

Figura 3.16 Temperaturas medias trimestrales para los periodos 2030, 2060 y 2090, simuladas por el modelo Eta_MIROC5 (RCP8.5).

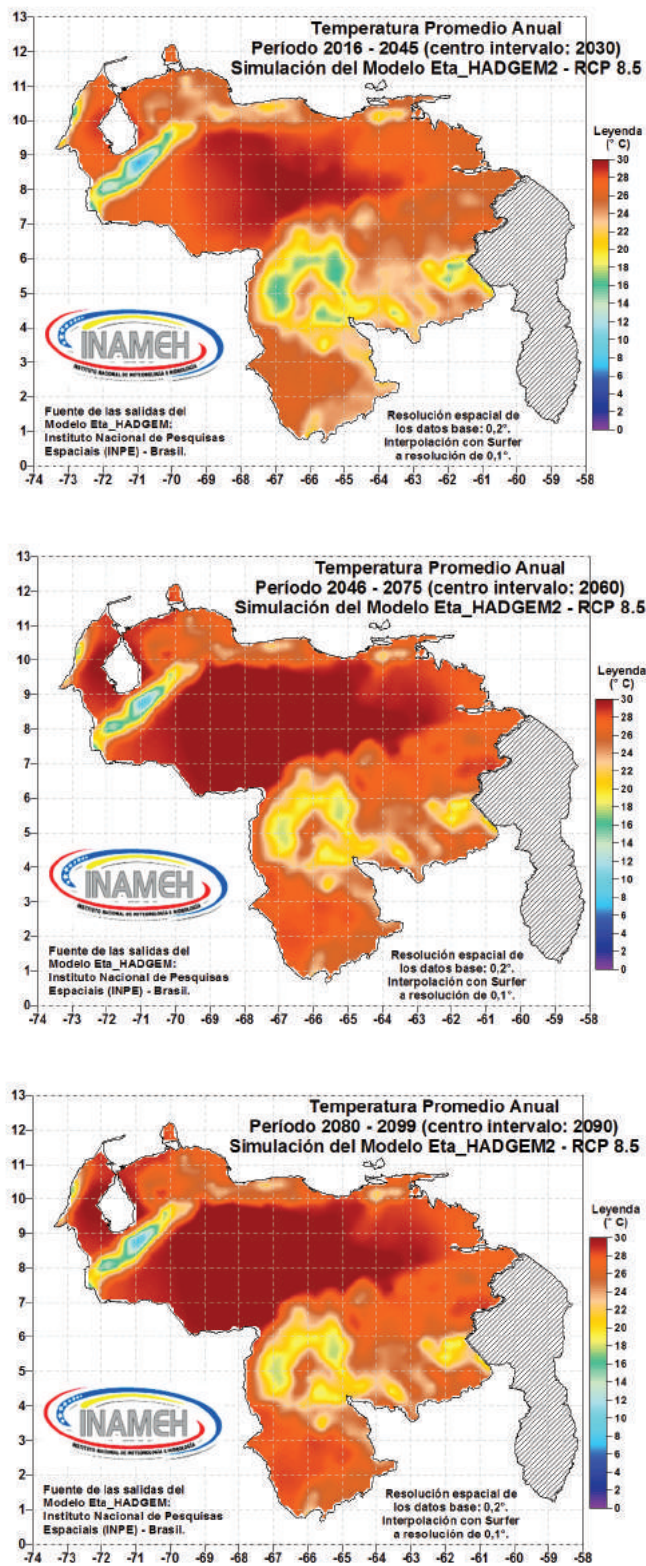


Figura 3.17 Temperatura media anual para los períodos 2030, 2060 y 2090, simulada por el modelo Eta_HAGMEM2 (RCP8.5).

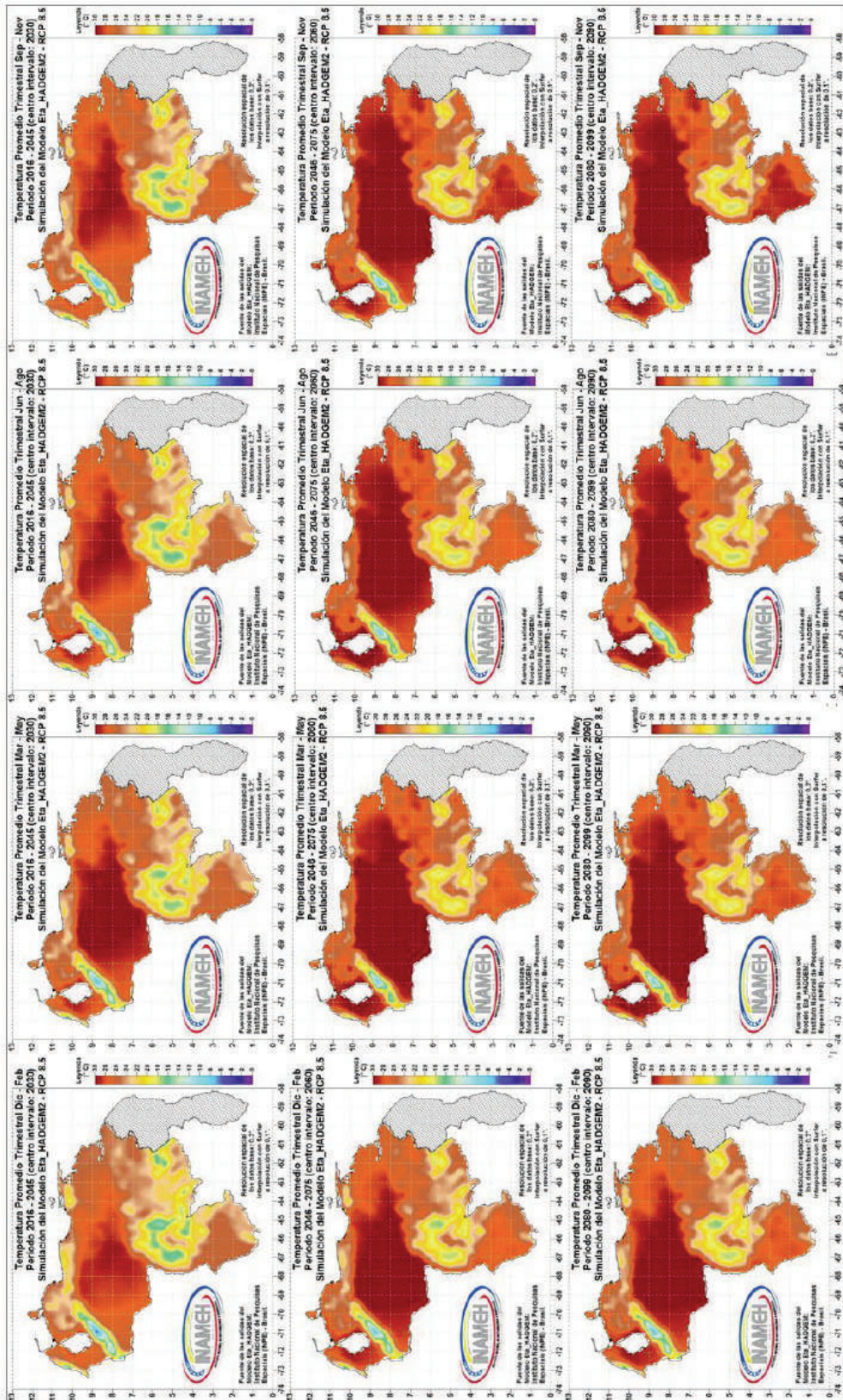


Figura 3.18 Temperaturas medias trimestrales para los periodos 2030, 2060 y 2090, simuladas por el modelo Eta_HADGEM (RCP8.5).

Simulaciones del Eta_MIROC5 para precipitaciones, períodos 2030, 2060 y 2090, RCP8.5

En la Figura 3.19 se presentan los mapas de precipitación media anual para los períodos centrados en 2030, 2060 y 2090, según el Eta_MIROC5; y en la Figura 3.20, los mapas con los valores promedio trimestrales para los mismos períodos.

El Eta_MIROC5 mantiene los mismos rasgos generales que para el escenario intermedio (RCP4.5); a saber, una sobreestimación exagerada de la precipitación en las zonas más secas al norte del país, y específicamente en el trimestre junio-agosto, en prácticamente todo el país, y la subestimación de la lluvia en las zonas montañosas de los Andes y sur de Bolívar y Amazonas. Sin embargo, la extensión espacial de la zona donde la sobreestimación es totalmente irreal, es mucho menor que en el escenario intermedio. Asimismo, mantiene el rasgo de la disminución generalizada a principios de siglo, un ligero aumento a mediados de siglo en los Llanos occidentales en marzo-mayo, y de nuevo una disminución generalizada a finales de siglo.

Simulaciones del Eta_HADGEM2 para precipitaciones, períodos 2030, 2060 y 2090, RCP8.5

En la Figura 3.21 se presentan los mapas de precipitación media anual para los períodos centrados en 2030, 2060 y 2090, según el Eta_HADGEM2; y en la Figura 3.22, los mapas con los valores promedio trimestrales para los mismos períodos.

El Eta_HADGEM2 mantiene los mismos rasgos generales que para el escenario intermedio (RCP4.5); a saber, sobreestima la precipitación en toda la fachada oriental del país y en los Andes, aunque en menor proporción. Mantiene también la tendencia general, a nivel anual, a una disminución de la precipitación en todo el país, excepto en la fachada oriental, donde aumentaría ligeramente a finales de siglo, así como la fuerte disminución de la lluvia a finales de siglo en el trimestre septiembre-noviembre.

3.1.4 Comparación de las simulaciones de temperatura media entre escenarios

Los dos modelos subestiman la temperatura el Eta_MIROC5, solo a finales de siglo; y en el escenario pesimista (RCP8.5) simula valores mayores que los actuales. El Eta_HADGEM2, para mediados de siglo, en el escenario intermedio, alcanza a simular una mediana similar a la actual, aunque para las zonas más cálidas las simulaciones son más razonables, indicando incrementos de la temperatura incluso en el escenario intermedio desde principios de siglo. Para las zonas más frías del país, la subestimación es muy fuerte. En general ambos modelos simulan un incremento de la temperatura media con el paso del tiempo, a nivel anual y trimestral, en general mayor en el escenario pesimista. Nuevamente, en todos los casos, el Eta_HADGEM2 simula temperaturas mayores que el Eta_MIROC5, en el orden de los 2 °C. El Eta_HADGEM2 llega a simular en el 2090, bajo el escenario pesimista, valores de temperatura media en el trimestre marzo-mayo de 33,5 °C; considerando que la temperatura media actual nacional es del orden de 26,5 °C, eso representa para finales de siglo, en algunas zonas del país, un incremento en el orden de 7 °C.

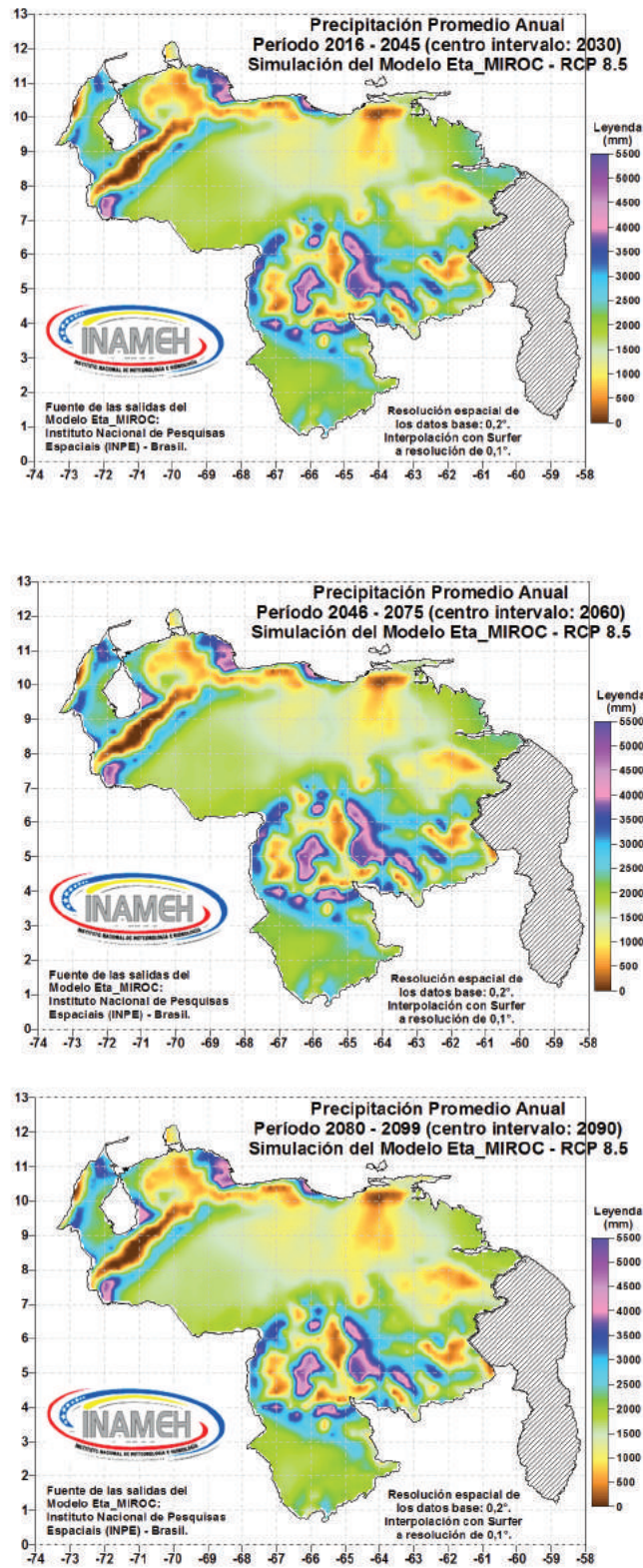


Figura 3.19 Precipitación media anual para los períodos 2030, 2060 y 2090, simulada por el modelo Eta_MIROC5 (RCP8.5)

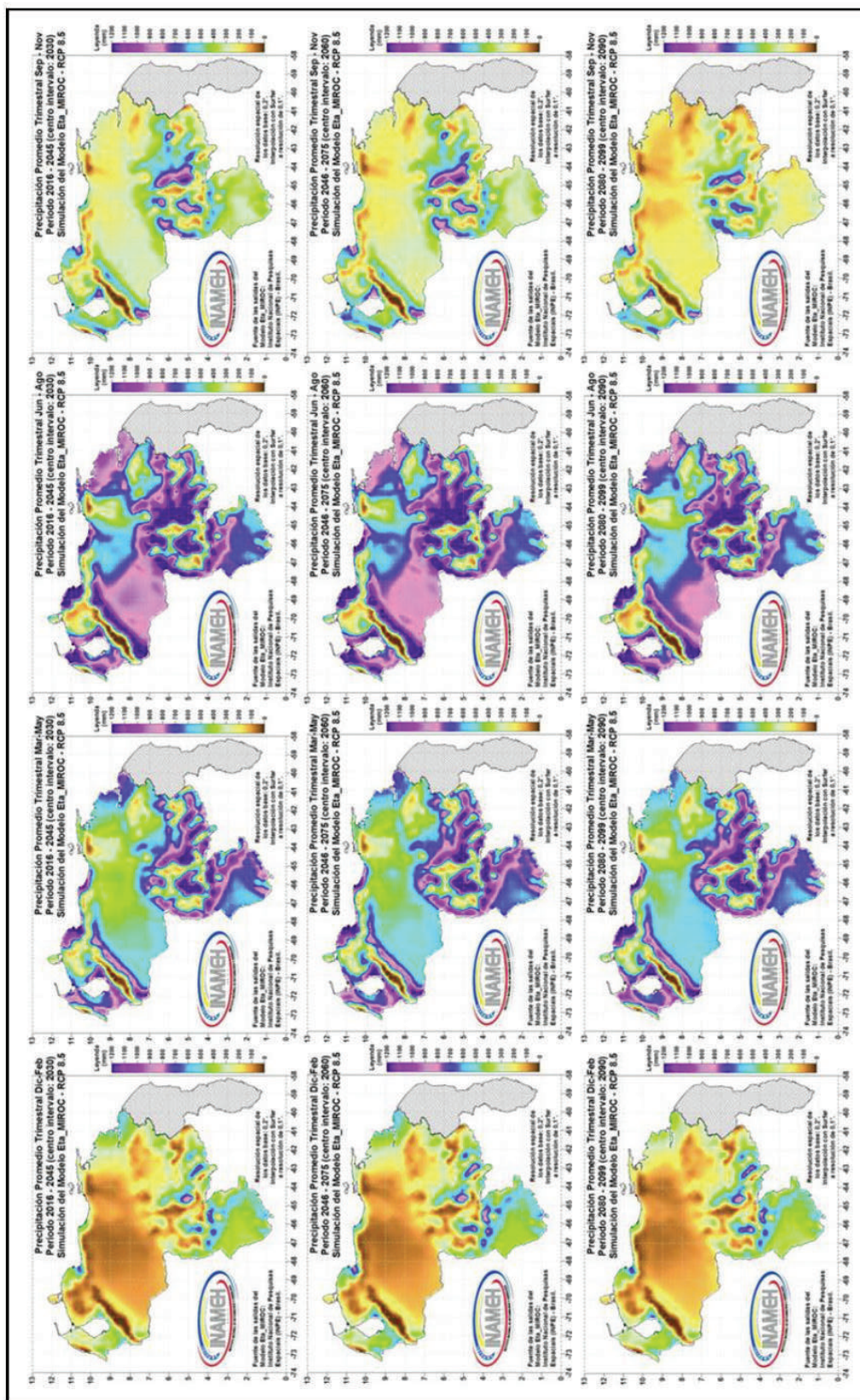


Figura 3.20 Precipitación media trimestral para los periodos 2030, 2060 y 2090, simulada por el modelo Eta_MIROC5 (RCP8.5)

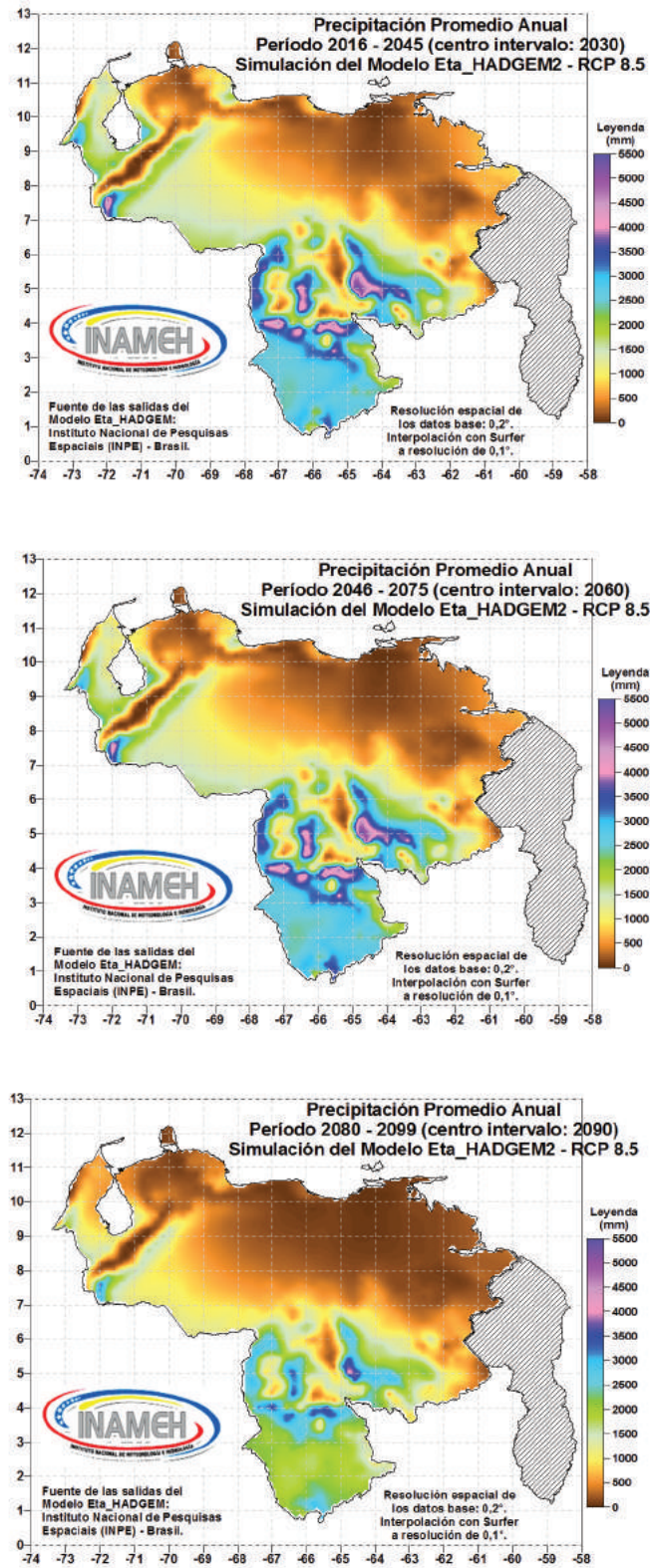


Figura 3.21 Precipitación media anual para los periodos 2030, 2060 y 2090, simulada por el modelo Eta_HADGEM2 (RCP8.5)

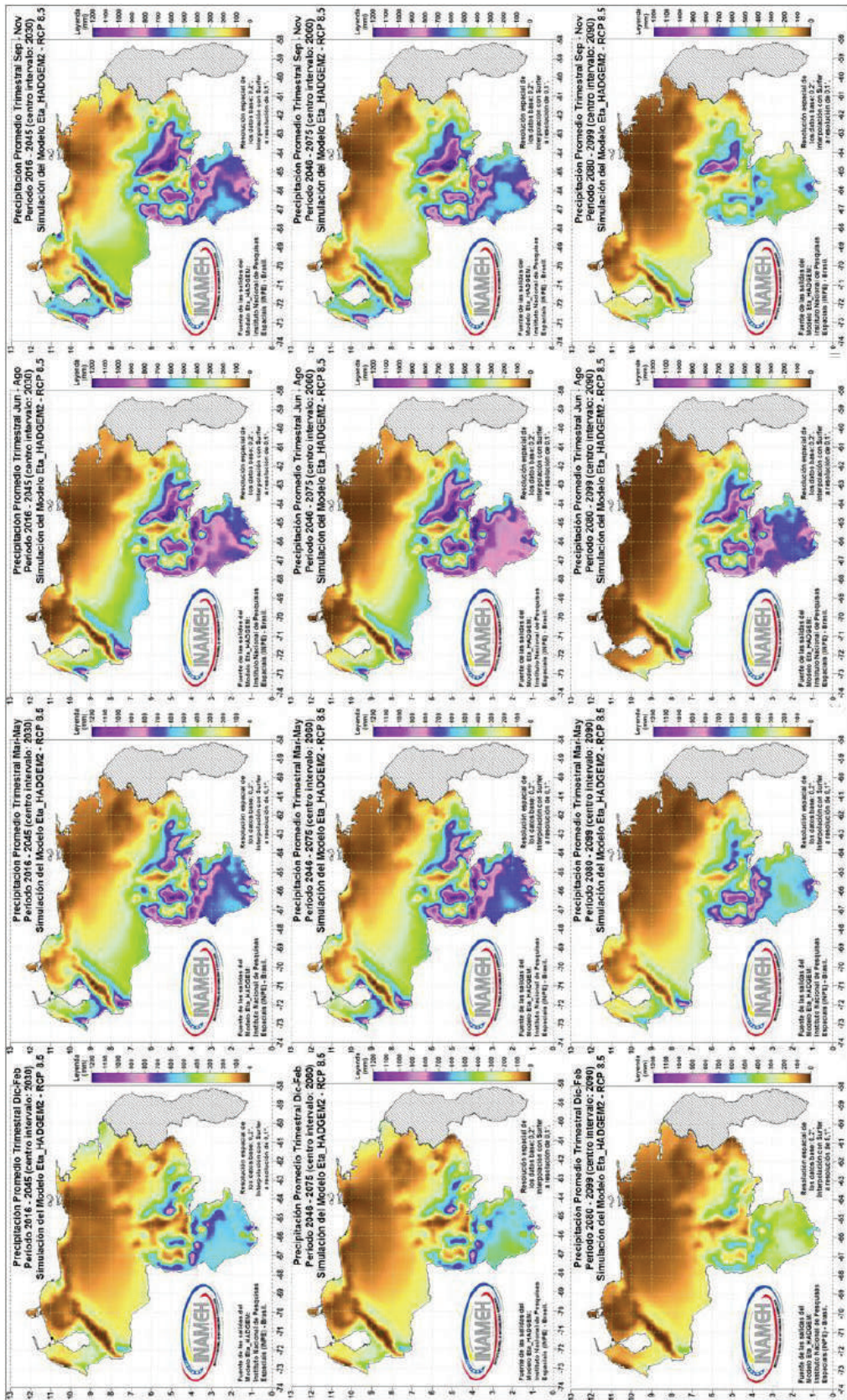


Figura 3.22 Precipitación media trimestral para los períodos 2030, 2060 y 2090, simulada por el modelo Eta_HADGEM2 (RCP8.5)

3.1.5 Comparación de las simulaciones de precipitación media entre escenarios

Con base en el cálculo de los estadísticos espaciales de las grillas que cubren el territorio nacional, se observa que el Eta_MIROC5 sobreestima la precipitación en prácticamente la mitad del país, simulando valores futuros muy cercanos a los actuales, incluso a finales de siglo en el escenario pesimista, mientras que el Eta_HADGEM2 simula una muy fuerte reducción de la lluvia en al menos la mitad del país, de casi la mitad a finales de siglo en el escenario intermedio, y casi el 80% en el escenario pesimista. En la literatura internacional predomina la idea de que el futuro más plausible para todo el norte de Suramérica implica una reducción de la precipitación, de allí que los valores del Eta_MIROC5 deben ser tomados con precaución.

Para las zonas más lluviosas, representadas por el Percentil 90, ambos modelos simulan en general una reducción a futuro proporcionalmente menor que en el resto del país, y sorpresivamente el Eta_HADGEM2 simula incluso entre principios y mediados de siglo un incremento en el escenario pesimista respecto del intermedio, pero a finales de siglo presenta de nuevo una muy fuerte reducción; el incremento de la lluvia en el escenario pesimista podría ser indicativo de la ocurrencia de valores altos muy extremos en algunos de los años dentro de los períodos analizados, en algunas zonas del país. Para las zonas más secas, representadas por los valores del Percentil 1 y el mínimo histórico, ambos modelos simulan valores cercanos a este último. Respecto a la distribución trimestral de la precipitación, en la Figura 3.23 se presenta la mediana espacial (P50%).

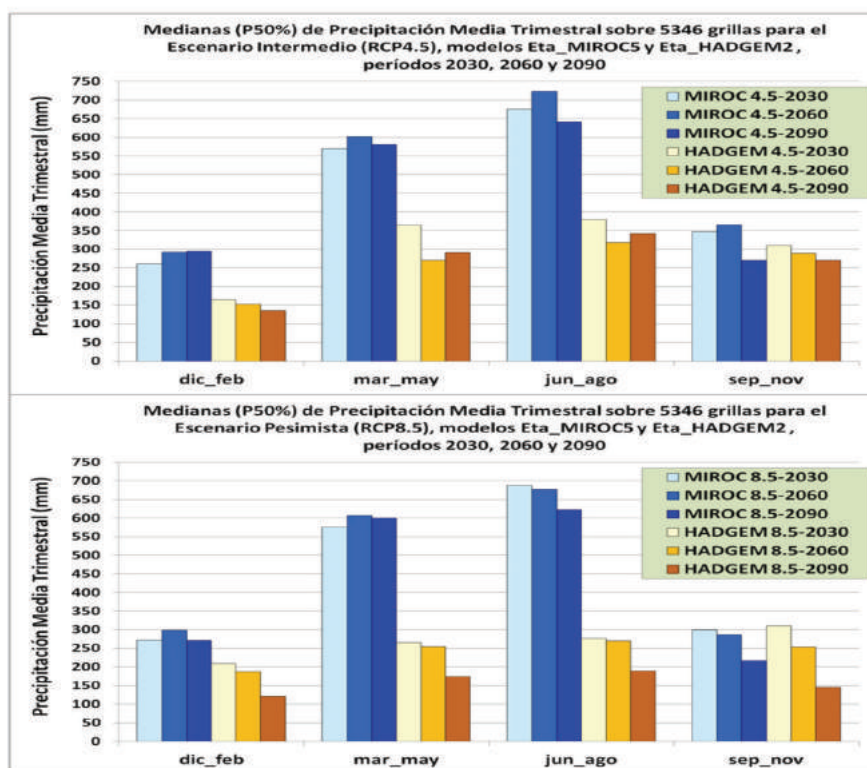


Figura 3.23 Medianas espaciales sobre 5346 grillas de 10 km de lado, de los valores de precipitaciones medias trimestrales, simuladas por los modelos Eta_MIROC5 y Eta_HADGEM2, bajo los escenarios intermedio (RCP4.5) y pesimista (RCP8.5), para los períodos 2030, 2060 y 2090.

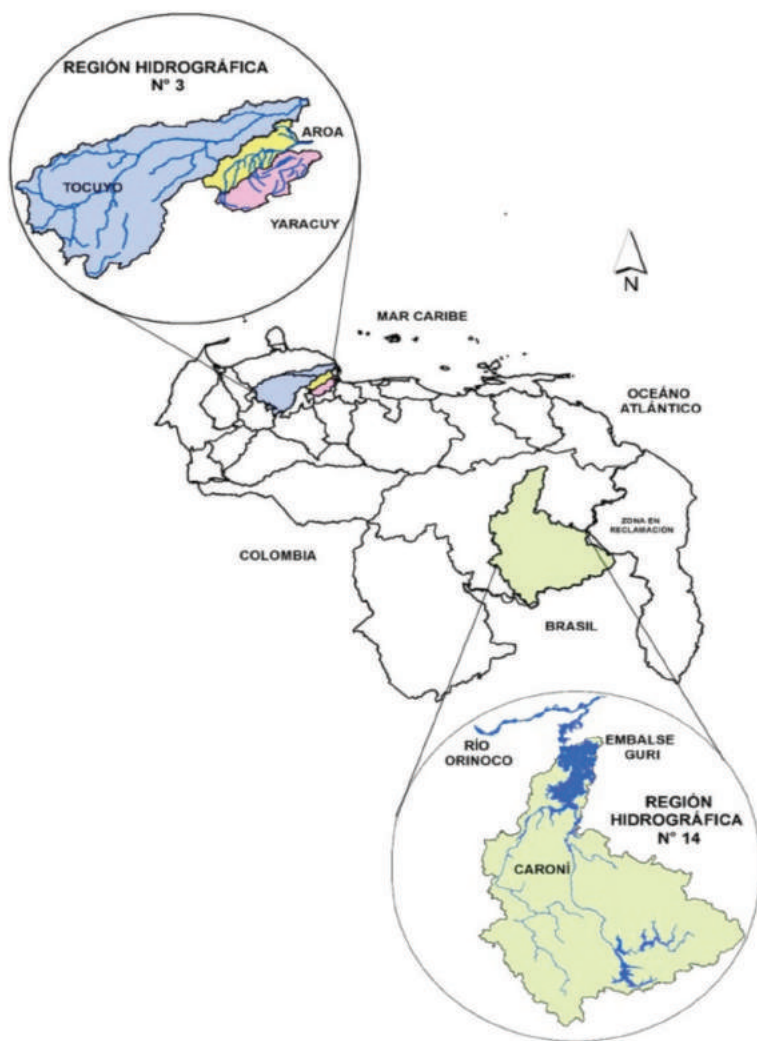
También aquí se observa la fuerte concentración del total anual de lluvia en los trimestres marzo-mayo y junio-agosto en el Eta_MIROC5, aunque debido a los valores sobreestimados que simula, siendo la proporción del trimestre septiembre-noviembre tan baja como la de diciembre-febrero, sus valores absolutos son razonables; un clásico ejemplo de un resultado final adecuado obtenido a través de supuestos en parte erróneos; se observa en todos los trimestres del escenario intermedio, y entre diciembre y mayo en el escenario pesimista, un incremento de la precipitación a mediados de siglo, y la reducción a finales de siglo. El Eta_HADGEM2 simula un ligero incremento de la lluvia a finales de siglo entre marzo y agosto en el escenario intermedio, pero en todos los demás casos simula sistemáticamente la reducción de la precipitación a lo largo del siglo XXI.

3.2 Efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos de cuatro cuencas de interés nacional (Figura 3.24), localizadas sobre dos regiones hidrográficas del país: la región 3, con las cuencas de los ríos Tocuyo, Yaracuy y Aroa, hasta sus descargas al mar Caribe; y la región 14, con la cuenca del río Caroní hasta el embalse Guri.

3.2.1 Metodología

La metodología está conformada por dos aspectos principales: cálculo de caudales mediante un modelo hidrológico de cuencas y predicción de la precipitación futura debido al cambio climático. Para calcular la esorrentía a la salida de las cuencas hidrográficas se aplicó un modelo conceptual lluvia-esorrentía de escala mensual y semidistribuido (SIHIM). La precipitación y la evaporación, debido al cambio climático en el futuro, se basó en las predicciones del grupo de modelos climáticos CMIP5, incluidos en el AR5-IPCC, procesadas y presentadas en el Portal CCAFS (Método Delta), y en los escenarios climáticos presentados por Inameh, basados en los resultados de la aplicación sobre Sur y Centro América del Modelo Regional de Clima ETA, realizada por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil (INPE).



Región Hidrográfica 3

Cuenca del río Yaracuy

Región centro-occidental de Venezuela. Superficie de 2.368 km² hasta su desembocadura en el mar Caribe y 130 km de longitud de cauce. Tiene el embalse Cumaripa en la parte alta.

Cuenca del río Aroa

Región centro-occidental de Venezuela. Superficie de 2.238 km² hasta su desembocadura en el mar Caribe y 150 km de longitud de cauce.

Cuenca del río Tocuyo

Región centro-occidental de Venezuela. Superficie de 17.676 km² hasta su desembocadura en el mar Caribe. Tiene dos grandes subcuencas: la del río Morere y la denominada Tocuyo Alto, esta última con dos embalses: Dos Cerritos y Atarigua.

Región Hidrográfica 14

Cuenca del río Caroní

Estado Bolívar, región sur-oriental de Venezuela. Superficie aproximada de 95.000 km² hasta su desembocadura en el río Orinoco. Afluentes principales, los ríos Caroní y Paragua. Hidrografía de toda la cuenca drena al embalse Guri de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar.

Figura 3.24 Cuencas hidrográficas evaluadas en la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático.

El modelo SIHIM calibrado se aplicó, en primer lugar, utilizando como dato de entrada la precipitación y evaporación de un período base o de referencia de treinta años de longitud. Se consideraron diferentes períodos de línea base: 1961-1990 y 1971-1999. El primer período, necesario para calcular las anomalías debido al cambio climático al aplicar el Programa de Investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS), debido a que esa es la línea base de sus proyecciones; y el segundo, para el caso del modelo regional ETA, por ser la línea base de los escenarios desarrollados por el Inameh. En esta etapa se generó la esorrentía de línea base en cada cuenca y para diferentes puntos de flujo.

En segundo lugar, el modelo SIHIM calibrado se aplicó en cada cuenca de estudio considerando como dato de entrada la precipitación y evaporación correspondiente a cambio climático. Para ello se consideraron las proyecciones de los Modelos Climáticos Globales, también conocidos como Modelos Generales de Circulación atmosférica-oceánica (GCM,

por sus siglas en inglés), los cuales constituyen la única herramienta disponible para conocer el impacto del cambio climático en la precipitación y evaporación en períodos futuros. Esta actividad se desarrolló utilizando dos fuentes de información sobre las proyecciones a futuro de la precipitación: CCAFS y ETA-INPE. En el primer caso se trata de proyecciones de precipitación calculadas por la gama de Modelos Climáticos Globales incluidos en AR5-IPCC, las cuales fueron procesadas y publicadas por CCAFS (Método Delta). El segundo caso se refiere a los resultados del modelo ETA, el cual es un Modelo Regional del Clima (RCM, por sus siglas en inglés), que fue ejecutado por INPE-Brasil considerando dos condiciones de borde tomadas de los resultados de los modelos: HADGEM2-ES y MIROC5.

CCAFS-Método DELTA

En una primera etapa de evaluación del impacto del cambio climático en la escorrentía de las cuencas en estudio, se utilizaron los datos de precipitación proyectada por el grupo de Modelos Climáticos Globales AR5-IPCC (CMIP5) previamente reducidas de escala mediante el Método Delta (anomalías interpoladas a 1 km² de resolución) desarrollado por el Programa de Investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Los datos son proporcionados gratuitamente en su portal <http://www.ccafs-climate.org>. Se utilizaron las anomalías de precipitación proyectadas por 32 modelos CMIP5 para dos escenarios climáticos (RCP4.5, calentamiento intermedio, y RCP8.5, calentamiento elevado) y tres períodos futuros (2016-2045, denominado 30s; 2046-2075, o 50s; y 2066-2095, u 80s). Las anomalías (%) distintas para cada mes del año y para cada estación hidrometeorológica, se aplicaron a los valores medidos en las estaciones locales de cada cuenca, obteniéndose así la precipitación futura debido al cambio climático.

Con el propósito de extraer de los mapas ráster CCAFS los datos para cada punto de estación, dado el elevado volumen de información a procesar, se desarrollaron scripts para la semiautomatización del proceso. Destaca la amplitud o variabilidad de proyecciones hechas por los 32 modelos CMIP5 sobre un mismo sitio; como se ilustra en la Figura 3.25 para una estación de ejemplo, Río Tocuyo (serial 1261), donde se indica (Figura 3.25a) la precipitación normal del período futuro denominado 30s (2016-2045), escenario climático RCP8.5. Los valores son el resultado de procesar 384 archivos .asc (32 modelos x 12 meses). De las anomalías ordenadas (Figura 3.25b), se aprecia que 25 de 32 casos (78%), predicen reducción de la precipitación para el sitio de la estación, siendo la mayor anomalía -25% (bcc_csm1_1). La situación es de mayor incertidumbre al evaluar las proyecciones mensuales.

Debido a la imposibilidad de evaluar las proyecciones de precipitación de todos los modelos climáticos, se consideraron tres valores percentiles del conjunto de precipitaciones proyectadas: 10%, 30% y 50%. Tales resultados se denominarán, respectivamente, Ensamble 10%, Ensamble 30% y Ensamble 50%. Un ejemplo es la Tabla 3.1, para el mes de enero, RCP8.5, período 30s, donde se presentan los valores percentiles para una muestra del conjunto de estaciones utilizadas en la cuenca del río Tocuyo.

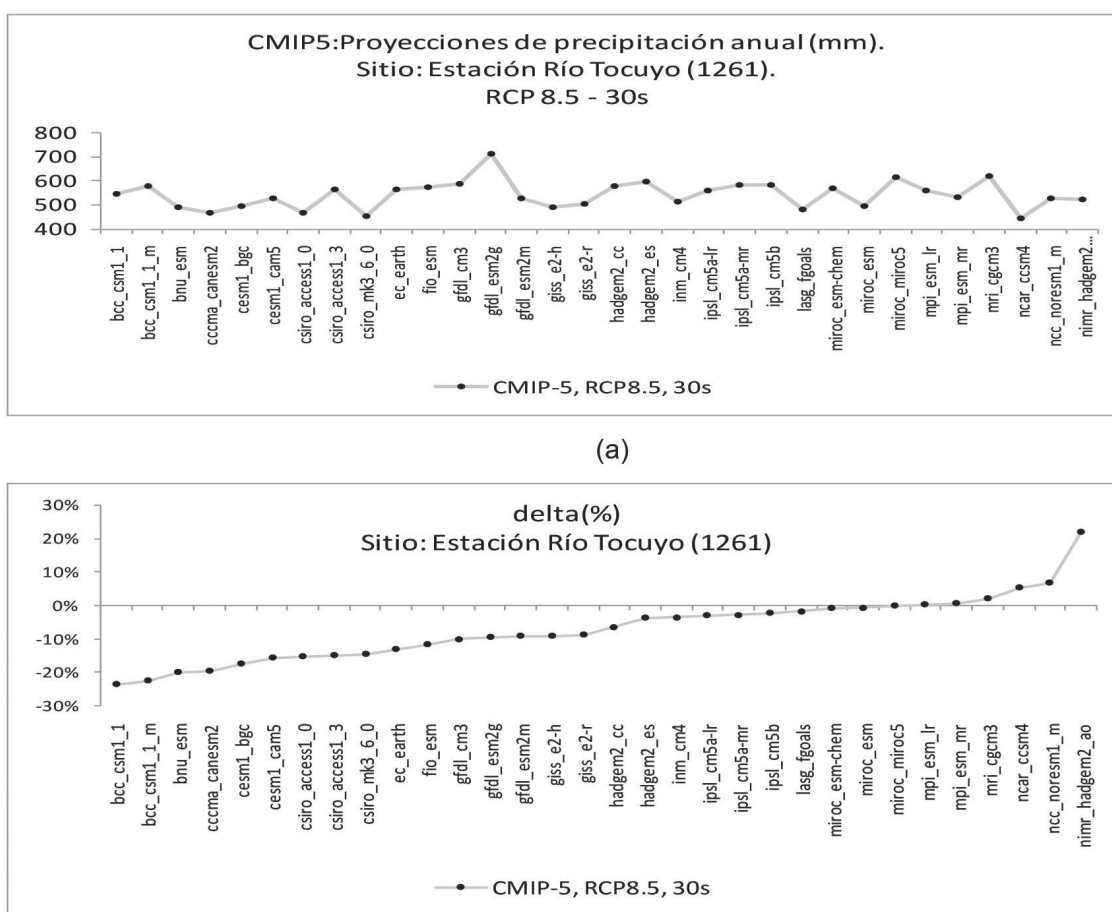


Figura 3.25 Precipitación futura, período 30s, escenario RCP8.5, proyectada por el grupo de modelos climáticos CMIP5 sobre el emplazamiento de la estación Río Tocuyo (1291): a) Precipitación anual (mm) y (b) Delta o anomalía porcentual (período base 1960-1990).

Modelo ETA-INPE

Se aplicaron las proyecciones climáticas generadas por el Modelo Regional ETA, versión del Instituto de Pesquisas de Brasil (INPE). Específicamente las precipitaciones simuladas, usando como condiciones de borde los resultados de dos modelos climáticos globales: MIROC5 y HADGEM2-ES. Los datos fueron obtenidos, procesados y distribuidos por el Inameh.

Una vez identificada la celda correspondiente a cada estación, se extrajeron las series de tiempo mensuales y se aplicaron en los archivos de entrada del modelo SIHIM, según el período de tiempo futuro (30s, 60s, 90s), escenario climático (RCP4.5 y RCP8.5) y modelo global usado en ETA (HADGEM2 y MIROC5).

En una primera instancia se pudo comprobar la existencia de sesgos importantes en la magnitud de la precipitación simulada por los modelos climáticos, en comparación con los registros de las estaciones locales. En consecuencia, fue necesario aplicar previamente factores mensuales de corrección del sesgo, definidos como la relación de promedios de precipitación entre cada estación local y el modelo climático; los cuales se calcularon usando el período de tiempo común 1971-2000.

Tabla 3.1 Cálculo percentil de la precipitación proyectada por el ensamble de modelos sobre algunas estaciones climáticas de la cuenca del río Tocuayo. RCP8.5. Futuro: 30s

RCP 8.5 - 30s		estaciones climáticas																																			
enero		Riechto	1213 Santa Cruz Bucaral	1218 Mapara	1218 El Mene	1219 Santa Rosa	1296 Tocuayo de La Costa	1125 Las Lapas	1147 Los Pedernales	1148 El Carrizal	1150 El Mojino	1152 La Porteria	1174 Quebrada Arriba	1175 Puritauré	1176 San Francisco	1177 Altigracia	1186 Burete	1187 Caranca-Granja	1198 Sabana Grande-T.S.	1199 Los Arangues	1203 Cambural	1204 Canape	1205 Miraflores	1227 Las Guabinas	1231 Baragua	1233 Siquisique	1238 Moroturo	1241 La Union	1261 Rio Tocuayo	1265 Bobare	1268 Duaca	1271 Arenales	1272 Banco de Baragua	1273 Turturina-San Pablo	1274 Guadalupe	1304 Pueblo Nuevo	
modelo_CMIP5	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215
bcc_csm1_1	74	38	19	61	64	52	72	17	19	14	15	24	29	16	13	19	17	26	27	9	10	30	36	4	5	19	16	13	10	15	18	10	14	19	77		
bcc_csm1_1_m	76	40	21	65	68	56	75	19	21	15	16	25	30	18	15	21	19	28	29	11	12	33	38	6	7	21	18	15	12	18	20	12	16	21	80		
bnu_esm	74	38	19	62	65	53	72	17	19	14	15	24	29	16	13	19	17	26	27	9	10	30	36	4	5	19	16	13	10	15	18	10	14	19	77		
ccsma_canesm2	71	35	17	59	62	50	69	15	17	12	13	22	27	14	11	17	15	24	25	7	8	28	33	2	3	17	14	11	8	13	16	8	12	17	74		
cesm1_bgc	65	29	11	53	55	44	62	12	14	9	11	20	26	12	8	16	13	22	24	2	6	23	27	2	2	11	8	8	4	8	14	5	9	15	67		
cesm1_cam5	76	40	21	64	67	55	74	20	22	17	18	27	32	19	16	22	20	29	30	12	13	32	38	6	7	21	18	16	13	17	21	13	17	22	79		
csiro_access1_0	74	38	20	62	65	52	72	18	20	15	16	25	30	17	14	20	18	27	28	10	11	31	37	5	6	20	17	14	11	16	19	11	15	20	77		
csiro_access1_3	75	39	20	63	66	54	73	18	20	15	16	25	30	17	14	20	18	27	28	10	11	31	37	5	6	20	17	14	11	16	19	11	15	20	78		
csiro_mk3_6_0	68	32	14	55	59	46	66	13	15	10	12	21	26	13	10	16	14	23	25	5	8	27	31	0	1	15	12	10	7	12	15	7	11	17	72		
ec_earth	76	40	21	64	67	55	74	18	20	15	16	25	30	17	14	20	18	27	28	11	11	32	38	5	6	21	18	14	12	17	19	11	15	20	79		
fi0_esm	76	40	21	64	67	55	74	19	21	16	17	25	30	17	15	20	18	27	28	11	12	32	38	6	7	21	18	15	12	17	20	12	16	21	79		
gfdl_cm3	76	40	21	64	67	55	74	19	21	16	17	26	31	18	15	21	19	28	29	11	12	32	38	6	7	21	18	15	12	17	20	12	16	21	79		
gfdl_esm2g	128	88	60	115	118	105	124	40	41	29	29	41	47	36	35	40	42	51	51	44	41	72	86	31	38	65	59	41	47	56	46	42	45	49	128		
gfdl_esm2m	60	26	10	47	50	38	57	12	14	11	13	22	27	12	9	16	13	22	23	1	4	20	24	2	2	8	6	8	2	5	13	3	8	13	63		
giss_e2	68	33	15	55	58	46	65	14	16	11	12	22	27	13	10	16	14	23	24	5	6	25	31	1	2	14	12	10	6	10	15	6	10	15	71		
giss_e2	75	39	20	63	66	54	73	17	19	14	15	24	29	16	13	19	17	26	27	10	11	31	37	5	6	20	17	13	11	16	18	11	15	19	78		
inm_cm4	73	37	18	60	63	51	70	17	19	14	15	24	29	16	13	19	17	26	27	9	10	29	35	4	5	18	15	13	10	14	18	10	14	19	76		
ipsl_cm5a	73	36	17	61	64	52	70	14	16	12	13	22	27	13	10	16	14	23	24	6	7	27	34	2	3	16	13	10	7	12	15	11	16	75			
ipsl_cm5a	76	40	21	64	67	55	74	20	22	17	18	27	32	19	16	22	20	29	30	12	13	33	39	6	7	22	18	16	13	18	21	13	17	22	80		
ipsl_cm5b	74	39	20	62	65	53	72	18	20	15	16	25	30	17	14	20	18	27	28	10	11	31	37	5	6	20	17	14	11	16	19	11	15	20	77		
lasg_fggoals	73	37	18	60	64	52	71	16	18	13	14	23	28	15	12	18	16	25	26	8	9	29	35	3	4	18	15	12	9	14	17	9	13	18	76		
miroc_esm	75	39	20	63	66	54	73	18	20	15	16	25	30	17	14	20	18	27	28	10	11	31	37	5	6	20	17	14	11	16	19	11	15	20	78		
miroc_esm	73	37	18	61	64	52	71	17	19	13	15	24	29	16	13	19	17	26	27	9	10	30	35	4	5	19	15	13	10	15	18	10	14	19	76		
miroc_miroc5	77	41	22	66	68	57	74	20	22	17	18	27	32	19	16	22	20	29	30	11	12	31	38	7	7	21	18	16	12	16	20	12	16	21	78		
mohc_hadgem2_cc	73	37	18	60	63	51	70	16	18	14	14	23	27	15	12	17	15	24	25	8	8	28	35	4	4	18	15	12	8	13	16	8	12	17	75		
mohc_hadgem2_es	74	38	19	62	65	53	72	17	20	15	16	24	29	16	13	19	17	25	26	9	9	29	36	4	5	19	16	13	10	14	18	9	13	18	76		
mpi_esm_lr	73	37	18	61	64	52	71	15	17	11	12	21	26	14	11	17	15	24	25	8	9	29	35	3	4	18	15	11	9	14	16	9	13	18	76		
mpi_esm_mr	74	38	19	62	65	54	72	15	17	12	13	22	27	14	11	17	16	24	25	8	9	30	36	3	5	19	16	12	10	15	17	9	13	18	77		
mri_cgcm3	74	38	19	62	65	53	72	17	19	15	16	25	29	16	13	19	17	26	27	9	10	30	36	4	5	19	16	13	10	15	18	10	14	19	77		
ncar_ccsm4	77	41	22	65	68	56	75	18	20	15	16	25	30	17	14	20	18	27	27	11	11	32	39	6	7	22	18	14	12	17	19	11	15	20	80		
ncc_noresm1_m	73	38	19	61	64	52	71	18	20	15	16	25	30	17	14	20	18	27	28	10	11	30	36	5	6	19	16	14	11	15	19	11	15	20	77		
nimr_hadgem2_ao	75	40	21	63	66	54	74	20	22	17	19	28	33	20	17	23	21	30	31	12	13	33	38	7	8	21	18	17	13	18	22	13	17	23	79		

ensamble Percentil	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215
0.01	62	27	10	49	52	40	59	12	14	9.3	11	20	26	12	8.3	16	13	22	23	1.3	4.6	21	25	0.3	1.3	8.9	6.6	8	2.6	5.9	13	3.6	8.3	14	64		
0.05	67	31	13	54	57	45	64	13	15	11	12	21	26	13	9.6	16	14	23	24	3.7	6	24	29	1.6	2	13	10	9.1	5.1	9.1	15	5.6	9.6	15	69		
0.1	68	33	15	55	59	46	66	14	16	11	12	22	27	13	10	16	14	23	24	5.1	7.1	27	31	2	2.1	15	12	10	7	12	15	7	11	16	72		
0.2	73	37	18	60	63	51	70	15	17	12	13	22	27	14	11	17	15	24	25	8	8.2	28	35	3	4	18	15	11	8.2	13	16	8.2	12	17	75		
0.3	73	37	18	61	64	52	71	16	18	13	14	23	28	15	12	18	16	25	26	8.3	9	29	35	4	5	18	15	12	10	14	17	9	13	18	76		
0.4	74	38	19																																		

precipitaciones utilizadas como dato de entrada al modelo SIHIM, transformando las series de tiempo originales mediante un factor corrector del sesgo).

Así, por ejemplo, según Eta_MIROC5, RCP8.5, período 90s, el valor central del conjunto de 28 estaciones fue -24%, con un valor mínimo de -39% y un máximo de -16%. Un signo negativo indica que se trata de reducción de precipitación y el valor absoluto la magnitud de la anomalía. Así, siguiendo el ejemplo, la máxima anomalía fue -39% (decrecimiento de 39%) y la mínima -16% (decrecimiento de 16%). Para el mismo escenario climático y período futuro, Eta_HADGEM2-ES produjo máximas anomalías de -66%, siendo el valor central -34% (en una estación se produjo una máxima anomalía positiva de 60%).

Las anomalías medias señaladas anteriormente (-34% Eta_HADGEM2-ES y -24% Eta_MIROC5) rondan el valor obtenido con CCAFS-Ensamble 10% (solo el diez por ciento del conjunto de modelos proyectaron anomalías de igual o mayor magnitud), el cual fue -22%. Considerando CCAFS-Ensamble 50% la anomalía proyectada sería -8% (la mitad de los modelos proyectaron anomalías mayores y la otra mitad anomalías menores).

En la Figura 3.26, mitad de siglo (50s con CCAFS y 60s para ETA), se ilustra la distribución espacial de las anomalías (cada punto es una estación climática). Destaca la mayor variabilidad espacial de la anomalía con el modelo ETA, lo cual es una ventaja intrínseca de un Modelo Regional de Clima; también sobresalen las mayores magnitudes de las anomalías de ETA en comparación a las de CCAFS-Ensamble 50%. Con Eta_HADGEM2 ES se aprecia un marcado incremento de las anomalías entre RCP4.5 y RCP8.5; a diferencia de Eta_MIROC5, donde el cambio es menos marcado, y de CCAFS, donde no se aprecian cambios significativos.

Tabla 3.2 Cuenca del río Caroní. Impacto del cambio climático en la precipitación anual (Anomalías %)

	RCP4.5			RCP8.5		
	30s (2016-2045)	50s (2066-2095)	80s (2066-2095)	30s (2016-2045)	50s (2066-2095)	80s (2066-2095)
CCAFS Método Delta: Ensamble 10%						
mínimo	-22%	-27%	-30%	-20%	-30%	-48%
máximo	-7%	-9%	-12%	-7%	-11%	-17%
mediana	-9%	-12%	-15%	-9%	-14%	-22%
CCAFS Método Delta: Ensamble 30%						
mínimo	-11%	-13%	-15%	-11%	-16%	-27%
máximo	-3%	-4%	-5%	-3%	-5%	-8%
mediana	-5%	-7%	-8%	-5%	-8%	-13%
CCAFS Método Delta: Ensamble 50%						
mínimo	-6%	-7%	-8%	-6%	-9%	-17%
máximo	0.1%	-1%	-2%	0.1%	-2%	-4%
mediana	-2%	-4%	-4%	-2%	-4%	-8%
	30s (2016-2045)	60s (2046-2075)	90s (2080-2099)	30s (2016-2045)	60s (2046-2075)	90s (2080-2099)
Eta_MIROC5						
mínimo	-20%	-19%	-25%	-24%	-25%	-39%
máximo	-8%	-6.5%	-13%	-13%	-9.7%	-16%
mediana	-15%	-10%	-19%	-17%	-15%	-24%
Eta_HADGEM2-ES						
mínimo	-13%	-26%	-29%	-26%	-37%	-66%
máximo	20%	19%	14%	24%	40%	60%
mediana	2%	-8%	-9%	-10%	-13%	-34%

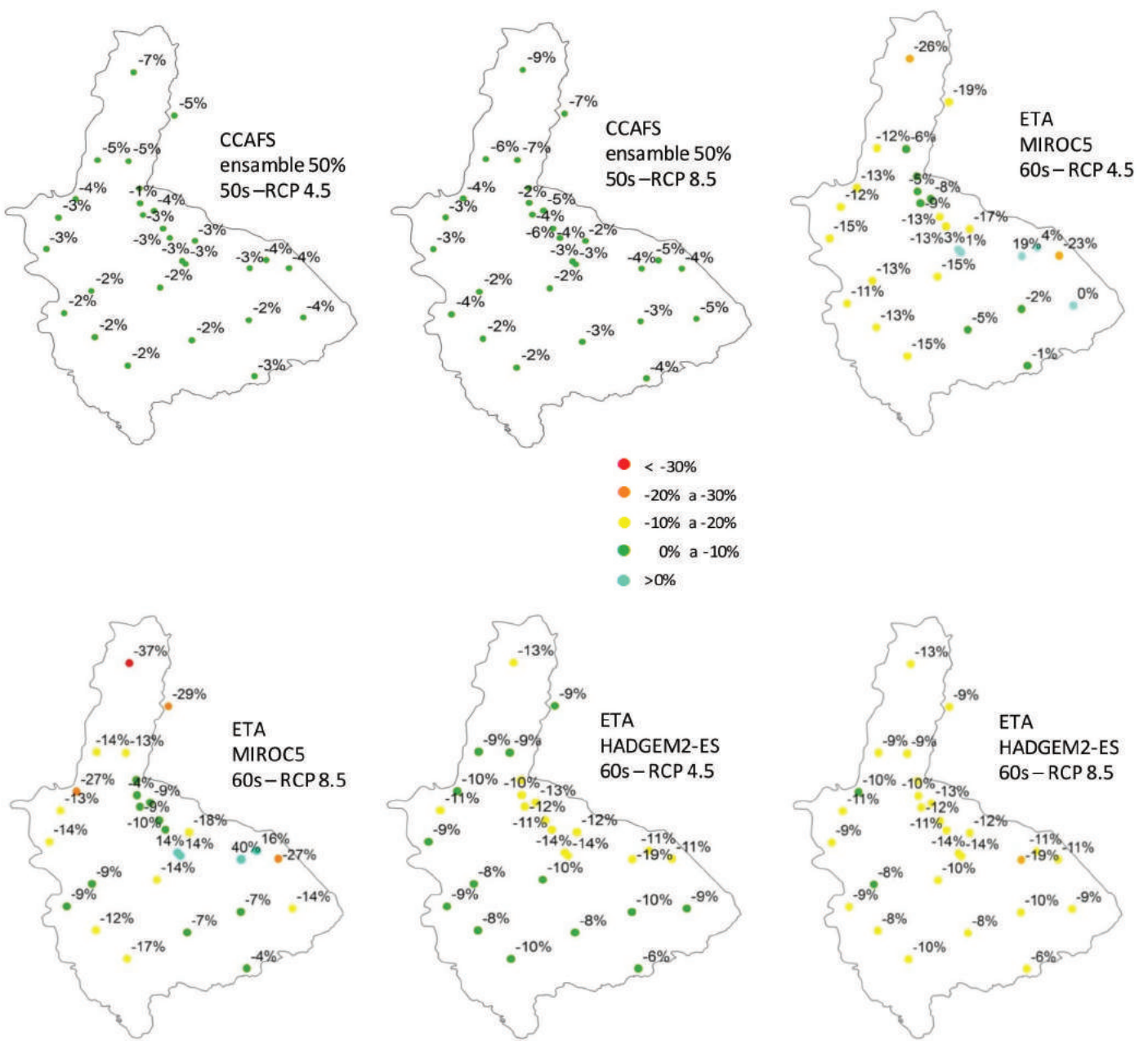


Figura 3.26 Cuenca del río Caroní. Distribución espacial del impacto del cambio climático en la precipitación anual (Anomalía en %)

Impacto del cambio climático en la escorrentía

El caudal medio anual del río Caroní, afluente al embalse Guri, tendrá una reducción en el futuro como consecuencia del cambio climático (ver Tabla 3.3 y Figura 3.27). Los resultados obtenidos con ETA, escenario 4.5 (intermedio), señalan para mediados de siglo (60s) anomalías de -11% (HADGEM2-ES) y -22% (MIROC5), las cuales serán más severas según el escenario RCP8.5: -35% (HADGEM2-ES) y -25% (MIROC5). Considerando los resultados CCAFS-Ensamble 50%, las anomalías apenas alcanzarían -6% a finales de siglo (80s) con el escenario RCP8.5.

Tabla 3.3 Cuenca del río Caroní: embalse Guri. Impacto del cambio climático en el caudal anual medio.

Modelo		Caudal (m ³ /s)			Anomalías (%)		
LB (1980-1999)	Base	5.369					
CCAFS-50%w	RCP	30s	50s	80s	30s	50s	80s
	4.5	5.255	5.199	5.175	-2%	-3%	-4%
	8.5	5.270	5.184	5.024	-2%	-3%	-6%
Eta_HADGEM2_ES	RCP	30s	60s	90s	30s	60s	90s
	4.5	5.476	4.799	4.710	2%	-11%	-12%
	8.5	4.794	3.471	5.109	-11%	-35%	-5%
Eta_MIROC5	4.5	4.622	4.209	4.045	-14%	-22%	-25%
	8.5	4.370	4.022	3.731	-19%	-25%	-31%

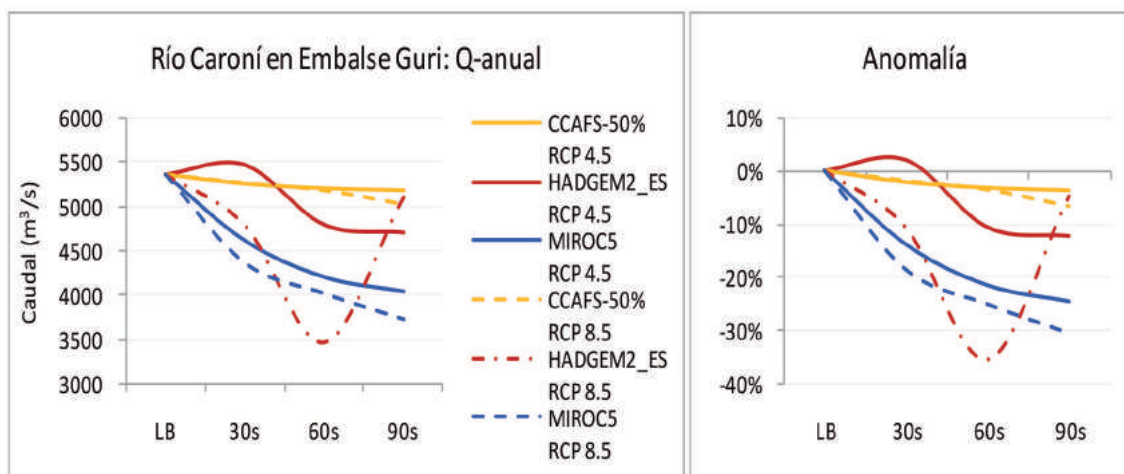


Figura 3.27 Cuenca del río Caroní: embalse Guri. Impacto del cambio climático en el caudal anual medio.

Con el propósito de evaluar el impacto del cambio climático sobre la gama de valores de escorrentía de distintas frecuencias, se elaboraron curvas de duración de caudales (CDC) anuales (Tabla 3.4 y Figura 3.28) y mensuales (Figura 3.29).

Tabla 3.4 Cuenca del río Caroní: embalse Guri. Impacto del cambio climático en la curva de duración de caudales anuales. RCP8.5

Modelo climático	Período	Probabilidad de excedencia											
		0.99	0.975	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
Caudales (m³/s)													
LB (1980-1999)	base	4.241	4.464	4.835	4.904	4.940	4.964	5.003	5.035	5.132	5.186	5.219	5.308
CCAFS-Ensamble 50%	30s	4.180	4.389	4.737	4.832	4.843	4.884	4.912	4.936	5.043	5.107	5.130	5.193
	50s	4.109	4.314	4.655	4.756	4.767	4.802	4.835	4.868	4.961	5.021	5.046	5.105
	80s	3.990	4.176	4.487	4.597	4.641	4.679	4.692	4.717	4.803	4.874	4.907	4.936
Eta-HADGEM2_ES	30s	3.387	3.478	3.632	3.908	4.018	4.058	4.076	4.393	4.664	4.852	4.945	5.069
	60s	3.311	3.373	3.476	3.657	4.080	4.221	4.287	4.311	4.357	4.680	5.052	5.274
	90s	2.205	2.308	2.478	2.633	2.847	2.918	2.952	2.969	2.983	3.025	3.094	3.274
Eta-MIROC5	30s	3.017	3.038	3.072	3.083	3.106	3.116	3.216	3.250	3.271	3.290	3.347	3.402
	60s	3.032	3.127	3.285	3.445	3.488	3.621	3.755	3.814	3.996	4.108	4.125	4.169
	90s	2.824	2.834	2.852	2.859	2.955	3.024	3.195	3.323	3.381	3.495	3.575	3.692
Anomalías (%)													
CCAFS-Ensamble 50%	30s	-1%	-2%	-2%	-1%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%
	50s	-3%	-3%	-4%	-3%	-4%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-4%
	80s	-6%	-6%	-7%	-6%	-6%	-6%	-6%	-6%	-6%	-6%	-6%	-7%
Eta-HADGEM2_ES	30s	-20%	-22%	-25%	-20%	-19%	-18%	-19%	-13%	-9%	-6%	-5%	-4%
	60s	-22%	-24%	-28%	-25%	-17%	-15%	-14%	-14%	-15%	-10%	-3%	-1%
	90s	-48%	-48%	-49%	-46%	-42%	-41%	-41%	-41%	-42%	-42%	-41%	-38%
Eta-MIROC5	30s	-29%	-32%	-36%	-37%	-37%	-37%	-36%	-35%	-36%	-37%	-36%	-36%
	60s	-29%	-30%	-32%	-30%	-29%	-27%	-25%	-24%	-22%	-21%	-21%	-21%
	90s	-33%	-37%	-41%	-42%	-40%	-39%	-36%	-34%	-34%	-33%	-31%	-30%

Se observan con ETA apreciables anomalías negativas en las CDC anuales, siendo mayores en el rango de probabilidades de excedencia superiores a 0,5. Eta_MIROC5 y Eta_HADGEM2-ES produjeron en los 90s anomalías alrededor de -40% en ese rango de probabilidades; pero en los 30s y 60s Eta_HADGEM2 ES presentó anomalías muy bajas en comparación con las de los 90s. A diferencia de los modelos anteriores, con CCAFS Ensamble 50% resultaron anomalías alrededor de -7% (90s), -3% (60s) y -2% (30s).

En las CDC mensuales el comportamiento es parecido al planteado anteriormente para las CDC anuales, pero las magnitudes de los caudales es diferente (ver Figura 3.29). La diferencia notable son las CDC mensuales de Eta_HADGEN2-ES para los 30s y 60s, las cuales presentan anomalías positivas para probabilidades de excedencia mayores a 0,6, indicando un incremento de los caudales mensuales más frecuentes.

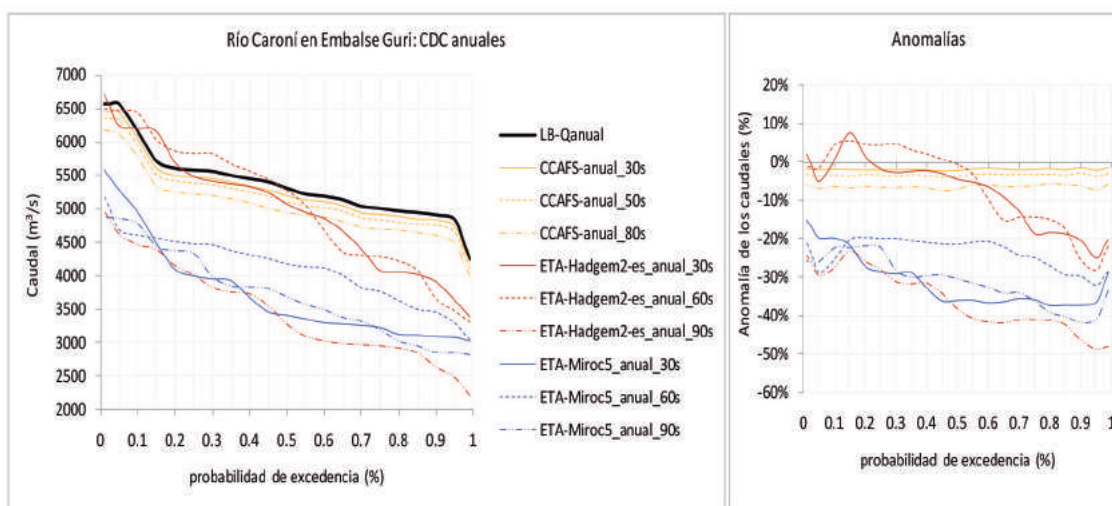


Figura 3.28 Cuenca del río Caroní: embalse Guri.
Impacto del cambio climático en la curva de duración de caudales anuales. RCP8.5

Un análisis particular de los caudales mensuales y anuales con probabilidades de excedencia de 95% (la escorrentía que ocurre 95% del tiempo) arrojó los resultados de la Tabla 3.5. Allí se presentan los caudales mensuales para cada mes del año (curva de variación estacional), el caudal medio anual y el caudal mensual global (columna cdm, se refiere al caudal mensual considerando el conjunto total de valores, sin discretizar en estaciones o meses del año).

El caudal anual de 95% tuvo un impacto de similar magnitud al del caudal anual promedio, presentado anteriormente, aunque con diferente comportamiento entre períodos futuros, como se ilustra en la Figura 3.30.

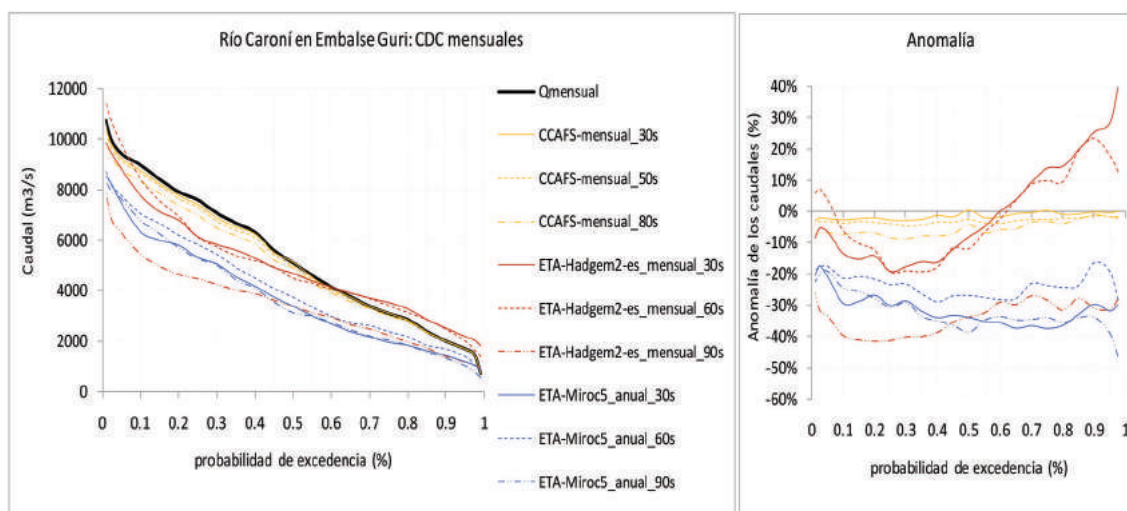


Figura 3.29 Cuenca del río Caroní: embalse Guri.
Impacto del cambio climático en la curva de duración de caudales mensuales. RCP8.5

Tabla 3.5 Cuenca del río Caroní: embalse Guri.
Impacto del cambio climático en los caudales con 95% de ocurrencia. RCP8.5

Modelo Climático	Período	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual	cdcm
Caudales (m ³ /s)															
LB (1980-1999)	base	2.172	1.840	1.358	1.346	2.082	4.675	6.451	7.530	6.553	5.302	4.287	3.191	4.835	1.709
CCAFS-Ensamble 50%	30s	2.148	1.829	1.361	1.352	2.099	4.667	6.373	7.370	6.395	5.138	4.186	3.130	4.737	1.704
	50s	2.114	1.803	1.351	1.334	2.051	4.557	6.298	7.300	6.330	5.067	4.132	3.090	4.655	1.683
	80s	2.079	1.790	1.371	1.338	2.057	4.440	6.066	7.059	6.143	4.870	4.007	3.006	4.487	1.676
Eta_HADGEM2_ES	30s	3.286	2.905	2.161	1.937	1.975	2.406	2.431	3.553	3.940	4.143	4.430	4.148	3.632	2.196
	60s	2.487	2.301	1.874	1.524	1.235	2.208	3.280	4.234	4.486	3.969	3.874	3.131	3.476	2.017
	90s	1.516	1.471	1.045	985	1.059	1.568	2.528	3.759	3.864	2.828	2.986	2.401	2.478	1.174
Eta_MIROC5	30s	3.286	2.905	2.161	1.937	1.975	2.406	2.431	3.553	3.940	4.143	4.430	4.148	3.632	2.196
	60s	2.487	2.301	1.874	1.524	1.235	2.208	3.280	4.234	4.486	3.969	3.874	3.131	3.476	2.017
	90s	1.516	1.471	1.045	985	1.059	1.568	2.528	3.759	3.864	2.828	2.986	2.401	2.478	1.174

Modelo Climático	Período	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual	cdcm
Anomalías (%)															
CCAFS-Ensamble 50%	30s	-1%	-1%	0%	0%	1%	0%	-1%	-2%	-2%	-3%	-2%	-2%	-2%	0%
	50s	-3%	-2%	0%	-1%	-1%	-3%	-2%	-3%	-3%	-4%	-4%	-3%	-4%	-2%
	80s	-4%	-3%	1%	-1%	-1%	-5%	-6%	-6%	-6%	-8%	-7%	-6%	-7%	-2%
ETA-HADGEM2 _ES	30s	51%	58%	59%	44%	-5%	-49%	-62%	-53%	-40%	-22%	3%	30%	-25%	29%
	60s	14%	25%	38%	13%	-41%	-53%	-49%	-44%	-32%	-25%	-10%	-2%	-28%	18%
	90s	-30%	-20%	-23%	-27%	-49%	-66%	-61%	-50%	-41%	-47%	-30%	-25%	-49%	-31%
ETA-MIROC5	30s	-46%	-40%	-39%	-15%	-7%	-23%	-22%	-30%	-40%	-46%	-47%	-50%	-36%	-32%
	60s	-46%	-48%	-50%	0%	42%	12%	-6%	-28%	-33%	-46%	-48%	-49%	-32%	-19%
	90s	-64%	-64%	-59%	-24%	9%	-9%	-17%	-32%	-38%	-45%	-49%	-53%	-41%	-39%

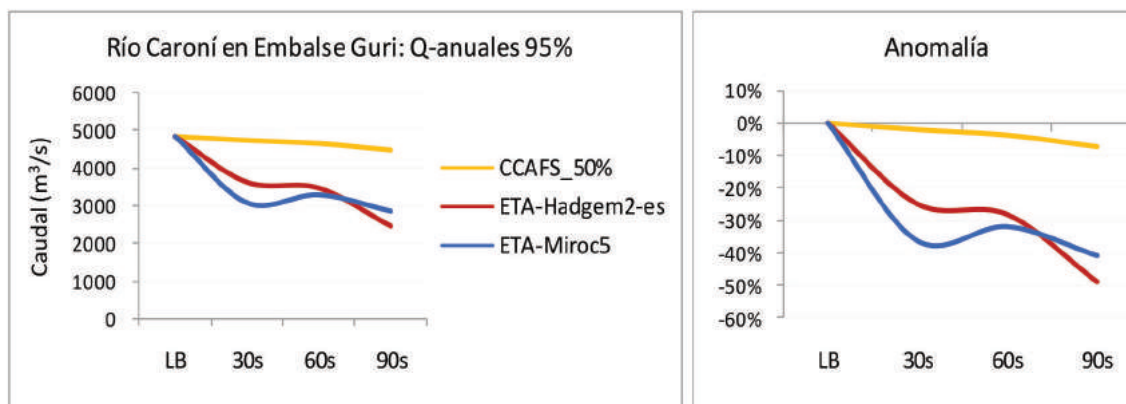


Figura 3.30 Cuenca del río Caroní: embalse Guri. Impacto del cambio climático en los caudales anuales de 95% de ocurrencia. RCP8.5

Según Eta_MIROC5, el caudal anual de 95% de ocurrencia descendería de 4.835 m³/s, calculado como línea base, a 3072 m³/s en los 30s (anomalía de -36%) y bajaría a 2.852 m³/s en los 90s (-41%). Según Eta_HADGEM2-ES decrecería a 2.478 m³/s en los 90s (-49%). CCAFS-Ensamble 50% produjo anomalías de solo -2%, descendiendo el caudal a 4.487 m³/s en los años 90.

Los caudales mensuales que ocurren el 95% del tiempo se ilustran en la Figura 3.31, donde puede observarse el comportamiento estacional de las anomalías a lo largo del año. Existen notables diferencias entre Eta_MIROC5 y Eta_HADGEM2-ES: considerando la curva de los 90s, se aprecia cómo de noviembre a marzo Eta_MIROC5 produjo mayores anomalías que Eta_HADGEM2-ES, pero de mayo a agosto ocurre lo contrario. Por otro lado, HADGEM3-ES, en los 30s y 60s, produce anomalías positivas en meses de estiaje (enero a marzo); MIROC5 solo en mayo de los 60s y 90s.

Con CCAFS-Ensamble 50%, las anomalías son siempre negativas, pero de baja magnitud, excepto en el mes de marzo de los tres períodos futuros. En los años 80, sin considerar marzo (1%), las anomalías mensuales variaron entre -1% (abril) y -8% (octubre).

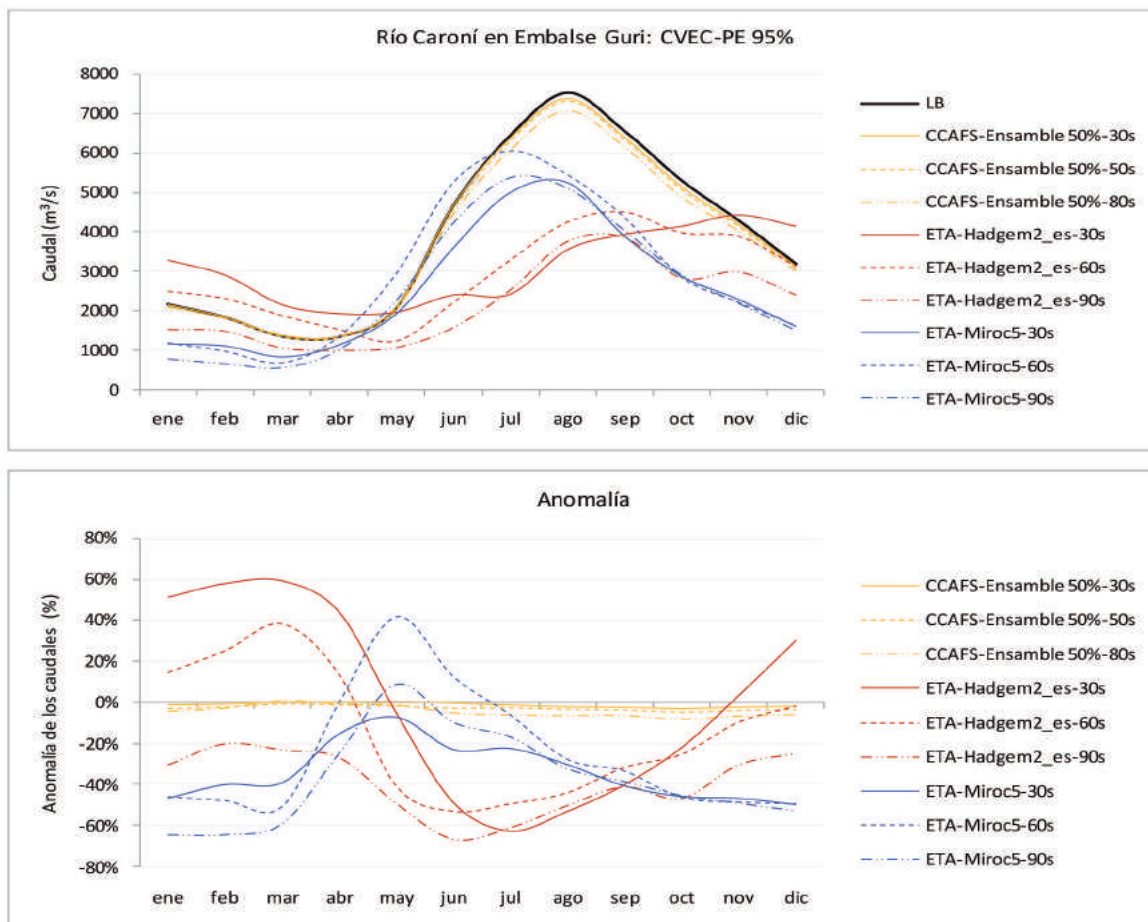


Figura 3.31 Cuenca del río Caroní: embalse Gurí.
Impacto del cambio climático en los caudales mensuales de 95% de ocurrencia. RCP8.5

La recarga de agua subterránea, debido a la infiltración de la lluvia, considerando toda la superficie drenada de la cuenca del río Caroní hasta el sitio de presa del embalse Gurí (87.166 km²), fue estimada indirectamente de los resultados intermedios del modelo SIHIM. Los resultados se presentan en la Tabla 3.6. Según CCAFS-Ensamble 50%, la recarga subterránea por infiltración prácticamente no será afectada; la máxima anomalía es la de finales de siglo (80s) con el escenario RCP8.5: -1,6%. Según Eta_MIROC5, las anomalías están entre -6% y -12%, dependiendo del período y escenario considerado. Las anomalías son similares con Eta_HADGEM2-ES, variando entre -7% y -13%.

Tabla 3.6 Cuenca del río Caroní. Impacto del cambio climático en la recarga anual subterránea

Período	Recarga	Anomalía	Período	Recarga	Anomalía	Recarga	Anomalía
	(m ³ /s)	(%)		(m ³ /s)	(%)	(m ³ /s)	(%)
	CCAFS Ensamble 50%			Eta_MIROC5		Eta_HADGEM2-ES	
RCP4.5							
30s (2016-2045)	604	-0,6%	30s (2016-2045)	572	-6%	546	-10%
50s (2036-2065)	604	-0,7%	60s (2046-2075)	569	-6%	562	-8%
80s (2066-2095)	603	-0,8%	90s (2080-2099)	550	-10%	568	-7%
RCP8.5							
30s (2016-2045)	603	-0,8%	30s (2016-2045)	550	-9%	531	-13%
50s (2036-2065)	603	-0,8%	60s (2046-2075)	554	-9%	555	-9%
80s (2066-2095)	598	-1,6%	90s (2080-2099)	536	-12%	539	-11%

3.2.3 Resultados, Región Hidrográfica 3 (cuencas de los ríos Yaracuy, Aroa y Tocuyo)

Impacto del cambio climático en la precipitación

Las proyecciones de precipitación de los Modelos Climáticos Globales indican que habrá una reducción de la precipitación anual en las cuencas de la Región Hidrográfica 3. Con ligeras excepciones, todos los modelos proyectaron anomalías negativas de la precipitación anual en los tres períodos de tiempo del futuro (ver Tabla 3.7). Los datos de la tabla se refieren a las anomalías en el sitio de emplazamiento de las 80 estaciones hidrometeorológicas consideradas en el estudio: valores mínimo, máximo y mediana del conjunto de estaciones. (En el caso del modelo ETA, los cálculos se basan en las precipitaciones utilizadas como dato de entrada al modelo SIHIM, no en los valores originales de precipitación simulados por ETA; los cuales difieren significativamente de aquellos registrados en las estaciones locales, obligando a transformar las series de tiempo originales mediante un factor corrector del sesgo).

Eta_HADGEM2-ES presentó los mayores impactos, con anomalías negativas superiores a -30% en casi todos los casos, siendo Yaracuy la cuenca con mayores anomalías: la mediana estadística para RCP8.5 resultó superior a -40% alcanzando máximos puntuales cercanos a -80%.

Eta_MIROC5 proyectó anomalías más moderadas: los valores puntuales extremos variaron entre -10% y -30% y los valores medios entre -1% y -16%, dependiendo de la cuenca, escenario climático y período del futuro observado. CCAFS proyectó anomalías negativas más bajas. Con Ensamble 50% las anomalías medianas fueron menores a -10% en todos los casos, excepto en los años 80s con RCP8.5 donde alcanzó valores de -15%. Solo con el Ensamble 10% se presentaron máximas anomalías puntuales superiores a -30%.

En algunas estaciones de la cuenca del río Tocuyo y Yaracuy se produjeron anomalías positivas. Así, por ejemplo, HADGEM2-ES proyectó anomalías extremas en alguna estación entre 20% y 57%, según escenario climático y período futuro observado.

Tabla 3.7 Región Hidrográfica 3. Impacto del cambio climático en la precipitación anual (Anomalías %)

Cuenca	Modelo	Valor	RCP4.5			RCP8.5		
			30s	50s 60s	80s 90s	30s	50s 60s	80s 90s
Yaracuy	CCAFS Ensamble 10%	mínimo	-19%	-28%	-33%	-24%	-33%	-52%
		máximo	-11%	-17%	-21%	-15%	-20%	-33%
		mediana	-13%	-20%	-24%	-17%	-23%	-37%
	CCAFS Ensamble 30%	mínimo	-12%	-17%	-19%	-11%	-19%	-27%
		máximo	-6%	-9%	-11%	-6%	-10%	-16%
		mediana	-8%	-12%	-13%	-8%	-12%	-19%
	CCAFS Ensamble 50%	mínimo	-6%	-10%	-12%	-6%	-11%	-16%
		máximo	-3%	-5%	-6%	-3%	-5%	-8%
		mediana	-4%	-6%	-8%	-4%	-7%	-10%
	Eta_HADGEM2_ES	mínimo	-89%	-38%	-42%	-79%	-83%	-88%
		máximo	5%	-5%	-5%	58%	38%	-25%
		mediana	-13%	-30%	-30%	-41%	-69%	-81%
	Eta_MIROC5	mínimo	-24%	-24%	-31%	-34%	-27%	-33%
		máximo	2%	0%	-3%	-2%	8%	6%
		mediana	-10%	-3%	-11%	-13%	-3%	-5%
Aroa	CCAFS Ensamble 10%	mínimo	-32%	-38%	-42%	-21%	-39%	-62%
		máximo	-9%	-13%	-16%	-10%	-20%	-32%
		mediana	-22%	-26%	-29%	-18%	-22%	-47%
	CCAFS Ensamble 30%	mínimo	-15%	-22%	-22%	-10%	-20%	-36%
		máximo	0%	-2%	-4%	-2%	-10%	-11%
		mediana	-10%	-13%	-16%	-8%	-11%	-26%
	CCAFS Ensamble 50%	mínimo	-7%	-11%	-13%	-5%	-12%	-21%
		máximo	5%	2%	1%	2%	-4%	-3%
		mediana	-4%	-7%	-9%	-3%	-6%	-15%

Cuenca	Modelo	Var	RCP4.5			RCP8.5		
			30s	50s 60s	80s 90s	30s	50s 60s	80s 90s
Aroa	ETA HADGEM2 _ES	mínimo	-28%	-38%	-43%	-32%	-40%	-72%
		máximo	-8%	-16%	-26%	-7%	-19%	-47%
		mediana	-19%	-32%	-35%	-27%	-35%	-67%
	Eta_MIROC5	mínimo	-65%	-9%	-19%	-20%	-15%	-18%
		máximo	-8%	3%	-8%	-11%	1%	0%
		mediana	-11%	-1%	-12%	-15%	-5%	-6%
Tocuyo	CCAFS Ensamble 10%	mínimo	-42%	-56%	-60%	-46%	-58%	-70%
		máximo	-10%	-13%	-16%	-11%	-17%	-33%
		mediana	-12%	-15%	-31%	-23%	-32%	-47%
	CCAFS Ensamble 30%	mínimo	-26%	-34%	-37%	-25%	-36%	-46%
		máximo	0%	-3%	-5%	-1%	-5%	-12%
		mediana	-12%	-15%	-17%	-12%	-18%	-28%
	CCAFS Ensamble 50%	mínimo	-12%	-19%	-21%	-13%	-19%	-28%
		máximo	3%	1%	0%	3%	1%	-4%
		mediana	-5%	-8%	-10%	-5%	-9%	-15%
	Eta_HADGEM2_ES	mínimo	-30%	-37%	-47%	-29%	-41%	-71%
		máximo	21%	30%	22%	40%	57%	25%
		mediana	-16%	-17%	-32%	-5%	-17%	-48%
	Eta_MIROC5	mínimo	-18%	-14%	-23%	-27%	-54%	-26%
		máximo	-2%	3%	7%	-7%	7%	33%
		mediana	-11%	-6%	-13%	-16%	-5%	-9%

MIROC5 también proyectó anomalías positivas en la cuenca de río Tocuyo (valores puntuales extremos entre 3% y 33%, según escenario y período); de igual manera con CCAFS-Ensamble 50%, aunque las anomalías fueron de menor magnitud: entre 0% y 3%.

En la Figura 3.32 se ilustra la distribución espacial, para mitad de siglo, de las anomalías (cada punto es una estación climática). Resalta el fuerte impacto sobre la precipitación anual (puntos rojos indican anomalías superiores a -30%) proyectado por Eta_HADGEM2 ES sobre las cuencas de los ríos Yaracuy, Aroa y la mitad inferior del Tocuyo. Se aprecia con HADGEM2-ES, además, el grupo de estaciones con anomalías positivas (puntos azules) localizadas hacia la cabecera de la cuenca del río Tocuyo, cerca de la línea divisoria oeste (Cubiro, Sanare y Parque Yacambú, entre otras estaciones).

Esta variabilidad espacial también se aprecia en los resultados obtenidos con Eta_MIROC5 y con CCAFS-Ensamble 50%, aunque las magnitudes de las anomalías negativas son menores.

Impacto del cambio climático en la escorrentía

Los caudales anuales promedios en las cuencas de la Región Hidrográfica 3 se verán reducidos significativamente en el futuro como consecuencia del cambio climático (ver Tabla 3.8 y Figura 3.33). Los resultados indican que ya para un futuro cercano (30s), las anomalías del caudal anual en las tres cuencas serán de moderadas a muy altas: tanto con Eta_HADGEM2-ES como con Eta_MIROC5, las anomalías estarían aproximadamente entre -30% y -50% (excepto HADGEM2-ES, 90s, RCP8.5, que produjo un resultado opuesto en la cuenca del río Tocuyo: 2%). Para los 30s CCAFS-Ensamble 50% produjo anomalías menos altas, alrededor de: -14% en Yaracuy y Tocuyo, y -26% en Aroa.

Tabla 3.8 Región Hidrográfica 3. Impacto del cambio climático en el caudal anual medio.

		Yaracuy				Aroa				Aroa			
		RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5	
		Q (m³/s)	Anom %	Q (m³/s)	Anom %	Q (m³/s)	Anom %	Q (m³/s)	Anom %	Q (m³/s)	Anom %	Q (m³/s)	Anom %
Línea Base	LB (1971-2000)	19.3				12.7				52.6			
CCASF Ensamble 50%	30s (2016-2045)	16.7	-14%	17.1	-12%	9.4	-26%	9.4	-26%	45.4	-14%	45.4	-14%
	50s (2036-2065)	15.7	-19%	15.6	-19%	8.7	-32%	8.6	-32%	42.1	-20%	41.2	-22%
	80s (2066-2095)	15.0	-22%	14.1	-27%	8.4	-34%	7.1	-44%	39.3	-25%	33.7	-36%
Eta_HADGEM2_ES	30s (2016-2045)	14.3	-26%	9.3	-52%	6.2	-51%	6.1	-52%	35.6	-32%	53.6	2%
	60s (2046-2075)	11.5	-41%	7.2	-63%	4.9	-61%	5.2	-59%	38.6	-27%	45.6	-13%
	90s (2080-2099)	10.3	-47%	1.1	-94%	3.4	-73%	1.5	-88%	22.5	-57%	25.0	-52%
Eta_MIROC5	30s (2016-2045)	12.6	-35%	9.7	-50%	6.1	-52%	5.2	-59%	29.3	-44%	23.5	-55%
	60s (2046-2075)	13.4	-31%	12.7	-34%	7.7	-39%	7.1	-45%	33.9	-36%	33.5	-36%
	90s (2080-2099)	11.2	-42%	12.3	-37%	5.8	-54%	7.1	-44%	25.7	-51%	31.4	-40%

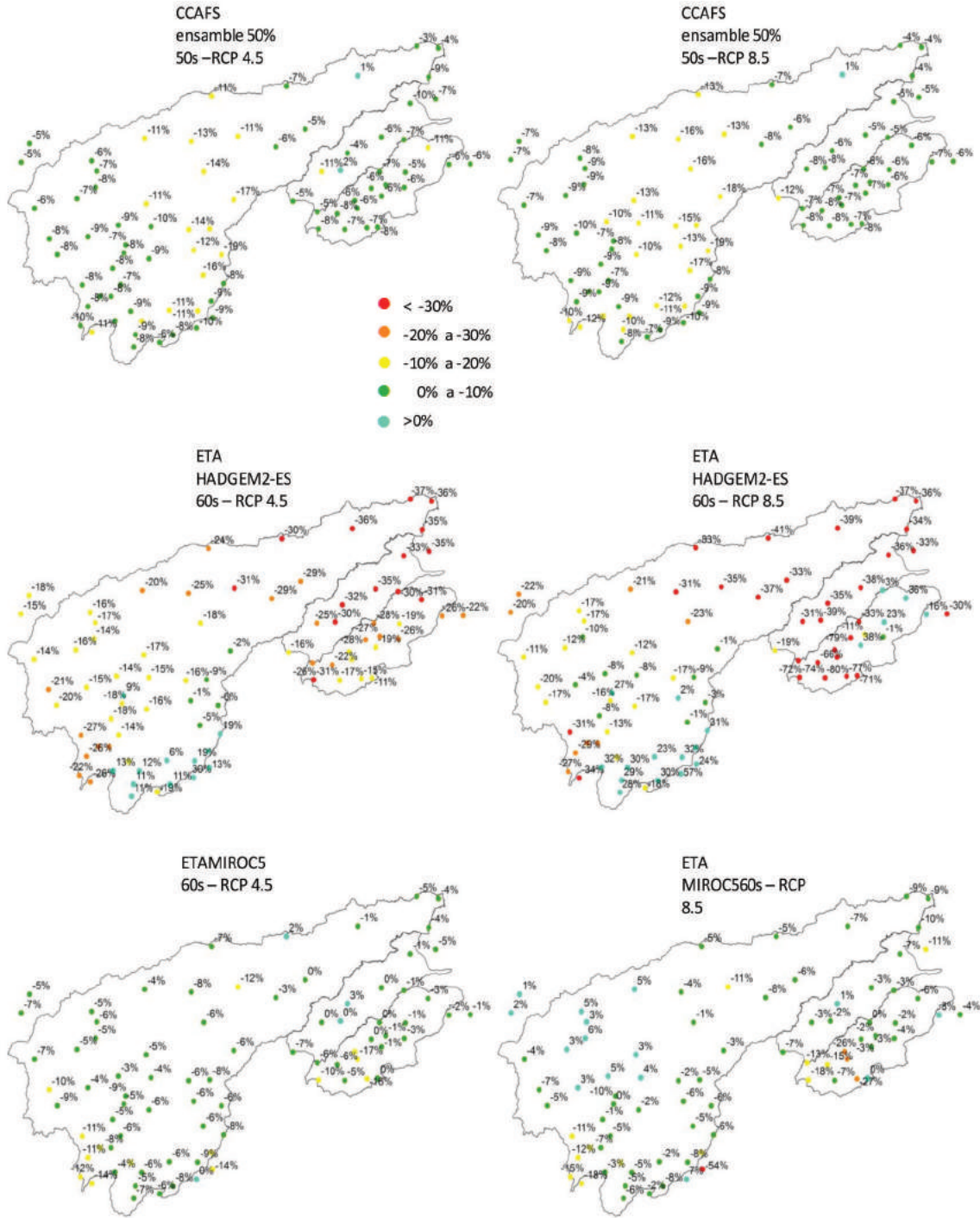


Figura 3.32. Región Hidrográfica 3. Distribución espacial del impacto del cambio climático en la precipitación anual (Anomalías en %).

Hacia finales de siglo las anomalías negativas se verán progresivamente incrementadas según los resultados de Eta_HADGEM2 ES y CCAFS Ensamble 50%. Con Eta_MIROC5 más bien bajan en la mayoría de los casos.

Observando la disposición gráfica de las anomalías (Figura 3.33), se puede concluir, adicionalmente, que hacia finales de siglo (80s y 90s) y con el escenario climático RCP8.5, los resultados CCAFS-Ensamble 50% y Eta_MIROC5 convergen, en cada cuenca evaluada, a resultados similares en cuanto al nivel de impacto, con anomalías que se aproximan a -30% en Yaracuy y a -40% en Aroa y Tocuyo. Con Eta_HADGEM2-ES las anomalías son más elevadas y en algunos casos los resultados lucen dudosos.

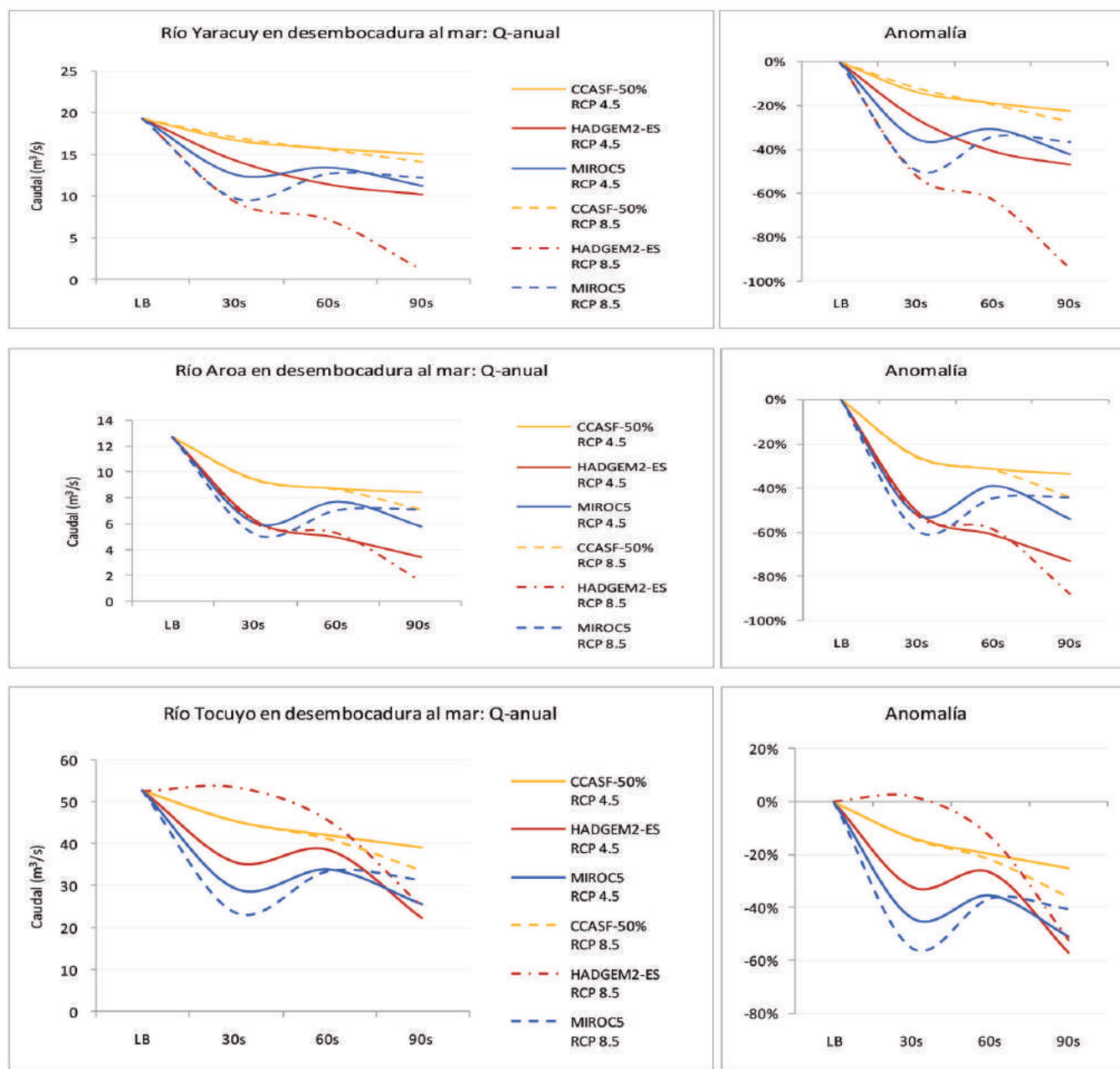


Figura 3.33 Región Hidrográfica 3. Impacto del cambio climático en el caudal anual medio.

Un análisis particular de los caudales mensuales y anuales con frecuencias de excedencia de 95% (la escorrentía que ocurre 95% del tiempo) arrojó los resultados de la Tabla 3.9. Allí se presentan los caudales mensuales para cada mes del año (curva de variación estacional), el caudal medio anual y el caudal mensual global (columna cdc_m, se refiere al caudal mensual considerando el conjunto total de valores, sin separar en estaciones o meses del año).

El caudal anual de 95% de frecuencia tuvo el mismo comportamiento que el caudal anual promedio presentado anteriormente, pero con anomalías de mayor magnitud en algunos períodos con el modelo ETA. Así, en el futuro cercano (30s), las anomalías producidas con Eta_HADGEM2-ES fueron mayores a -50% en todos los casos (cuencas, escenarios climáticos y períodos futuros) y las de Eta_MIROC5 mayores a -40%. CCAFS-Ensamble 50% produjo iguales anomalías a los caudales anuales promedios.

Los caudales mensuales de 95% de ocurrencia y sus anomalías se ilustran en la Figura 3.34, donde puede observarse el comportamiento estacional de las anomalías a lo largo del año. Existen notables diferencias entre Eta_MIROC5 y Eta_HADGEM2-ES, tanto en régimen como en magnitud. Es notable cómo en meses donde ETA-MIROC5 aumenta la anomalía, Eta_HADGEM2-ES la disminuye y viceversa. Las anomalías en Eta_MIROC5 muestran un régimen casi unimodal, las de CCAFS-Ensamble 50% un régimen casi uniforme y Eta_HADGEM2-ES un régimen intermedio, con tendencia a ser uniforme. Las mayores anomalías negativas, según Eta_HADGEM2-ES, ocurren en los meses de julio a septiembre; mientras que las de Eta_MIROC5 están de enero a marzo, en o cerca de la época de estiaje, según la cuenca considerada.

La recarga de agua subterránea, debido a la infiltración de la lluvia, considerando toda la superficie drenada por cada cuenca de la Región Hidrográfica 3, fue estimada indirectamente de los resultados intermedios del modelo SIHIM. Los resultados se presentan en la Tabla 3.10.

Según CCAFS-Ensamble 50%, la anomalía en la recarga subterránea por infiltración es prácticamente la misma en las tres cuencas evaluadas y en los dos escenarios climáticos considerados; incrementándose progresivamente con el período futuro desde alrededor de -14% en los 30s a -25% en los 80s.

Eta_HADGEM2-ES produjo mayores anomalías que el caso anterior, aunque diferentes entre cuencas. Así, por ejemplo, en la cuenca del río Yaracuy, escenario RCP4.5, las anomalías producidas variaron de -22% (30s) a -61% (90s), pero en las del río Tocuyo crecieron de -54% (30s) a -79% (90s). En términos generales, Eta_MIROC5 produjo resultados con similar orden de magnitud que Eta_HADGEM2-ES.

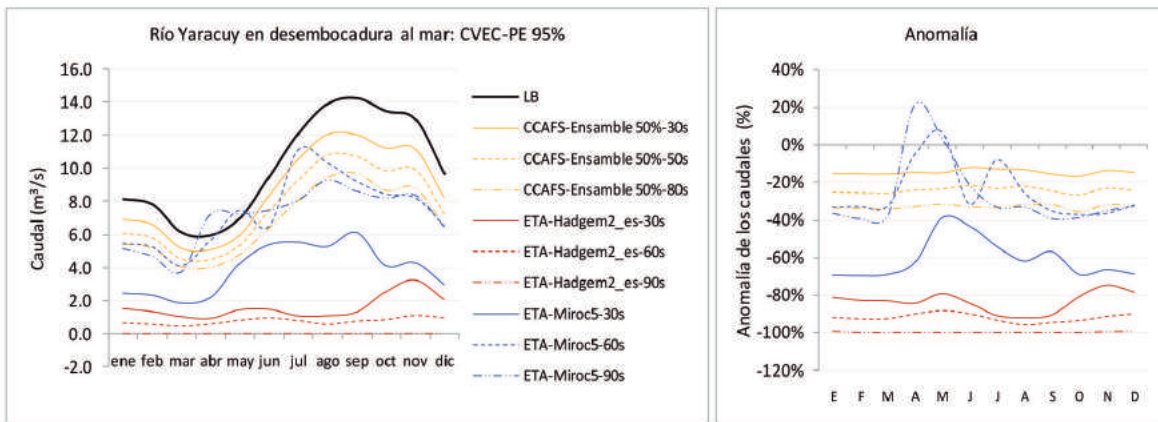
Tabla 3.9 Región Hidrográfica 3. Impacto en caudal de 95% de ocurrencia. RCP8.5

Sub	Var	Modelo Climático	Dt	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	Cdcm	
Yaracuy	Caudales Q95 (m³/s)	LB	LB	8.1	7.8	6.1	6.0	7.0	9.5	12.1	13.9	14.2	13.5	13.0	9.7	12.5	7.9	
		CCAFS -Ensamble 50%	30s	6.9	6.6	5.2	5.1	6.0	8.3	10.5	12.0	12.0	11.2	11.2	8.3	10.7	6.6	
			50s	6.1	5.8	4.5	4.5	5.4	7.4	9.3	10.8	10.7	9.9	10.0	7.3	9.6	5.9	
			80s	5.4	5.2	4.0	4.0	4.8	6.4	8.1	9.5	9.7	8.7	8.8	6.5	8.4	5.0	
		ETA_HADGEM2-ES	30s	1.5	1.3	1.0	0.9	1.4	1.5	1.1	1.1	1.3	2.5	3.3	2.1	2.7	1.3	
			60s	0.7	0.6	0.4	0.6	0.8	1.0	0.8	0.6	0.8	0.9	1.1	1.0	1.6	0.6	
			90s	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Var	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		ETA-MIROC5	30s	2.5	2.4	1.9	2.2	4.3	5.4	5.5	5.3	6.1	4.1	4.3	3.0	4.2	3.0	
			60s	5.5	5.3	4.1	5.6	7.5	6.5	11.1	10.4	9.2	8.5	8.2	6.6	8.4	5.8	
			90s	5.2	4.7	3.8	7.2	7.2	7.5	8.1	9.3	8.6	8.2	8.4	6.5	8.9	4.9	
		Anomalías Q95 (%)	CCAFS -Ensamble 50%	30s	-15%	-15%	-16%	-15%	-15%	-12%	-13%	-13%	-16%	-17%	-14%	-15%	-14%	-16%
				50s	-25%	-26%	-26%	-24%	-24%	-22%	-23%	-22%	-25%	-27%	-23%	-25%	-23%	-25%
	80s			-33%	-34%	-34%	-33%	-32%	-33%	-32%	-32%	-32%	-36%	-32%	-33%	-32%	-36%	
	ETA_HADGEM2_ES		30s	-81%	-83%	-83%	-85%	-80%	-85%	-91%	-92%	-91%	-81%	-75%	-79%	-78%	-83%	
			60s	-92%	93%	93%	90%	88%	90%	93%	96%	95%	94%	91%	90%	87%	-92%	
			90s	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	
	ETA-MIROC5		30s	-70%	-70%	-69%	-63%	-39%	-43%	-54%	-62%	-57%	-69%	-67%	-69%	-66%	-62%	
			60s	-33%	-33%	-33%	-5%	-7%	-32%	-8%	-25%	-35%	-7%	-36%	-32%	-32%	-26%	
			90s	-37%	-40%	-38%	-21%	-3%	-21%	-33%	-33%	-40%	-9%	-35%	-33%	-29%	-38%	
	Aroa	Caudales Q95 (m³/s)	LB	LB	6.1	5.8	4.7	4.5	4.5	5.1	7.1	8.6	7.5	7.1	9.4	7.6	7.8	5.3
			CCAFS -Ensamble 50%	30s	3.8	3.8	3.2	3.4	3.2	3.8	5.4	5.9	5.1	4.6	6.4	5.0	5.5	3.6
50s				3.4	3.4	2.8	3.1	2.9	3.4	4.7	5.3	4.5	4.0	5.8	4.4	4.9	3.3	
80s				2.6	2.6	2.2	2.3	2.3	2.6	3.2	3.4	3.4	3.1	4.6	3.5	3.8	2.6	
Eta_HADGEM2_ES			30s	1.9	1.8	1.4	1.3	1.6	1.1	0.9	0.8	0.8	1.2	1.9	2.5	1.9	1.2	
			60s	0.7	0.7	0.5	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.8	0.5	
			90s	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	
Eta_MIROC5			30s	1.6	1.6	1.3	1.8	2.9	3.1	3.5	3.5	3.3	2.5	2.6	2.0	3.0	1.9	
			60s	2.9	2.9	2.4	4.1	5.2	4.4	4.6	4.9	4.3	4.0	3.9	4.0	4.8	3.2	
			90s	3.0	2.8	2.4	6.0	4.8	4.3	4.7	5.1	4.4	4.0	4.3	3.6	4.9	3.4	

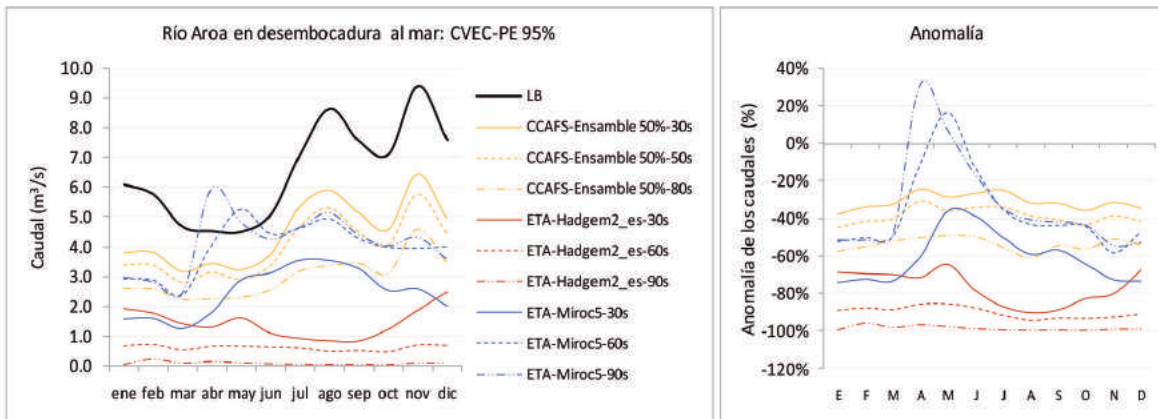
Segunda Comunicación Nacional ante la CMNUCC

Sub	Var	Modelo Climático	Dt	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	Cdcm	
Aroa	Anomalías Q95 (%)	CCAFS -Ensamble 50%	30s	-38%	-34%	-32%	-24%	-28%	-26%	-25%	-32%	-32%	-36%	-31%	-34%	-29%	-32%	
			50s	-45%	-42%	-40%	-31%	-36%	-34%	-34%	-39%	-40%	-43%	-39%	-41%	-36%	-39%	
			80s	-57%	-55%	-52%	-50%	-49%	-50%	-55%	-61%	-54%	-56%	-51%	-54%	-51%	-51%	
		ETA_HADGEM2_ES	30s	-69%	-69%	-70%	-71%	-65%	-78%	-87%	-90%	-89%	-83%	-80%	-68%	-75%	-78%	
			60s	-89%	-88%	-88%	-85%	-85%	-88%	-92%	-94%	-93%	-93%	-93%	-91%	-90%	-90%	
			90s	-99%	-96%	-98%	-97%	-98%	-99%	-99%	-100%	-99%	-100%	-99%	-99%	-99%	-99%	
		ETA-MIROC5	30s	-74%	-72%	-73%	-60%	-36%	-39%	-50%	-59%	-57%	-64%	-72%	-73%	-61%	-64%	
			60s	-52%	-50%	-49%	-11%	16%	-13%	-35%	-43%	-43%	-44%	-58%	-47%	-39%	-39%	
			90s	-51%	-51%	-48%	32%	7%	-17%	-35%	-40%	-42%	-43%	-54%	-53%	-38%	-37%	
Tocuyo	Caudales Q95 (m³/s)	LB	LB	7.2	5.8	4.9	12.9	13.8	19.2	24.9	20.5	22.3	23.9	17.5	12.6	26.5	7.8	
		CCAFS -Ensamble 50%	30s	6.1	5.1	4.1	11.4	12.2	17.2	21.1	15.5	17.8	19.1	14.8	10.9	22.8	6.3	
			50s	5.4	4.4	3.6	10.6	11.2	14.7	17.2	13.3	15.1	16.9	13.2	9.8	20.5	5.6	
			80s	3.9	3.2	2.8	9.0	9.1	9.4	11.8	8.4	10.0	11.7	11.1	7.7	15.7	4.6	
		Eta_HADGEM2_ES	30s	6.4	6.3	3.9	4.3	3.9	4.1	3.7	3.3	5.7	9.3	12.6	12.7	12.1	4.5	
			60s	6.6	7.2	4.4	7.7	4.7	5.7	4.1	4.0	7.4	14.0	12.6	12.9	13.7	5.3	
			90s	3.1	3.1	2.2	2.4	1.8	3.2	2.2	1.5	1.8	3.8	9.1	5.8	9.2	2.0	
		Eta_MIROC5	30s	1.9	2.4	2.1	7.4	12.0	6.9	9.1	4.6	4.2	5.6	6.0	3.8	8.7	3.2	
			60s	3.4	3.1	3.6	20.4	16.2	9.4	13.7	7.5	7.7	9.4	16.5	7.4	18.1	6.1	
			90s	4.0	2.5	4.9	28.8	14.2	9.9	10.7	7.4	9.2	7.6	6.8	5.3	15.9	5.5	
		Anomalías Q95 (%)	CCAFS -Ensamble 50%	30s	-15%	-12%	-15%	-11%	-11%	-10%	-16%	-24%	-20%	-20%	-16%	-13%	-14%	-20%
				50s	-25%	-23%	-25%	-18%	-18%	-23%	-31%	-35%	-32%	-29%	-25%	-22%	-23%	-29%
				80s	-46%	-45%	-42%	-30%	-34%	-51%	-53%	-59%	-55%	-51%	-37%	-39%	-41%	-42%
			Eta_HADGEM2_ES	30s	-12%	10%	-20%	-67%	-72%	-78%	-85%	-84%	-75%	-61%	-28%	1%	-54%	-43%
				60s	-8%	25%	-10%	-40%	-66%	-70%	-83%	-81%	-67%	-42%	-28%	3%	-48%	-32%
90s	-57%			-47%	-54%	-81%	-87%	-83%	-91%	-93%	-92%	-84%	-48%	-54%	-65%	-74%		
Eta_MIROC5	30s		-74%	-59%	-56%	-43%	-13%	-64%	-63%	-77%	-81%	-76%	-66%	-70%	-67%	-59%		
	60s		-53%	-45%	-27%	58%	17%	-51%	-45%	-63%	-66%	-61%	-6%	-41%	-32%	-23%		
	90s		-45%	-56%	2%	124%	3%	-49%	-57%	-64%	-59%	-68%	-61%	-58%	-40%	-30%		

Yaracuy



Aroa



Tocuyo

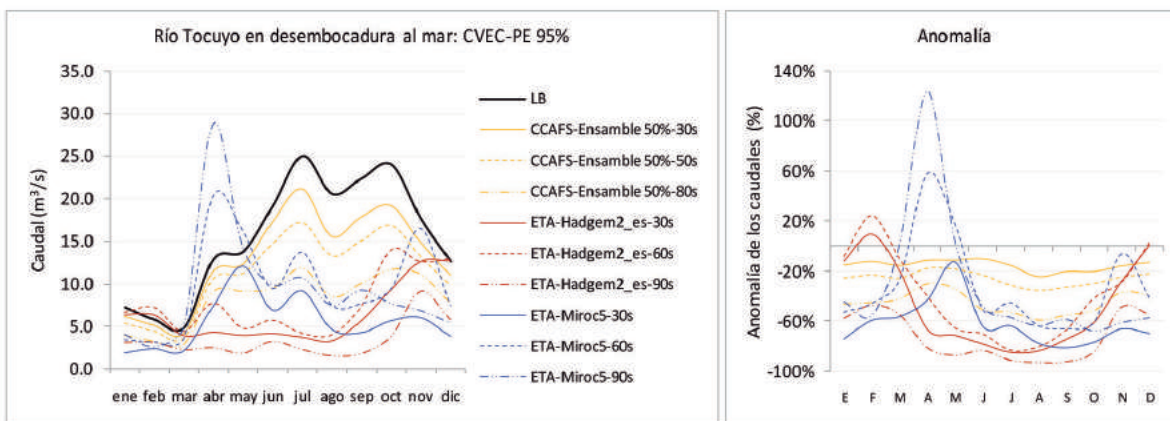


Figura 3.34 Región Hidrográfica 3. Impacto del cambio climático en el caudal mensual de 95% de ocurrencia.

Tabla 3.10 Región Hidrográfica 3. Impacto del cambio climático en la recarga de agua subterránea

		RCP4.5						RCP8.5					
		CCAFS		Eta		Eta		CCAFS		Eta		Eta	
		Ensamble 50%		HADGEM2_ES		MIROC5		Ensamble 50%		HADGEM2_ES		MIROC5	
Cuenca	Período	Qsub m ³ /s	Anom %	Qsub m ³ /s	Anom %	Qsub m ³ /s	Anom %	Qsub m ³ /s	Anom %	Qsub m ³ /s	Anom %	Qsub m ³ /s	Anom %
Yaracuy (2368 km ²)	LB	12.3											
	30s	10.6	-14%	9.6	-22%	8.2	-33%	10.8	-12%	6.3	-48%	6.4	-48%
	50s/60s	9.9	-19%	7.5	-39%	8.6	-30%	9.9	-19%	4.7	-61%	8.1	-34%
	80s/90s	9.6	-22%	4.8	-61%	4.9	-61%	9.1	-26%	0.3	-98%	5.3	-57%
Aroa (2237 km ²)	LB	14.4											
	30s	12.3	-14%	7.8	-46%	7.4	-49%	12.2	-15%	8.0	-44%	6.2	-57%
	50s/60s	11.5	-20%	6.4	-55%	9.4	-35%	11.3	-21%	6.4	-55%	8.4	-42%
	80s/90s	11.1	-23%	4.1	-71%	6.6	-54%	9.5	-34%	1.6	-89%	8.5	-41%
Tocuyo (17741 km ²)	LB	10.2											
	30s	8.8	-14%	4.7	-54%	4.0	-61%	8.9	-13%	7.3	-29%	3.0	-71%
	50s/60s	8.2	-20%	5.1	-50%	3.0	-54%	8.2	-20%	5.4	-47%	4.3	-58%
	80s/90s	7.7	-25%	2.2	-79%	4.7	-71%	6.9	-33%	2.3	-77%	3.9	-62%

3.2.4. Medidas de adaptación

En general, las proyecciones futuras de las variables precipitación y escorrentía han mostrado que tienden a disminuir; por tanto, el cambio climático afecta negativamente al sector de los recursos hídricos, por lo que es de gran importancia la toma de medidas de adaptación ante el impacto del mismo. Para ello se toman en cuenta las siguientes Estrategias de Adaptación establecidas como Política de Estado y Plan de Desarrollo de la Nación, en el marco de las Políticas de Gestión Ambiental, para el sector estratégico de los recursos hídricos.

Objetivo general

Asegurar la gestión integral de las aguas como recurso estratégico y seguridad nacional.

Objetivo específico

Impulsar el manejo integral de las aguas para su conservación y aprovechamiento sustentable.

Estrategia 1

Lograr el manejo integral y sustentable de las cuencas hidrográficas e hidrogeológicas, para garantizar la producción de agua.

Política

- Formular el Plan Nacional de Gestión Estratégica de Cuencas Hidrográficas e Hidrogeológicas.
- Establecer el reservorio estratégico nacional de las aguas desde la perspectiva de desarrollo sustentable.
- Mantener actualizado el inventario estratégico de la disponibilidad y demanda de las aguas superficiales y subterráneas en cantidad y calidad a nivel nacional y regional.
- Establecer la extracción ajustada a los balances hídricos de las fuentes productoras de agua.
- Establecer el sistema de control de las aguas: administración, monitoreo, fiscalización, inspección, auditoria y supervisión.
- Impulsar la aplicación de sistemas de riego y técnicas de producción agrícolas sustentables.
- Impulsar los Consejos de las Regiones Hidrográficas y los Consejos de Cuenca.
- Formular los programas maestros de control y manejo de los cuerpos de agua (Ley de Aguas, 2007, artículo 12, numeral 4).
- Impulsar la Organización Institucional para la Gestión de las Aguas (Ley de Aguas, 2007, artículo 21).
- Implementar el Fondo Nacional para la Gestión Integral de las Aguas. (Ley de Aguas, 2007, artículo 96).
- Asegurar el saneamiento y la recuperación de los cuerpos de agua.
- Establecer los mecanismos de regulación de actividades dentro de las cuencas hidrográficas y los cuerpos de agua para asegurar la sustentabilidad de los servicios.
- Formular la normativa para la gestión de los cuerpos de agua.
- Instrumentar planes y programas para la conservación y recuperación de suelos.
- Impulsar la política de la Lucha contra la Desertificación.
- Desarrollar políticas en el área científica sobre los recursos hídricos del país y su divulgación.
- Concientización a la población sobre la conservación de los recursos hídricos y su participación en la misma.

Estrategia 2

Aumentar la calidad y cobertura del servicio de agua potable y saneamiento.

Política

- Asegurar la aplicación del Plan Nacional de Gestión Integral de las Aguas.
- Impulsar el Programa Nacional Estratégico de construcción, mantenimiento y recuperación de embalses y otras obras de captación.

- Impulsar el Programa Nacional Estratégico de construcción, mantenimiento, recuperación de tuberías de aducción y plantas de potabilización.
- Incrementar programas y proyectos de construcción, mantenimiento y recuperación de redes de distribución.
- Incrementar programas y proyectos de construcción, mantenimiento y recuperación de redes de recolección y tratamiento de aguas servidas.
- Fomentar la desalinización del agua del mar para abastecer sectores de la zona costera venezolana con deficiente disponibilidad de agua.
- Implementar el levantamiento de información sobre los requerimientos de agua potable con el fin de llevar estadísticas oficiales sistematizadas

Estrategia 3

Implementar el uso de aguas residuales tratadas.

Política

- Definir las alternativas de uso de las aguas residuales tratadas de acuerdo con su caracterización física, química y biológica.
- Establecer el uso obligatorio de las aguas residuales tratadas.

Estrategia 4

Incorporación de la vulnerabilidad de los recursos hídricos debido a lluvias extremas.

Política

- Desarrollar estudios de riesgos por inundaciones causadas por eventos de lluvias extremas e incorporarlos en los planes de prevención, mitigación y reconstrucción en el Sistema Nacional de Prevención de Desastres.
- Estimar daños directos e indirectos probables por afectación al sistema de agua potable y las pérdidas económicas probables ante estos eventos. Por tanto, evaluar los posibles daños que afecten su tratamiento, su conducción, su regulación y almacenamiento.
- Implementar sistemas de alerta temprana en zonas de riesgo a inundaciones.
- Monitorear sistematizadamente las crecidas en cauces torrenciales.

3.3 Efectos del cambio climático sobre el sector Agrícola

En la siguiente sección se determina cómo afecta el cambio climático al sector agrícola, tomando en cuenta solo el rendimiento y las necesidades de riego de cultivos representativos del país, para la región conformada por los estados Portuguesa, Barinas y Apure. Se identifican medidas de adaptación y mitigación para controlar los efectos del cambio climático.

3.3.1 Datos climáticos, selección de zona y cultivos representativos

Datos climáticos

Para considerar el clima futuro, se tomaron las precipitaciones y temperaturas medias mensuales, trimestrales y anuales para tres períodos obtenidos de los escenarios climáticos para el país:

- 2030: promedio de los treinta años entre 2016 y 2045.
- 2060: promedio de los treinta años entre 2046 y 2075.
- 2090: promedio de los veinte años entre 2080 y 2099.

Esta base de información climática fue la utilizada para todo el análisis en el cambio del rendimiento de los cultivos, así como la modificación de los requerimientos de riego para cada cultivo, en cada período, en la zona seleccionada. Los cálculos fueron realizados para los cuatro períodos considerados: 1971-2000, 2016-2045, 2046-2075 y 2080-2099, los dos parámetros climáticos de análisis (precipitación y temperatura) y para cada escenario: intermedio (RCP4.5) y pesimista (RCP8.5).

Selección de la zona de estudio

Tomando en cuenta los resultados climáticos obtenidos, así como la incertidumbre que rodea a los mismos, *se seleccionaron las zonas de los llanos occidentales, estados Apure, Barinas y Portuguesa*, como el área más adecuada para evaluar los efectos del cambio climático sobre el rendimiento de los cultivos. Esta área representa a los llanos bajos, básicamente debajo de los 100 metros de altitud sobre el nivel del mar; y los llanos altos que se encuentran al pie de los Andes, cuyas tierras son muy ricas para el cultivo.

Selección de los cultivos, requerimientos hídricos y su rendimiento

Con base en la zona seleccionada se procedió a determinar un conjunto de cultivos representativos de esta zona del país, tomando en cuenta la importancia para la economía tanto local como regional y nacional, así como la extensión territorial bajo cultivo, completado con los objetivos fundamentales de los productores, las autoridades y el país en general: lograr una máxima productividad de los cultivos explotados, establecer una distribución equitativa y eficiente de los beneficios económicos y financieros, lograr una sustentable producción de alimentos, generar empleos y divisas, reducir la pobreza rural y reducir los efectos ambientales adversos.

Cultivos seleccionados

Los cultivos analizados en su rendimiento por efecto del cambio climático son cultivos de ciclo corto: algodón, arroz, caraota, girasol, maíz y sorgo; y cultivos perennes y anuales: banano, caña de azúcar, mango, palma africana y pastos. Estos cultivos presentan características agroecológicas adaptadas a los llanos occidentales y son cultivos característicos de los mismos, explotados bajo la modalidad de agricultura bajo lluvia o lo que comúnmente se denomina agricultura de secano; igualmente, esta gama de cultivos son explotados tanto para la agricultura de subsistencia como para fines comerciales e industriales.

Determinación de los requerimientos hídricos y rendimientos de los cultivos

Las estimaciones de las necesidades de agua del cultivo es el dato de partida en el establecimiento del uso sostenible de los recursos hídricos en determinada área. Los requerimientos de riego y el rendimiento de los cultivos se estimaron a través del modelo CROPWAT V.8 utilizándose un intervalo de tiempo mensual y por décadas tomando en cuenta el nivel del estudio y la disponibilidad de información.

3.3.2. Efectos del cambio climático sobre los requerimientos hídricos y la reducción del rendimiento de los cultivos

En esta sección se muestran los resultados y su respectivo análisis del efecto de cambio climático sobre los requerimientos hídricos y la reducción del rendimiento de los cultivos algodón, arroz, banano, caña de azúcar, caraota, girasol, maíz, mango, palma africana, pasto y sorgo; años 71-00, 16-45, 46-75 y 76-99; para los escenarios RCP4.5 (intermedio o promedio) y RCP8.5 (pesimista o crítico), en los estados Apure, Barinas y Portuguesa.

Efectos del cambio climático sobre las necesidades hídricas en cultivos de ciclo corto

En general las necesidades hídricas se incrementan hacia el futuro con respecto al histórico, tanto para el escenario intermedio (RCP4.5) como para el pesimista (RCP8.5), siendo el escenario RCP8.5 el que presenta mayores requerimientos hídricos.

Para el escenario intermedio (RCP4.5):

- Los requerimientos hídricos en el futuro cercano (2016-2045) para cultivos como algodón y arroz registran incrementos hasta de 1,14 veces por encima del valor registrado en el período histórico (período 1971-2000); estos requerimientos aumentan para cultivos como el maíz, el girasol y la caraota, donde se registran valores hasta por el orden de 2,65 veces respecto al período histórico, elevándose para el sorgo a un valor de 3,90 veces.
- Para el futuro lejano (2076-2099), la vulnerabilidad medida, en términos del requerimiento hídrico, se potencia aún más, siendo el sorgo uno de los cultivos más afectados ya que registra requerimientos hasta de 9 veces por encima de su registro

histórico, siguiéndole cultivos como el algodón con 6,52, la caraota 4,84, el girasol 4,73 y el maíz con 3,60. El arroz registra un incremento de 1,50.

- De este grupo de cultivos, los que estarán expuestos a una mayor vulnerabilidad en cuanto a sus requerimientos hídricos para el futuro cercano son: el sorgo, la carota, el girasol, el maíz, que registran requerimientos por encima del doble de su requerimiento actual.

Para el escenario pesimista (RCP8.5), todos estos requerimientos se incrementan considerablemente:

- En el futuro cercano, cultivos como el arroz y el maíz registran incrementos de 1,53 y 3,86 veces respecto del requerimiento del período histórico; cultivos como el girasol, la caraota y el algodón presentan requerimientos de hasta 5,71 veces mayor que el histórico y el sorgo se eleva hasta 10 veces su requerimiento.
- Para el futuro lejano, en este escenario, estos valores se incrementan aún más para el arroz y maíz pasando a 2,27 y 7,92 veces más que el histórico; para el girasol, la caraota y el algodón se eleva hasta las 13,45 veces su requerimiento de riego, elevándose para el sorgo hasta un valor de 27 veces su requerimiento histórico presentando igualmente cultivos como el sorgo, la caraota, el girasol y el maíz una mayor vulnerabilidad.

En la Figura 3.35 se muestran las tendencias obtenidas para estos cultivos de acuerdo

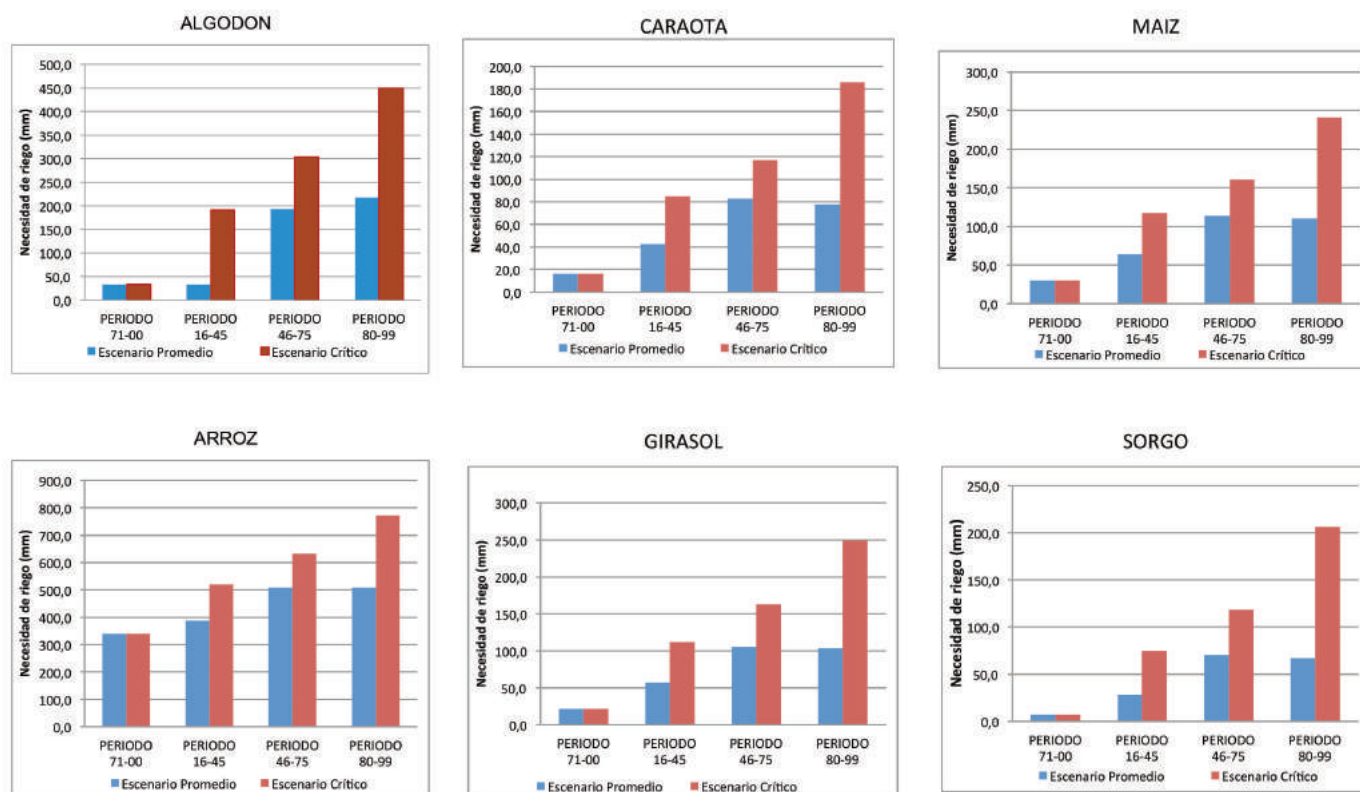


Figura 3.35 Efectos del cambio climático sobre los requerimientos hídricos de los cultivos de ciclo corto para la región Portuguesa, Barinas y Apure.

a cada uno de los escenarios y períodos de análisis, mostrando en valores absolutos los requerimientos de riego de cada uno de los cultivos.

Efectos del cambio climático sobre las necesidades hídricas en cultivos perennes y de ciclo anual

En general las necesidades hídricas se incrementan hacia el futuro con respecto al histórico, tanto para el escenario intermedio (RCP4.5) como para el pesimista (RCP8.5), siendo el escenario RCP8.5 el que presenta mayores requerimientos hídricos.

Para el escenario intermedio (RCP4.5):

- Los requerimientos hídricos en el futuro cercano (2016-2045) para este grupo de cultivos registran incrementos hasta de 1,20 veces por encima del valor registrado en el período histórico (período 1971-2000); para la caña de azúcar se eleva hasta 1,19 veces por encima del histórico.
- Para el futuro lejano (2076-2099), la vulnerabilidad, medida en términos del requerimiento hídrico, se potencia aún más, siendo el mango y la caña de azúcar los cultivos más afectados, ya que registran requerimientos hasta de 1,70 y 1,63 veces respectivamente por encima de su registro histórico.
- De este grupo de cultivos, los que estarán expuestos a una mayor vulnerabilidad en cuanto a sus requerimientos hídricos para el futuro cercano son: el mango y la caña de azúcar.

Para el escenario pesimista (RCP8.5), todos estos requerimientos se incrementan:

- En el futuro cercano se registran incrementos de hasta 1,44 veces en el requerimiento hídrico con respecto al período histórico; la caña de azúcar llega a registrar hasta 1,43 veces por encima del valor histórico.
- Para el futuro lejano, estos valores se incrementan aún más, pasando a registrar valores hasta de 2,45 veces por encima de su requerimiento histórico, siendo el banano y el mango los cultivos con los mayores requerimientos hídricos.

En la Figura 3.36 se muestran las tendencias obtenidas para estos cultivos de acuerdo a cada uno de los escenarios y períodos de análisis, y se expresan en valores absolutos los requerimientos de riego de cada uno de los cultivos.

Efectos del cambio climático sobre el rendimiento de cultivos de ciclo corto

Tanto para el escenario intermedio como para el pesimista, la reducción del rendimiento se incrementa hacia el futuro.

Escenario intermedio (RCP4.5):

- Para el futuro cercano, el conjunto de cultivos de ciclo corto presenta reducciones leves de hasta 1,40% con respecto al rendimiento normal histórico que presentan estos cultivos en la región llanera. En cultivos como el arroz no se presentan niveles

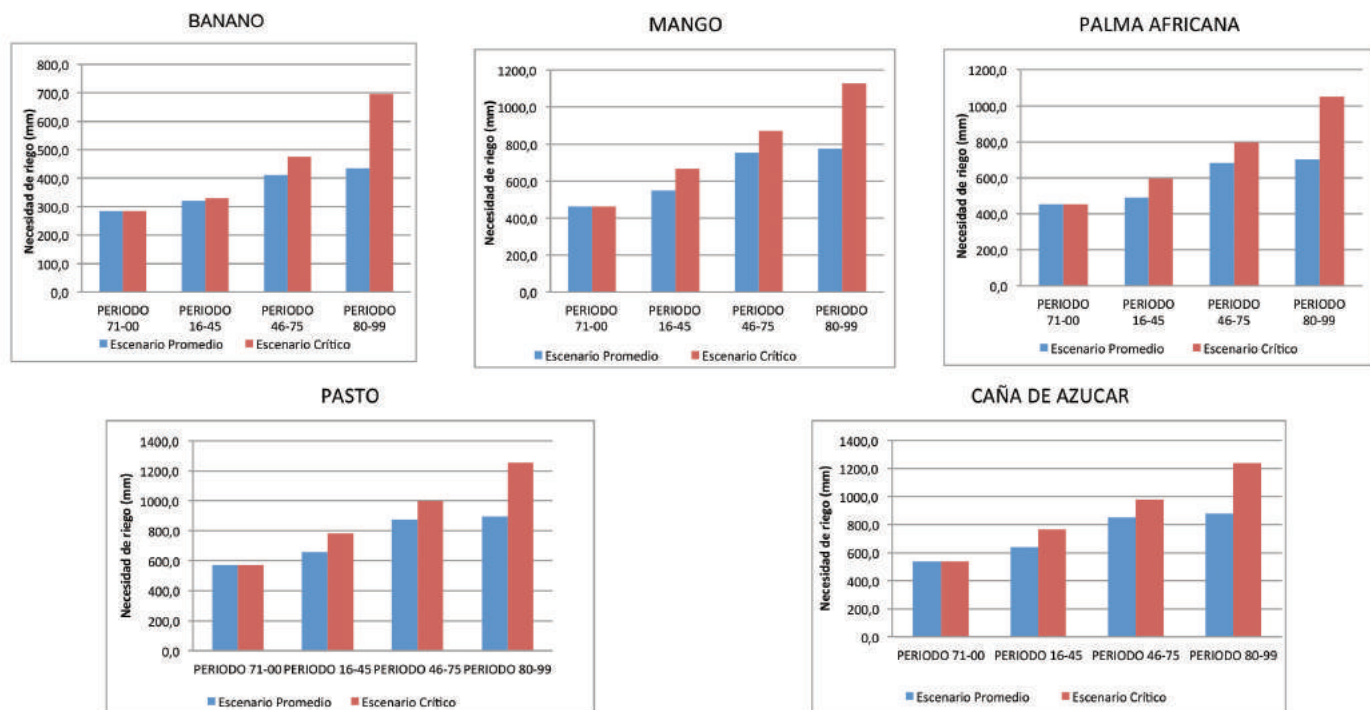


Figura 3.36 Efectos del cambio climático sobre los requerimientos hídricos de los cultivos anuales y perennes para la región Portuguesa, Barinas y Apure.

de reducción, y para el algodón y el maíz los valores no sobrepasan una reducción del 0,70%.

- Para el futuro lejano, la reducción de los rendimientos aumenta también levemente: el algodón presenta una reducción del rendimiento del 1,40% siendo el cultivo de girasol presenta una mayor reducción, que llega al 2,90%.

Para el escenario pesimista (RCP8.5), estas disminuciones en el rendimiento se incrementan:

- Para el futuro cercano las reducciones se incrementan levemente hasta en un 3,70% para cultivos como el girasol, hasta en un mínimo como el arroz donde registra valores del 0,30%; esta banda de disminución en el rendimiento de los cultivos se incrementa considerablemente para el período 2076-2099, con disminuciones que van del 31% al 49% en cultivos como el arroz y el maíz respectivamente.

Para el conjunto de cultivos de ciclo de corto analizados, en la condición de agricultura bajo seco, se observa que los mismos en cualquiera de los escenarios de cambio climático analizado, son bastantes tolerables con respecto a la disminución de sus rendimientos, registrando una baja vulnerabilidad.

En forma específica para el período 2076-2099 y en el escenario pesimista, la condición cambia notablemente: la disminución en los rendimientos se eleva considerablemente hasta alcanzar disminuciones por el orden del 49%, lo que indica que se necesitará complementar con riego las demandas hídricas de estos cultivos a fin de evitar una baja en sus rendimientos.

En la Figura 3.37 se muestran las tendencias obtenidas para estos cultivos de acuerdo a cada uno de los escenarios y períodos de análisis, y se expresan en valores relativos los porcentajes de disminución de los rendimientos de cada uno de los cultivos.

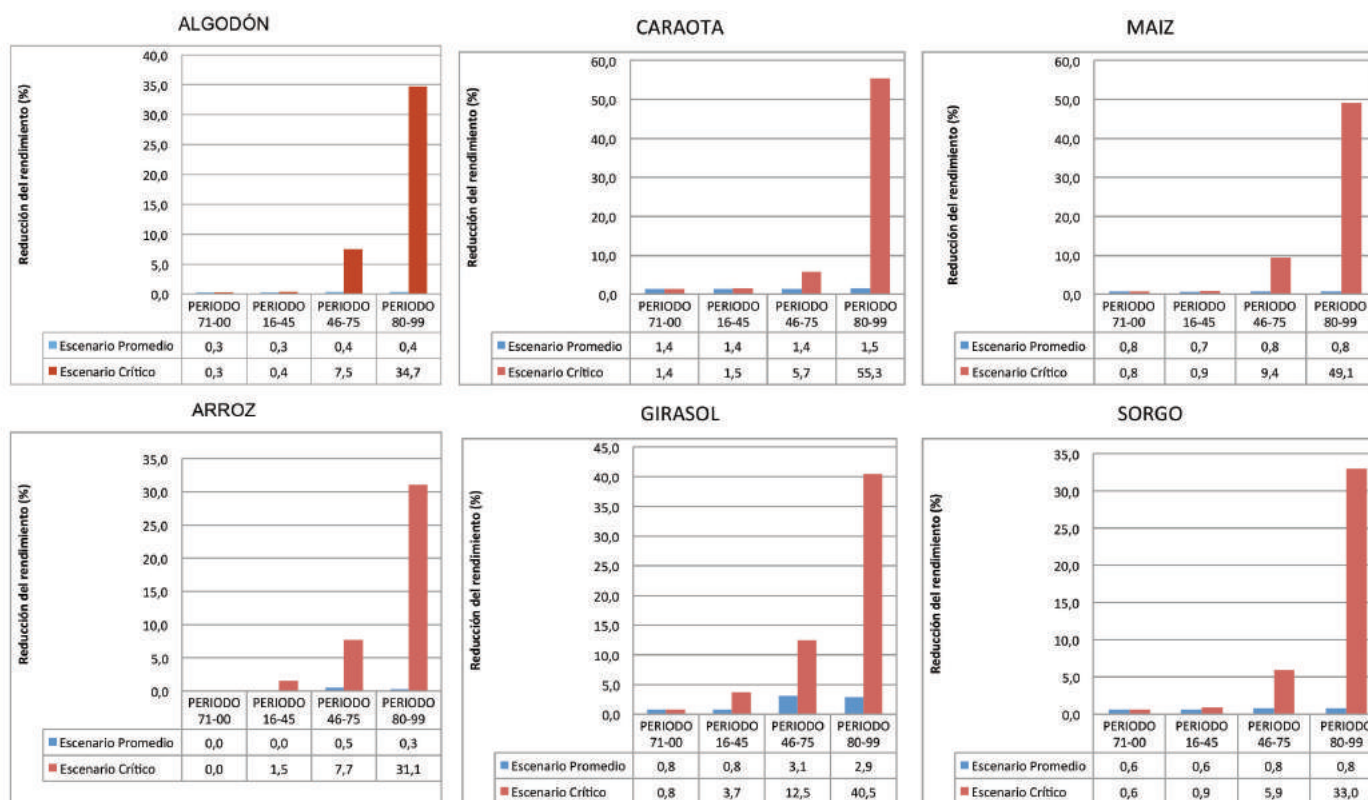


Figura 3.37 Efectos del cambio climático sobre los rendimientos de los cultivos de ciclo corto para la región Portuguesa, Barinas y Apure.

Efectos del cambio climático sobre el rendimiento de cultivos perennes y anuales

Para el conjunto de cultivos perennes y de ciclo anual, los rendimientos se ven afectados considerablemente, tanto para el escenario intermedio como para el pesimista.

Escenario intermedio (RCP4.5).

- En el futuro cercano 2016-2045, el conjunto de cultivos presenta disminuciones en su rendimiento con valores que van desde el 15% para cultivos como el banano y el mango hasta un 20% en cultivos como la caña de azúcar; estas disminuciones se incrementan para el período 2076-2099; la reducción del rendimiento se incrementa para el banano con un 21%, y para la caña de azúcar con un 36%.

Para el escenario pesimista (RCP8.5), las reducciones se incrementan:

- En el futuro cercano 2016-2045, la mayoría de los cultivos presentan un incremento en la reducción de sus rendimientos en alrededor del 22%, sobresaliendo la caña de

azúcar que presenta una disminución muy elevada de hasta el 40%. Para el período 2076-2099, los cultivos presentan una banda en la disminución de los rendimientos que van del 44% para la palma africana hasta un 53% para el banano, sobresaliendo de esta banda la caña de azúcar que llega a presentar una disminución en su rendimiento de hasta el 70%.

- Para el conjunto de cultivos de ciclo anual y perenne analizados, en la condición de agricultura bajo secano, se observa que los mismos en cualquiera de los escenarios de cambio climático analizados, presentan elevados niveles en la disminución de sus rendimientos, registrando una alta vulnerabilidad, evidenciando la necesidad de complementar con riego las demandas hídricas de estos cultivos a fin de evitar una baja en sus rendimientos. De estos destaca su alto nivel de vulnerabilidad el cultivo de la caña de azúcar, dada su alta sensibilidad al cambio climático.

En la Figura 3.38 se muestran las tendencias obtenidas para estos cultivos de acuerdo a cada uno de los escenarios y períodos de análisis, y se expresan en valores relativos los porcentajes de disminución de los rendimientos de cada uno de los cultivos.

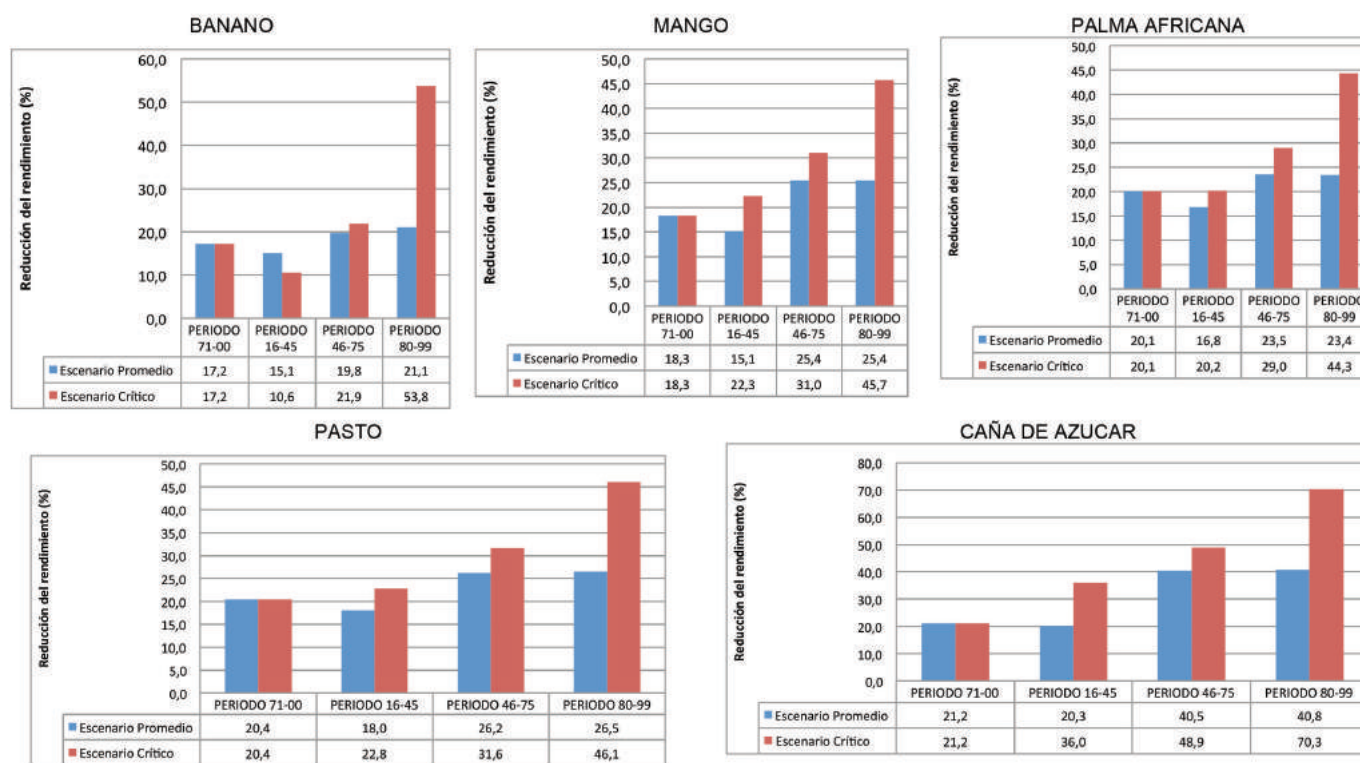


Figura 3.38 Efectos del cambio climático sobre los rendimientos de los cultivos perennes y de ciclo anual para la región Portuguesa, Barinas y Apure.

3.3.3. Comparación de acuerdo al propósito del cultivo

Al realizar una comparación respecto a la reducción del rendimiento de acuerdo al propósito se obtienen varios grupos:

Grupo 1. Los de dieta diaria

Cultivos: arroz, caraota y maíz (no permanentes) y caña de azúcar (sembrado todo el año).

La reducción de rendimiento para el escenario intermedio de los cultivos arroz, caraota y maíz no es significativa para ningún período.

Para el período 76-99 y escenario pesimista, la caña de azúcar es el cultivo que reduce más su rendimiento respecto al histórico (70,30%), seguido de la caraota (55,30%), el maíz (49,10%) y el arroz (31,10%), lo que indica que esta reducción es significativa solo para el período 76-99 y en el escenario pesimista.

En este grupo el cultivo caña de azúcar requiere riego para todos los períodos y los dos escenarios; los cultivos arroz, caraota y maíz requieren riego solo para el período 76-99 y en el escenario pesimista.

Cultivos como el arroz, el maíz y la caraota se muestran menos sensibles al cambio climático que la caña de azúcar.

Grupo 2. Denominados frutales

Cultivos: banano y mango (permanentes).

Los cultivos de banano y mango requieren riego para los distintos períodos y escenarios; la reducción de rendimiento para ambos cultivos en el escenario intermedio y para los distintos períodos se puede considerar de baja (en un 15%).

Para el escenario pesimista, períodos 46-75 y 76-99, la reducción de rendimiento para ambos cultivos ya es significativa, entre 53,8% y 45,70%.

Grupo 3. Denominados oleaginosos

Cultivos: girasol (no sembrado todo el año) y palma africana (sembrada todo el año).

La palma africana requiere riego para los distintos períodos y escenarios y el girasol requiere riego para el escenario pesimista, períodos 46-75 y 76-99.

La reducción de rendimiento para ambos cultivos, en el escenario intermedio, para los distintos períodos es baja; el girasol registra una disminución que llega al 2,90% y la palma africana se reduce hasta un 23,40%.

La reducción de rendimiento en el escenario pesimista, períodos 46-75 y 76-99, para ambos cultivos ya es significativa, llegando a un 40,50% para el girasol y al 44,30% para la palma africana.

Grupo 4. Denominados para el aprovechamiento animal

Cultivos: pasto (sembrado todo el año) y sorgo (no sembrado todo el año).

El pasto requiere riego para los distintos períodos y escenarios; el sorgo requiere riego para el escenario pesimista, período 76-99.

La reducción de rendimiento para ambos cultivos, en el escenario intermedio y los distintos períodos, se puede considerar de baja con 0,60% para el sorgo y 18% para el pasto.

Para el escenario pesimista, período 76-99, la reducción de rendimiento para ambos cultivos ya es significativa con 33% para el sorgo y 46,10% para el pasto.

Grupo 5. Denominado textil

Cultivo: algodón (no sembrado todo el año).

El algodón requiere riego para el escenario pesimista, período 76-99. La reducción de rendimiento para el cultivo, en el escenario intermedio, para los distintos períodos es baja: apenas de un 0,40%. Para el escenario pesimista, período 76-99, la reducción de rendimiento para el cultivo ya es significativa, llegando a un 34,70%.

3.3.4. Identificación de medidas de adaptación y mitigación de la agricultura al cambio climático

A continuación se presenta una serie de medidas de adaptación y mitigación de los cultivos al cambio climático.

Medidas de mitigación

- Evitar la incorporación de nuevas tierras a la agricultura que conlleve deforestaciones.
- Reducir o prohibir las quemas en las actividades agrícolas.
- Manejar adecuadamente los residuos de las actividades agrícolas, especialmente los ganaderos.
- Hacer uso eficiente de la energía en las maquinarias agrícolas para reducir la quema de los combustibles fósiles.
- Usar motores eficientes en las distintas actividades agrícolas (bombeo, sistemas de riego, entre otros).
- Estimular el uso de la agroforestería.
- Utilizar pastos mejorados, para reducir la emisión de GEI en pasturas mal manejadas.
- Uso eficiente de los fertilizantes nitrogenados.
- Aplicar técnicas de labranza.
- Aumentar las prácticas agrícolas que incrementen la entrada de carbono en el suelo y minimicen su descomposición (prácticas que minimicen la erosión del suelo, maximicen la cantidad de residuos agrícolas que retorna al suelo, maximicen el uso del agua y de los nutrientes por los cultivos).

- En caso de que se vaya a cambiar el uso de suelos cultivados, cambiarlos a praderas para garantizar el almacenamiento de carbono en el suelo.
- No desperdiciar los residuos agrícolas; usarlos para producir energía en la medida de lo posible.
- Utilizar variedades de cultivo que requieran menor cantidad de fertilizantes y pesticidas.
- Migrar en los casos que sean sustentables hacia una agricultura ecológica.
- Tratar en la medida de lo posible de no transformar tierras de humedales, bosques, pantanos y pastizales en tierras de cultivo.
- Usar cultivos mixtos, en vez de monocultivos.
- Concientización sobre los efectos negativos de los incendios antropogénicos y la vulnerabilidad de los cultivos y zonas forestales, sobre todo en épocas de sequías.
- Estudios científicos sobre la desertificación y la vulnerabilidad de los cultivos ante la misma.
- Medidas de adaptación
- Uso de variedades de cultivos con mejoramiento genético resistentes a sequías, plagas y enfermedades.
- Uso de variedades de ganado con mejoramiento genético de adaptación a la sequía, plagas y enfermedades.
- Utilización de sistemas de riego de alta eficiencia en el manejo del agua.
- Capacitación de los productores en actividades de manejo racional del agua y de agroquímicos.
- Realizar mejores prácticas agrícolas que conlleven labranzas de conservación, aplicación de abonos verdes, ajustes de las fechas de siembra y de cosecha y rotación de cultivos.
- En las prácticas pecuarias usar sistemas de rotación de potreros y bancos de forrajes.
- Reúso de agua para la agricultura.
- Inversiones en investigación, cambios de tecnología, extensión agrícola y seguros agrícolas adaptados al cambio climático.
- Uso de policultivos.