Figura A2- 27. Calibración GAP para los puntos de calibración con múltiples cuencas afluentes. Línea negra discontinua: caudal observado naturalizado (mm); línea roja continua: caudal simulado (mm) con mejor habilidad según la combinación de índices número 4 “P4”:  $0.3Reff + 0.3R2 + 0.4LogReff$ ; y rango anaranjado: caudales simulados (mm) para las 40 corridas con mejor habilidad.

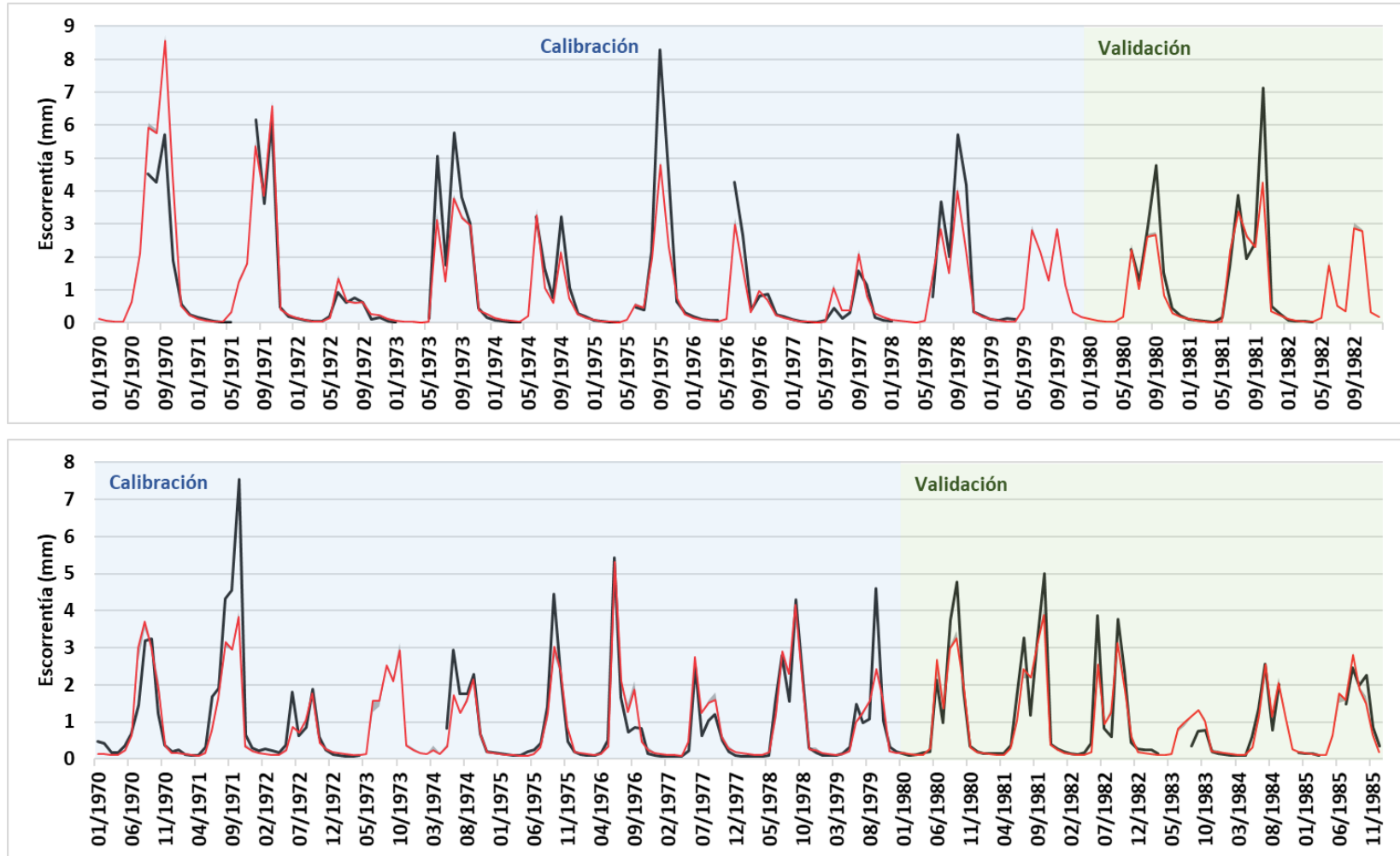


Figura A2- 28. Escorrentía promedio mensual observada naturalizada (línea negra), de la corrida con mejor habilidad según la combinación 4 (línea roja) y las 40 mejores corridas del proceso GAP (rango anaranjado). Superior: río El Angue, EH Los Puentes. Inferior: río Guajoyo, EH San Francisco.

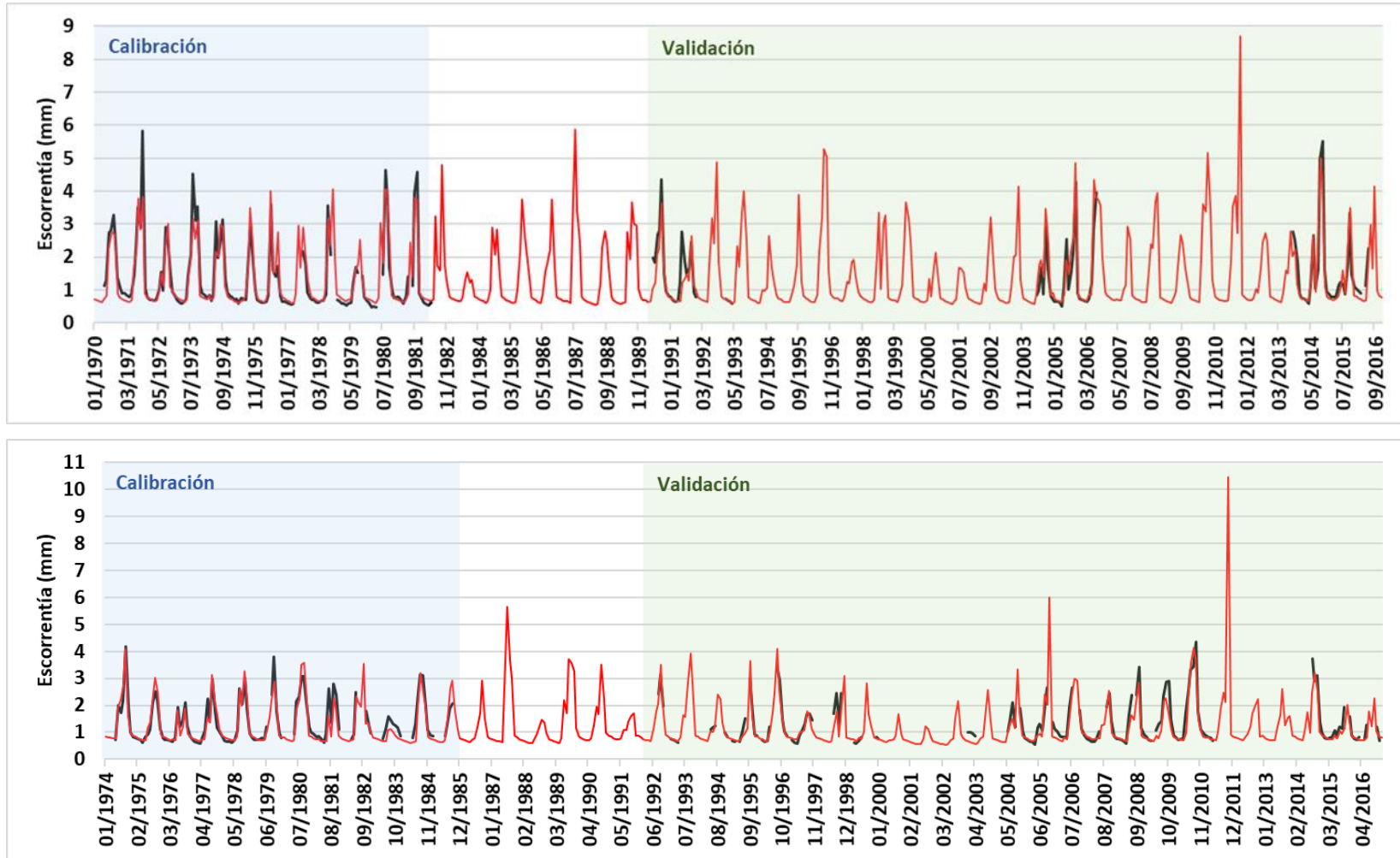


Figura A2- 29. Escorrentía promedio mensual observada naturalizada (línea negra), de la corrida con mejor habilidad según la combinación 4 (línea roja) y las 40 mejores corridas del proceso GAP (rango anaranjado). Superior: río Suquiapa, EH Las Pavas. Inferior: río Sucio, EH El Jocote.

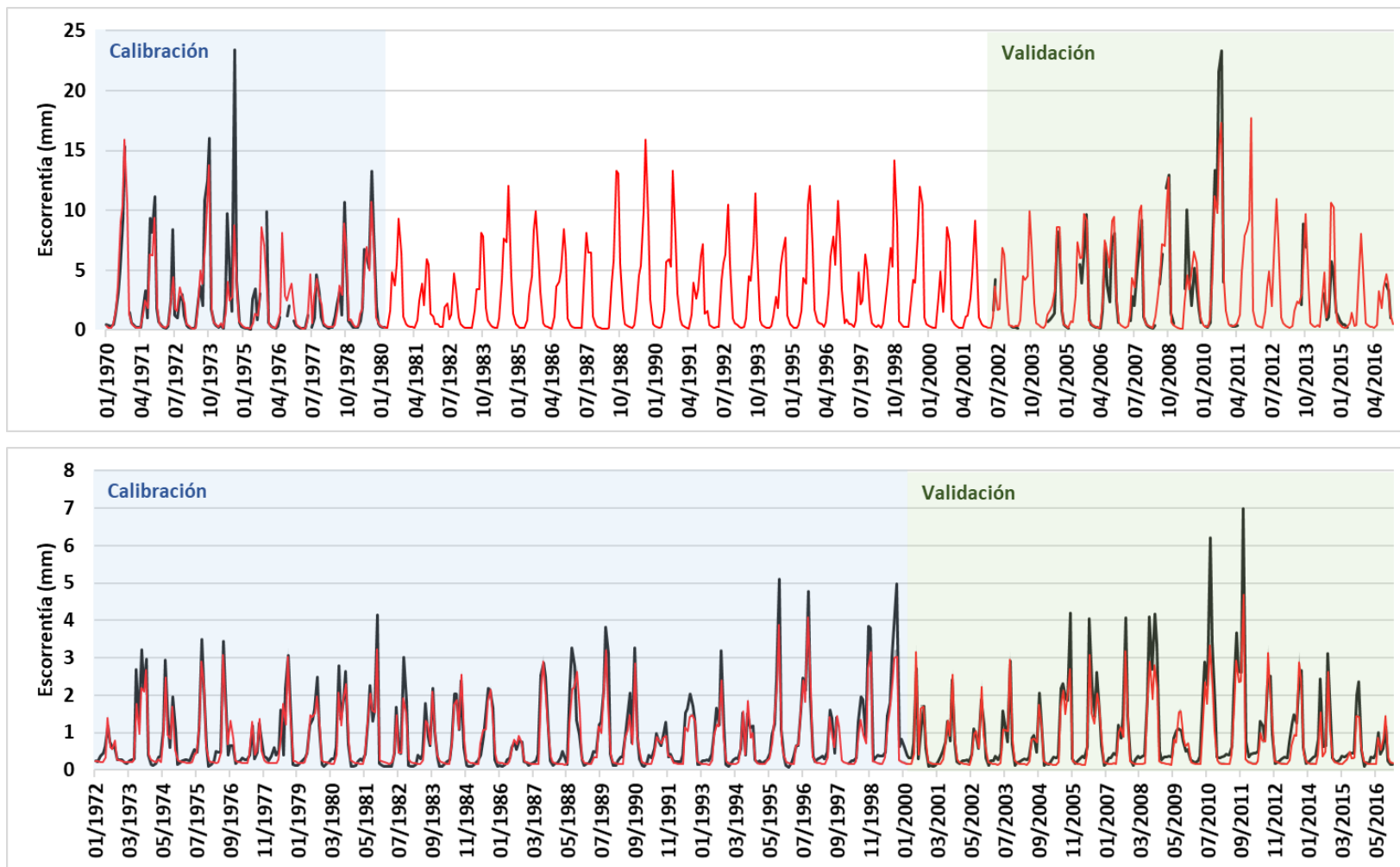


Figura A2- 30. Escorrentía promedio mensual observada naturalizada (línea negra), de la corrida con mejor habilidad según la combinación 4 (línea roja) y las 40 mejores corridas del proceso GAP (rango anaranjado). Superior: río Torola, EH Oscala. Inferior: Lago de Güija, CH Guajoyo.

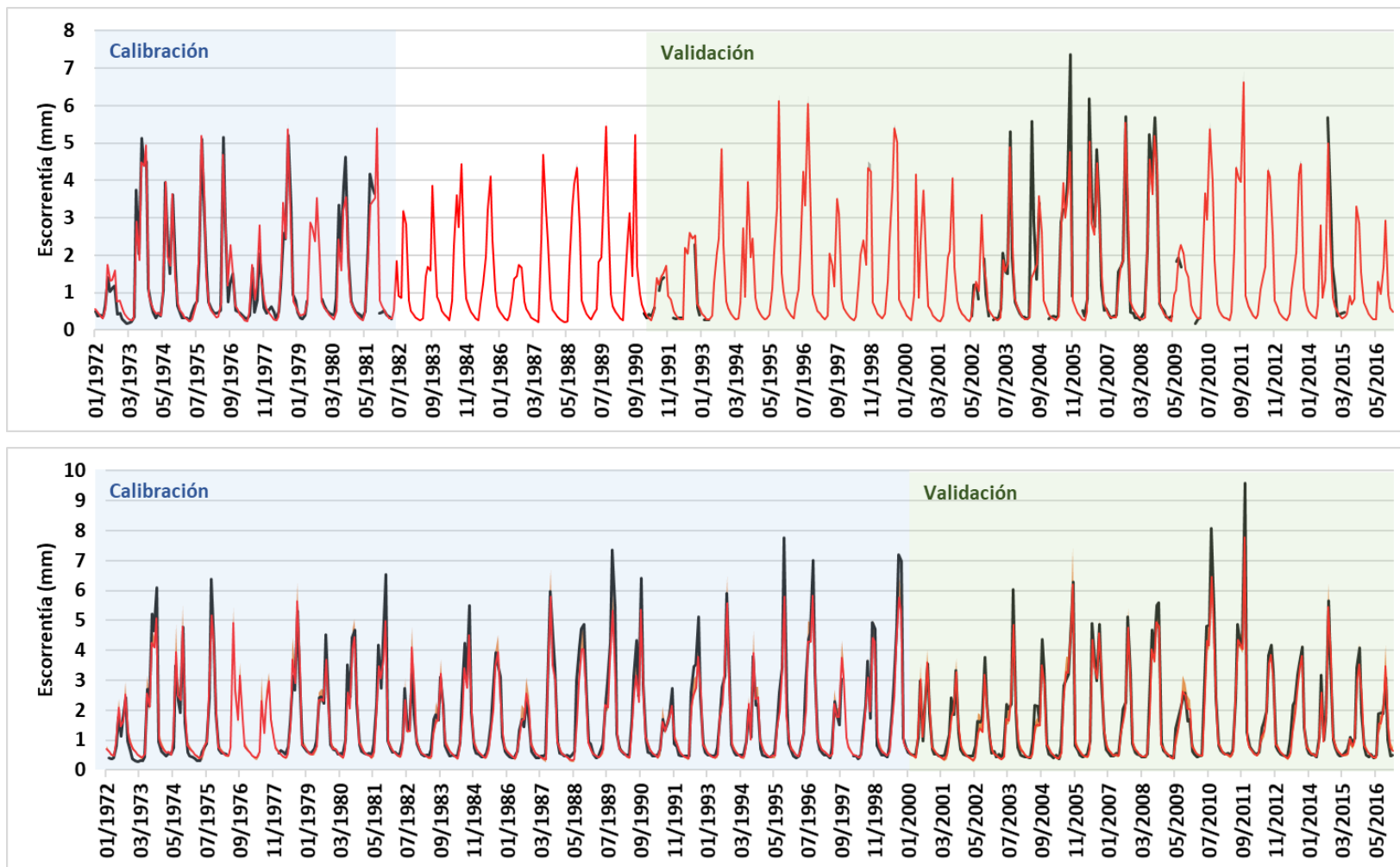


Figura A2- 31. Escorrentía promedio mensual observada naturalizada (línea negra), de la corrida con mejor habilidad según la combinación 4 (línea roja) y las 40 mejores corridas del proceso GAP (rango anaranjado). Superior: río Lempa, EH Paso del Oso. Inferior: río Lempa, CH Cerrón Grande.

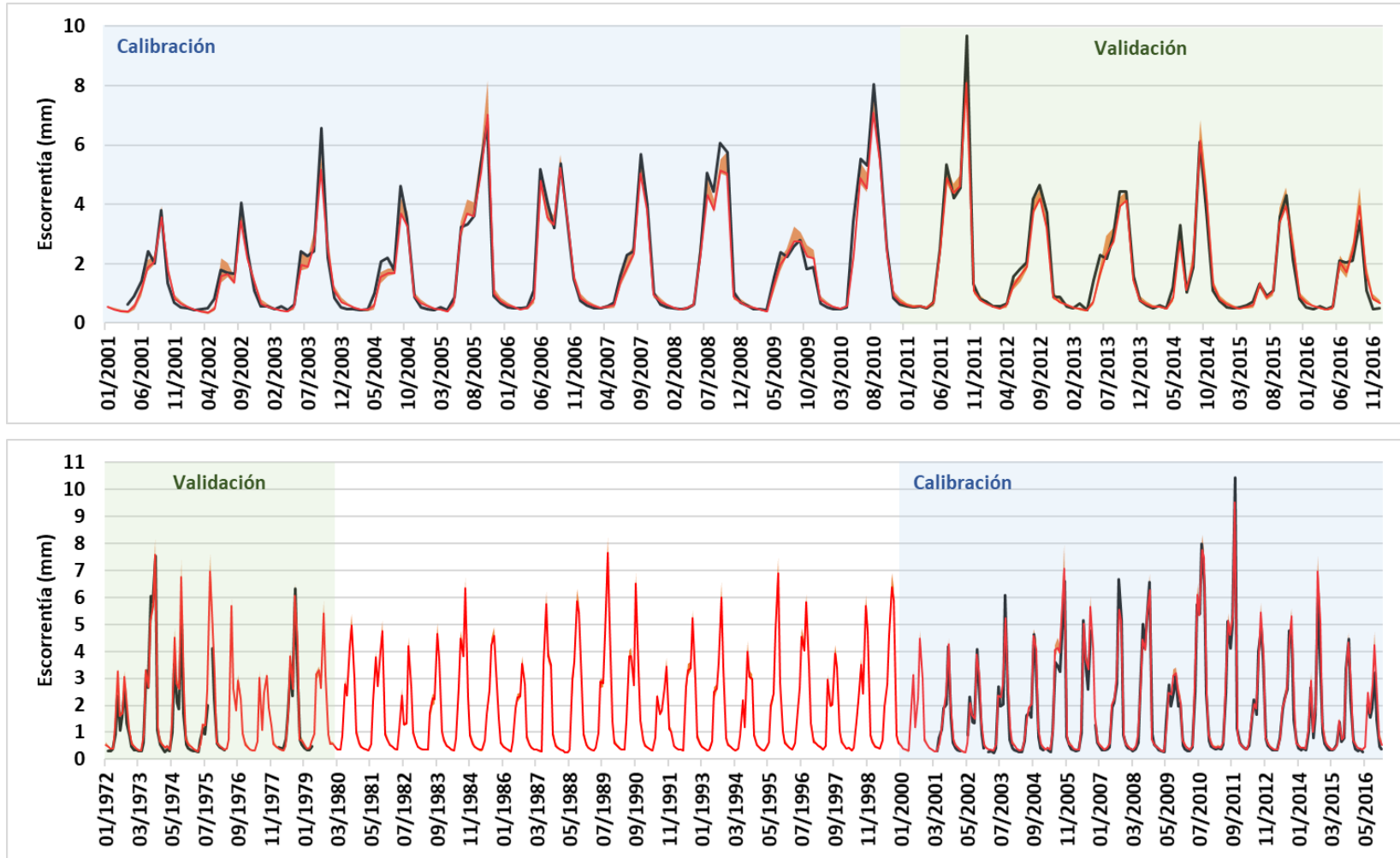


Figura A2- 32. Escorrentía promedio mensual observada naturalizada (línea negra), de la corrida con mejor habilidad según la combinación 4 (línea roja) y las 40 mejores corridas del proceso GAP (rango anaranjado). Superior: río Lempa, CH 5 de Noviembre. Inferior: río Lempa, CH 15 de Septiembre.

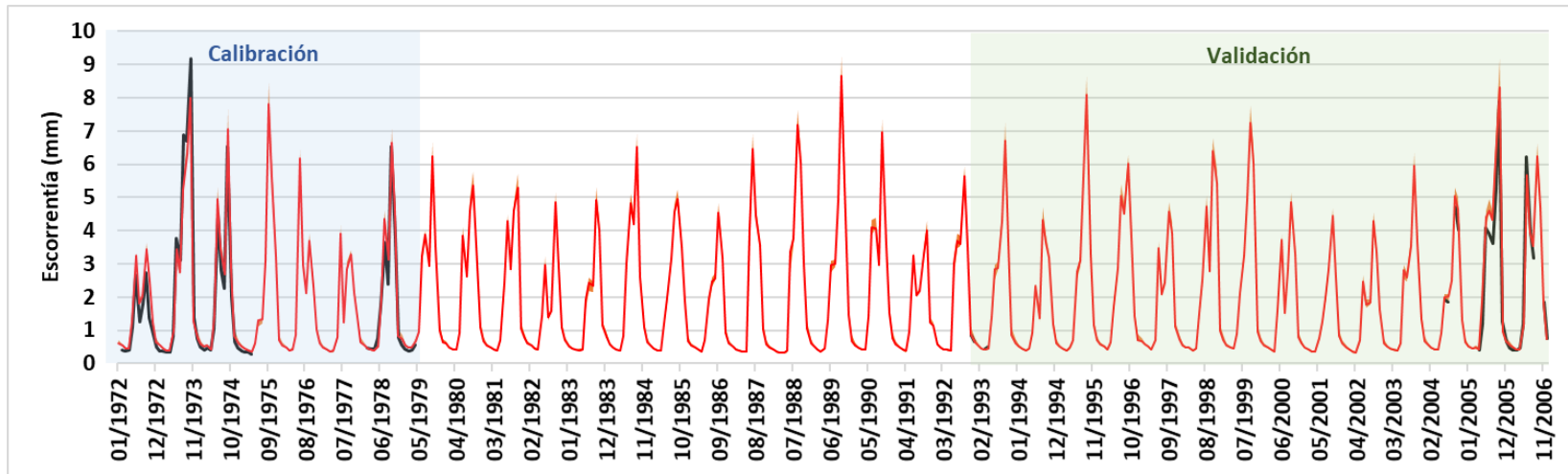


Figura A2- 33. Escorrentía promedio mensual observada naturalizada (línea negra), de la corrida con mejor habilidad según la combinación 4 (línea roja) y las 40 mejores corridas del proceso GAP (rango anaranjado). Río Lempa, EH San Marcos Lempa.

Tabla A2- 21. Factores finales de calibración del modelo HBV utilizando el proceso GAP.

N	Cuenca	A_k <sup>2</sup>	hc msnm	FC	LP	BETA	PERC	UZL	K0	K1	K2	MB	PCALT	hP-T msnm
1	Cab	1408.0	1421	755.50	0.730	2.0218	2.416	23.38	0.206	0.112	0.01048	1.0	-2.6121	1120
2	Ost	1641.6	1383	1500.00	0.524	1.5864	0.402	8.95	0.302	0.079	0.00034	1.0	-1.2465	746
3	Ang	602.4	1178	127.35	1.000	2.9382	0.450	6.44	0.208	0.152	0.01724	1.0	-46.4464	1074
4	Güi	244.7	708	122.52	1.000	1.6292	0.402	8.95	0.302	0.079	0.00034	1.0	-1.2465	456
5	Gua	199.7	847	426.34	0.588	1.5643	0.281	11.00	0.500	0.140	0.00535	1.0	-10.6099	570
6	Des	42.6	847	50.00	1.000	4.9999	2.416	23.38	0.206	0.112	0.01048	1.0	-2.6121	570
7	IC1	790.9	657	491.23	0.547	2.6592	1.209	25.94	0.300	0.106	0.00427	1.0	-1.9018	409
8	Suq	485.3	886	1499.99	0.512	1.2109	1.396	13.90	0.457	0.064	0.00191	1.0	-5.2654	607
9	Suc	746.0	1029	1500.00	0.690	1.9867	1.721	24.76	0.500	0.104	0.00180	1.0	-2.6002	472
10	Ace	720.7	860	1499.96	0.331	2.3518	1.209	25.94	0.300	0.106	0.00427	1.0	-1.9018	561
11	CG	1425.4	1069	1251.24	0.647	1.4953	1.209	25.94	0.300	0.106	0.00427	1.0	-1.9018	776
12	Sum	915.9	1320	1499.98	0.949	1.0000	0.903	62.13	0.453	0.052	0.00229	1.8	-7.0426	879
13	5N	295.4	582	584.75	1.000	4.5840	0.903	62.13	0.453	0.052	0.00229	1.8	-7.0426	508
14	Moc	1193.3	1466	1499.98	0.949	1.0000	0.903	62.13	0.453	0.052	0.00229	1.8	-7.0426	937
15	IC2	399.4	552	814.28	0.676	3.6029	0.633	29.07	0.243	0.186	0.00993	1.0	-21.1330	555
16	Gbl	2426.2	1339	814.28	0.676	3.6029	0.633	29.07	0.243	0.186	0.00993	1.0	-21.1330	1192
17	IC3	328.3	985	814.28	0.676	3.6029	0.633	29.07	0.243	0.186	0.00993	1.0	-21.1330	614
18	IC4	119.9	429	814.28	0.676	3.6029	0.633	29.07	0.243	0.186	0.00993	1.0	-21.1330	695
19	TCA	838.7	1110	1105.25	0.383	1.8364	0.715	25.16	0.200	0.014	0.01376	1.0	-4.9593	990
20	TCM	371.4	829	814.28	0.676	3.6029	0.633	29.07	0.243	0.186	0.00993	1.0	-21.1330	1028
21	TCB	280.4	531	814.28	0.676	3.6029	0.633	29.07	0.243	0.186	0.00993	1.0	-21.1330	911
22	15S	1560.2	716	814.28	0.676	3.6029	0.633	29.07	0.243	0.186	0.00993	1.0	-21.1330	318
23	SML	683.8	790	374.95	1.000	3.6389	4.897	100.00	0.461	0.168	0.00325	1.7	19.6504	36

Tabla A2- 22. Caudales promedio mensuales interanuales en régimen natural (m<sup>3</sup>/s), para el período histórico de referencia 05/1970 – 04/2000.

N	Cuenca	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Anual
1	Cab	13.75	50.72	69.57	84.48	119.76	85.44	33.10	22.43	16.56	12.38	9.62	8.35	<b>43.85</b>
2	Ost	6.46	14.48	15.02	18.43	28.95	22.90	7.36	4.55	4.34	4.29	4.29	4.40	<b>11.29</b>
3	Ang	1.29	12.72	13.62	13.68	21.30	13.70	3.27	1.47	0.86	0.52	0.31	0.22	<b>6.91</b>
4	Güi	11.72	38.70	37.26	41.33	61.91	43.52	12.08	6.52	5.65	5.23	5.02	5.76	<b>22.89</b>
5	Gua	0.65	3.27	4.10	4.84	5.82	3.79	1.02	0.45	0.36	0.31	0.27	0.28	<b>2.10</b>
6	Des	12.98	44.12	43.19	48.29	70.23	49.03	13.94	7.50	6.40	5.82	5.51	6.28	<b>26.11</b>
-	PO	26.7	94.8	112.8	132.8	190.0	134.5	47.0	29.9	23.0	18.2	15.1	14.6	<b>70.0</b>
7	IC1	40.4	126.2	159.5	194.7	267.7	187.5	69.8	47.0	38.6	32.7	28.7	27.5	<b>101.7</b>
8	Suq	4.16	9.22	11.54	14.92	16.96	11.14	5.50	4.32	4.05	3.84	3.68	3.59	<b>7.74</b>
9	Suc	6.40	10.62	14.40	19.67	22.51	15.69	8.71	7.13	6.71	6.37	6.08	5.92	<b>10.85</b>
10	Ace	3.22	5.29	8.71	13.85	23.43	19.12	7.83	5.45	4.73	4.16	3.70	3.32	<b>8.57</b>
11	CG	66.1	197.3	236.7	291.0	406.0	289.1	107.1	72.6	60.0	50.8	44.6	42.9	<b>155.3</b>
12	Sum	20.74	51.75	42.62	47.28	66.00	50.34	16.86	7.98	6.99	6.24	6.30	7.81	<b>27.57</b>
13	5N	88.5	260.7	298.6	359.6	504.8	367.7	132.6	83.6	69.4	59.3	53.0	52.4	<b>194.2</b>
14	Moc	21.25	49.44	42.76	47.52	70.23	56.40	20.04	9.58	8.45	7.87	7.71	8.90	<b>29.18</b>
15	IC2	90.4	271.3	316.5	385.3	543.9	396.3	139.8	85.9	71.0	60.5	53.9	53.2	<b>205.7</b>
16	Gbl	8.6	36.2	47.0	69.5	131.7	102.7	28.8	12.4	8.9	6.8	5.3	4.5	<b>38.5</b>
17	IC3	135.3	388.8	435.5	524.6	744.5	548.9	193.9	115.9	96.4	83.0	74.7	75.3	<b>284.7</b>
18	IC4	156.2	528.7	568.5	693.3	1026.6	753.0	241.3	123.4	97.7	81.7	72.3	72.4	<b>367.9</b>
19	TCA	7.70	36.45	39.81	52.52	86.00	68.48	19.92	7.86	5.25	3.63	2.73	2.55	<b>27.74</b>
20	TCM	21.8	105.2	97.6	117.9	181.7	132.6	36.2	11.4	7.2	5.0	4.0	4.2	<b>60.4</b>
21	TCB	35.0	165.3	152.3	178.3	263.5	185.8	49.5	14.4	8.7	6.1	5.0	5.5	<b>89.1</b>
22	15S	156.5	529.7	569.9	695.1	1028.9	755.7	243.5	124.8	98.4	82.0	72.3	72.4	<b>369.1</b>
23	SML	192.2	625.7	664.6	812.9	1188.5	859.7	282.7	146.2	117.2	98.9	87.7	86.4	<b>430.2</b>

**Tabla A2- 23. Coeficientes de habilidad para la mejor corrida según cada coeficiente, utilizando Optimización GAP. Se resalta la población 4 “P4” por considerarse definitiva en este estudio, y San Marcos Lempa, por ser la desembocadura del río y donde se acumulan las alteraciones.**

Cuenca o punto de control	Población:	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	Período\FO	Reff	R2	LogReff	C1	C2	C3	C4
Angue	Calibración	0.619	0.621	0.850	0.712	0.735	0.735	0.620
Angue	Validación	0.731	0.780	0.884	0.807	0.807	0.832	0.755
<b>Angue</b>	<b>Total</b>	<b>0.639</b>	<b>0.642</b>	<b>0.857</b>	<b>0.727</b>	<b>0.748</b>	<b>0.750</b>	<b>0.641</b>
Güija	Calibración	0.754	0.772	0.675	0.728	0.715	0.723	0.763
Güija	Validación	0.762	0.801	0.626	0.719	0.694	0.713	0.781
<b>Güija</b>	<b>Total</b>	<b>0.758</b>	<b>0.783</b>	<b>0.659</b>	<b>0.726</b>	<b>0.708</b>	<b>0.721</b>	<b>0.770</b>
Guajoyo	Calibración	0.538	0.540	0.788	0.639	0.663	0.664	0.539
Guajoyo	Validación	0.608	0.609	0.766	0.672	0.687	0.688	0.609
<b>Guajoyo</b>	<b>Total</b>	<b>0.565</b>	<b>0.567</b>	<b>0.781</b>	<b>0.652</b>	<b>0.673</b>	<b>0.674</b>	<b>0.566</b>
Paso del oso	Calibración	0.867	0.868	0.842	0.857	0.855	0.855	0.867
Paso del oso	Validación	0.800	0.819	0.838	0.821	0.819	0.829	0.810
<b>Paso del oso</b>	<b>Total</b>	<b>0.827</b>	<b>0.836</b>	<b>0.840</b>	<b>0.835</b>	<b>0.834</b>	<b>0.838</b>	<b>0.832</b>
Suquiapa	Calibración	0.622	0.626	0.787	0.689	0.705	0.707	0.624
Suquiapa	Validación	0.636	0.660	0.712	0.674	0.674	0.686	0.648
<b>Suquiapa</b>	<b>Total</b>	<b>0.629</b>	<b>0.639</b>	<b>0.758</b>	<b>0.684</b>	<b>0.693</b>	<b>0.698</b>	<b>0.634</b>
Sucio	Calibración	0.630	0.665	0.729	0.680	0.679	0.697	0.647
Sucio	Validación	0.603	0.631	0.720	0.658	0.662	0.675	0.617
<b>Sucio</b>	<b>Total</b>	<b>0.614</b>	<b>0.643</b>	<b>0.723</b>	<b>0.666</b>	<b>0.669</b>	<b>0.683</b>	<b>0.629</b>
Cerrón Grande	Calibración	0.850	0.868	0.873	0.864	0.861	0.870	0.859
Cerrón Grande	Validación	0.881	0.896	0.899	0.893	0.890	0.897	0.888
<b>Cerrón Grande</b>	<b>Total</b>	<b>0.862</b>	<b>0.879</b>	<b>0.883</b>	<b>0.875</b>	<b>0.873</b>	<b>0.881</b>	<b>0.871</b>
5 de Noviembre	Calibración	0.864	0.876	0.896	0.880	0.880	0.886	0.870
5 de Noviembre	Validación	0.863	0.872	0.886	0.875	0.874	0.879	0.868
<b>5 de Noviembre</b>	<b>Total</b>	<b>0.864</b>	<b>0.875</b>	<b>0.893</b>	<b>0.879</b>	<b>0.878</b>	<b>0.884</b>	<b>0.869</b>
Torola	Calibración	0.488	0.496	0.827	0.626	0.658	0.662	0.492
Torola	Validación	0.657	0.663	0.799	0.716	0.728	0.731	0.660
<b>Torola</b>	<b>Total</b>	<b>0.559</b>	<b>0.559</b>	<b>0.816</b>	<b>0.662</b>	<b>0.688</b>	<b>0.688</b>	<b>0.559</b>
15 de Septiembre	Calibración	0.896	0.899	0.906	0.901	0.901	0.902	0.897
15 de Septiembre	Validación	0.853	0.866	0.885	0.870	0.869	0.876	0.860
<b>15 de Septiembre</b>	<b>Total</b>	<b>0.886</b>	<b>0.891</b>	<b>0.901</b>	<b>0.893</b>	<b>0.894</b>	<b>0.896</b>	<b>0.888</b>
San Marcos Lempa	Calibración	0.868	0.872	0.896	0.880	0.882	0.884	0.870
San Marcos Lempa	Validación	0.900	0.908	0.864	0.888	0.882	0.886	0.904
<b>San Marcos Lempa</b>	<b>Total</b>	<b>0.881</b>	<b>0.885</b>	<b>0.885</b>	<b>0.884</b>	<b>0.883</b>	<b>0.885</b>	<b>0.883</b>

## A2 – 5. Estimación de caudales ecológicos

En la **Tabla A2- 24** se incluyen las metodologías de caudales ecológicos utilizadas, en la **Tabla A2- 25** los caudales ecológicos por cuenca y mes para el estado “Excelente” de los ríos, y en la **Tabla A2- 26**, los caudales máximos por cuenca y mes.

**Tabla A2- 24. Regímenes de caudales ecológicos considerados.**

Método:	Tennant Estacional “E”		Propuesta alternativa Mensual “M”
	(% del caudal medio anual QMA)		(% del caudal medio mensual QMM)
Estación <sup>1</sup> :	Húmeda	Seca	Por mes
Máximo o generador <sup>2</sup>	200	200	Seca: $Q_{amb} = PQ_{dmx}$ Húmeda: $Q_{amb} = QMM$ Transición: $0.5(PQ_{dmx} + QMM)$
Intervalo óptimo	60-100	60-100	80-100
Excepcional	60	40	50
Excelente	50	30	40
Adecuado	40	20	30-40
Ajustado (cierta degradación)	30	10	10-30
Pobre o mínimo	10	10	10
Degradación intensa	0-10	0-10	0-10

Nota 1: Los meses de la estación húmeda se definieron por:  $QMM \geq QMA$ ; y los meses de transición, por la expresión:  $0.4QMA \leq QMM < QMA$ . El valor de 0.4 se definió a partir del porcentaje promedio que representan del QMA los meses de noviembre y mayo, que son los meses de transición de la estación húmeda a la seca y viceversa, respectivamente.

Nota 2: En la propuesta alternativa  $PQ_{dmx}$  = promedio de los 30 caudales diarios máximos del mes, para cada año dentro del período histórico de referencia de 30 años.

**Tabla A2- 25. Caudales ecológicos mensuales (m<sup>3</sup>/s) para ríos en condición Excelente, con base al período histórico de referencia 05/1970 – 04/2000.**

N	Cuenca	Método	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Anual	%QMA
1	Cab	M	6.19	22.82	31.31	38.02	53.89	38.45	14.90	10.09	7.45	5.57	4.33	3.76	19.73	0.45
2	Ost	E	3.39	5.64	5.64	5.64	5.64	5.64	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	3.39	4.33	0.38
3	Ang	M	0.58	5.72	6.13	6.16	9.59	6.17	1.47	0.66	0.39	0.23	0.14	0.10	3.11	0.45
4	Güi	M	5.27	17.41	16.77	18.60	27.86	19.58	5.44	2.93	2.54	2.35	2.26	2.59	10.30	0.45
5	Gua	M	0.29	1.47	1.84	2.18	2.62	1.71	0.46	0.20	0.16	0.14	0.12	0.13	0.94	0.45
6	Des	M	5.84	19.86	19.44	21.73	31.61	22.06	6.27	3.38	2.88	2.62	2.48	2.83	11.75	0.45
-	PO	M	12.03	42.68	50.74	59.74	85.50	60.51	21.17	13.47	10.33	8.19	6.81	6.58	31.48	0.45
7	IC1	M	18.18	56.80	71.78	87.61	120.48	84.37	31.42	21.16	17.38	14.73	12.92	12.37	45.77	0.45
8	Suq	E	2.32	3.87	3.87	3.87	3.87	3.87	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.97	0.38
9	Suc	E	3.26	3.26	5.43	5.43	5.43	5.43	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.98	0.37
10	Ace	M	1.45	2.38	3.92	6.23	10.55	8.60	3.52	2.45	2.13	1.87	1.66	1.49	3.86	0.45
11	CG	M	29.74	88.78	106.52	130.96	182.69	130.10	48.19	32.67	26.98	22.87	20.08	19.29	69.91	0.45
12	Sum	M	9.33	23.29	19.18	21.27	29.70	22.65	7.59	3.59	3.14	2.81	2.84	3.51	12.41	0.45
13	5N	M	39.84	117.32	134.39	161.82	227.16	165.45	59.67	37.61	31.25	26.69	23.83	23.58	87.38	0.45
14	Moc	M	9.56	22.25	19.24	21.39	31.60	25.38	9.02	4.31	3.80	3.54	3.47	4.01	13.13	0.45
15	IC2	M	40.67	122.09	142.41	173.36	244.76	178.32	62.89	38.67	31.96	27.23	24.25	23.93	92.55	0.45
16	Gbl	M	3.87	16.28	21.14	31.30	59.28	46.20	12.97	5.60	4.02	3.05	2.38	2.00	17.34	0.45
17	IC3	M	60.90	174.96	195.96	236.08	335.04	247.02	87.26	52.17	43.40	37.33	33.62	33.88	128.14	0.45
18	IC4	M	70.31	237.94	255.82	311.98	461.95	338.86	108.57	55.52	43.97	36.76	32.52	32.58	165.56	0.45
19	TCA	M	3.47	16.40	17.92	23.63	38.70	30.82	8.97	3.54	2.36	1.63	1.23	1.15	12.48	0.45
20	TCM	M	9.79	47.32	43.94	53.04	81.76	59.69	16.27	5.12	3.24	2.25	1.79	1.87	27.17	0.45
21	TCB	M	15.73	74.39	68.52	80.23	118.55	83.62	22.27	6.47	3.92	2.74	2.26	2.49	40.10	0.45
22	15S	M	70.42	238.34	256.44	312.79	463.02	340.08	109.56	56.16	44.30	36.88	32.54	32.60	166.09	0.45
23	SML	M	86.48	281.54	299.07	365.79	534.83	386.87	127.21	65.79	52.74	44.52	39.45	38.89	193.60	0.45

**Tabla A2- 26. Caudales ecológicos máximos por mes (m<sup>3</sup>/s), con base al período histórico de referencia 05/1970 – 04/2000.**

N	Cuenca	Método	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Anual	%QMA
1	Cab	M	34.58	50.72	69.57	84.48	119.76	85.44	49.85	25.21	19.70	14.11	12.70	12.19	<b>48.19</b>	<b>109.91</b>
2	Ost	M	9.98	14.48	15.02	18.43	28.95	22.90	14.22	5.27	4.56	4.47	4.60	5.61	<b>12.37</b>	<b>109.61</b>
3	Ang	M	6.59	12.72	13.62	13.68	21.30	13.70	6.63	2.02	1.10	0.65	0.40	0.41	<b>7.73</b>	<b>111.86</b>
4	Güi	M	24.82	38.70	37.26	41.33	61.91	43.52	25.06	8.59	6.15	5.52	5.41	11.19	<b>25.79</b>	<b>112.65</b>
5	Gua	M	2.14	3.27	4.10	4.84	5.82	3.79	2.89	0.70	0.41	0.35	0.32	0.50	<b>2.43</b>	<b>115.81</b>
6	Des	M	27.57	44.12	43.19	48.29	70.23	49.03	29.09	9.87	7.00	6.17	5.93	12.34	<b>29.40</b>	<b>112.62</b>
-	PO	M	74.3	94.8	112.8	132.8	190.0	134.5	78.0	33.8	26.7	20.2	18.4	23.8	<b>78.33</b>	<b>111.98</b>
7	IC1	M	90.9	126.2	159.5	194.7	267.7	187.5	113.9	51.8	43.0	35.4	32.7	37.8	<b>111.76</b>	<b>109.89</b>
8	Suq	M	5.26	9.22	11.54	14.92	16.96	11.14	9.17	4.61	4.14	3.97	3.86	4.00	<b>8.23</b>	<b>106.34</b>
9	Suc	M	8.31	10.62	14.40	19.67	22.51	15.69	13.48	7.66	6.99	6.56	6.37	6.75	<b>11.58</b>	<b>106.76</b>
10	Ace	M	4.25	7.80	8.71	13.85	23.43	19.12	12.32	6.36	5.04	4.28	3.85	3.75	<b>9.40</b>	<b>109.69</b>
11	CG	M	103.3	197.3	236.7	291.0	406.0	289.1	172.2	82.1	68.2	54.8	51.4	58.6	<b>167.57</b>	<b>107.86</b>
12	Sum	M	35.75	51.75	42.62	47.28	66.00	50.34	27.63	10.99	8.30	6.61	7.92	12.45	<b>30.64</b>	<b>111.10</b>
13	5N	M	131.5	260.7	298.6	359.6	504.8	367.7	208.8	93.8	79.0	63.6	59.9	68.7	<b>208.06</b>	<b>107.14</b>
14	Moc	M	35.01	49.44	42.76	47.52	70.23	56.40	32.22	12.63	9.29	8.37	9.22	13.21	<b>32.19</b>	<b>110.32</b>
15	IC2	M	134.5	271.3	316.5	385.3	543.9	396.3	222.6	96.9	81.0	65.1	60.9	69.6	<b>220.32</b>	<b>107.13</b>
16	Gbl	M	22.95	58.61	46.98	69.55	131.72	102.67	59.20	20.19	10.79	8.45	6.96	6.84	<b>45.41</b>	<b>117.85</b>
17	IC3	M	203.0	388.8	435.5	524.6	744.5	548.9	307.5	130.5	109.3	89.0	84.4	99.4	<b>305.47</b>	<b>107.28</b>
18	IC4	M	263.4	528.7	568.5	693.3	1026.6	753.0	435.9	176.0	113.8	90.6	83.2	97.8	<b>402.57</b>	<b>109.42</b>
19	TCA	M	23.4	36.5	39.8	52.5	86.0	68.5	41.7	11.8	6.3	4.3	3.2	3.9	<b>31.50</b>	<b>113.53</b>
20	TCM	M	84.5	105.2	97.6	117.9	181.7	132.6	91.2	25.3	10.0	6.6	5.7	9.2	<b>72.29</b>	<b>119.72</b>
21	TCB	M	136.9	165.3	152.3	178.3	263.5	185.8	130.0	36.8	12.7	8.5	8.1	13.3	<b>107.63</b>	<b>120.78</b>
22	15S	M	263.8	529.7	569.9	695.1	1028.9	755.7	438.3	177.7	114.8	91.0	83.3	97.9	<b>403.84</b>	<b>109.41</b>
23	SML	M	328.2	625.7	664.6	812.9	1188.5	859.7	498.2	199.2	133.7	108.1	98.5	114.0	<b>469.28</b>	<b>109.08</b>

## **A2 – 6. Evaluación de alteración actual del régimen fluvial de los ríos**

### **A2 – 6.1. Reglas operativas para las demandas de agua energéticas**

Las demandas de agua pendientes de cuantificarse en el proceso de naturalización fueron las energéticas, esto debido a que su naturalización se realiza por balance de aguas, pero para realizar el proceso inverso, además del balance de aguas, se requiere definir el régimen de caudales descargados; para ello, las demandas energéticas “DE” se definieron con base a caudales turbinados y volúmenes útiles embalsados, calculados a partir de registros de nivel y curvas de almacenamiento de cada central hidroeléctrica operativa dentro del período 1970-2016. Para cada mes y variable se definieron cinco umbrales:

- Máximo: valor máximo histórico en el mes.
- Superior: valor promedio mensual interanual + una desviación estándar.
- Promedio: valor promedio mensual interanual.
- Inferior: valor promedio mensual interanual – una desviación estándar.
- Mínimo: valor mínimo histórico en el mes.

Con los umbrales se alteraron los caudales circulantes por el río realizando un balance diario: con el caudal entrante se define el volumen embalsado y por regla de tres se define el caudal turbinado, el caudal restante, si lo hay, es el caudal descargado por vertedero. Las reglas operativas se presentan en la **Tabla A2- 27** para las centrales hidroeléctricas operativas, y en la **Tabla A2- 28** para las centrales hidroeléctricas proyectadas, cuyos umbrales se definieron como un factor de la central más parecida en cuanto a volumen máximo embalsado y caudal natural promedio.

En cuanto a las condiciones operativas de las centrales, Guajoyo y 5 de Noviembre inician sus embalses y caudales turbinados en el “volumen inferior” de diciembre, pues inician sus operaciones en 1960 y 1952 respectivamente, previo al inicio de simulación el 01/01/1970; Cerrón Grande y 15 de Septiembre inician el 01/05/1976 y 01/05/1979, respectivamente, por ser las fechas en que se detuvieron las estaciones hidrométricas previas a dichos embalses; y las centrales proyectadas El Cimarrón, El Chaparral y El Tigre, inician en la primera estación lluviosa del período futuro: 01/05/2020.

**Tabla A2- 27. Reglas operativas mensuales para Centrales hidroeléctricas operativas, basadas en volúmenes útiles embalsados “V.U.” en millones de metros cúbicos “MMC” y caudales turbinados “Q.t” en m<sup>3</sup>/s.**

Central:		Guajoyo (Güija)		Cerrón Grande		5 de Noviembre		15 de Septiembre	
Mes	Umbral	V.U.	Q.t	V.U.	Q.t	V.U.	Q.t	V.U.	Q.t
May	Máx	302.407	42.570	757.724	238.080	104.472	179.840	308.667	661.510
May	Sup	177.047	25.565	433.091	145.362	95.961	156.527	281.809	274.169
May	Prom	137.845	13.711	301.139	103.731	88.697	126.091	240.518	179.865
May	Inf	98.643	1.857	169.187	62.100	81.433	95.655	199.227	85.561
May	Mín	39.324	0.000	66.444	0.000	70.320	24.620	82.808	0.000
Jun	Máx	401.575	43.920	1204.450	291.500	105.860	179.280	311.000	687.880
Jun	Sup	232.244	22.529	536.578	136.025	99.480	157.986	285.289	471.601
Jun	Prom	169.606	11.973	348.178	88.125	89.837	127.229	243.089	318.552
Jun	Inf	106.968	1.417	159.778	40.225	80.194	96.472	200.889	165.503
Jun	Mín	38.976	0.000	94.082	0.000	61.428	18.740	93.168	0.000
Jul	Máx	500.572	42.570	1406.200	315.070	105.860	195.860	311.000	703.490
Jul	Sup	336.644	23.734	858.600	155.685	96.273	163.751	284.014	462.526
Jul	Prom	250.930	12.241	588.740	103.105	87.057	129.280	241.459	293.371
Jul	Inf	165.216	0.748	318.880	50.525	77.841	94.809	198.904	124.216
Jul	Mín	74.820	0.000	142.906	0.000	64.088	0.000	86.840	0.000
Ago	Máx	558.338	44.310	1434.486	317.900	105.168	204.620	308.667	701.880
Ago	Sup	410.240	22.235	1121.042	164.110	97.668	165.719	286.139	479.588
Ago	Prom	302.806	10.626	796.955	101.981	86.531	124.210	244.991	306.224
Ago	Inf	195.372	0.000	472.868	39.852	75.394	82.701	203.843	132.860
Ago	Mín	93.960	0.000	148.200	0.000	61.504	17.600	87.792	0.000
Sep	Máx	569.865	51.110	1464.057	312.260	106.550	244.930	316.328	725.580
Sep	Sup	508.289	22.641	1436.575	187.658	102.284	175.941	301.313	600.372
Sep	Prom	391.294	10.570	1135.249	106.906	93.236	137.511	259.225	433.208
Sep	Inf	274.299	0.000	833.923	26.154	84.188	99.081	217.137	266.044
Sep	Mín	135.024	0.000	151.141	0.000	66.216	0.000	86.560	60.490
Oct	Máx	589.995	45.360	1485.914	313.640	105.515	205.740	324.644	725.580
Oct	Sup	583.712	28.119	1485.914	200.379	100.378	176.519	302.140	569.922
Oct	Prom	478.144	14.573	1355.642	125.212	95.240	138.744	270.792	385.462
Oct	Inf	372.576	1.027	1184.565	50.045	84.371	100.969	239.444	201.002
Oct	Mín	179.355	0.000	374.629	0.000	66.368	9.360	127.768	0.000

Tabla A2- 27. Continuación.

Central		Guajoyo (Güija)		Cerrón Grande		5 de Noviembre		15 de Septiembre	
Mes	Umbral	V.U.	Q.t	V.U.	Q.t	V.U.	Q.t	V.U.	Q.t
Nov	Máx	598.686	43.550	1469.200	313.870	106.090	182.340	309.667	683.250
Nov	Sup	564.283	34.560	1469.200	148.754	101.098	170.498	292.869	309.322
Nov	Prom	464.726	21.010	1334.605	107.973	91.987	129.819	265.943	191.681
Nov	Inf	365.169	7.460	1196.347	67.192	82.876	89.140	239.017	74.040
Nov	Mín	185.424	0.000	787.248	0.000	69.104	0.000	177.752	0.000
Dic	Máx	543.233	44.680	1444.771	214.000	105.515	177.850	314.000	490.750
Dic	Sup	494.502	34.263	1370.389	134.319	94.973	140.454	289.819	203.302
Dic	Prom	402.126	22.103	1216.761	102.920	87.538	105.637	264.506	135.980
Dic	Inf	309.750	9.943	1063.133	71.521	80.103	70.820	239.193	68.658
Dic	Mín	139.200	0.000	640.374	0.000	69.104	0.000	183.384	0.000
Ene	Máx	490.723	44.920	1363.494	198.380	99.832	173.240	308.000	430.110
Ene	Sup	430.065	35.207	1229.636	132.355	94.825	129.028	303.132	185.204
Ene	Prom	344.099	22.675	1059.678	102.670	87.490	103.889	258.464	124.213
Ene	Inf	258.133	10.143	889.720	72.985	80.155	78.750	213.796	63.222
Ene	Mín	122.496	0.000	505.591	0.000	65.760	22.060	30.020	0.000
Feb	Máx	428.346	44.650	1219.450	198.600	100.992	162.460	301.000	385.600
Feb	Sup	356.887	36.621	1053.359	136.336	95.017	132.714	298.384	177.685
Feb	Prom	284.516	24.087	883.350	108.496	87.103	110.583	254.403	121.103
Feb	Inf	212.145	11.553	713.341	80.656	79.189	88.452	210.422	64.521
Feb	Mín	124.584	0.000	327.486	0.000	45.496	0.000	31.600	0.000
Mar	Máx	398.111	43.920	1052.644	200.470	101.688	170.770	299.429	348.870
Mar	Sup	283.491	36.263	855.528	141.073	97.867	138.617	294.720	180.915
Mar	Prom	224.747	23.891	691.227	108.483	87.484	115.019	254.255	121.656
Mar	Inf	166.003	11.519	526.926	75.893	77.101	91.421	213.790	62.397
Mar	Mín	78.996	0.000	226.265	0.000	40.000	27.920	46.452	0.000
Abr	Máx	351.780	45.470	882.200	210.400	103.776	181.200	303.667	360.580
Abr	Sup	216.795	33.257	639.850	145.496	94.995	148.164	289.633	192.061
Abr	Prom	171.117	19.526	488.052	110.573	87.231	122.558	250.946	127.978
Abr	Inf	125.439	5.795	336.254	75.650	79.467	96.952	212.259	63.895
Abr	Mín	46.980	0.000	146.435	0.000	65.456	29.640	83.368	0.000

**Tabla A2- 28. Reglas operativas mensuales para Centrales hidroeléctricas proyectadas, basadas en volúmenes útiles embalsados “V.U.” en millones de metros cúbicos “MMC” y caudales turbinados “Q.t” en m<sup>3</sup>/s.**

Central:		El Cimarrón		El Chaparral		El Tigre	
Mes	Umbral	V.U.	Q.t	V.U.	Q.t	V.U.	Q.t
May	Máx	454.668	63.880	320.400	113.751	444.400	659.387
May	Sup	266.190	38.363	187.600	68.312	405.700	273.289
May	Prom	207.249	20.575	146.000	36.637	346.300	179.288
May	Inf	148.309	2.787	104.500	4.962	286.800	85.286
May	Mín	59.123	0.000	41.700	0.000	119.200	0.000
Jun	Máx	603.767	65.906	425.400	117.358	447.700	685.672
Jun	Sup	349.178	33.807	246.000	60.199	410.700	470.087
Jun	Prom	255.002	17.967	179.700	31.993	350.000	317.530
Jun	Inf	160.826	2.126	113.300	3.786	289.200	164.972
Jun	Mín	58.600	0.000	41.300	0.000	134.100	0.000
Jul	Máx	752.608	63.880	530.300	113.751	447.700	701.232
Jul	Sup	506.143	35.615	356.600	63.419	408.900	461.041
Jul	Prom	377.272	18.369	265.800	32.709	347.600	292.429
Jul	Inf	248.402	1.122	175.000	1.999	286.400	123.817
Jul	Mín	112.492	0.000	79.300	0.000	125.000	0.000
Ago	Máx	839.459	66.491	591.500	118.400	444.400	699.627
Ago	Sup	616.794	33.366	434.600	59.414	412.000	478.049
Ago	Prom	455.268	15.945	320.800	28.394	352.700	305.241
Ago	Inf	293.741	0.000	207.000	0.000	293.500	132.434
Ago	Mín	141.269	0.000	99.500	0.000	126.400	0.000
Sep	Máx	856.790	76.695	603.700	136.570	455.400	723.251
Sep	Sup	764.211	33.975	538.500	60.499	433.800	598.445
Sep	Prom	588.309	15.861	414.500	28.244	373.200	431.818
Sep	Inf	412.408	0.000	290.600	0.000	312.600	265.190
Sep	Mín	203.008	0.000	143.000	0.000	124.600	60.296
Oct	Máx	887.055	68.067	625.000	121.206	467.400	723.251
Oct	Sup	877.609	42.195	618.400	75.136	435.000	568.093
Oct	Prom	718.888	21.868	506.500	38.940	389.900	384.225
Oct	Inf	560.167	1.541	394.700	2.744	344.700	200.357
Oct	Mín	269.660	0.000	190.000	0.000	183.900	0.000

Tabla A2- 28. Continuación.

Central:		El Cimarrón		El Chaparral		El Tigre	
Mes	Umbral	V.U.	Q.t	V.U.	Q.t	V.U.	Q.t
Nov	Máx	900.122	65.351	634.200	116.369	445.800	681.057
Nov	Sup	848.398	51.861	597.800	92.347	421.600	308.329
Nov	Prom	698.714	31.527	492.300	56.141	382.900	191.066
Nov	Inf	549.030	11.194	386.900	19.934	344.100	73.802
Nov	Mín	278.784	0.000	196.400	0.000	255.900	0.000
Dic	Máx	816.749	67.047	575.500	119.389	452.100	489.175
Dic	Sup	743.482	51.415	523.900	91.554	417.300	202.649
Dic	Prom	604.595	33.168	426.000	59.061	380.800	135.544
Dic	Inf	465.708	14.920	328.100	26.569	344.400	68.438
Dic	Mín	209.287	0.000	147.500	0.000	264.000	0.000
Ene	Máx	737.800	67.407	519.900	120.030	443.400	428.729
Ene	Sup	646.601	52.831	455.600	94.076	436.400	184.610
Ene	Prom	517.352	34.026	364.500	60.590	372.100	123.814
Ene	Inf	388.102	15.221	273.500	27.103	307.800	63.019
Ene	Mín	184.172	0.000	129.800	0.000	43.200	0.000
Feb	Máx	644.017	67.001	453.800	119.309	433.400	384.362
Feb	Sup	536.578	54.953	378.100	97.855	429.600	177.115
Feb	Prom	427.769	36.145	301.400	64.363	366.300	120.714
Feb	Inf	318.959	17.336	224.700	30.871	302.900	64.314
Feb	Mín	187.312	0.000	132.000	0.000	45.500	0.000
Mar	Máx	598.558	65.906	421.800	117.358	431.100	347.750
Mar	Sup	426.228	54.416	300.300	96.898	424.300	180.334
Mar	Prom	337.906	35.851	238.100	63.839	366.100	121.266
Mar	Inf	249.585	17.285	175.900	30.780	307.800	62.197
Mar	Mín	118.770	0.000	83.700	0.000	66.900	0.000
Abr	Máx	528.900	68.232	372.700	121.500	437.200	359.423
Abr	Sup	325.951	49.905	229.700	88.866	417.000	191.445
Abr	Prom	257.274	29.301	181.300	52.175	361.300	127.567
Abr	Inf	188.597	8.696	132.900	15.485	305.600	63.690
Abr	Mín	70.634	0.000	49.800	0.000	120.000	0.000

## **A2 – 6.2. Caudales alterados y porcentaje de alteración**

En la **Tabla A2- 29** se incluyen los caudales medios mensuales interanuales en régimen alterado, para las 23 áreas de escurrimiento en el período de referencia 05/1970-04/2000, estos caudales incluyen todas las alteraciones acumuladas, las consuntivas y las no consuntivas.

En la **Tabla A2- 30** se presentan los porcentajes de alteración con respecto a cada mes, considerando cambios a partir del 1% con respecto al caudal medio mensual interanual en régimen natural. Se resaltan en anaranjado los meses en que en una cuenca no se cumplen los caudales ecológicos mínimos propuestos y se entra en estado de degradación por déficit de caudal; en rojo oscuro se resaltan los meses en que se superan los caudales máximos propuestos; y ninguna cuenca alcanzó el estado de “degradación intensa” por déficit de caudal.

La evaluación total se realiza con la acumulación de los porcentajes de alteración de cada mes y no con caudales medios anuales, pues un solo caudal alto de la estación húmeda podría ocultar el déficit de toda la estación seca; además, el objetivo de establecer caudales ecológicos mensuales, es el de valorar la alteración no solo con los volúmenes descargados, sino también, con la temporalidad en la que estos ocurren, que tiene incidencia en el ecosistema acuático, por las épocas de migración, reproducción y cuidado parental de las especies que lo habitan, entre otras variables del régimen hídrico, como pueden ser procesos de erosión, sedimentación, arrastre de nutrientes y semillas de la vegetación ribereña hacia las partes bajas de las cuencas. Los porcentajes de estas valoraciones por estación húmeda, estación seca y el global, también se incluyen en la **Tabla A2- 30**.

**Tabla A2- 29. Caudales promedio mensuales interanuales en régimen alterado (m<sup>3</sup>/s), para el período histórico de referencia 05/1970 – 04/2000.**

<b>N</b>	<b>Cuenca</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Anual</b>
<b>1</b>	<b>Cab</b>	13.76	50.72	69.57	84.49	119.76	85.44	32.66	21.72	15.86	12.00	9.21	8.18	<b>43.61</b>
<b>2</b>	<b>Ost</b>	6.50	14.51	14.92	18.44	28.99	22.85	7.10	4.28	4.07	3.92	3.92	4.20	<b>11.14</b>
<b>3</b>	<b>Ang</b>	1.25	12.73	13.62	13.69	21.31	13.64	3.10	1.26	0.64	0.29	0.11	0.12	<b>6.81</b>
<b>4</b>	<b>Giii</b>	12.53	9.28	8.76	8.56	13.29	21.95	21.32	22.52	22.56	23.93	23.37	18.39	<b>17.20</b>
<b>5</b>	<b>Gua</b>	0.63	3.25	4.08	4.83	5.80	3.76	0.97	0.38	0.29	0.23	0.19	0.23	<b>2.05</b>
<b>6</b>	<b>Des</b>	13.75	14.68	14.66	15.50	21.59	27.42	23.11	23.42	23.22	24.43	23.75	18.85	<b>20.36</b>
<b>-</b>	<b>PO</b>	27.51	65.40	84.23	99.98	141.35	112.85	55.77	45.14	39.07	36.43	32.96	27.02	<b>63.98</b>
<b>7</b>	<b>IC1</b>	40.62	96.54	130.71	161.69	218.86	165.32	76.89	60.08	52.42	48.57	43.97	38.21	<b>94.49</b>
<b>8</b>	<b>Suq</b>	4.12	9.20	11.51	14.90	16.93	11.08	5.16	3.88	3.60	3.44	3.23	3.33	<b>7.53</b>
<b>9</b>	<b>Suc</b>	6.07	10.48	14.25	19.55	22.37	15.34	7.77	5.94	5.43	5.11	4.80	5.07	<b>10.18</b>
<b>10</b>	<b>Ace</b>	2.87	5.02	8.43	13.58	23.16	18.83	7.37	4.90	4.16	3.51	2.97	2.71	<b>8.12</b>
<b>11</b>	<b>CG</b>	94.78	91.72	116.40	145.12	219.07	236.40	120.10	104.04	102.97	106.49	104.75	101.94	<b>128.65</b>
<b>12</b>	<b>Sum</b>	20.71	51.72	42.59	47.25	65.97	50.31	16.81	7.92	6.90	6.14	6.22	7.76	<b>27.52</b>
<b>13</b>	<b>5N</b>	113.13	149.33	178.43	210.74	314.73	315.19	148.65	114.19	111.22	114.31	113.43	109.87	<b>166.10</b>
<b>14</b>	<b>Moc</b>	21.26	49.45	42.77	47.54	70.25	56.41	20.05	9.57	8.44	7.85	7.70	8.91	<b>29.18</b>
<b>15</b>	<b>IC2</b>	114.95	159.92	196.26	236.37	353.82	343.79	155.78	116.49	112.75	115.42	114.28	110.61	<b>177.54</b>
<b>16</b>	<b>Gbl</b>	8.62	36.20	47.01	69.57	131.75	102.69	28.79	12.29	8.72	6.60	5.10	4.41	<b>38.48</b>
<b>17</b>	<b>IC3</b>	159.93	277.44	315.28	375.76	554.47	496.48	209.93	146.46	138.15	137.85	135.10	132.73	<b>256.63</b>
<b>18</b>	<b>IC4</b>	180.74	417.29	448.20	544.35	836.41	700.47	257.07	153.33	138.68	135.88	131.95	129.52	<b>339.49</b>
<b>19</b>	<b>TCA</b>	7.69	36.44	39.80	52.50	85.98	68.46	19.86	7.61	4.91	3.30	2.42	2.42	<b>27.62</b>
<b>20</b>	<b>TCM</b>	21.64	105.04	97.52	117.76	181.58	132.53	35.97	10.98	6.70	4.51	3.50	3.91	<b>60.14</b>
<b>21</b>	<b>TCB</b>	34.83	165.20	152.15	178.16	263.33	185.69	49.29	13.97	8.19	5.59	4.54	5.28	<b>88.85</b>
<b>22</b>	<b>15S</b>	173.15	407.18	448.67	536.31	830.78	710.53	257.88	149.93	135.68	132.58	129.69	127.82	<b>336.68</b>
<b>23</b>	<b>SML</b>	208.78	503.10	543.24	654.03	990.29	814.43	296.87	171.03	154.10	149.16	144.45	141.53	<b>397.58</b>

Tabla A2- 30. Porcentajes (%) de alteración por mes, por estación húmeda “H”, seca “S” y el global “G”, para el período histórico de referencia 05/1970 – 04/2000.

N	Cuenca	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	%_H	%_S	%_G
1	Cab	0	0	0	0	0	0	-1	-3	-4	-3	-4	-2	0	17	17
2	Ost	1	0	-1	0	0	0	-3	-6	-6	-9	-9	-5	2	38	40
3	Ang	-3	0	0	0	0	0	-5	-14	-26	-44	-64	-44	3	197	200
4	Güi	7	-76	-76	-79	-79	-50	76	245	299	358	365	219	367	1562	1929
5	Gua	-4	-1	-1	0	0	-1	-5	-15	-19	-26	-31	-18	7	114	121
6	Des	6	-67	-66	-68	-69	-44	66	212	263	320	331	200	320	1392	1712
-	PO	3	-31	-25	-25	-26	-16	19	51	70	100	118	85	126	443	569
7	IC1	1	-24	-18	-17	-18	-12	10	28	36	48	53	39	90	214	304
8	Suq	-1	0	0	0	0	-1	-6	-10	-11	-10	-12	-7	2	56	58
9	Suc	-5	-1	-1	-1	-1	-2	-11	-17	-19	-20	-21	-14	11	102	113
10	Ace	-11	-5	-3	-2	-1	-1	-6	-10	-12	-15	-20	-18	23	81	104
11	CG	43	-54	-51	-50	-46	-18	12	43	72	109	135	138	262	509	771
12	Sum	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	-1	-1	0	6	6
13	5N	28	-43	-40	-41	-38	-14	12	37	60	93	114	110	204	426	630
14	Moc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	IC2	27	-41	-38	-39	-35	-13	11	36	59	91	112	108	193	417	610
16	Gbl	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	-3	-1	0	10	10
17	IC3	18	-29	-28	-28	-26	-10	8	26	43	66	81	76	139	300	439
18	IC4	16	-21	-21	-21	-19	-7	7	24	42	66	83	79	105	301	406
19	TCA	0	0	0	0	0	0	0	-3	-7	-9	-11	-5	0	35	35
20	TCM	-1	0	0	0	0	0	-1	-4	-7	-10	-12	-6	1	40	41
21	TCB	0	0	0	0	0	0	0	-3	-6	-8	-10	-5	0	32	32
22	15S	11	-23	-21	-23	-19	-6	6	20	38	62	79	76	103	281	384
23	SML	9	-20	-18	-20	-17	-5	5	17	32	51	65	64	89	234	323

## **A2 – 7. Extensión de simulaciones hidrológicas al período futuro**

La extensión de las simulaciones hidrológicas se realizó utilizando el Modelo de Circulación General “GCM”: cesm1\_cam5, con la corrida “r1i1p1”, definido por Hidalgo y Alfaro (2015) como el modelo que mejor representan las características climáticas de la Región Centroamericana. Este modelo fue reducido en su escala espacial a 5.5 km por Hidalgo et al. (2017), y fue esta la base de datos utilizada, considerando para cada estación meteorológica y pluviométrica disponible, la serie de datos generada en el punto de la malla de 5.5 km de densidad más cercano a ellas. A estas series de datos se aplicó corrección de sesgos y reducción de escala temporal de paso mensual a paso diario.

Como resultado de la extensión de estas simulaciones, de la **Figura A2- 34** a la **Figura A2- 45** se incluyen los valores anuales de precipitación acumulada “P” (mm), evapotranspiración potencial “ETP” (mm) y caudales naturales promedio “Q.nat” para las 23 cuencas simuladas.

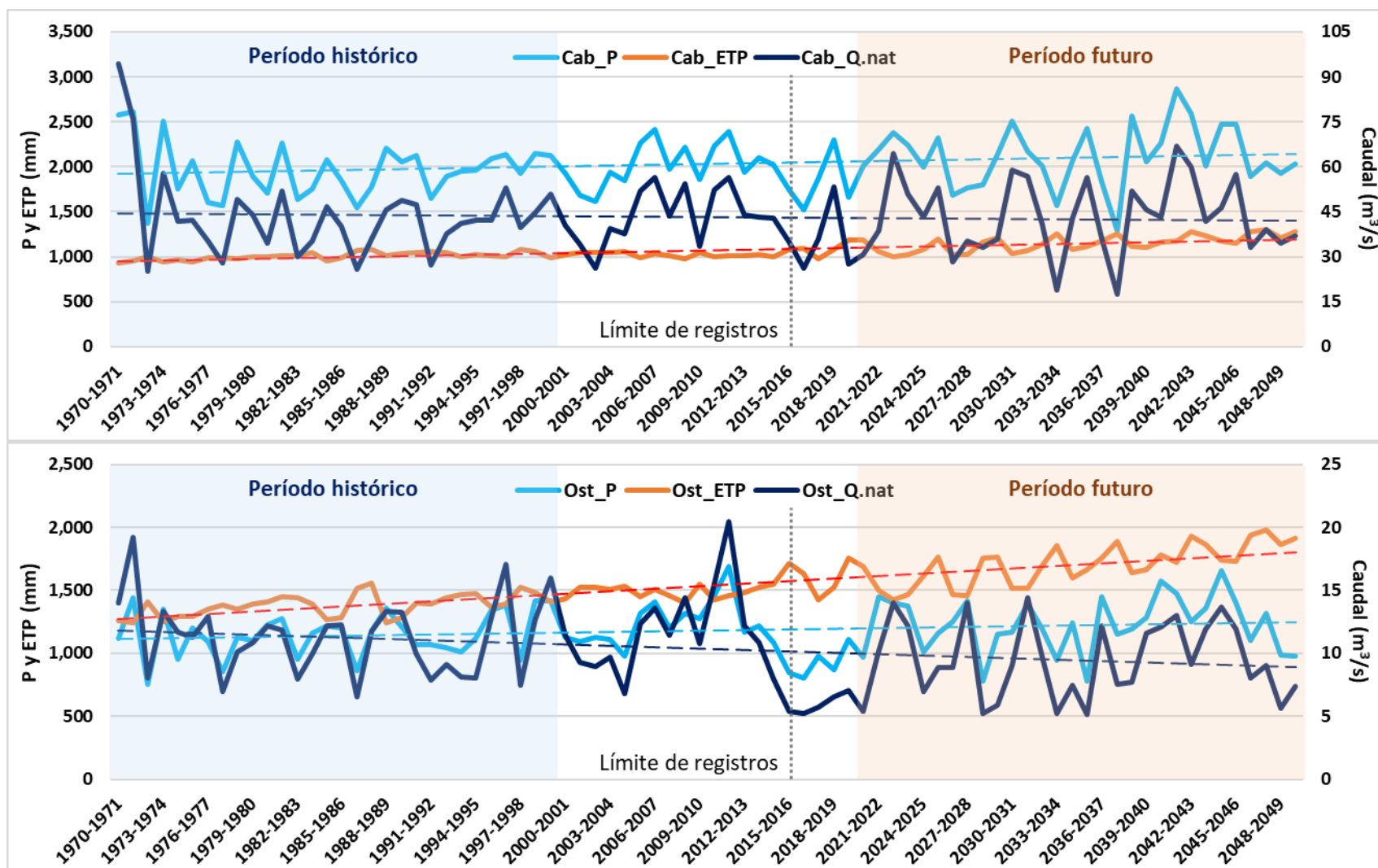


Figura A2- 34. Valores anuales por año hidrológico de precipitación acumulada "P", evapotranspiración potencial acumulada "ETP" y caudal natural promedio "Q.nat" en período histórico y futuro. Superior: Cabecera del río Lempa "Cab". Inferior: río Ostúa "Ost".

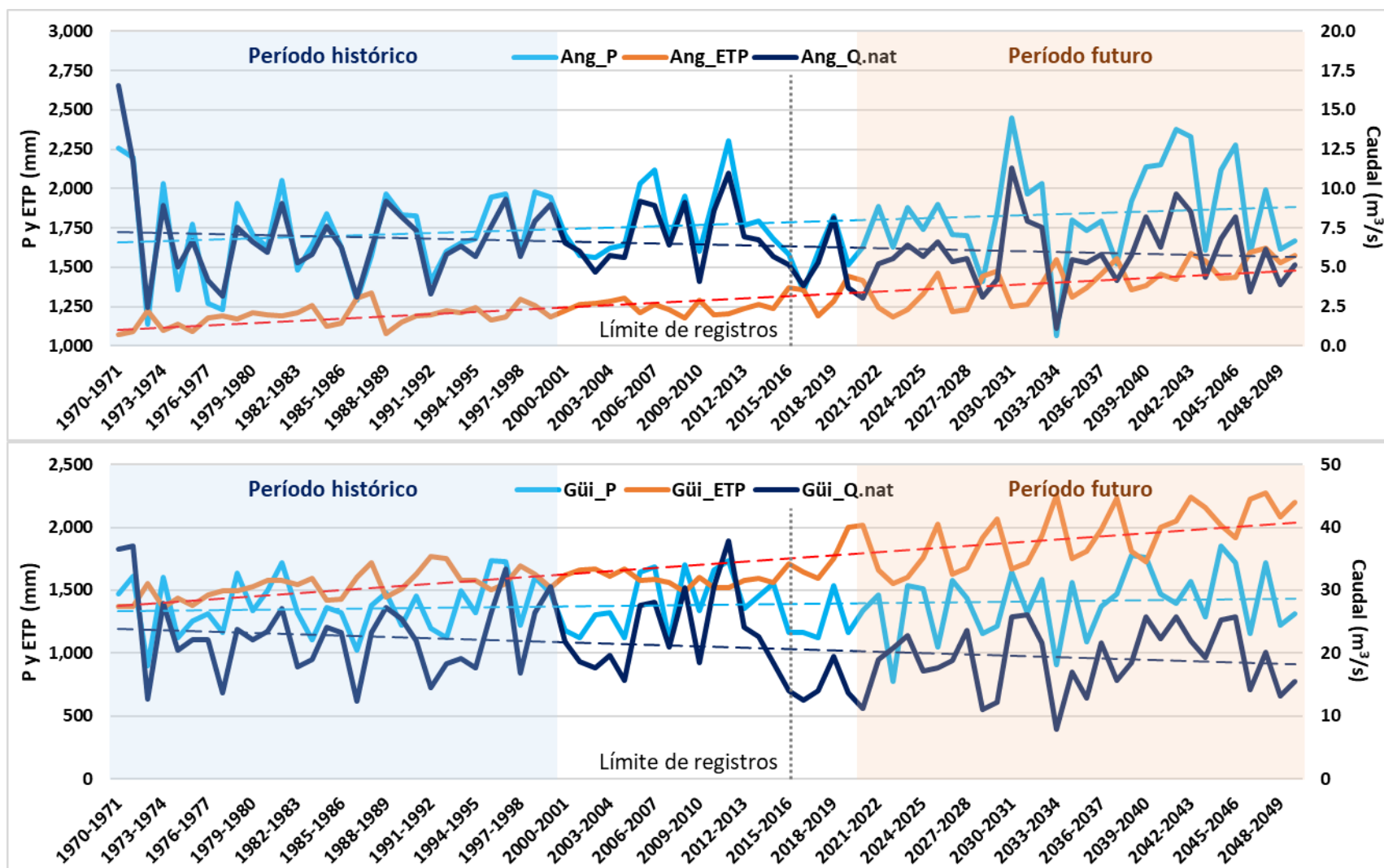


Figura A2- 35. Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río El Angue “Ang”. Inferior: lago de Güija “Güi”.

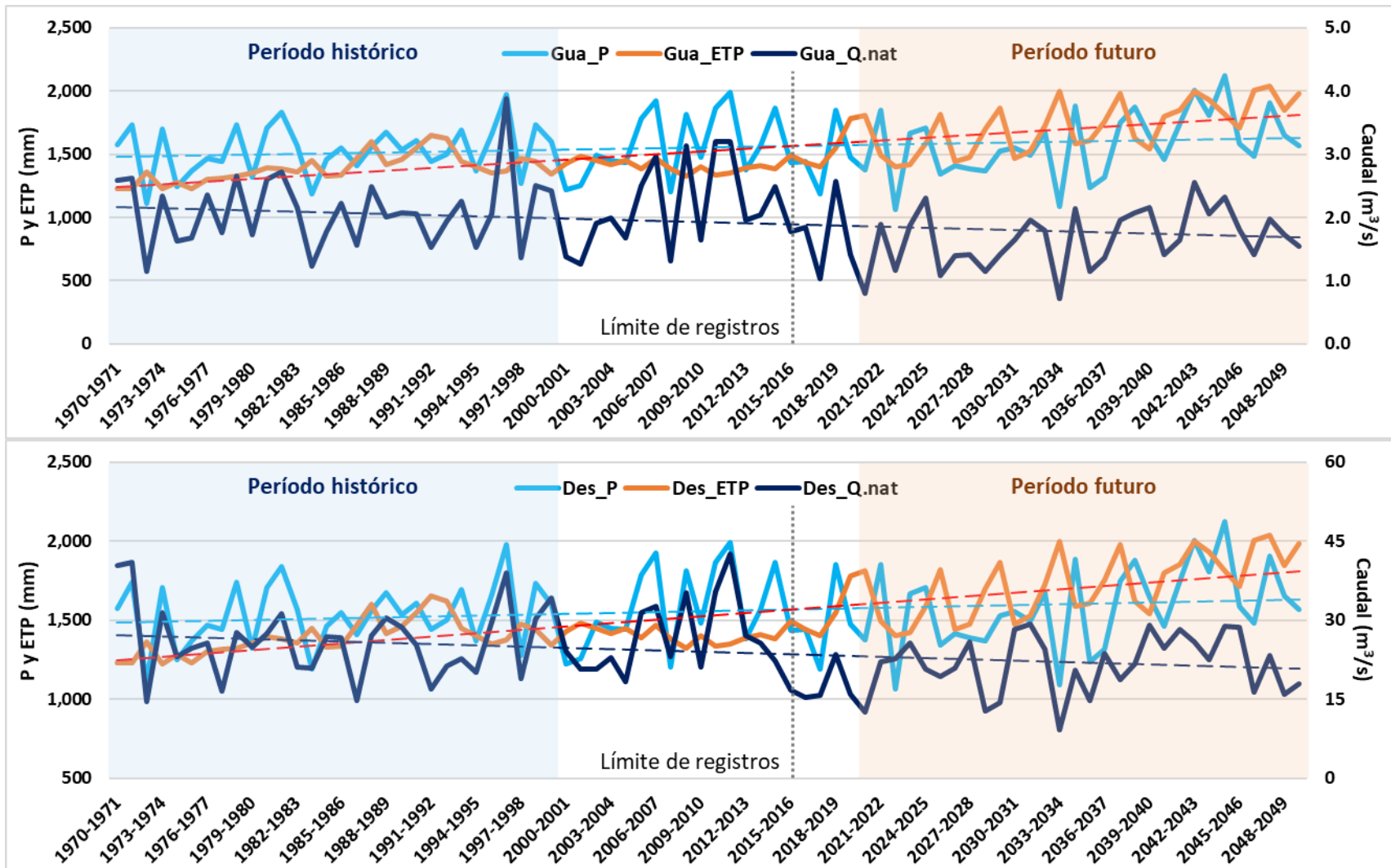


Figura A2- 36. Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río Guajoyo “Gua”. Inferior: río El Desagüe “Des”.

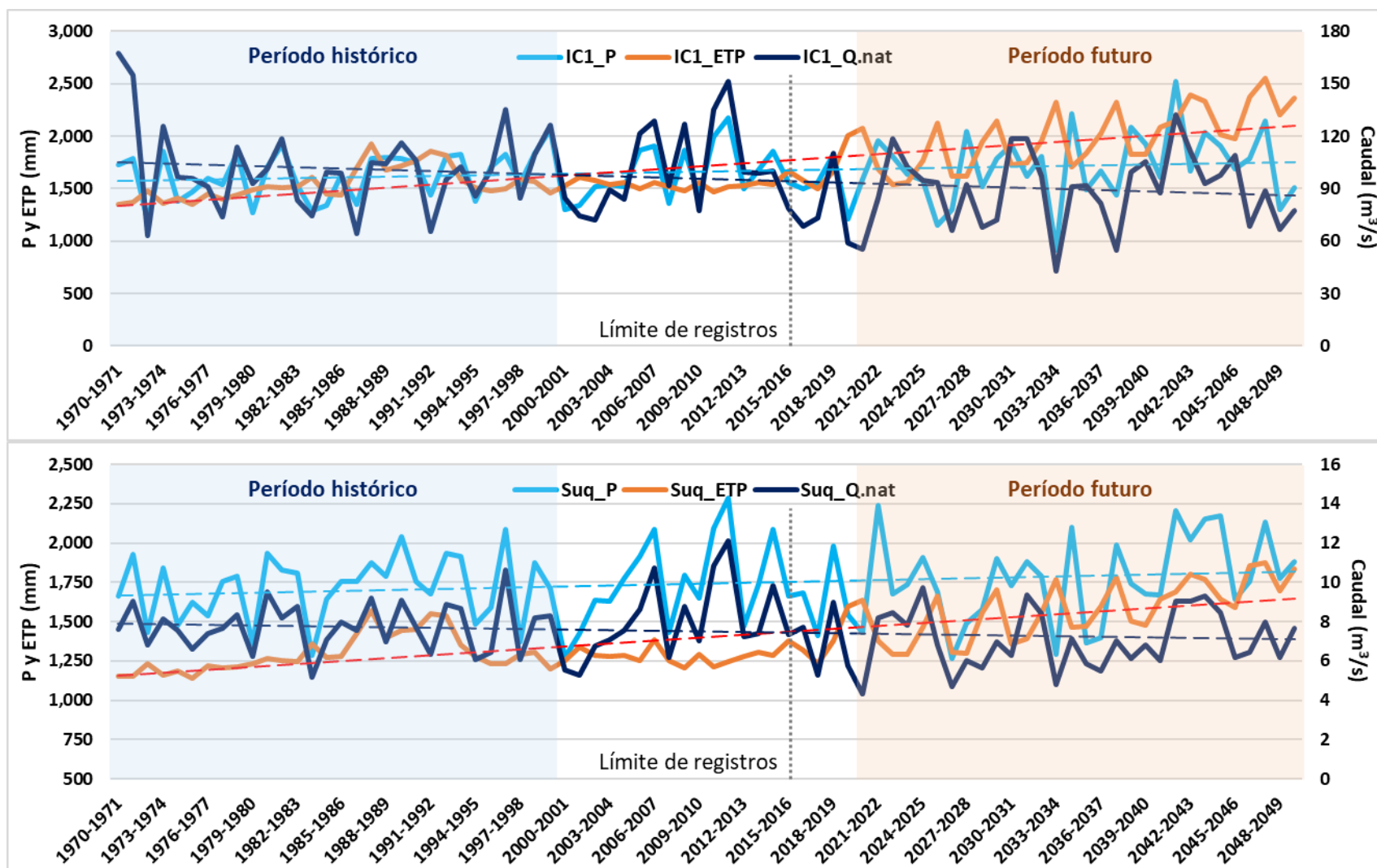


Figura A2- 37. Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río Lempa en Intercuenca 1“IC1”. Inferior: río Suquiapa “Suq”.

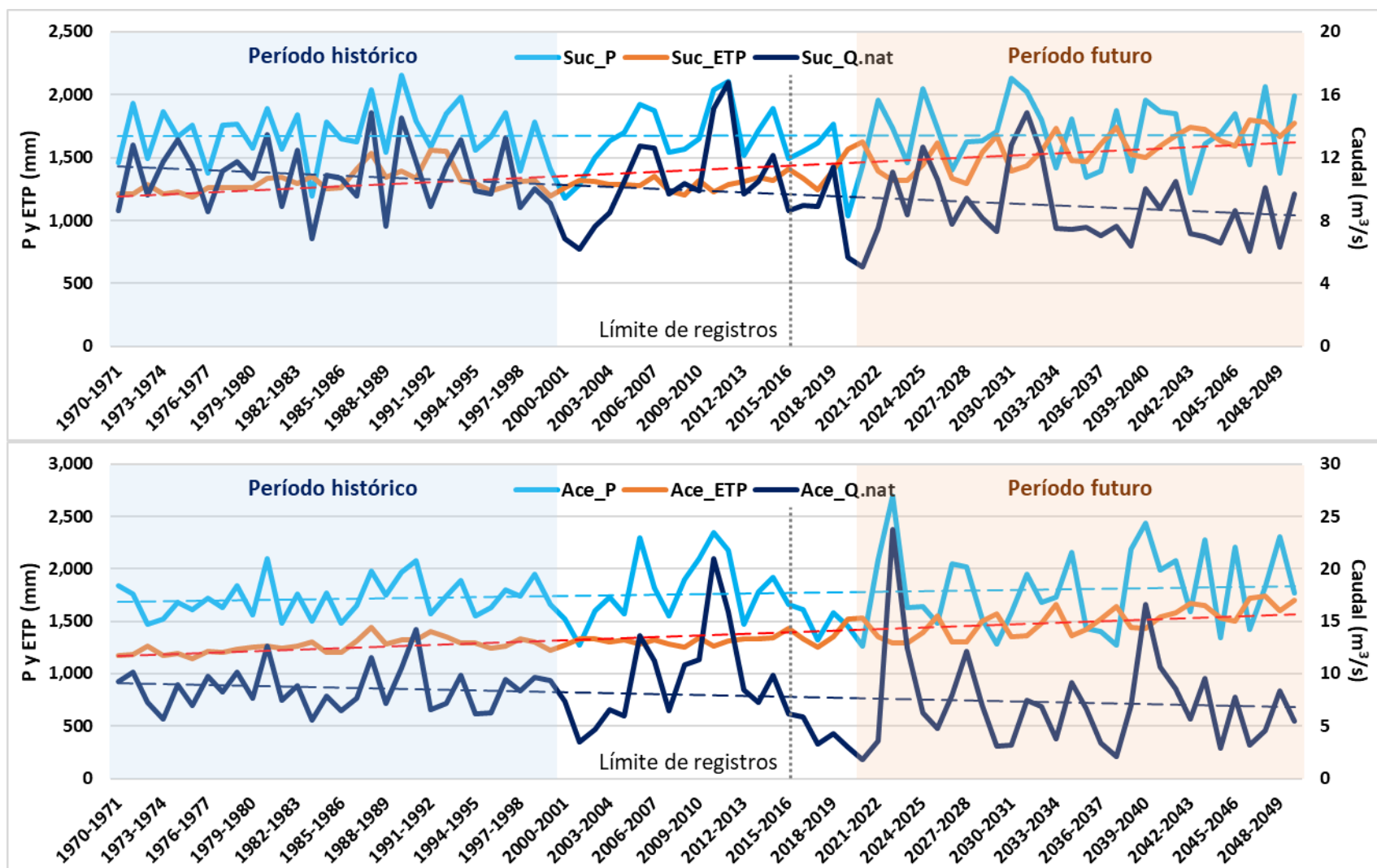


Figura A2- 38. Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río Sucio “Suc”. Inferior: río Acehuate “Ace”.

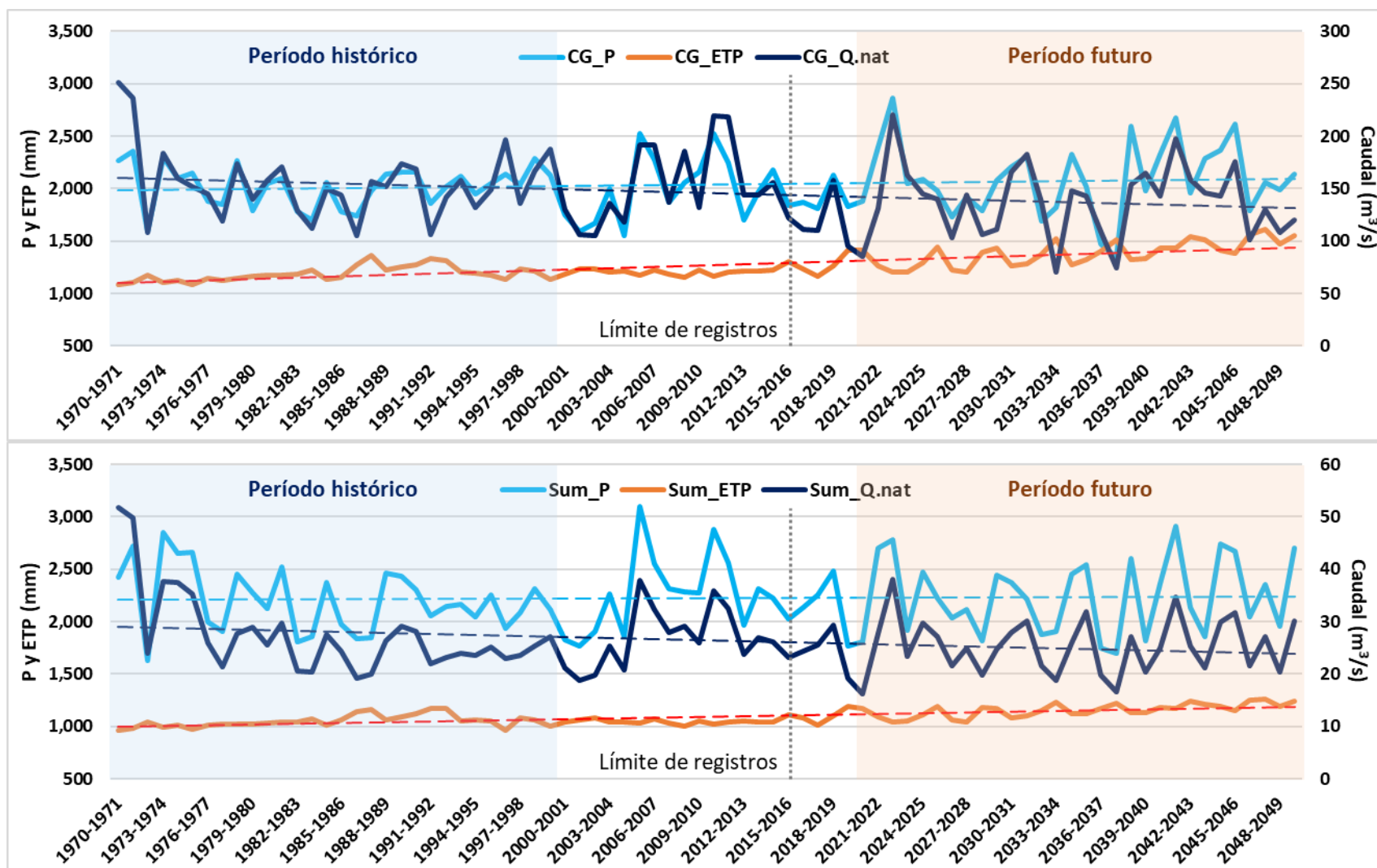


Figura A2- 39. Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río Lempa en Cerrón Grande “CG”. Inferior: río Sumpul “Sum”.

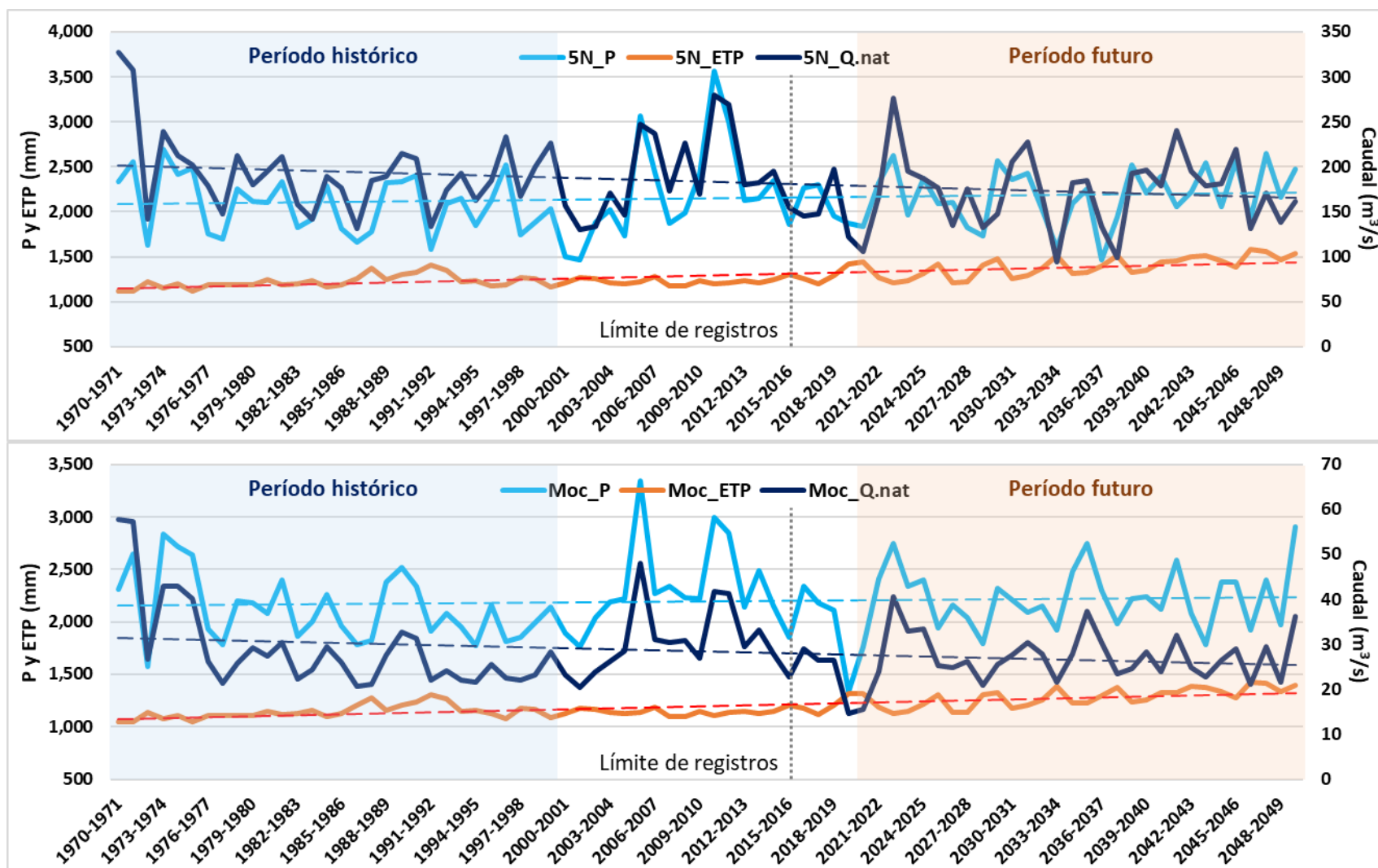


Figura A2- 40. Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río Lempa en 5 de Noviembre “5N”. Inferior: río Mocal “Moc”.

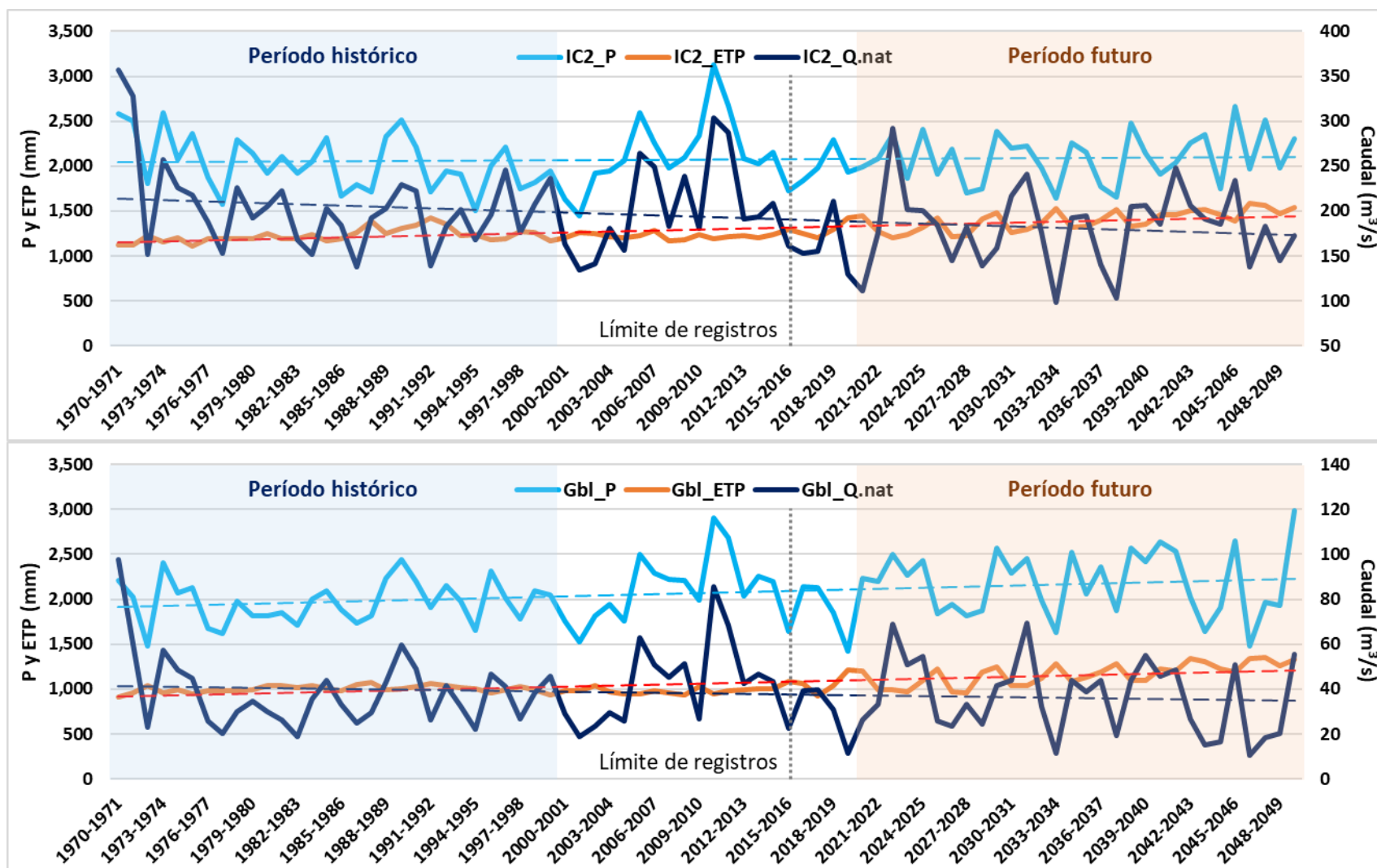


Figura A2- 41. Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río Lempa en Intercuenca 2 “IC2”. Inferior: río Guarajambala “Gbl”.

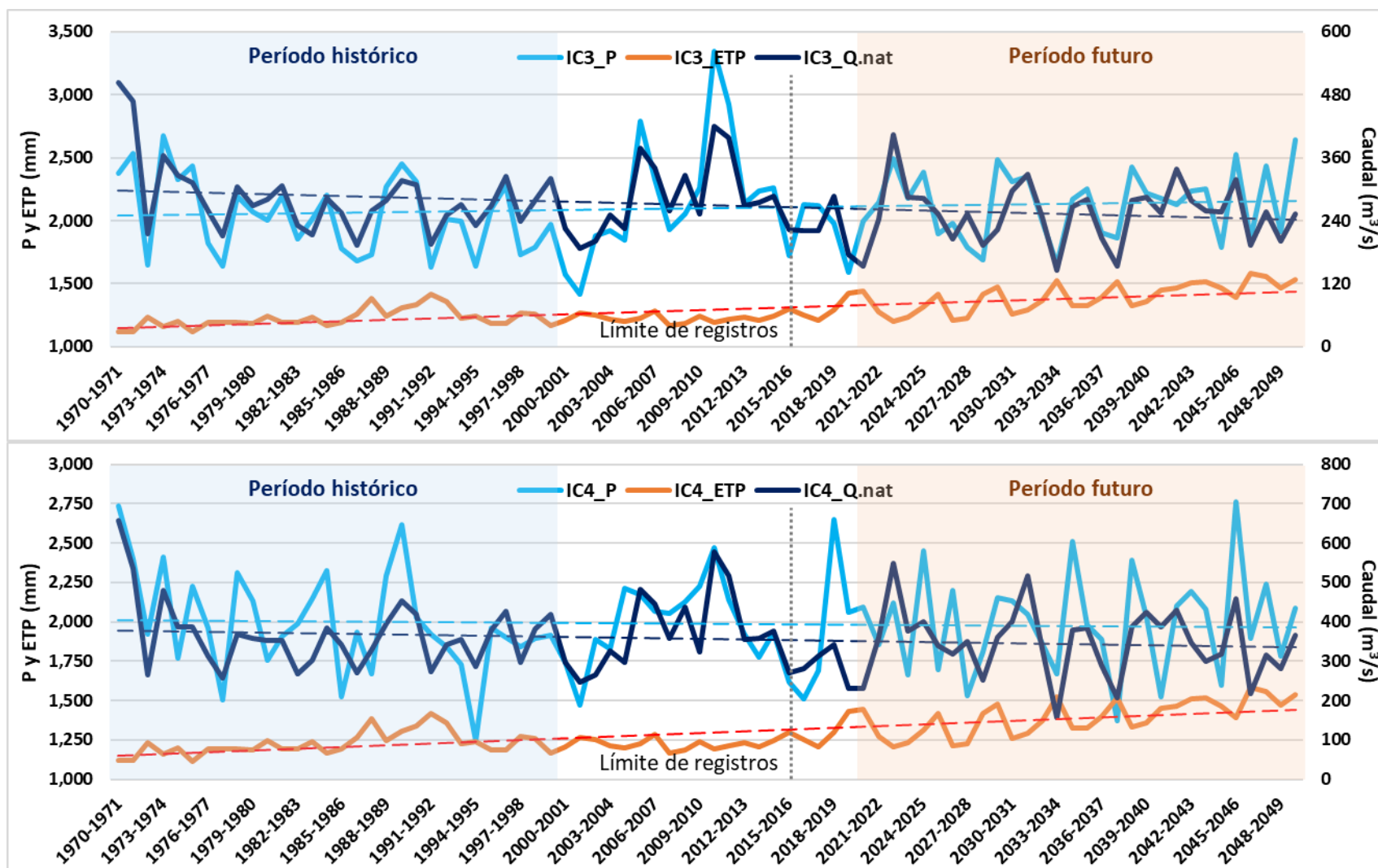


Figura A2- 42. Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: río Lempa en Interconuenas 3 “IC3”. Inferior: río Lempa en Interconuenas 4 “IC4”.

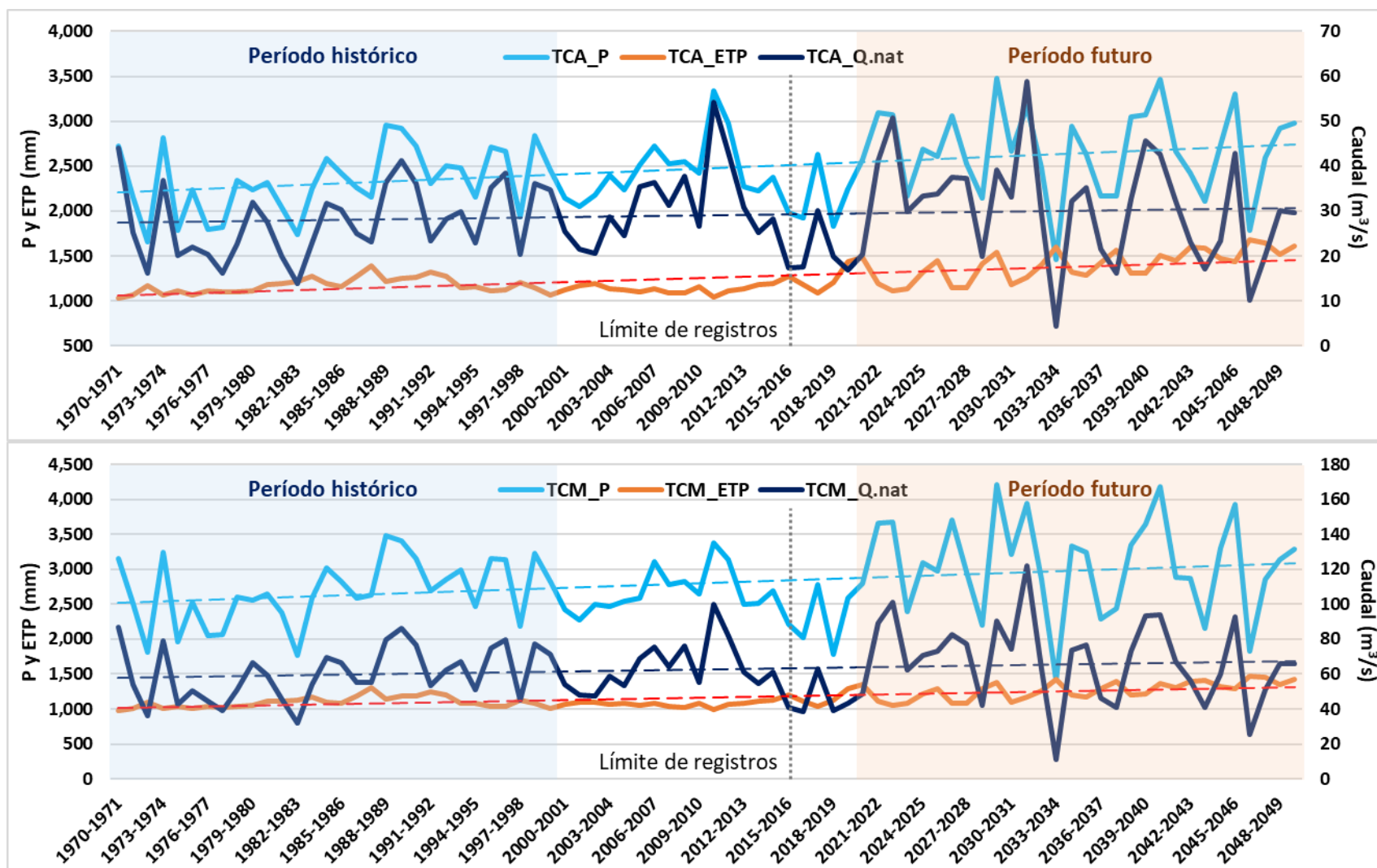


Figura A2- 43. Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: cuenca alta del río Torola “TCA”. Inferior: cuenca media del río Torola “TCM”.

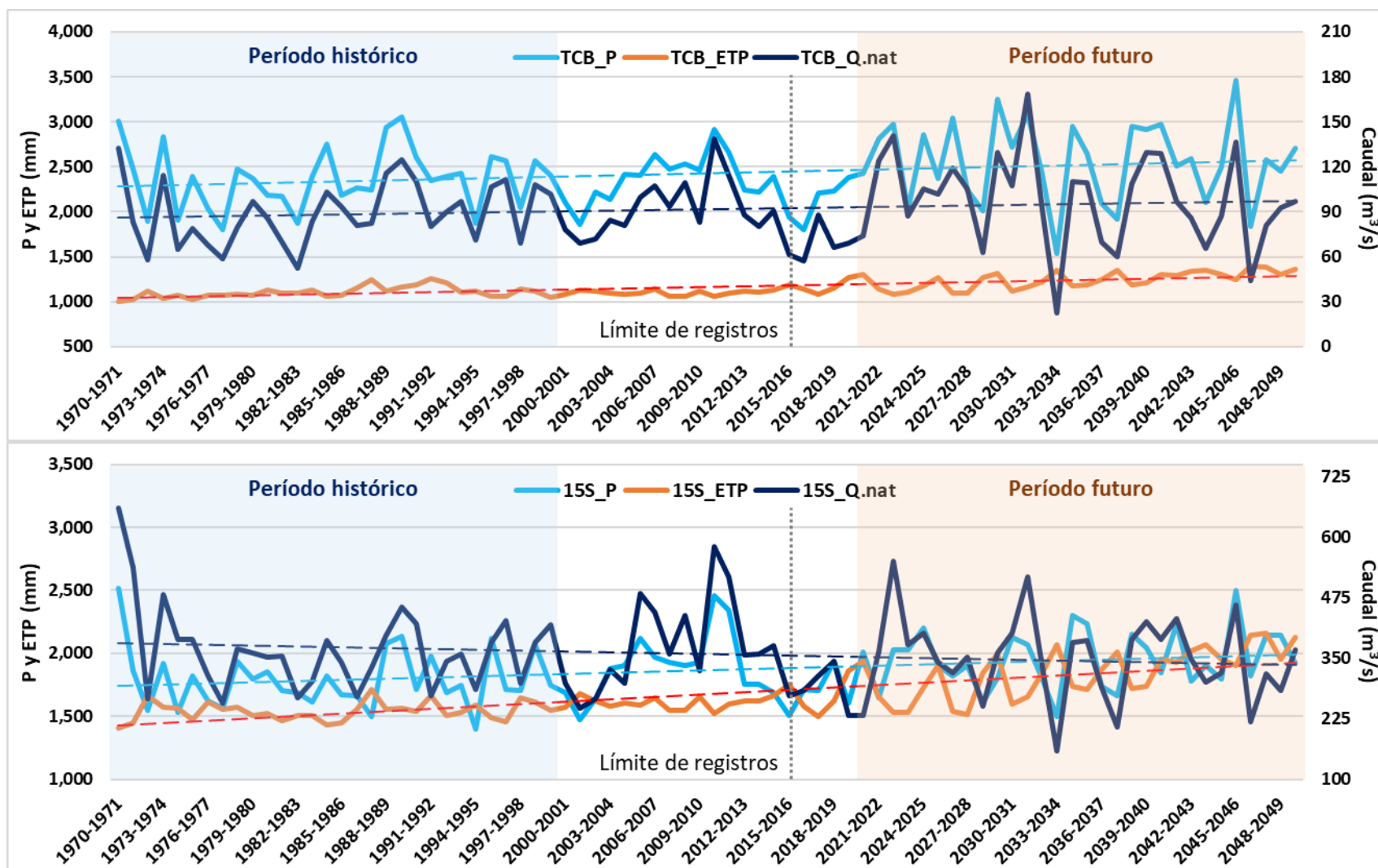


Figura A2- 44. Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro. Superior: cuenca baja del río Torola “TCB”. Inferior: río Lempa en 15 Septiembre “15S”.

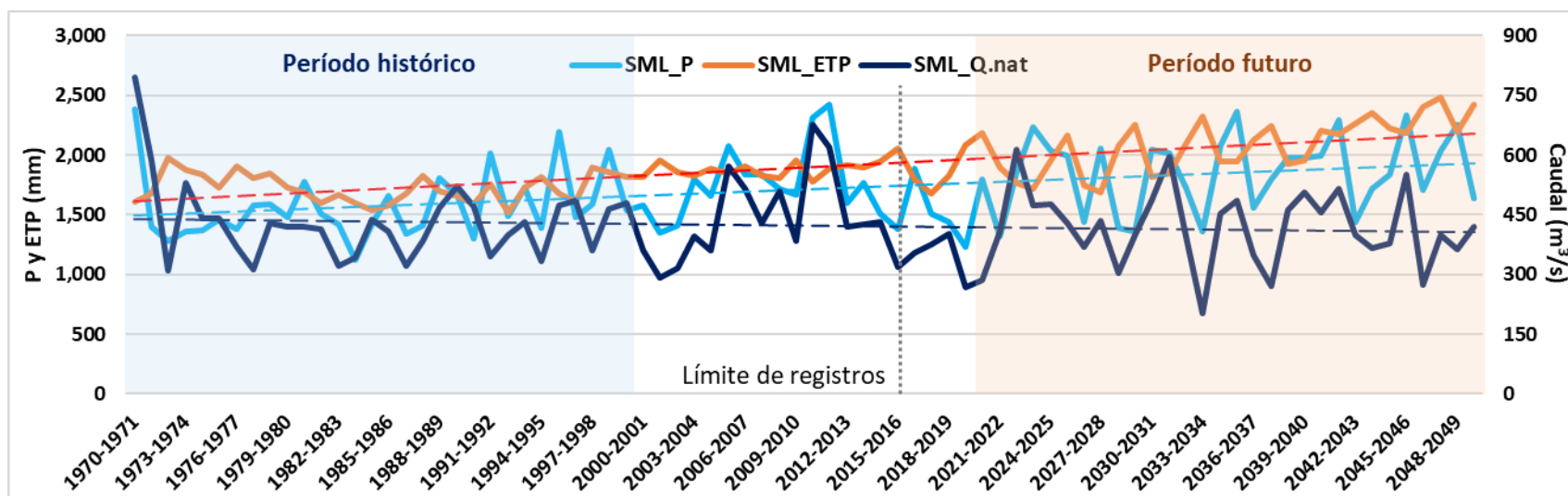


Figura A2- 45. Valores anuales por año hidrológico de precipitación “P” y evapotranspiración potencial “ETP” para la cuenca local; y caudal natural promedio “Q.nat” que incluye cuencas afluentes, en período histórico y futuro, para la desembocadura del río Lempa en la EH San Marcos Lempa “SML”.

## A2 – 8. Evaluación de la alteración del régimen fluvial natural futuro

Las climatologías de caudales promedio mensuales interanuales por cuenca, para el período futuro (May/2020 – Abr/2050), resultado de la extensión de las simulaciones hidrológicas con el Modelo de Circulación General “cesm1\_cam5\_r1i1p1”, se incluyen en la **Tabla A2-31**, y su porcentaje de alteración con respecto a la climatología de caudales naturales históricos (May/1970 – Abr/2000) se incluyen en la **Tabla A2-32**, por mes, y acumulada para la estación húmeda, seca y global. Se resaltan en anaranjado los meses en que se incumple el caudal ecológico mínimo, y en rojo los meses en que se incumple el caudal ecológico máximo. También se adjuntan gráficos comparativos entre los modelos cesm4\_r1i1p1 y cesm1\_cam5\_r1i1p1 para la estación meteorológica Nueva Concepción, en cuanto a la simulación de la variabilidad intra-anual en la **Figura A2-46** y en cuanto a replicar las tendencias anuales por año hidrológico en la **Figura A2-47**. Estos gráficos muestran que el GCM cesm1\_cam5\_r1i1p1, tiene habilidad para replicar tendencias anuales de precipitación y variabilidad intra-anual de temperatura; mientras que el GCM cesm4\_r1i1p1 tiene habilidad para replicar tendencias anuales de temperatura y variabilidad intra-anual de precipitación.

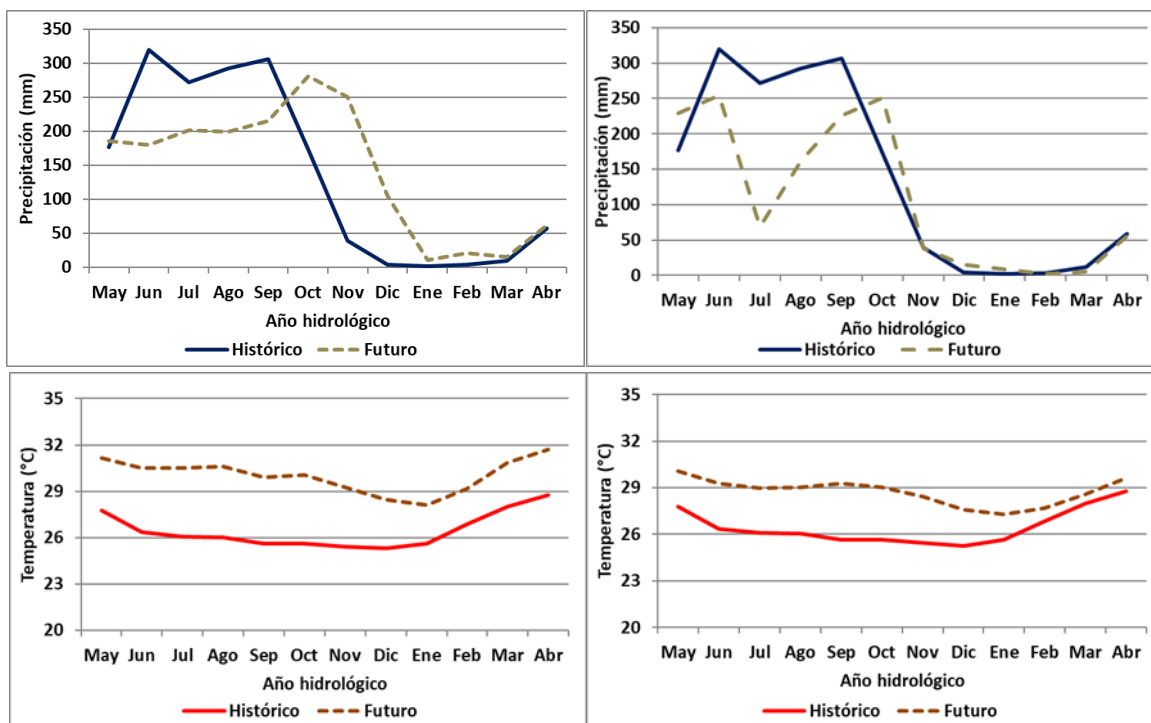


Figura A2- 46. Comparación de la variabilidad intra-anual en precipitación (superior) y temperatura (inferior) simuladas por los modelos de circulación general “GCM” cesm1\_cam5\_r1i1p1 (izquierda) y cesm4\_r1i1p1 (derecha) en el sitio de la estación meteorológica Nueva Concepción.

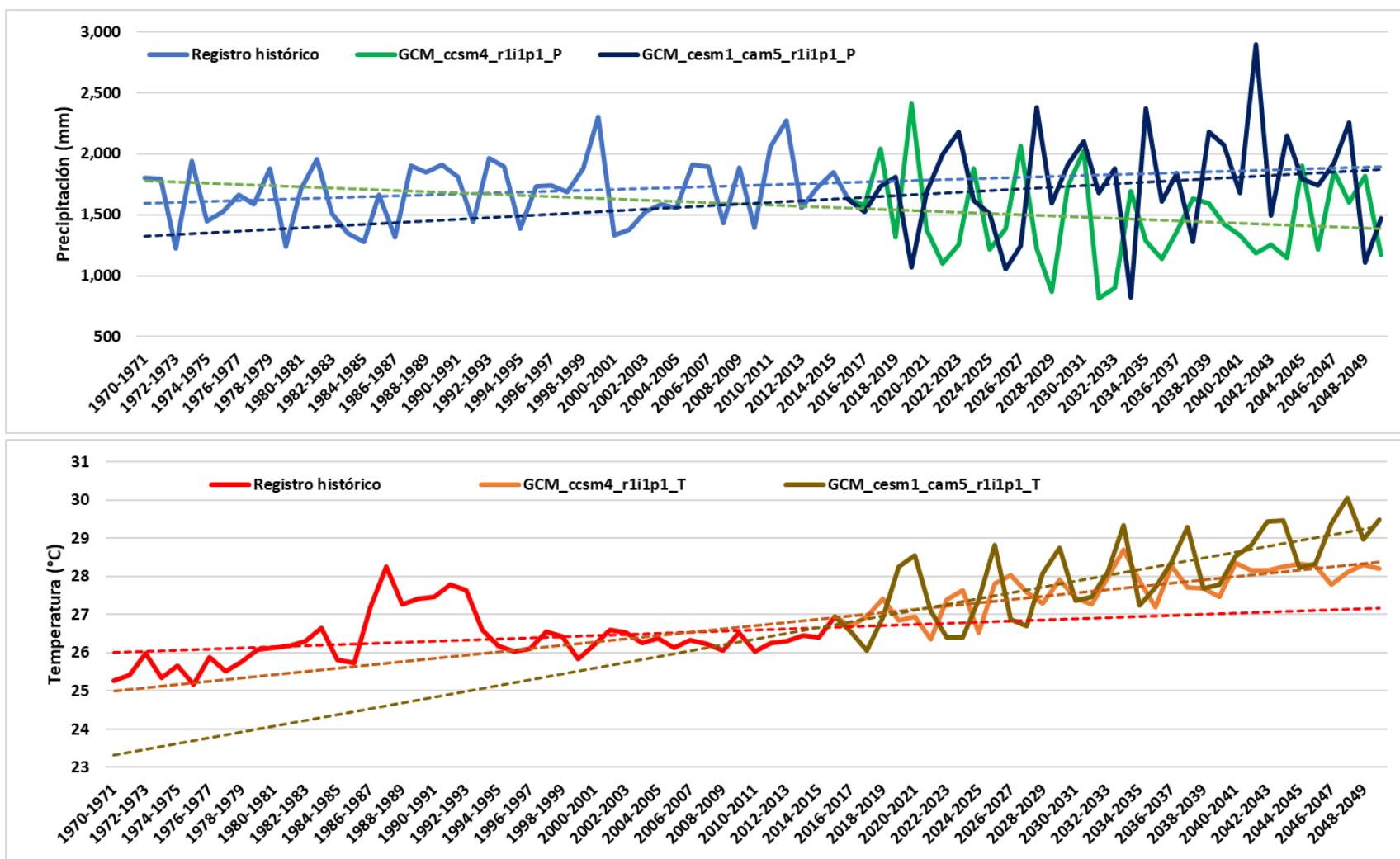


Figura A2- 47. Tendencias anuales de precipitación (superior) y temperatura (inferior), para los registros de la estación meteorológica Nueva Concepción y las simulaciones de los modelos de circulación general “GCM” ccsm4\_r1i1p1 y cesm1\_cam5\_r1i1p1.

**Tabla A2- 31. Caudales promedio mensuales interanuales en régimen natural (m3/s), para el período proyectado futuro 05/2020 – 04/2050.**

<b>N</b>	<b>Cuenca</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Anual</b>
<b>1</b>	<b>Cab</b>	23.33	35.06	46.01	46.15	58.69	86.14	96.32	52.64	25.19	20.22	15.19	14.49	<b>43.29</b>
<b>2</b>	<b>Ost</b>	6.75	9.97	9.90	11.36	12.47	15.31	19.95	10.15	4.44	4.29	4.28	4.58	<b>9.45</b>
<b>3</b>	<b>Ang</b>	3.31	6.76	6.77	5.46	8.01	14.92	14.73	6.40	1.66	1.03	0.63	0.74	<b>5.87</b>
<b>4</b>	<b>Giii</b>	13.67	21.44	22.06	21.12	26.05	39.09	42.43	18.98	6.29	5.49	5.12	6.26	<b>19.00</b>
<b>5</b>	<b>Gua</b>	0.67	1.33	1.89	1.88	2.41	4.36	4.33	1.45	0.47	0.41	0.36	0.41	<b>1.66</b>
<b>6</b>	<b>Des</b>	14.94	23.53	24.91	23.92	29.64	45.67	48.91	21.39	7.28	6.29	5.79	7.04	<b>21.61</b>
<b>-</b>	<b>PO</b>	38.28	58.59	70.92	70.07	88.32	131.81	145.23	74.02	32.47	26.51	20.99	21.53	<b>64.89</b>
<b>7</b>	<b>IC1</b>	54.69	78.91	93.40	92.25	118.39	174.18	193.29	104.53	48.95	42.17	35.27	36.07	<b>89.34</b>
<b>8</b>	<b>Suq</b>	5.20	6.24	6.56	6.67	8.91	13.38	13.12	7.22	4.51	4.41	4.18	4.48	<b>7.07</b>
<b>9</b>	<b>Suc</b>	7.46	7.60	8.36	7.86	9.72	13.53	12.76	12.61	6.34	6.40	5.93	6.31	<b>8.74</b>
<b>10</b>	<b>Ace</b>	4.45	5.17	5.27	7.14	10.70	15.35	14.27	8.03	4.57	4.15	3.68	3.47	<b>7.19</b>
<b>11</b>	<b>CG</b>	88.15	125.18	142.83	142.15	192.41	274.44	279.24	155.29	73.22	64.79	54.42	56.17	<b>137.36</b>
<b>12</b>	<b>Sum</b>	19.68	31.04	31.32	27.93	35.94	50.29	39.58	31.32	9.71	8.60	8.09	10.55	<b>25.34</b>
<b>13</b>	<b>5N</b>	110.30	165.00	183.82	181.16	245.26	352.01	338.46	197.55	86.77	76.06	65.07	68.84	<b>172.52</b>
<b>14</b>	<b>Moc</b>	20.26	30.96	31.29	30.16	37.86	52.18	41.35	37.75	12.10	11.11	9.59	11.68	<b>27.19</b>
<b>15</b>	<b>IC2</b>	113.16	173.00	193.77	192.43	261.26	374.76	360.83	208.44	89.07	77.98	66.49	70.16	<b>181.78</b>
<b>16</b>	<b>Gbl</b>	13.71	25.23	32.76	35.23	53.00	84.32	82.36	67.52	13.52	11.65	8.61	8.54	<b>36.37</b>
<b>17</b>	<b>IC3</b>	161.74	247.23	272.83	269.82	362.60	517.55	487.56	298.49	122.68	108.03	92.25	99.23	<b>253.33</b>
<b>18</b>	<b>IC4</b>	222.22	372.42	389.17	403.27	523.98	688.87	668.17	455.79	132.64	113.04	94.86	112.18	<b>348.05</b>
<b>19</b>	<b>TCA</b>	15.25	32.95	34.99	41.24	53.56	57.44	59.63	47.85	8.49	6.44	4.87	6.71	<b>30.78</b>
<b>20</b>	<b>TCM</b>	46.23	85.74	82.28	96.80	116.39	116.87	121.82	100.50	13.74	9.23	7.49	15.89	<b>67.75</b>
<b>21</b>	<b>TCB</b>	72.95	136.82	124.47	139.50	164.76	168.38	173.56	137.33	17.24	11.67	9.66	21.32	<b>98.14</b>
<b>22</b>	<b>15S</b>	222.50	373.27	390.28	404.48	525.41	690.79	670.36	457.58	133.70	113.56	95.05	112.25	<b>349.10</b>
<b>23</b>	<b>SML</b>	286.55	457.21	470.06	473.14	641.07	852.07	788.53	500.04	155.36	135.62	113.67	134.45	<b>417.31</b>

Tabla A2- 32. Porcentajes (%) de alteración natural por mes, por estación húmeda “H”, seca “S” y el global “G”, para el período proyectado futuro 05/2020 – 04/2050.

N	Cuenca	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	%_H	%_S	%_G
1	Cab	70	-31	-34	-45	-51	1	191	135	52	63	58	73	232	572	804
2	Ost	5	-31	-34	-38	-57	-33	171	123	2	0	0	4	198	300	498
3	Ang	156	-47	-50	-60	-62	9	350	335	92	99	103	234	384	1213	1597
4	Güi	17	-45	-41	-49	-58	-10	251	191	11	5	2	9	220	469	689
5	Gua	3	-59	-54	-61	-59	15	324	225	31	35	33	46	251	694	945
6	Des	15	-47	-42	-50	-58	-7	251	185	14	8	5	12	219	475	694
-	PO	43	-38	-37	-47	-54	-2	209	147	41	46	39	47	221	529	750
7	IC1	35	-37	-41	-53	-56	-7	177	122	27	29	23	31	229	409	638
8	Suq	25	-32	-43	-55	-47	20	139	67	12	15	14	25	222	272	494
9	Suc	17	-28	-42	-60	-57	-14	46	77	-6	0	-2	7	218	138	356
10	Ace	38	-2	-40	-48	-54	-20	82	47	-4	0	0	5	202	138	340
11	CG	33	-37	-40	-51	-53	-5	161	114	22	27	22	31	219	377	596
12	Sum	-5	-40	-27	-41	-46	0	135	292	39	38	28	35	159	567	726
13	5N	25	-37	-38	-50	-51	-4	155	136	25	28	23	31	205	398	603
14	Moc	-5	-37	-27	-37	-46	-7	106	294	43	41	24	31	159	539	698
15	IC2	25	-36	-39	-50	-52	-5	158	143	25	29	23	32	207	410	617
16	Gbl	60	-30	-30	-49	-60	-18	186	442	51	72	63	92	247	906	1153
17	IC3	20	-36	-37	-49	-51	-6	151	157	27	30	23	32	199	420	619
18	IC4	42	-30	-32	-42	-49	-9	177	269	36	38	31	55	204	606	810
19	TCA	98	-10	-12	-21	-38	-16	199	509	62	77	78	163	195	1088	1283
20	TCM	112	-18	-16	-18	-36	-12	237	783	91	85	89	282	212	1567	1779
21	TCB	109	-17	-18	-22	-37	-9	251	855	98	92	92	285	212	1673	1885
22	15S	42	-30	-32	-42	-49	-9	175	267	36	39	31	55	204	603	807
23	SML	49	-27	-29	-42	-46	-1	179	242	33	37	30	56	194	577	771

## **A2 – 9. Evaluación de la alteración en la disponibilidad de agua para usos productivos**

En la **Tabla A2- 33** se incluyen los caudales medios mensuales interanuales en régimen alterado para el período proyectado futuro May/2020 – Abr/2050.

En la **Tabla A2- 34** se incluyen los porcentajes de alteración por mes y por estación húmeda, seca y el acumulado global del año, resaltando en ocre los meses en los que se supera el umbral máximo de caudales ecológicos, en anaranjado los meses que incumplen el umbral mínimo de caudales ecológicos, y en café, los meses que alcanzan el nivel de “degradación intensa”, equivalente al 10% del caudal medio mensual natural, alcanzado por lo tanto, por una alteración mayor o igual al 90% en reducción de caudal.

La disponibilidad de agua para usos productivos es el caudal que existe entre el caudal alterado y el umbral mínimo de caudales ecológicos. En la **Tabla A2- 35** se incluye la disponibilidad de agua para usos productivos en caudales medios mensuales interanuales, para el período histórico de 30 años May/1970 – Abr/2000, resaltando en amarillo los meses en los que el umbral mínimo de caudales ecológicos se ha alcanzado, por lo que la disponibilidad es cero. Esta misma información se presenta para la climatología futura May/2020 – Abr/2050 en la **Tabla A2- 36**.

En la **Tabla A2- 37** se incluyen los cambios porcentuales en la disponibilidad de agua para usos productivos, entre la climatología histórica y futura, causados por el Cambio Climático y las demandas de agua.

Finalmente, en la **Figura A2- 48** se comparan los regímenes de caudales promedios mensuales interanuales para los períodos histórico y futuro, en estado natural y alterado, con caudales ecológicos máximos, mínimos y el umbral de degradación intensa para los 24 sitios considerados en la investigación (23 áreas de escurrimiento y 1 sitio de confluencia: EH Paso del Oso)

Tabla A2- 33. Caudales promedio mensuales interanuales en régimen alterado (m3/s), para el período proyectado futuro 05/2020 – 04/2050.

N	Cuenca	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Anual
1	Cab	32.65	21.53	17.32	16.93	17.49	28.44	55.00	64.20	54.33	53.79	51.23	44.45	<b>43.29</b>
2	Ost	6.93	9.86	9.69	11.40	12.62	15.35	20.06	10.21	4.30	4.04	4.02	4.48	<b>9.45</b>
3	Ang	3.32	6.74	6.67	5.43	8.02	14.93	14.74	6.35	1.37	0.70	0.29	0.58	<b>5.87</b>
4	Giii	13.08	7.33	3.31	2.70	1.42	2.65	13.68	22.13	23.16	24.09	23.49	18.51	<b>19.00</b>
5	Gua	0.63	1.25	1.78	1.81	2.37	4.32	4.30	1.37	0.32	0.23	0.15	0.26	<b>1.66</b>
6	Des	14.31	9.32	6.02	5.41	4.97	9.20	20.12	24.43	23.97	24.66	23.90	19.12	<b>21.61</b>
-	PO	46.96	30.86	23.33	22.34	22.45	37.64	75.13	88.63	78.29	78.45	75.13	63.57	<b>64.89</b>
7	IC1	60.74	48.12	41.14	41.44	51.46	78.80	122.30	117.23	87.87	87.12	79.91	72.40	<b>89.34</b>
8	Suq	5.03	5.93	6.05	6.39	8.81	13.33	13.08	6.92	3.47	3.33	2.62	3.63	<b>7.07</b>
9	Suc	6.35	6.21	6.18	6.50	9.24	12.83	12.17	11.76	2.72	3.11	1.92	3.98	<b>8.74</b>
10	Ace	3.71	4.41	4.47	6.39	10.00	14.66	13.57	7.30	3.71	3.26	2.72	2.58	<b>7.19</b>
11	CG	140.84	81.77	49.27	33.61	18.52	39.77	94.74	134.54	134.05	142.13	148.46	149.24	<b>137.36</b>
12	Sum	19.66	31.01	31.30	27.90	35.91	50.26	39.56	31.29	9.49	8.42	7.86	10.45	<b>25.34</b>
13	5N	160.48	123.23	91.73	72.83	67.11	115.88	149.77	175.48	146.89	150.77	157.41	160.85	<b>172.52</b>
14	Moc	20.29	30.99	31.33	30.20	37.90	52.22	41.39	37.79	12.08	11.12	9.57	11.70	<b>27.19</b>
15	IC2	163.33	131.22	101.65	84.07	83.10	138.62	172.12	186.34	149.03	152.51	158.59	162.02	<b>181.78</b>
16	Gbl	13.80	25.31	32.83	35.32	53.09	84.40	82.44	67.61	13.19	11.40	8.18	8.44	<b>36.37</b>
17	IC3	211.95	205.49	180.73	161.51	184.48	281.45	298.90	276.42	182.59	182.52	184.25	191.06	<b>253.33</b>
18	IC4	244.75	310.03	256.89	249.98	307.10	415.63	458.79	461.52	234.74	219.21	206.84	203.15	<b>348.05</b>
19	TCA	15.23	32.93	34.91	41.20	53.54	57.42	59.61	47.83	7.79	5.63	3.96	6.52	<b>30.78</b>
20	TCM	24.13	48.06	45.73	56.81	78.00	94.35	127.00	131.50	62.72	43.70	30.05	16.50	<b>67.75</b>
21	TCB	50.85	99.14	87.92	99.51	126.37	145.85	178.74	168.33	66.21	46.13	32.20	21.92	<b>98.14</b>
22	15S	245.56	316.54	253.92	246.75	307.49	399.75	440.62	459.59	229.80	215.52	201.39	198.83	<b>349.10</b>
23	SML	309.31	399.69	332.68	314.82	422.98	560.77	558.81	501.58	250.42	235.98	218.27	219.97	<b>417.31</b>

Tabla A2- 34. Porcentajes (%) de alteración por mes, por estación húmeda “H”, seca “S” y el global “G”, para el período proyectado futuro 05/2020 – 04/2050.

N	Cuenca	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	%_H	%_S	%_G
1	Cab	137	-58	-75	-80	-85	-67	66	186	228	334	432	432	502	1678	2180
2	Ost	7	-32	-35	-38	-56	-33	173	124	-1	-6	-6	2	201	312	513
3	Ang	157	-47	-51	-60	-62	9	350	332	58	35	-8	160	386	943	1329
4	Güi	12	-81	-91	-93	-98	-94	13	239	310	361	368	221	469	1512	1981
5	Gua	-3	-62	-57	-63	-59	14	321	206	-11	-24	-45	-5	258	612	870
6	Des	10	-79	-86	-89	-93	-81	44	226	275	324	334	204	438	1407	1845
-	PO	76	-67	-79	-83	-88	-72	60	196	241	331	397	334	465	1559	2024
7	IC1	50	-62	-74	-79	-81	-58	75	149	128	166	178	163	404	859	1263
8	Suq	21	-36	-48	-57	-48	20	138	60	-14	-13	-29	1	230	255	485
9	Suc	-1	-42	-57	-67	-59	-18	40	65	-59	-51	-69	-33	244	317	561
10	Ace	15	-17	-49	-54	-57	-23	73	34	-22	-22	-26	-22	215	199	414
11	CG	113	-59	-79	-88	-95	-86	-12	85	124	180	233	248	520	882	1402
12	Sum	-5	-40	-27	-41	-46	0	135	292	36	35	25	34	159	557	716
13	5N	81	-53	-69	-80	-87	-68	13	110	112	154	197	207	438	793	1231
14	Moc	-4	-37	-27	-36	-46	-7	107	295	43	41	24	31	157	541	698
15	IC2	81	-52	-68	-78	-85	-65	23	117	110	152	194	205	429	801	1230
16	Gbl	61	-30	-30	-49	-60	-18	186	443	48	68	55	89	248	889	1137
17	IC3	57	-47	-58	-69	-75	-49	54	138	89	120	147	154	355	702	1057
18	IC4	57	-41	-55	-64	-70	-45	90	274	140	168	186	181	332	1039	1371
19	TCA	98	-10	-12	-22	-38	-16	199	508	48	55	45	155	196	1010	1206
20	TCM	11	-54	-53	-52	-57	-29	251	1055	772	775	657	296	256	3806	4062
21	TCB	45	-40	-42	-44	-52	-22	261	1070	661	657	541	296	245	3486	3731
22	15S	57	-40	-55	-65	-70	-47	81	268	133	163	179	174	334	998	1332
23	SML	61	-36	-50	-61	-64	-35	98	243	114	139	149	155	307	898	1205

**Tabla A2- 35. Disponibilidad de agua para usos productivos en m<sup>3</sup>/s para el período histórico May/1970 – Abr/2000.**

N	Cuenca	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Meses Q=0
1	Cab	7.57	27.90	38.27	46.47	65.87	46.99	17.77	11.63	8.41	6.43	4.88	4.42	0
2	Ost	3.59	7.99	8.16	10.15	15.96	12.54	3.79	2.23	2.12	1.99	1.99	2.22	0
3	Ang	0.67	7.00	7.49	7.53	11.72	7.48	1.62	0.60	0.25	0.06	0.00	0.02	1
4	Güi	7.25	0.00	0.00	0.00	0.00	2.36	15.88	19.59	20.02	21.58	21.11	15.79	4
5	Gua	0.33	1.78	2.23	2.65	3.18	2.05	0.51	0.18	0.13	0.09	0.07	0.10	0
6	Des	7.91	0.00	0.00	0.00	0.00	5.35	16.84	20.05	20.34	21.81	21.28	16.02	4
-	PO	15.48	22.73	33.49	40.24	55.85	52.35	34.60	31.67	28.74	28.24	26.15	20.44	0
7	IC1	22.44	39.74	58.92	74.08	98.39	80.95	45.47	38.92	35.04	33.84	31.06	25.84	0
8	Suq	2.25	5.05	6.31	8.18	9.30	6.07	2.68	1.94	1.78	1.71	1.58	1.71	0
9	Suc	3.19	5.70	7.77	10.69	12.24	8.28	3.85	2.73	2.41	2.24	2.06	2.40	0
10	Ace	1.42	2.63	4.51	7.35	12.61	10.23	3.85	2.44	2.03	1.64	1.31	1.22	0
11	CG	65.04	2.94	9.88	14.16	36.38	106.30	71.91	71.36	75.99	83.61	84.67	82.65	0
12	Sum	11.38	28.44	23.41	25.97	36.27	27.66	9.22	4.32	3.76	3.33	3.38	4.25	0
13	5N	73.29	32.02	44.05	48.92	87.57	149.75	88.98	76.58	79.98	87.62	89.60	86.29	0
14	Moc	11.70	27.20	23.53	26.15	38.64	31.03	11.03	5.26	4.63	4.31	4.23	4.90	0
15	IC2	74.28	37.83	53.85	63.01	109.07	165.47	92.89	77.82	80.79	88.19	90.03	86.68	0
16	Gbl	4.76	19.92	25.87	38.28	72.48	56.49	15.82	6.69	4.71	3.54	2.73	2.41	0
17	IC3	99.03	102.47	119.31	139.68	219.43	249.45	122.67	94.30	94.75	100.52	101.48	98.85	0
18	IC4	110.43	179.35	192.38	232.36	374.45	361.61	148.50	97.81	94.72	99.12	99.44	96.94	0
19	TCA	4.22	20.03	21.88	28.87	47.28	37.65	10.89	4.07	2.54	1.67	1.19	1.27	0
20	TCM	11.85	57.72	53.59	64.72	99.82	72.84	19.70	5.86	3.46	2.26	1.71	2.04	0
21	TCB	19.10	90.81	83.63	97.94	144.78	102.08	27.02	7.50	4.28	2.85	2.28	2.79	0
22	15S	102.74	168.84	192.24	223.52	367.76	370.45	148.32	93.77	91.38	95.69	97.15	95.23	0
23	SML	122.31	221.56	244.18	288.24	455.46	427.55	169.66	105.24	101.37	104.64	105.00	102.64	0

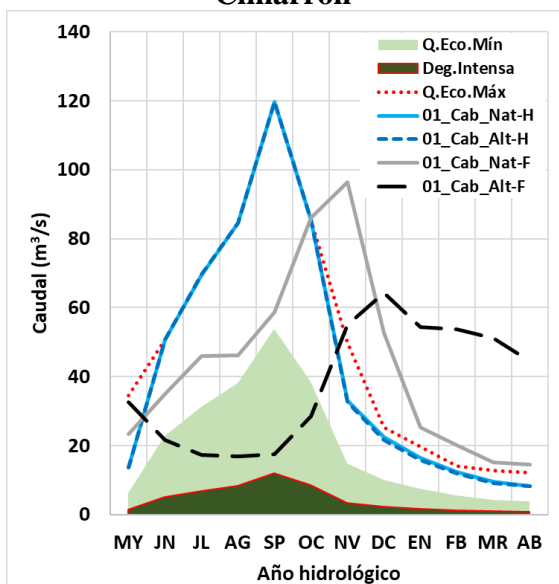
Tabla A2- 36. Disponibilidad de agua para usos productivos en m<sup>3</sup>/s para el período futuro May/2020 – Abr/2050.

N	Cuenca	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Meses Q=0
1	Cab	26.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.11	54.11	46.88	48.21	46.90	40.69	5
2	Ost	4.02	3.34	2.93	3.11	0.00	5.04	16.75	8.16	2.34	2.11	2.09	2.50	1
3	Ang	2.74	1.01	0.54	0.00	0.00	8.77	13.27	5.69	0.98	0.46	0.15	0.48	2
4	Güi	7.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.24	19.19	20.62	21.73	21.23	15.92	5
5	Gua	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	2.62	3.84	1.17	0.16	0.10	0.03	0.14	4
6	Des	8.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.85	21.06	21.09	22.05	21.42	16.30	5
-	PO	34.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	53.96	75.16	67.96	70.26	68.32	56.99	5
7	IC1	42.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.89	96.08	70.49	72.39	67.00	60.02	5
8	Suq	3.16	1.78	0.86	0.00	1.18	8.32	10.60	4.98	1.65	1.60	0.97	2.01	1
9	Suc	3.48	1.43	0.00	0.00	0.00	5.77	8.24	8.55	0.00	0.24	0.00	1.32	5
10	Ace	2.26	2.03	0.56	0.16	0.00	6.05	10.05	4.85	1.58	1.39	1.06	1.09	1
11	CG	111.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.55	101.86	107.07	119.26	128.38	129.95	5
12	Sum	10.32	7.72	12.12	6.63	6.21	27.61	31.97	27.70	6.34	5.61	5.02	6.94	0
13	5N	120.64	5.91	0.00	0.00	0.00	0.00	90.10	137.87	115.65	124.08	133.58	137.27	4
14	Moc	10.73	8.75	12.09	8.81	6.29	26.84	32.37	33.48	8.28	7.58	6.10	7.69	0
15	IC2	122.66	9.13	0.00	0.00	0.00	0.00	109.23	147.67	117.07	125.29	134.34	138.09	4
16	Gbl	9.93	9.03	11.69	4.03	0.00	38.20	69.48	62.01	9.18	8.35	5.81	6.43	1
17	IC3	151.04	30.53	0.00	0.00	0.00	34.43	211.64	224.26	139.19	145.19	150.62	157.18	3
18	IC4	174.45	72.09	1.07	0.00	0.00	76.77	350.22	406.01	190.78	182.46	174.33	170.57	2
19	TCA	11.76	16.52	17.00	17.57	14.84	26.60	50.65	44.29	5.42	4.00	2.73	5.37	0
20	TCM	14.34	0.75	1.79	3.77	0.00	34.66	110.72	126.38	59.48	41.45	28.26	14.63	1
21	TCB	35.12	24.74	19.40	19.29	7.82	62.24	156.47	161.85	62.29	43.39	29.94	19.43	0
22	15S	175.15	78.19	0.00	0.00	0.00	59.67	331.06	403.44	185.50	178.64	168.85	166.24	3
23	SML	222.84	118.14	33.62	0.00	0.00	173.89	431.60	435.79	197.68	191.46	178.82	181.08	2

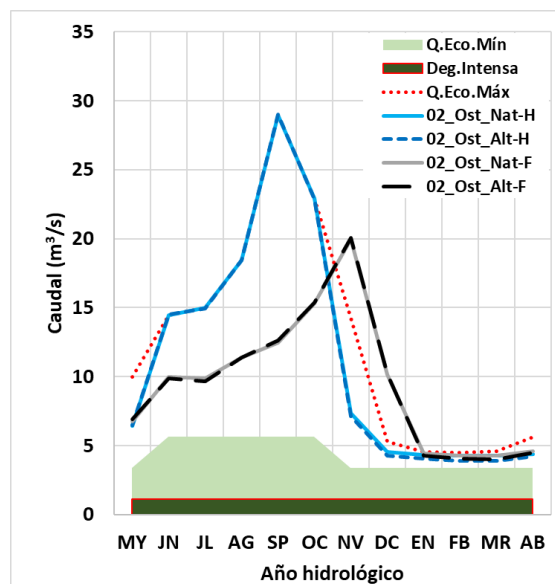
Tabla A2- 37. Proyección de los cambios en porcentaje (%) sobre la disponibilidad de agua para usos productivos entre los períodos histórico y futuro.

N	Cuenca	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Meses Δ=-100%
1	Cab	250	-100	-100	-100	-100	-100	126	365	458	649	862	821	5
2	Ost	12	-58	-64	-69	-100	-60	342	266	11	6	5	12	1
3	Ang	309	-86	-93	-100	-100	17	717	848	289	714	-100	1883	3
4	Güi	8	-100	-100	-100	-100	-100	-48	-2	3	1	1	1	5
5	Gua	2	-100	-100	-100	-100	27	659	547	23	8	-58	34	4
6	Des	7	-100	-100	-100	-100	-100	-18	5	4	1	1	2	5
-	PO	126	-100	-100	-100	-100	-100	56	137	136	149	161	179	5
7	IC1	90	-100	-100	-100	-100	-100	100	147	101	114	116	132	5
8	Suq	41	-65	-86	-100	-87	37	295	157	-7	-6	-39	18	1
9	Suc	9	-75	-100	-100	-100	-30	114	213	-100	-89	-100	-45	5
10	Ace	60	-23	-88	-98	-100	-41	161	98	-22	-16	-19	-11	1
11	CG	71	-100	-100	-100	-100	-100	-35	43	41	43	52	57	5
12	Sum	-9	-73	-48	-74	-83	0	247	541	69	68	49	63	0
13	5N	65	-82	-100	-100	-100	-100	1	80	45	42	49	59	4
14	Moc	-8	-68	-49	-66	-84	-14	193	536	79	76	44	57	0
15	IC2	65	-76	-100	-100	-100	-100	18	90	45	42	49	59	4
16	Gbl	109	-55	-55	-89	-100	-32	339	827	95	136	113	167	0
17	IC3	53	-70	-100	-100	-100	-86	73	138	47	44	48	59	3
18	IC4	58	-60	-99	-100	-100	-79	136	315	101	84	75	76	2
19	TCA	179	-18	-22	-39	-69	-29	365	988	113	140	129	322	0
20	TCM	21	-99	-97	-94	-100	-52	462	2057	1620	1732	1552	618	1
21	TCB	84	-73	-77	-80	-95	-39	479	2058	1356	1421	1215	597	0
22	15S	70	-54	-100	-100	-100	-84	123	330	103	87	74	75	3
23	SML	82	-47	-86	-100	-100	-59	154	314	95	83	70	76	2

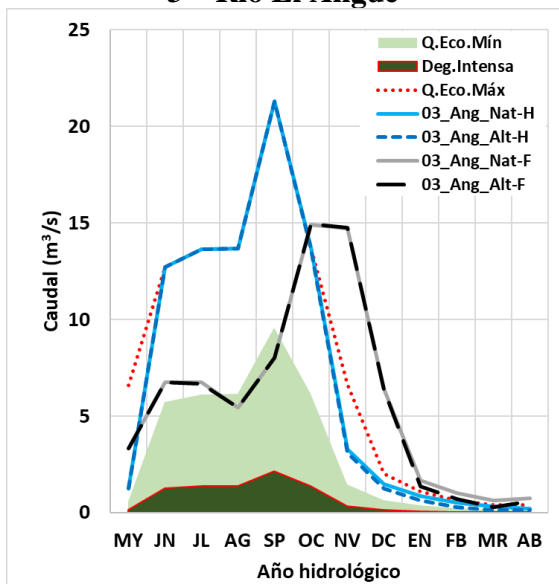
### 1 – Cabecera del río Lempa. En período futuro incluye CH Cimarrón



### 2 – Río Ostúa



### 3 – Río El Angue



### 4 – Lago de Güija en CH Guajoyo

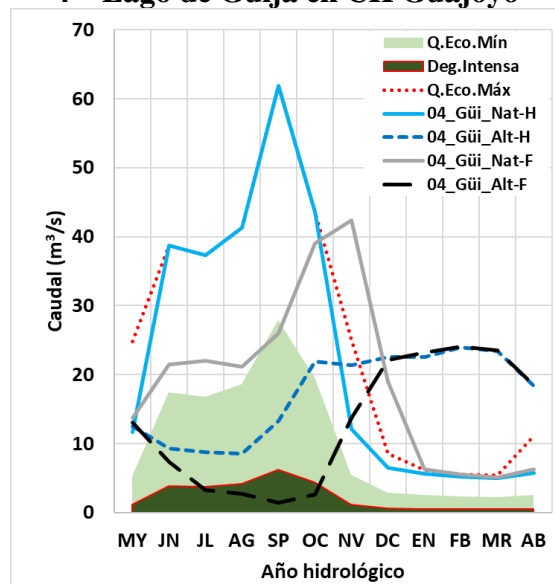
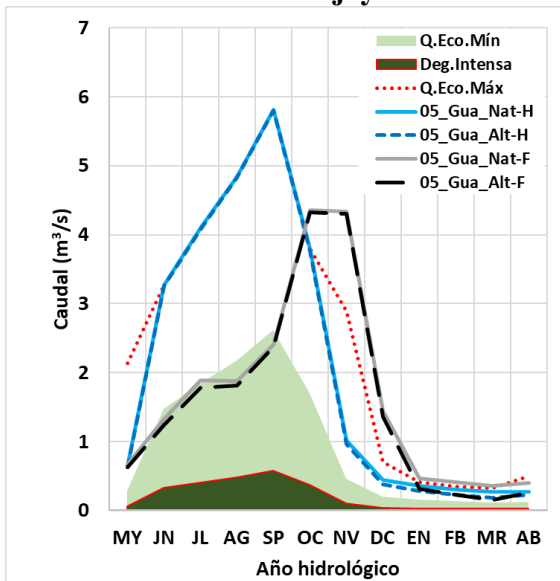
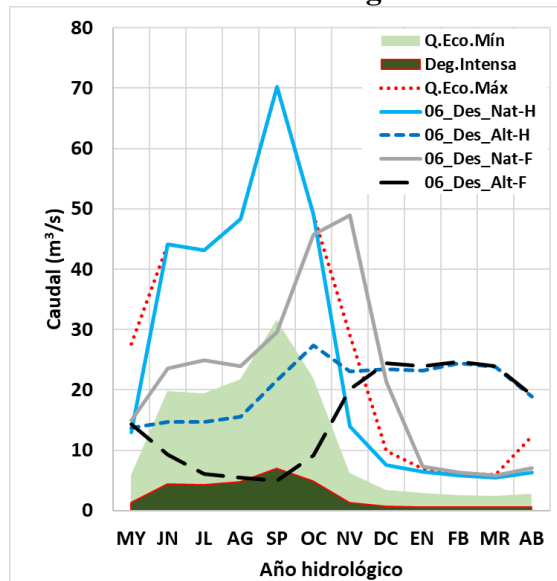


Figura A2- 48. Comparación de caudales promedio mensuales interanuales en estado natural histórico (línea celeste continua), alterado histórico (línea azul cortada), natural futuro (línea gris continua), alterado futuro (línea negra cortada) y los regímenes de caudales ecológicos máximo (línea roja punteada), mínimo (límite del área verde claro) y el umbral de degradación intensa línea roja continua.

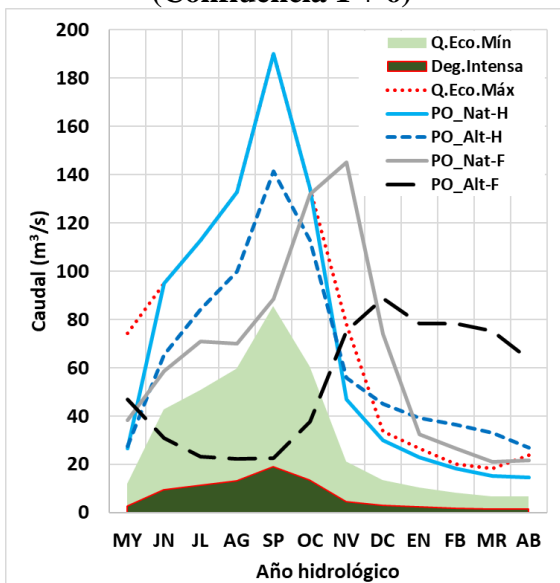
### 5 – Río Guajoyo



### 6 – Río El Desagüe



### Río Lempa en EH Paso del Oso (Confluencia 1 + 6)



### 7 – Río Lempa en Intercuenca 1 Aguas abajo de Paso del Oso

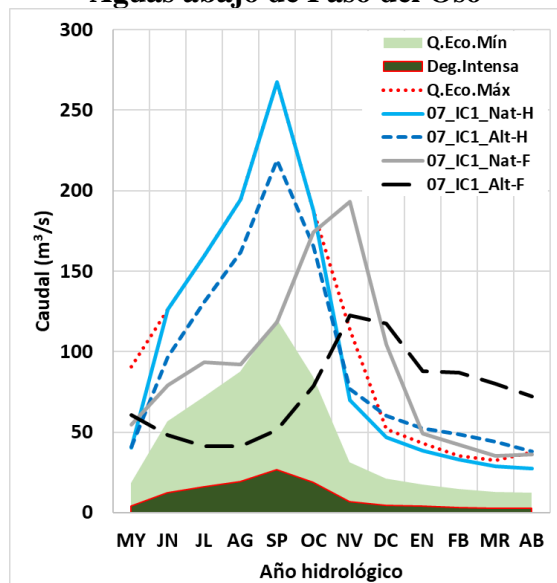


Figura A2- 48. Continuación.

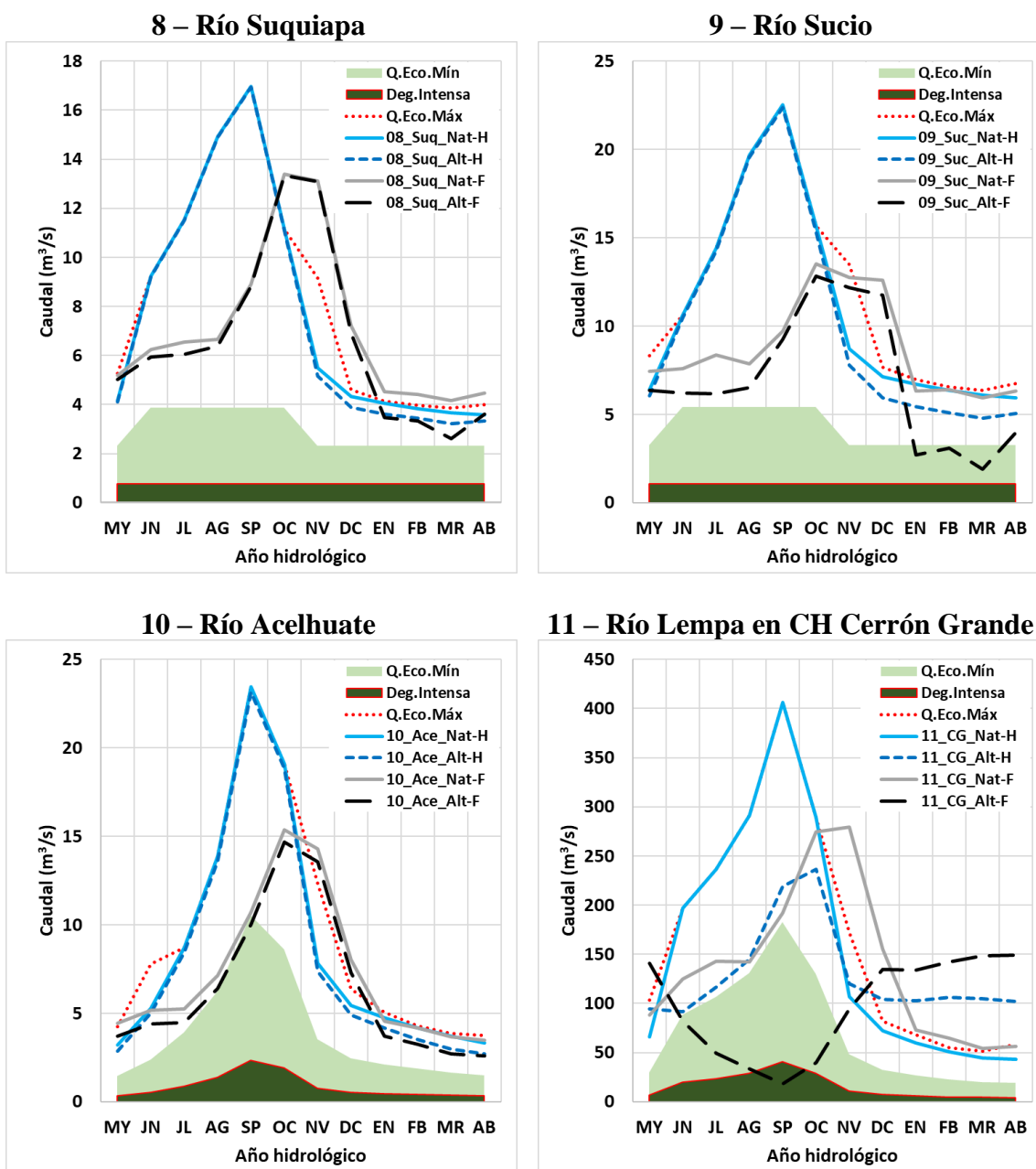


Figura A2- 48. Continuación.

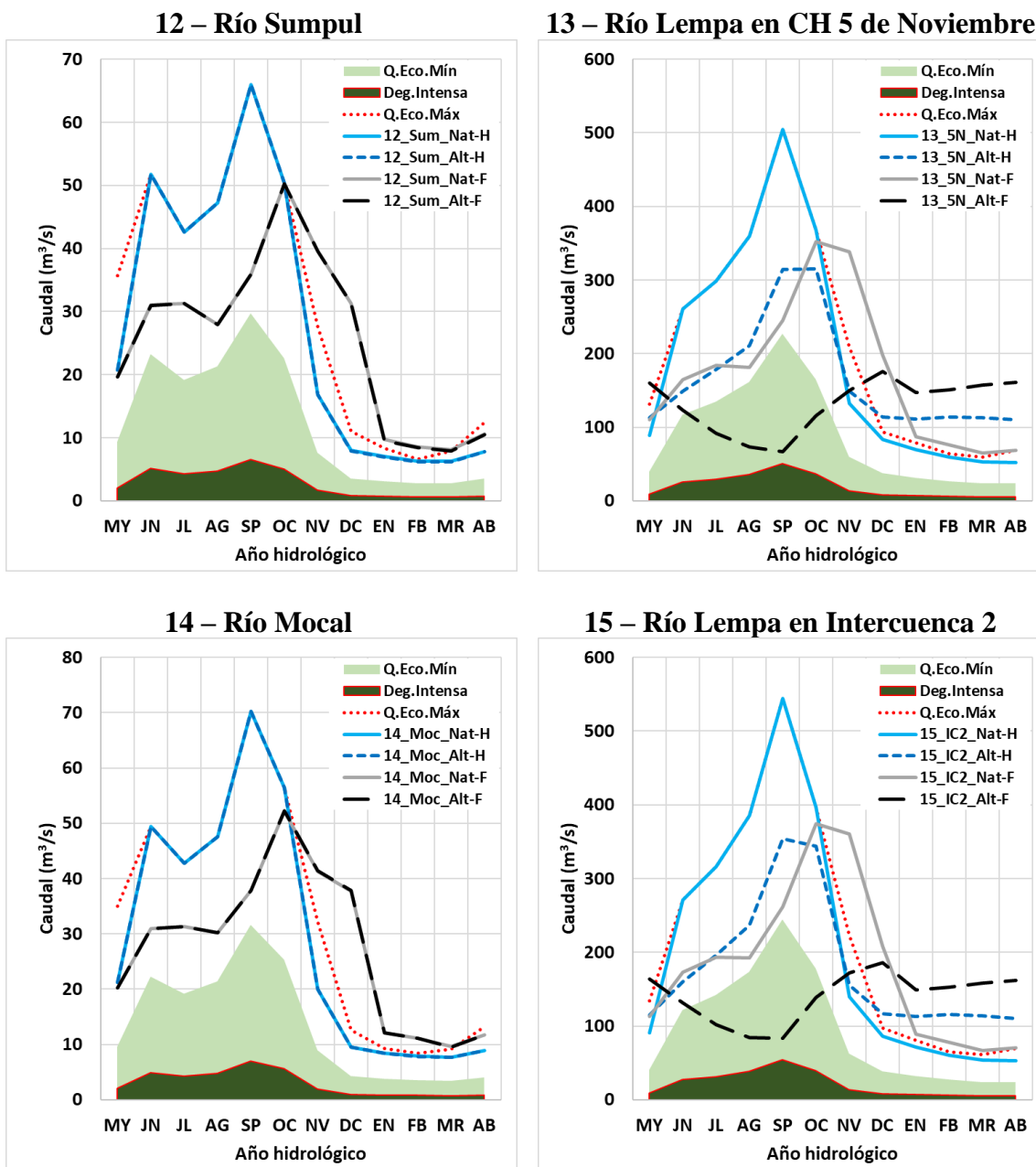
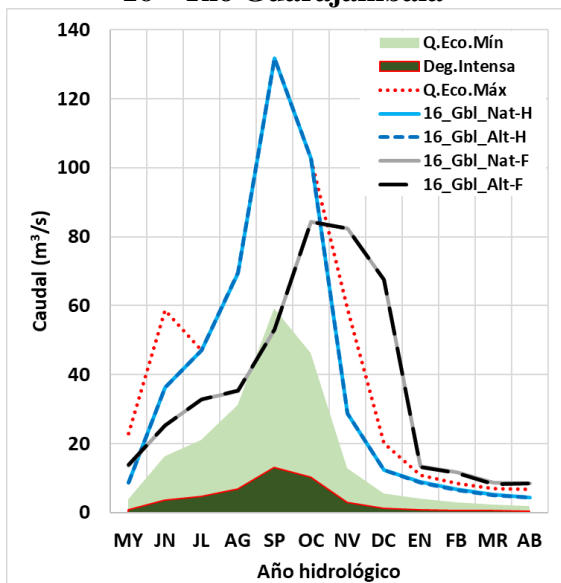
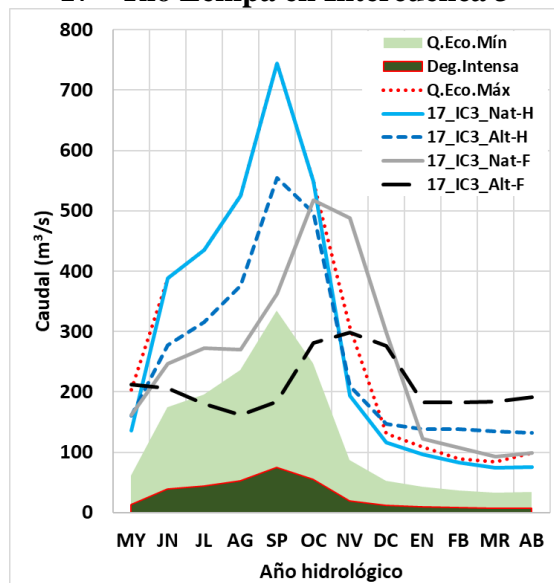


Figura A2- 48. Continuación.

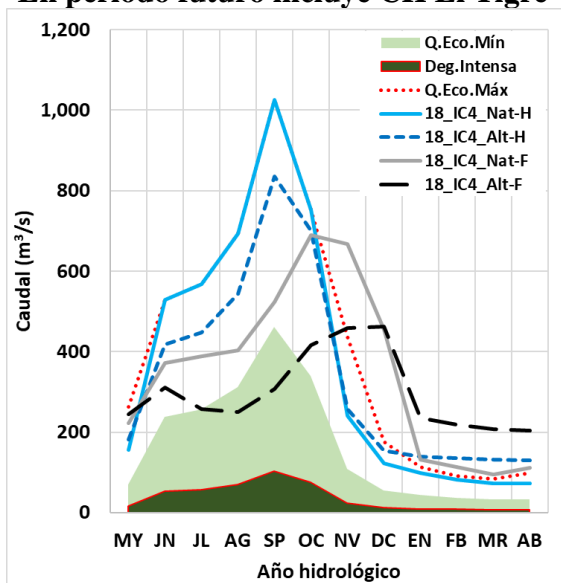
**16 – Río Guarajambala**



**17 – Río Lempa en Intercuenca 3**



**18 – Río Lempa en Intercuenca 4.  
En período futuro incluye CH El Tigre**



**19 – Río Torola en cuenca alta**

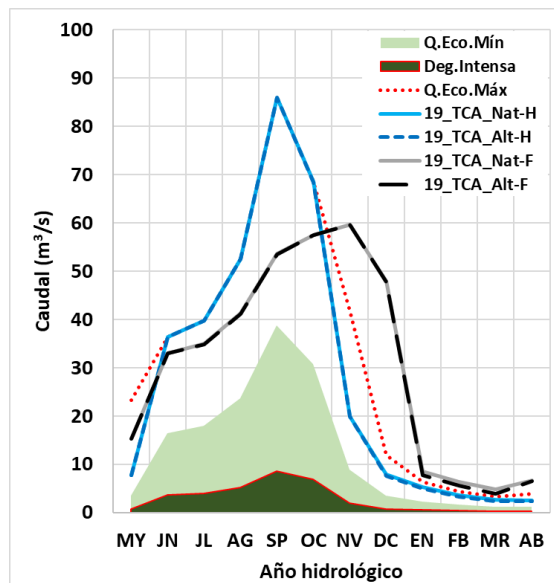
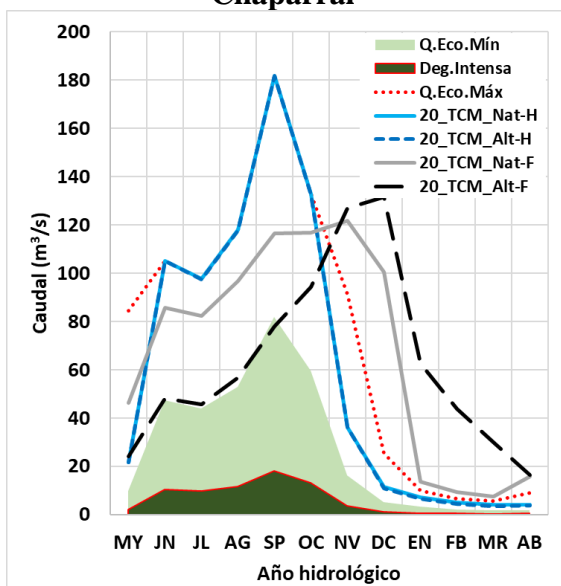
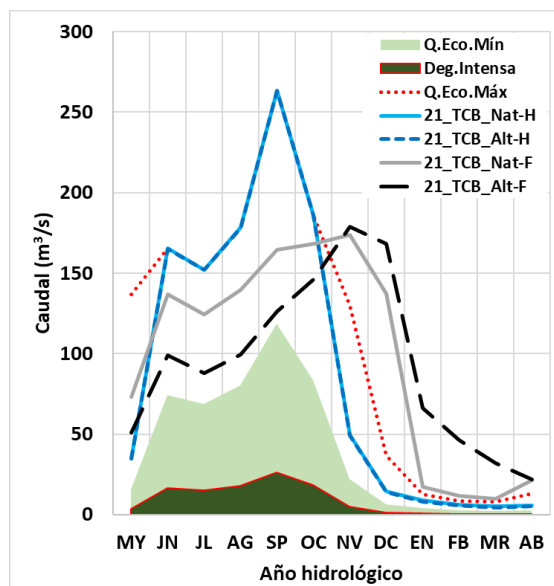


Figura A2- 48. Continuación.

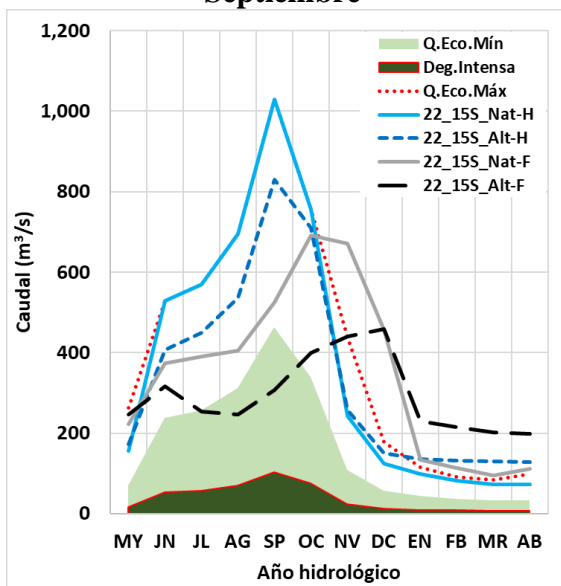
**20 – Río Torola en cuenca media.  
En período futuro incluye CH  
Chaparral**



**21 – Río Torola en cuenca baja**



**22 – Río Lempa en CH 15 de  
Septiembre**



**23 – Río Lempa en desembocadura  
EH San Marcos Lempa**

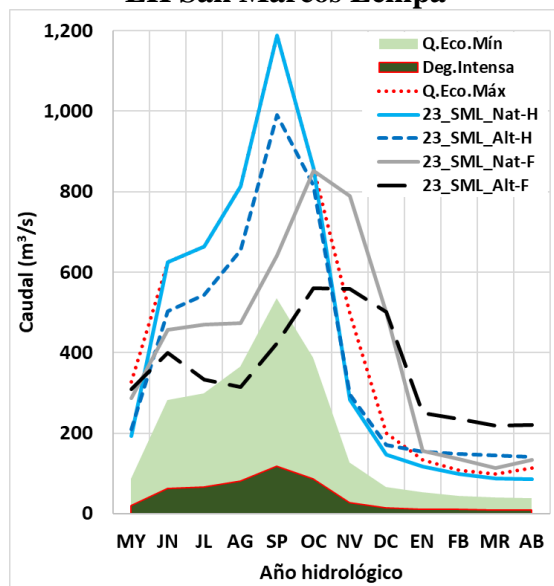


Figura A2- 48. Continuación.