

# *Vulnerabilidad al cambio climático de los sistemas de producción hidroeléctrica en Centroamérica y sus opciones de adaptación*



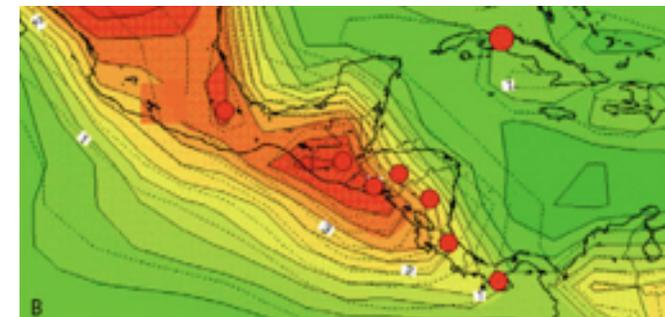


- **Visión general de las actividades del trabajo**
  - **Componente 1: Recopilación, Revisión y Análisis de Información**
  - **Componente 2: El impacto del cambio climático frente a las principales variables climáticas en Centroamérica**
  - **Componente 3: Estudios de Caso. Vulnerabilidad de plantas hidroeléctricas frente al Cambio Climático**
  - **Componente 4: Análisis de Costo/Beneficio de adaptación al Cambio Climático**
  - **Componente 5: Desarrollo de una metodología Replicable**
  - **Componente 6: Difusión de Resultados**
  - **Componente 7: Informes**



- **Componente 1:** Recopilación, Revisión y Análisis de Información.
- Actividad realizada desde el inicio, que ha consistido principalmente en la búsqueda de información y datos necesarios para el desarrollo de los trabajos. Esta búsqueda se ha realizado en distintos organismos y mediante distintas vías.
- **Componente 2:** El impacto del cambio climático sobre las principales variables climáticas en Centroamérica.
- Simulación de los impactos anticipados al Cambio Climático sobre las principales variables climáticas (precipitación y temperatura) y su influencia en la generación hidroeléctrica.

- Para la correcta ejecución de los trabajos se ha considerado necesario recopilar la siguiente información
  - a. Modelos Climáticos Globales y Regionales
  - b. Datos referentes a Centrales Hidroeléctricas de los distintos países objetivo de los trabajos
  - c. Datos Hidrometeorológicos de los países de Centroamérica o bien de las cuencas en las que se desarrollarán los casos de estudio
  - d. Estudios disponibles centrados en el tema que nos ocupa para los países de Centroamerica



- Se ha estudiado el impacto hidrológico del Cambio Climático de las 573 cuencas de Centroamérica, para poder analizar la vulnerabilidad de las las centrales hidroeléctricas de los 7 países involucrados
- Los recursos hídricos, pueden llegar a decrementarse hasta en un 75% de la aportación hídrica actual\*.
- El impacto en las producción hidroeléctrica se estima alto\*\* en Centroamérica si no se toman medidas de adaptación al Cambio Climático

■ Rangos de variación de la aportación\*\*\*

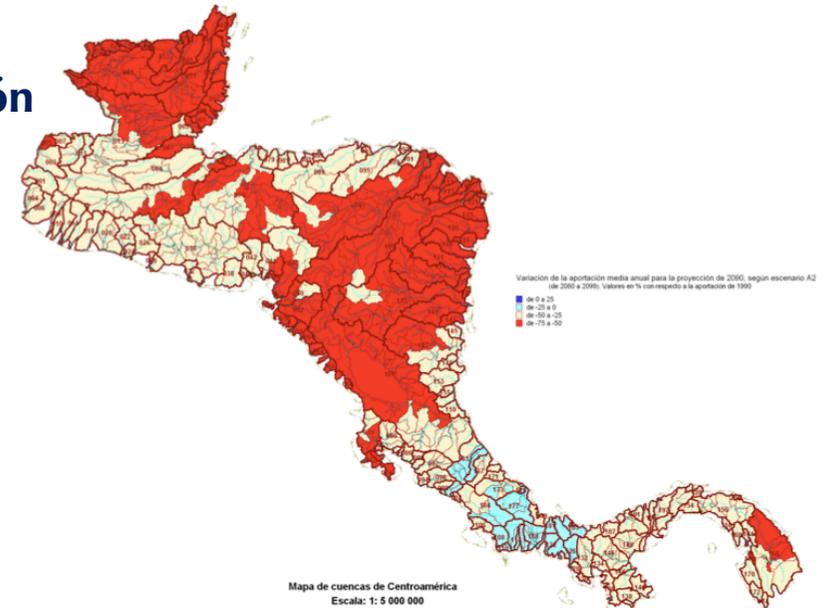
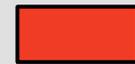
■ Hasta -25%



■ Hasta -50%



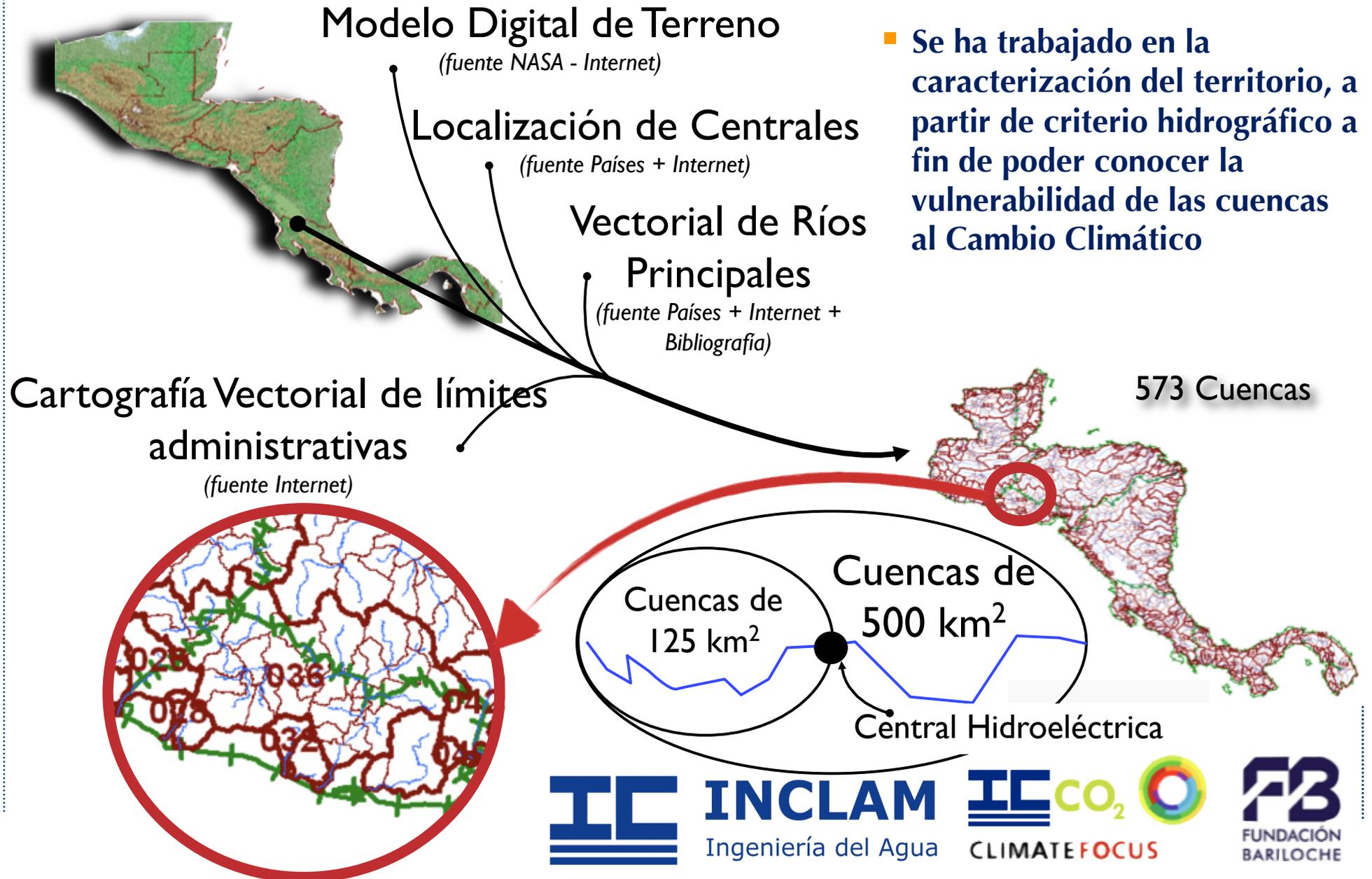
■ Hasta -75%

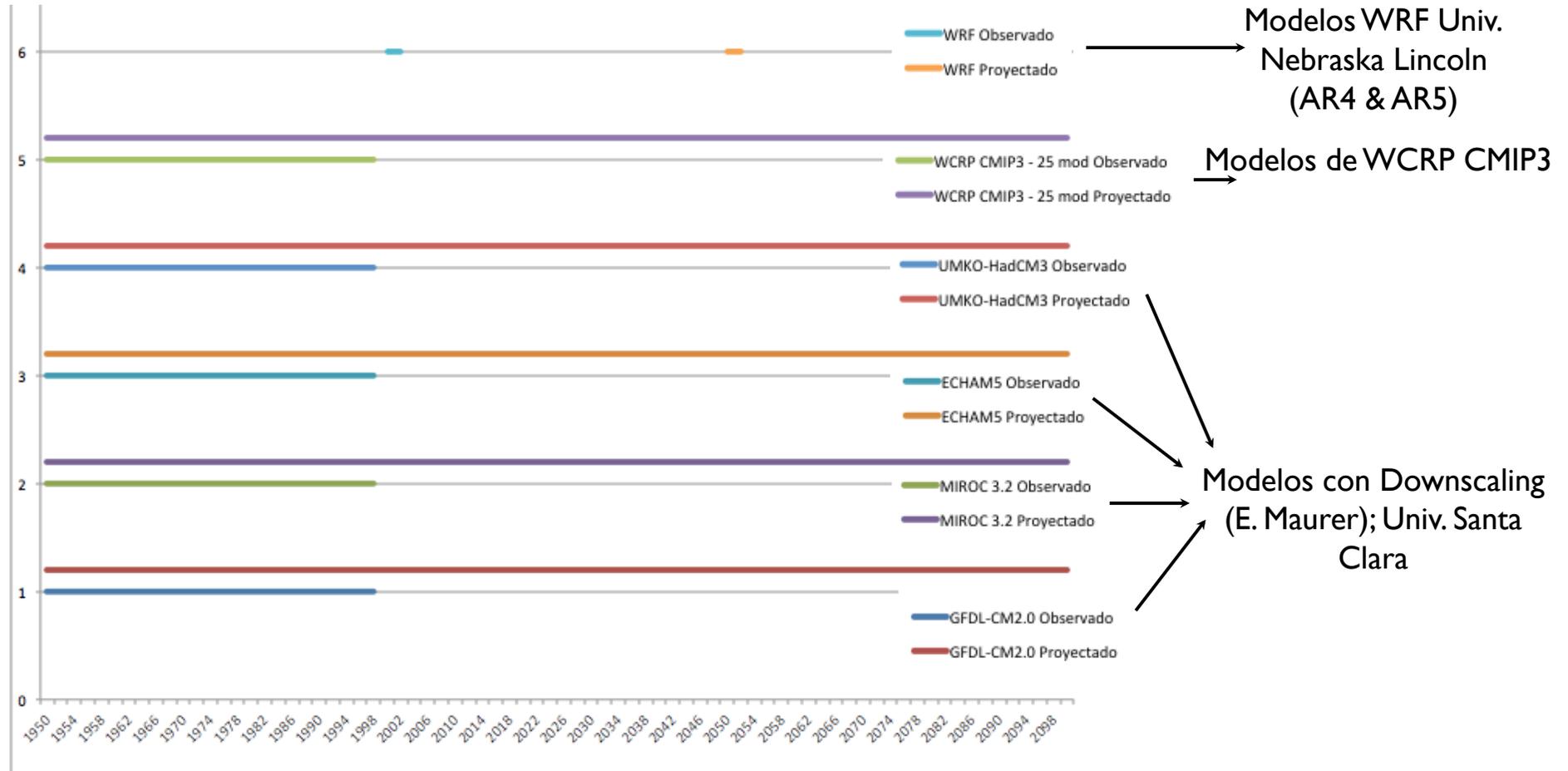


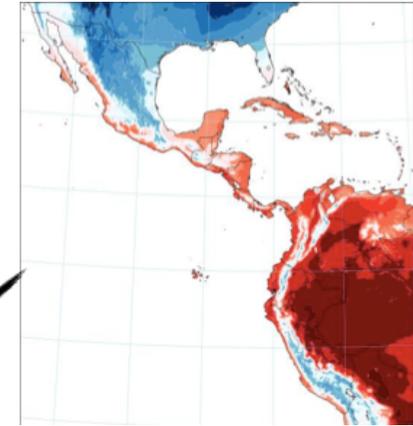
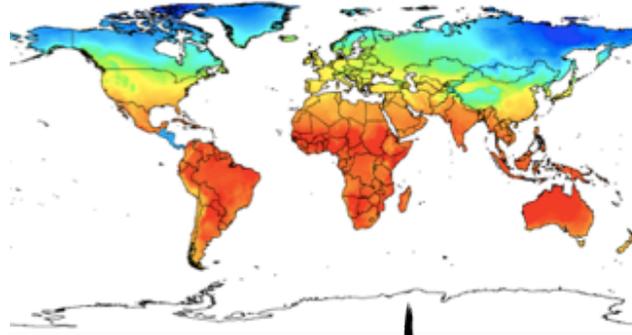
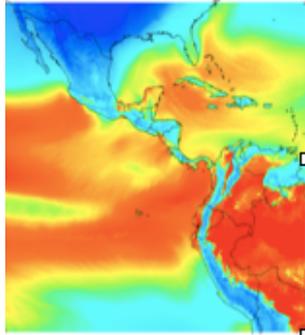
\*Datos referenciados a cálculos sobre el escenario de emisión A2 y proyección a 2090.

\*\* Como criterio general

\*\*\* Imagen mostrada de la variación de aportación en % calculada para el escenario A2 y proyección 2080-2100

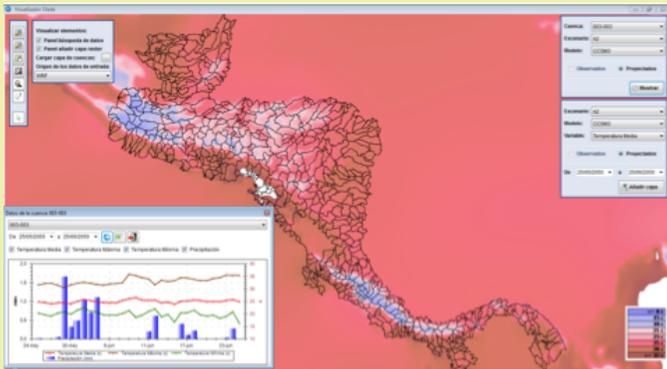






BBDD PostGIS

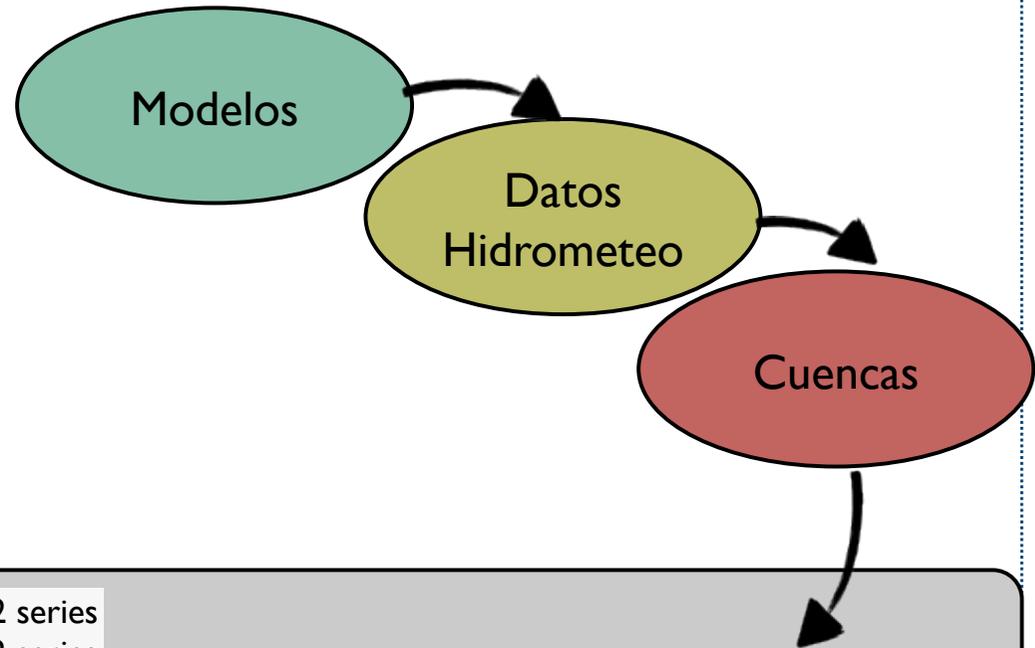
### Herramientas de Análisis Climáticas



- Para poder manejar todos los datos de los modelos climáticos disponibles, ha sido necesario desarrollar un software “ad-hoc”.

[www.inclamssoft.com/demoestaciones](http://www.inclamssoft.com/demoestaciones)

- Conocer para cada cuenca los recursos disponibles presentes y futuros en distintos escenarios de CC
- Para cada una de las 573 en las que se ha dividido el territorio, se han realizado estudios hidrológicos sobre distintos escenarios y distintas proyecciones



Series Observadas SCU: (4 variables \* 573 cuencas) = 2.292 series  
 Series Observadas WRF (4 variables \* 573 cuencas) = 2.292 series  
 Series Proy. SCU (4 mod\*2 var \* 3es\* 573 cuencas) = 13.752 series  
 Series Proy.WRF (1 mod\* 4 var\* 1 es\* 573 cuencas) = 2.292 series

Series de Precipitación y Temperatura

Series Observadas SCU: (mm de aport. 573 cuencas) = 573 series  
 Series Observadas WRF (mm de aport. 573 cuencas) = 573 series  
 Series Proy. SCU (3 escenarios \* mm de 573 cuencas) = 1.719 series  
 Series Proy.WRF (1 escenario \* mm de 573 cuencas) = 573 series

Series de Recursos Hídricos

- Por tanto para cada una de las 573 cuencas de las que se compone el itmo Centroamericano tendremos comparativas de precipitación, temp, evap, aportaciones para cada escenario y distintas proyecciones):

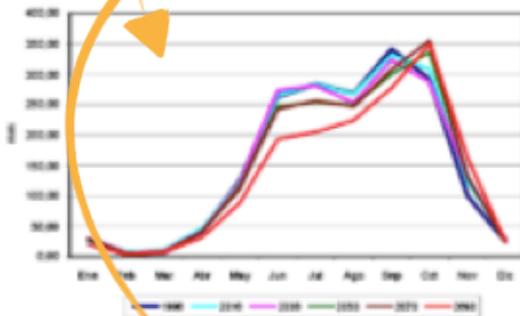
CÓDIGO: 036-010

RÍO LEMPA EN EMBALSE 15 DE SEPTIEMBRE

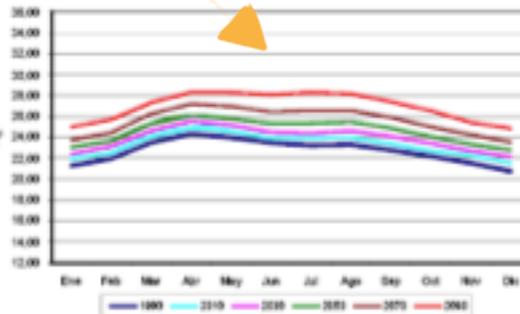
Valores medios anuales, según proyección y escenario de emisión

Periodo de observación o proyección	1990	2010		2030			2050			
Escenario	—	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B
Precipitación (mm)	1781.56	1818.57	1851.41	1911.43	1783.52	1825.69	1867.28	1740.24	1789.39	1776.83
Temperatura (°C)	22.68	23.30	23.18	23.24	23.88	23.65	23.90	24.58	24.24	24.73
Evapotranspiración potencial (mm)	1610.28	1693.28	1690.86	1686.23	1783.20	1762.14	1790.40	1897.77	1854.66	1928.49
Aportación (mm)	822.83	824.73	845.00	909.36	751.16	798.27	829.31	671.28	718.26	690.62
Aportación (hm³)	13701.42	13551.85	13669.05	14942.57	12343.11	13117.22	13627.23	11030.45	11802.42	11348.24

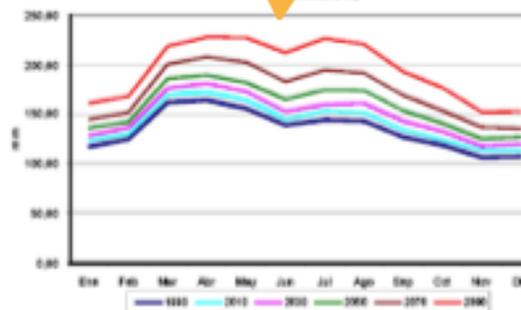
Evolución de la precipitación para distintas proyecciones en escenario A2



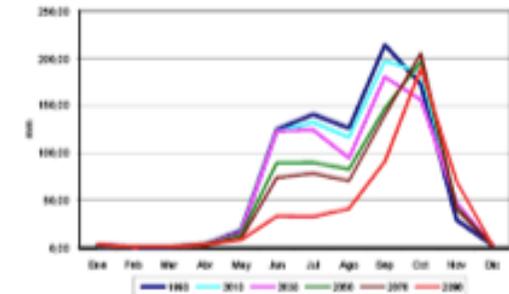
Evolución de la temperatura para distintas proyecciones en escenario A2



Evolución de la evapotranspiración potencial para distintas proyecciones en escenario A2



Evolución de la aportación para distintas proyecciones en escenario A2

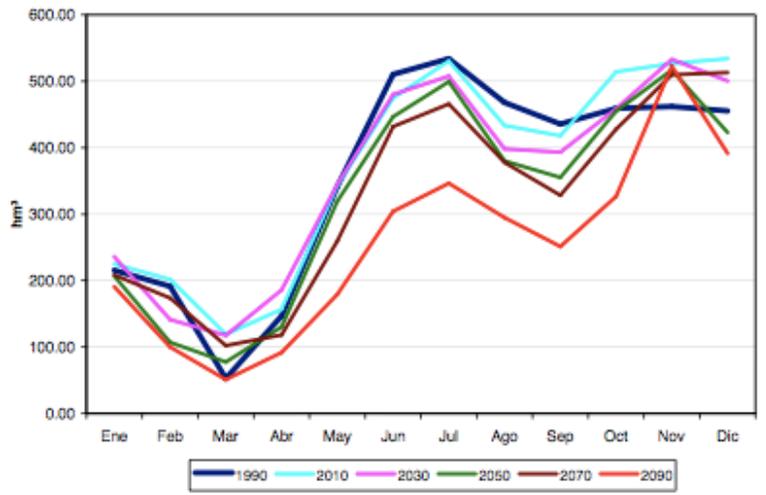


RECURSOS DISPONIBLES: 1204.0 KM<sup>2</sup> DE CUENCA 161-001 MAS TURBINACIÓN APROVECHAMIENTO C

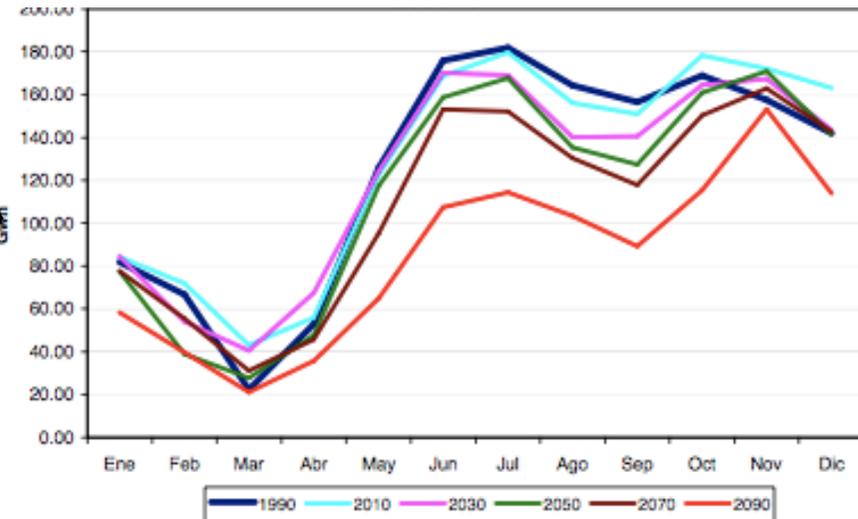
Valores medios anuales, según proyección y escenario de emisión

Periodo de observación o proyección	1990	2010			2030			2050		
Escenario	--	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B
Aportación (hm <sup>3</sup> )	688.11	726.18	744.05	798.44	620.15	666.99	670.15	504.81	569.39	500.02

Evolución de las aportaciones para un determinado escenario



Evolución de la producción (GWh) para proyecciones de un escenario



POTENCIA: 50.0 MW

CAUDAL MÁXIMO TURBINABLE: 32.0 M<sup>3</sup>/S

SALTO NETO MÁXIMO: 187.0 M

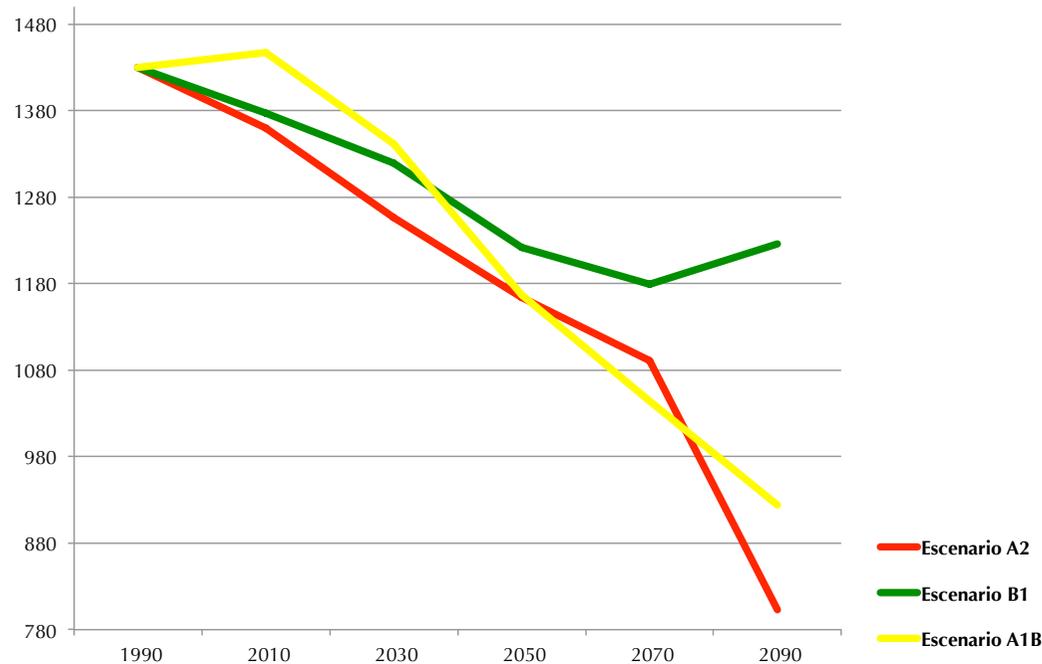
Valores medios anuales, según proyección y escenario de emisión

Periodo de observación o proyección	1990	2010			2030			2050			
Escenario	--	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
Producción hidroeléctrica (Gwh)	192.64	195.82	198.81	210.65	173.51	183.04	181.31	146.44	162.76	143.27	129.09
% Volumen turbinado con respecto a la aportación disponible	64.70	62.32	61.75	60.97	64.66	63.42	62.53	67.04	66.06	66.22	66.16

- Se han seleccionado 7 centrales hidroeléctricas, en los 7 países de Centroamérica para realizar el estudio de detalle de las mismas
- La selección de estas centrales se ha realizado para tener en cuenta centrales con vertiente Pacífico y Atlántico, tipologías con y sin regulación, recursos hídricos disponibles, grado de afección del cambio climático en la cuenca, etc
- Para cada una de las centrales involucradas en los casos de estudio, se realizarán análisis detallados de su posible vulnerabilidad al cambio climático, y las medidas de adaptación de las mismas

- Centrales Hidroeléctricas
  - Chixoy (Guatemala)
  - Mollejón (Belice)
  - 15 de Septiembre (El Salvador)
  - Lindo – Cañaveral (Honduras)
  - Copalar (Nicaragua)
  - Reventazón (Costa Rica)
  - Bayano (Panamá)

■ **Producción anual en distintos escenarios de emisión (GWh/año – Proyección)**

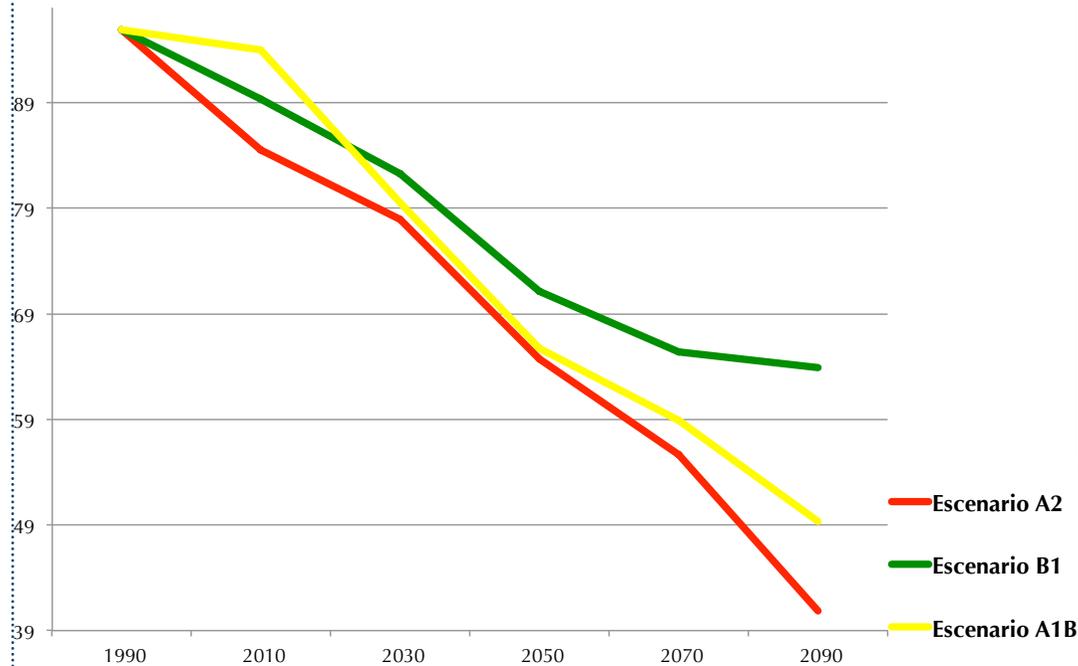


- Chixoy (Guatemala)
  - Vertiente: Atlántico
  - Embalse de Regulación: Sí
  - Recursos Disponibles: Muy Bajos
  - Grado de Turbinación: Muy Bajo
  - Impacto 2050\*: Muy Bajo
  - Impacto 2090\*: Alto

\*Considerado el escenario de emisión A2

	Obs.	2010			2030			2050			2070			2090		
		A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B
GWh/año	1430	1360	1377	1447	1256	1319	1342	1164	1222	1167	1091	1179	1044	<b>803</b>	1226	924
%	-	-4,9%	-3,7%	1,2%	-12,2	-7,8%	-6,2%	-18,6	-14,5	-18,4	-23,7	-17,6	-27,0	<b>-43,8</b>	-14,3	-35,4

### Producción anual en distintos escenarios de emisión (GWh/año – Proyección)



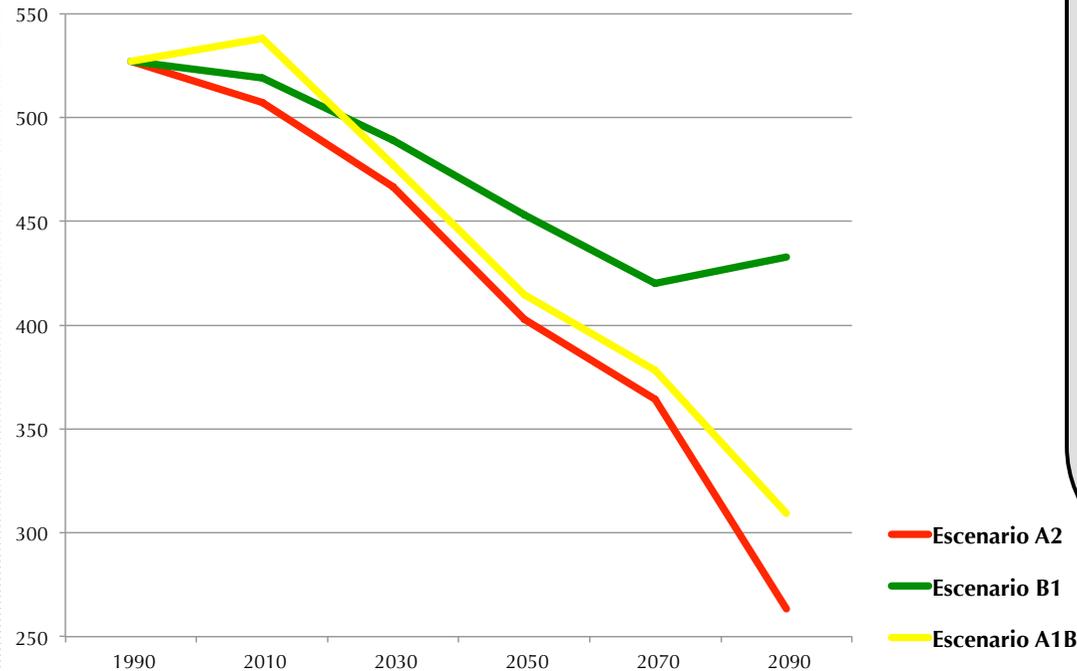
### Mollejón (Belice)

- Vertiente: Atlántico
- Embalse de Regulación: No
- Recursos Disponibles: Muy Bajos
- Grado de Turbinación: Alto
- Impacto 2050\*: Alto
- Impacto 2090\*: Muy Alto

\*Considerado el escenario de emisión A2

	Obs.	2010			2030			2050			2070			2090		
		A2	B1	A1B	A2	B1	A1B									
GWh/año	95,93	84,54	89,38	93,96	77,93	82,24	79,54	64,73	71,14	65,75	55,69	65,4	58,91	<b>40,86</b>	63,91	49,32
%	-	-11,9	-6,8%	-2,1%	-18,8	-14,3	-17,1	-32,5	-25,8	-31,5	-41,9	-31,8	-38,6	<b>-57,4</b>	-33,4	-48,6

■ **Producción anual en distintos escenarios de emisión (GWh/año – Proyección)**

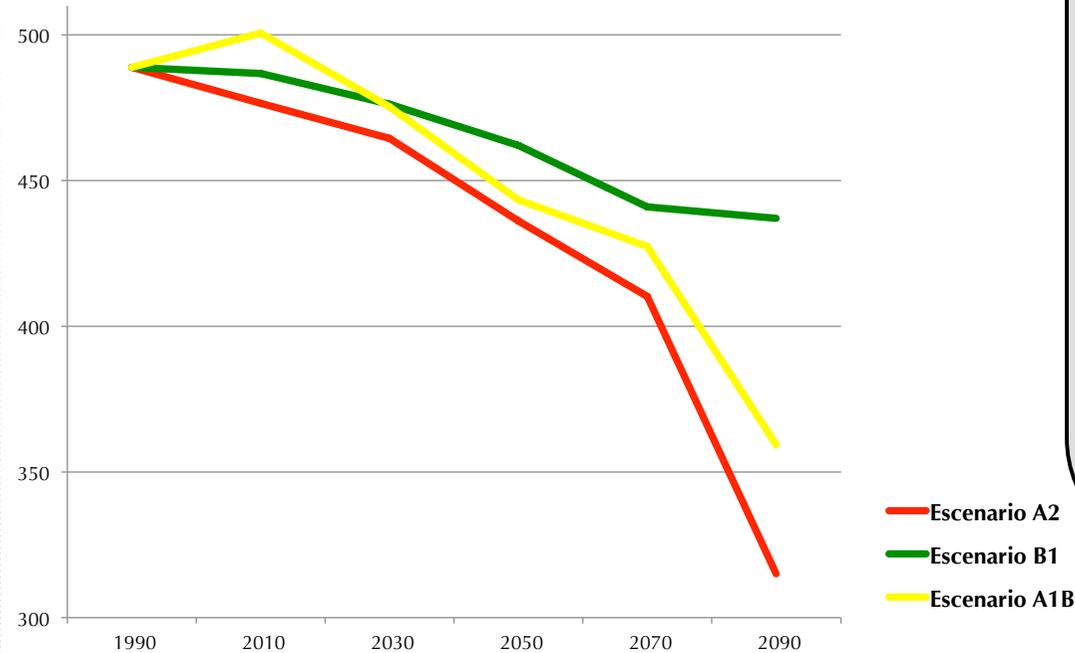


- 15 de Septiembre (El Salvador)
  - Vertiente: Pacífico
  - Embalse de Regulación: No
  - Recursos Disponibles: Bajos
  - Grado de Turbinación: Alto
  - Impacto 2050\*: Medio
  - Impacto 2090\*: Muy Alto

\*Considerado el escenario de emisión A2

	Obs.	2010			2030			2050			2070			2090		
		A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B
GWh/año	527,3	507,09	519,24	538,19	466,87	489,03	477,19	403	453,12	414,54	364,22	419,98	378,29	<b>263,38</b>	432,91	309,18
%	-	-3,8%	-1,5%	2,07%	-11,6	-7,2%	-9,5%	-23,5	-14,07	-21,38	-30,93	-20,35	-28,26	<b>-50,05</b>	-17,90	-41,37

■ **Producción anual en distintos escenarios de emisión (GWh/año – Proyección)**

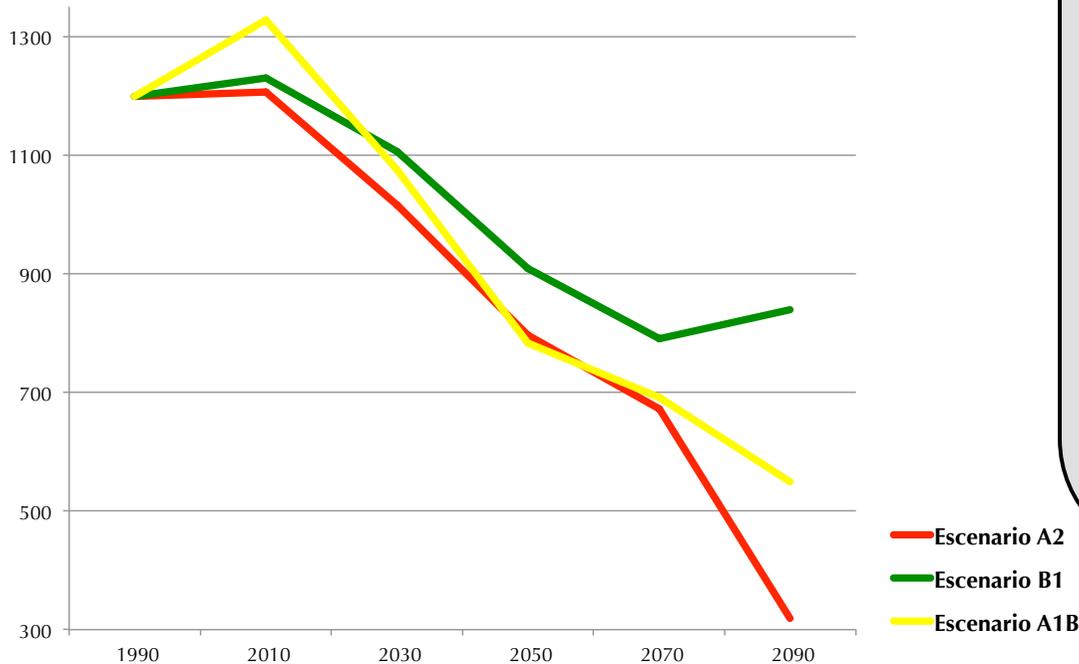


- Lindo-Cañaverl (Honduras)
  - Vertiente: Atlántico
  - Embalse de Regulación: No
  - Recursos Disponibles: Altos
  - Grado de Turbinación: Medio
  - Impacto 2050\*: Bajo
  - Impacto 2090\*: Alto

\*Considerado el escenario de emisión A2

Obs.	2010			2030			2050			2070			2090			
	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	
GWh/año	488,81	476,47	486,7	500,58	464,56	476,29	475,42	436,13	462,13	443,47	410,21	440,84	427,38	<b>315,04</b>	436,9	359,38
%	-	-2,5%	-0,4%	2,41%	-4,9%	-2,5%	-2,7%	-10,78	-5,4%	-9,2%	-16,08	-9,8%	-12,57	<b>-35,55</b>	-10,62	-26,48

### Producción anual en distintos escenarios de emisión (GWh/año – Proyección)

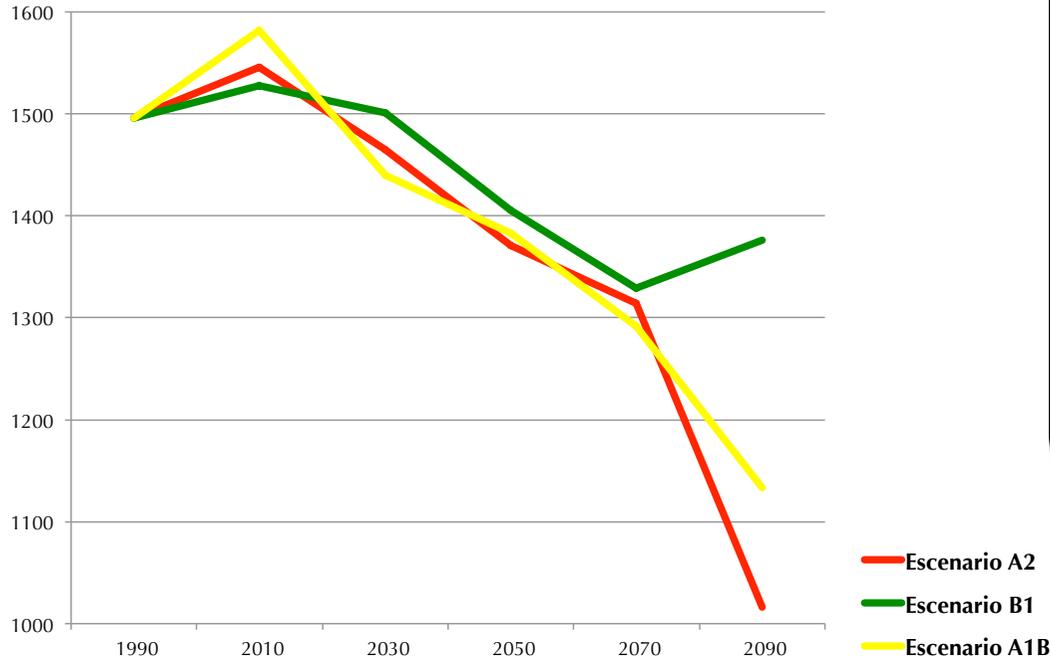


- Copalar (Nicaragua) futura.
  - Vertiente: Atlántico
  - Embalse de Regulación: Sí
  - Recursos Disponibles: Bajos
  - Grado de Turbinación: Muy Alto
  - Impacto 2050\*: Alto
  - Impacto 2090\*: Muy Alto

\*Considerado el escenario de emisión A2

Obs.	2010			2030			2050			2070			2090		
	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B
GWh/año	1199	1207	1230	1015	1106	1075	796	909	783	672	790	691	<b>319</b>	840	549
%	-	0,67%	2,59%	-15,35	-7,76	-10,34	-33,61	-24,19	-34,70	-43,95	-34,11	-42,37	<b>-73,39</b>	-29,94	-54,21

### Producción anual en distintos escenarios de emisión (GWh/año – Proyección)

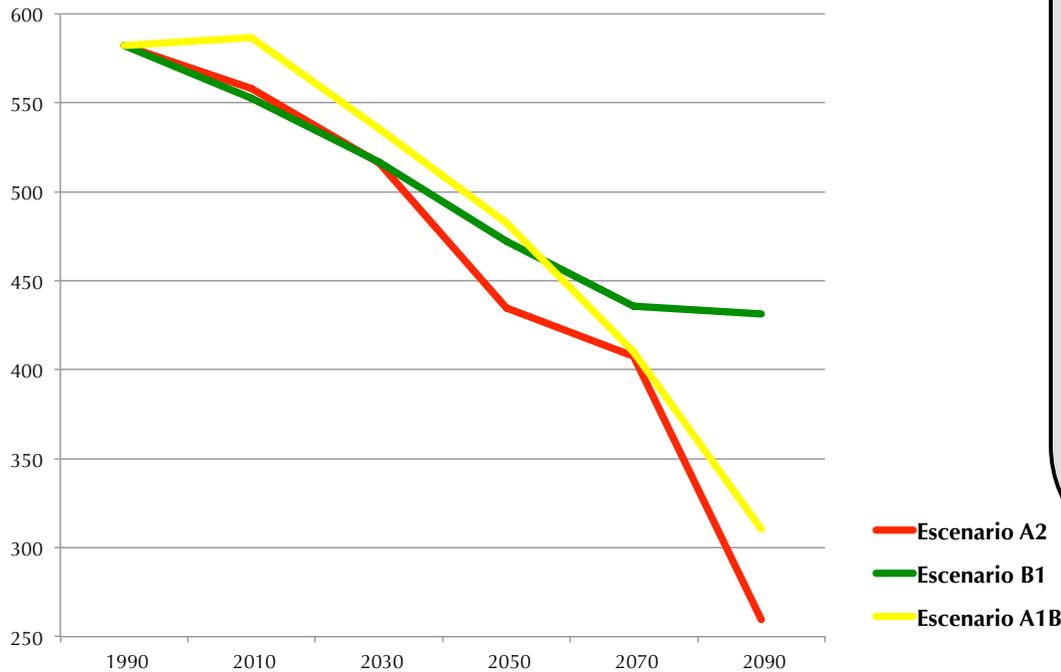


- Reventazón (Costa - Rica) en constr.
  - Vertiente: Atlántico
  - Embalse de Regulación: Sí
  - Recursos Disponibles: Muy Altos
  - Grado de Turbinación: Muy Alto
  - Impacto 2050\*: Muy Bajo
  - Impacto 2090\*: Alto

\*Considerado el escenario de emisión A2

	Obs.	2010			2030			2050			2070			2090		
		A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B
GWh /año	1496	1546	1528	1582	1465	1501	1440	1371	1405	1383	1314	1329	1292	<b>1016</b>	1376	1133
%	-	-3,2%	0,00%	-1,1%	2,33%	-5,2%	-2,9%	-6,8%	-11,32	-9,12	-10,54	-15,01	-14,04	<b>-16,43</b>	-34,28	-11,00

■ **Producción anual en distintos escenarios de emisión (GWh/año – Proyección)**

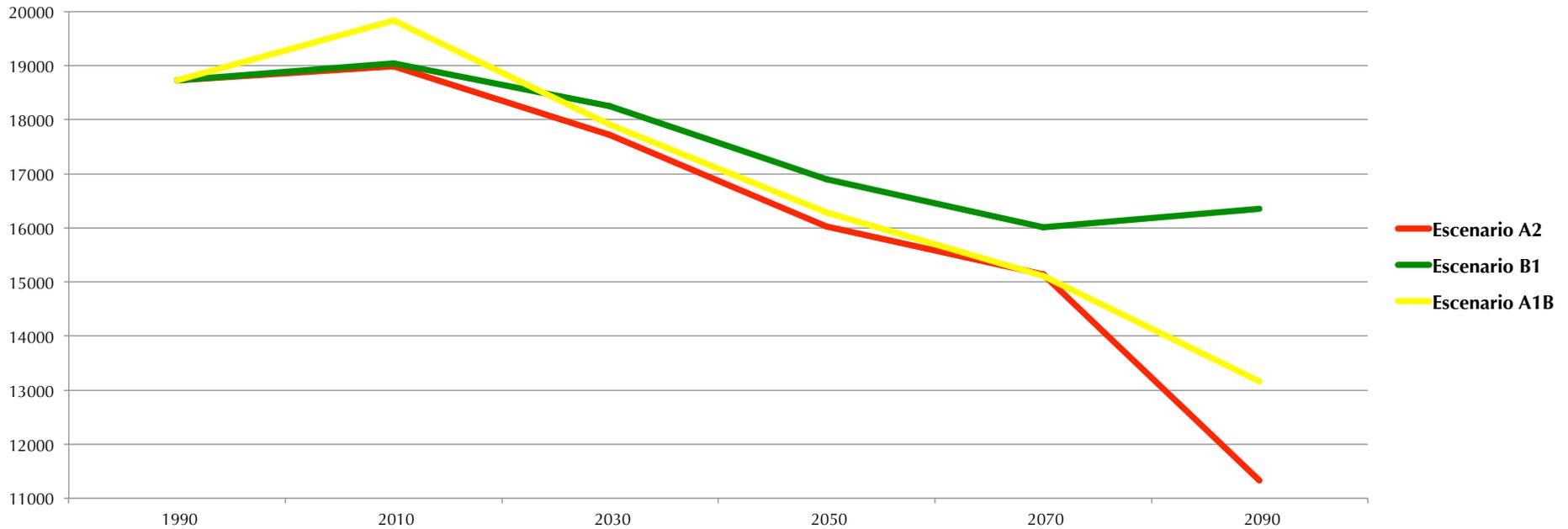


- Bayano (Panamá).
  - Vertiente: Pacífico
  - Embalse de Regulación: Sí
  - Recursos Disponibles: Medios
  - Grado de Turbinación: Muy Alto
  - Impacto 2050\*: Medio
  - Impacto 2090\*: Muy Alto

\*Considerado el escenario de emisión A2

	Obs.	2010			2030			2050			2070			2090		
		A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B
GWh/año	582,06	558,07	552,55	586,8	516,14	516,48	535,52	434,7	472,13	482,7	407,6	435,6	410,25	<b>259,44</b>	431,34	310,47
%	-	-3,8%	-1,5%	2,10%	-11,5	-7,3%	-9,5%	-23,6	-14,1	-21,4	-30,9	-20,4	-28,3	<b>-50,1</b>	-17,9	-41,4

■ **Producción anual en distintos escenarios de emisión (GWh/año – Proyección) en las centrales hidroeléctricas recensadas en el proyecto**



	Obs.	2010			2030			2050			2070			2090		
		A2	B1	A1B	A2	B1	A1B									
GWh/año	18728	18982	19039	19833	17717	18246	17916	16020	16904	16284	15136	16005	15114	<b>11323</b>	16355	13162
%	-	1,4%	1,7%	5,9%	-5,4%	-2,6%	-4,3%	-14,5	-9,7%	-13,0	-19,2	-14,5	-19,3	<b>-39,5</b>	-12,7	-29,7

# ***Vulnerabilidad al cambio climático de los sistemas de producción hidroeléctrica en Centroamérica y sus opciones de adaptación***

**MUCHAS GRACIAS**

**Nestor Luna – OLADE** ([nestor.luna@olade.org](mailto:nestor.luna@olade.org))

**Alfonso Andrés – INCLAM** ([a.andres@inclam.com](mailto:a.andres@inclam.com))



**INCLAM**  
Ingeniería del Agua

