



Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Civil
Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno “El Niño”



Análisis Estadístico de los Efectos del Cambio Climático sobre la ocurrencia de sequías

M.A.S. Juan W. Cabrera C.
Investigador Asociado - IMEFEN
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Nacional de Ingeniería

Febrero, 2012

Contenido

1. Sequías
2. Modelos Acoplados (AOGCMs)
3. Escenarios de Emisión
4. Efectos del Cambio Climático
sobre la ocurrencia de sequías
5. Ejemplo de Aplicación
6. Conclusiones

Parte I

Sequías

¿Qué es una sequía?

- * En términos generales, las sequías son desviaciones climáticas respecto a condiciones normales o deseables en una región.
- * Es una condición de insuficiente humedad causada por un déficit en la precipitación sobre un determinado período de tiempo.



Clases de sequía (1)

1. Sequía meteorológica

Referido a períodos largos sin lluvias.

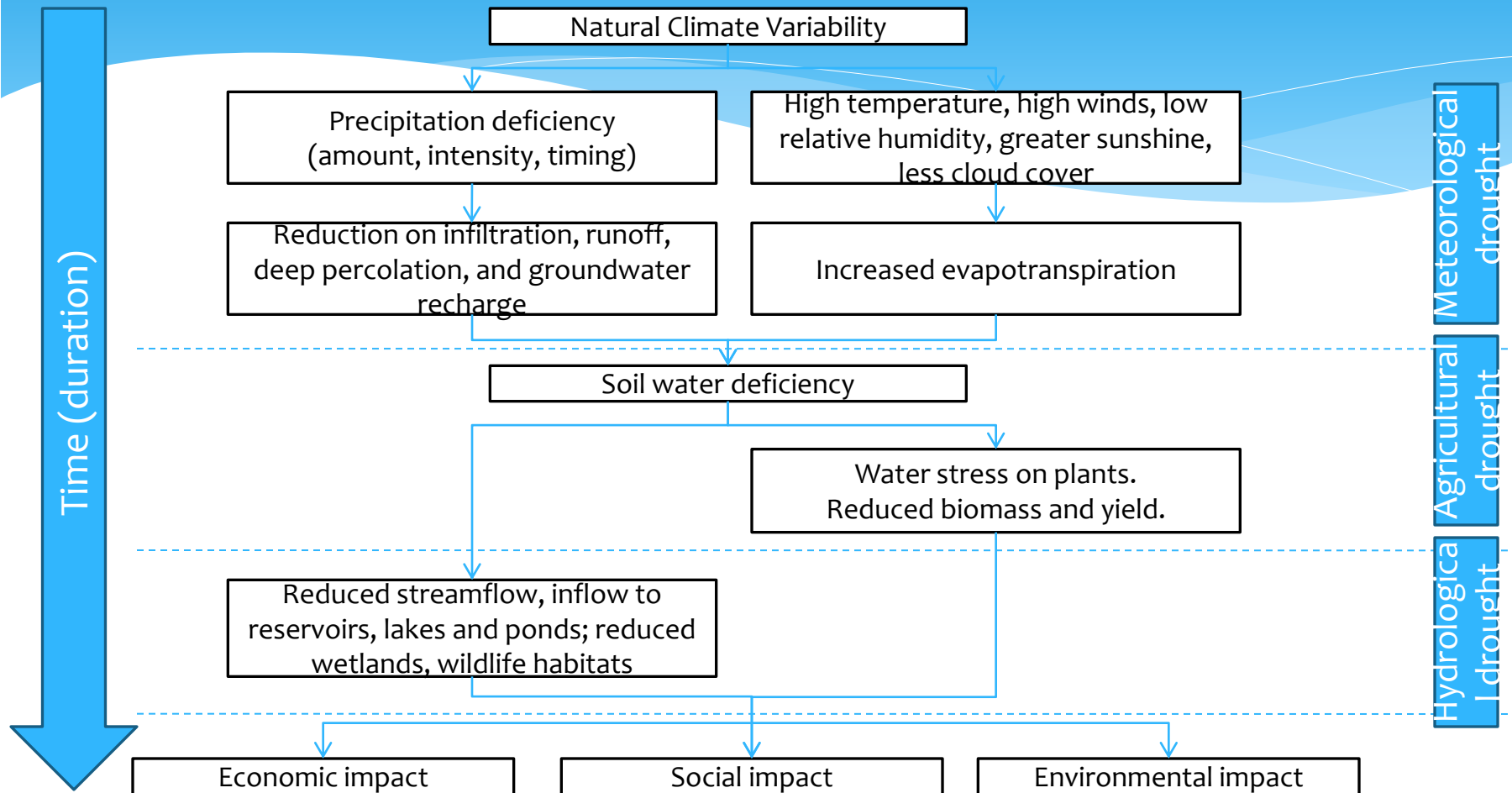
2. Sequía Agrícola

Referido a humedad de suelo baja y sus efectos sobre cultivos.

3. Sequía Hidrológica

Ocurrencia sostenida de disponibilidad hídrica menor a la esperada en ríos, lagos, etc sobre grandes áreas.

Clases de sequía (2)



Estadísticas (1)

1. Longitud (L)

Suma de intervalos de tiempo consecutivos con deficit de precipitación.

2. Magnitud (M)

Es el déficit acumulado durante una sequía.

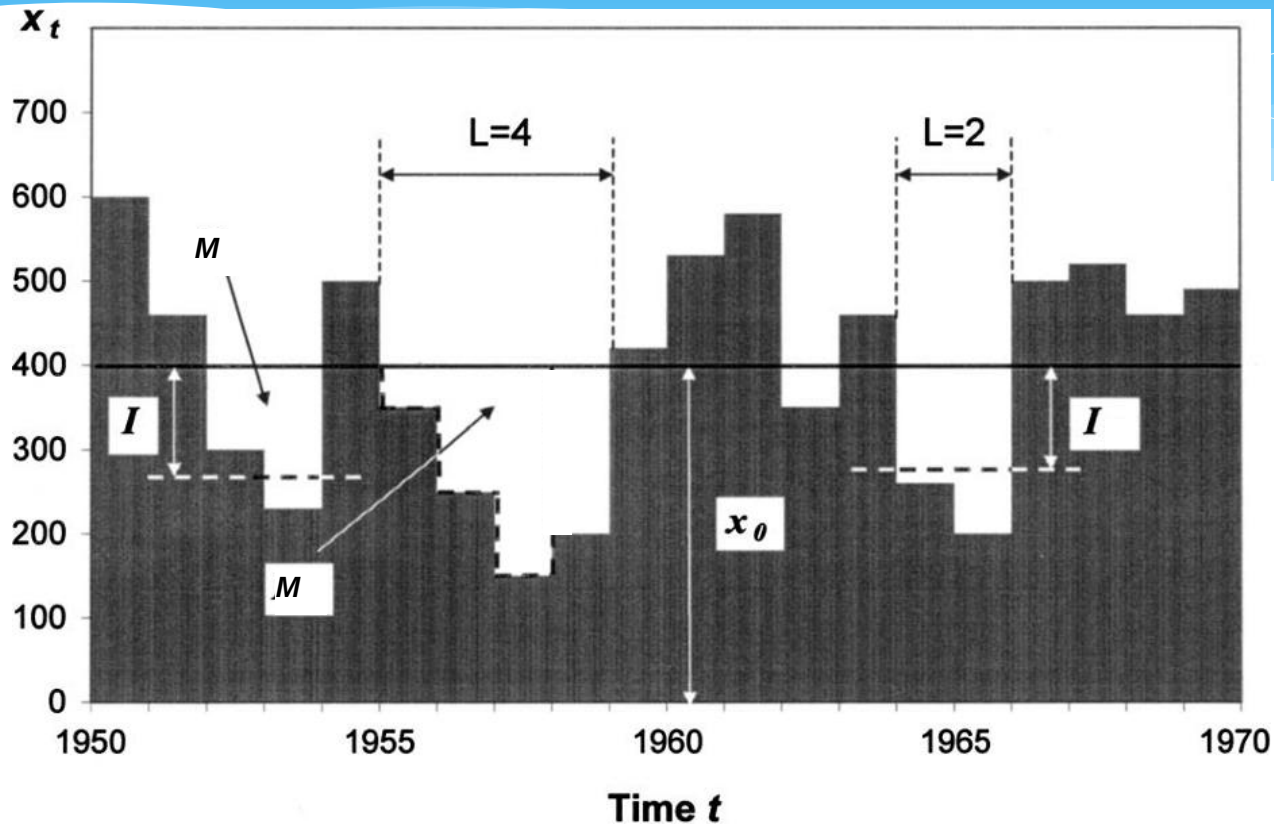
$$M = \sum_{i=1}^n deficit_i$$

3. Intensidad (I)

Es la relación entre magnitud y longitud

$$I = \frac{M}{L}$$

Estadísticas (2)



- Estadísticas relacionadas a sequías. x_t es el abastecimiento de agua y x_0 es la demanda.
Fuente: Salas et al. (2005).

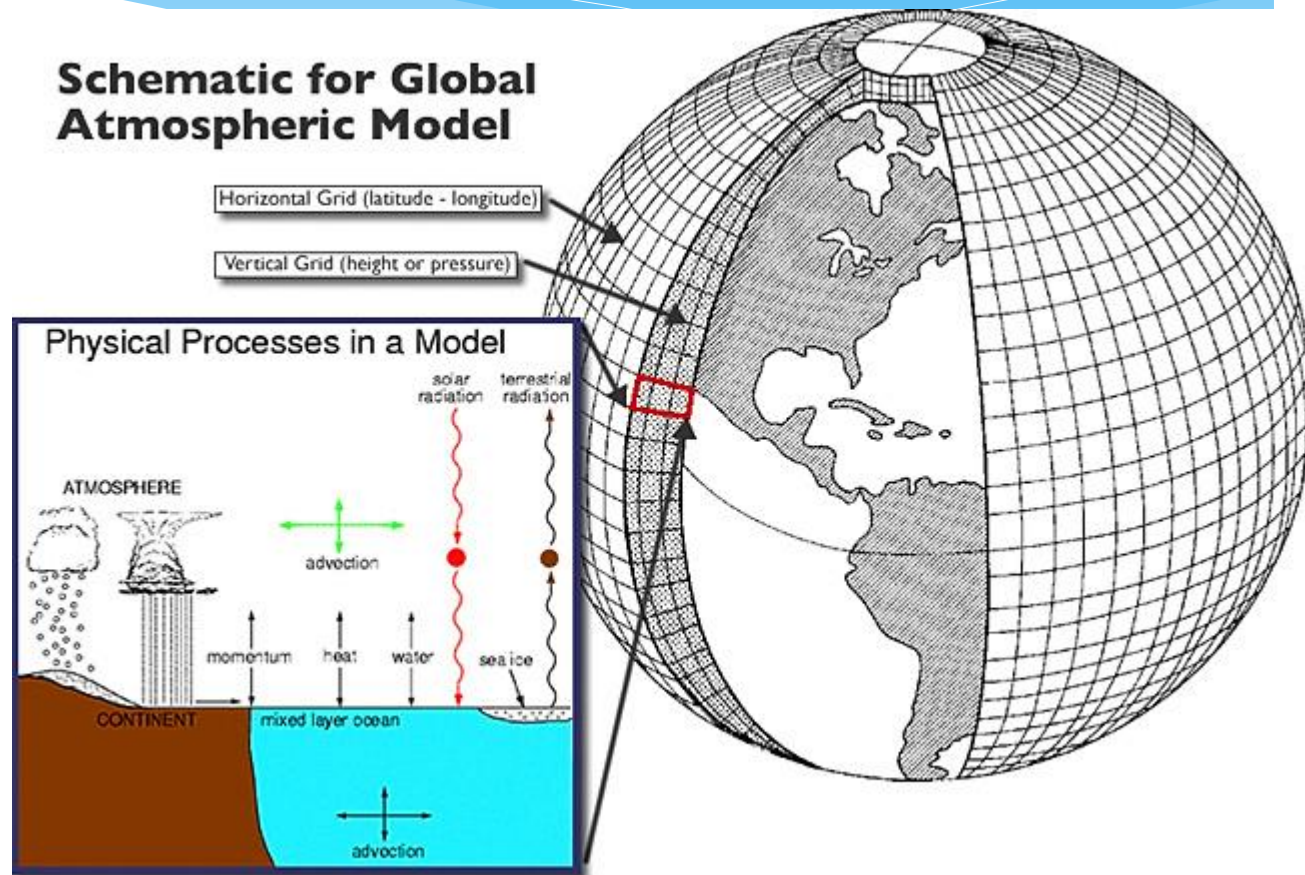
Parte II

Modelos de Circulación General Océano-Atmosféricos Acoplados (AOGCMs)

Modelos de Circulación General Océano Atmosféricos Acoplados (AOGCMs)-(1)

GCM:

son modelos matemáticos de circulación general de una atmósfera (AGCM) planetaria u océano (OGCM).

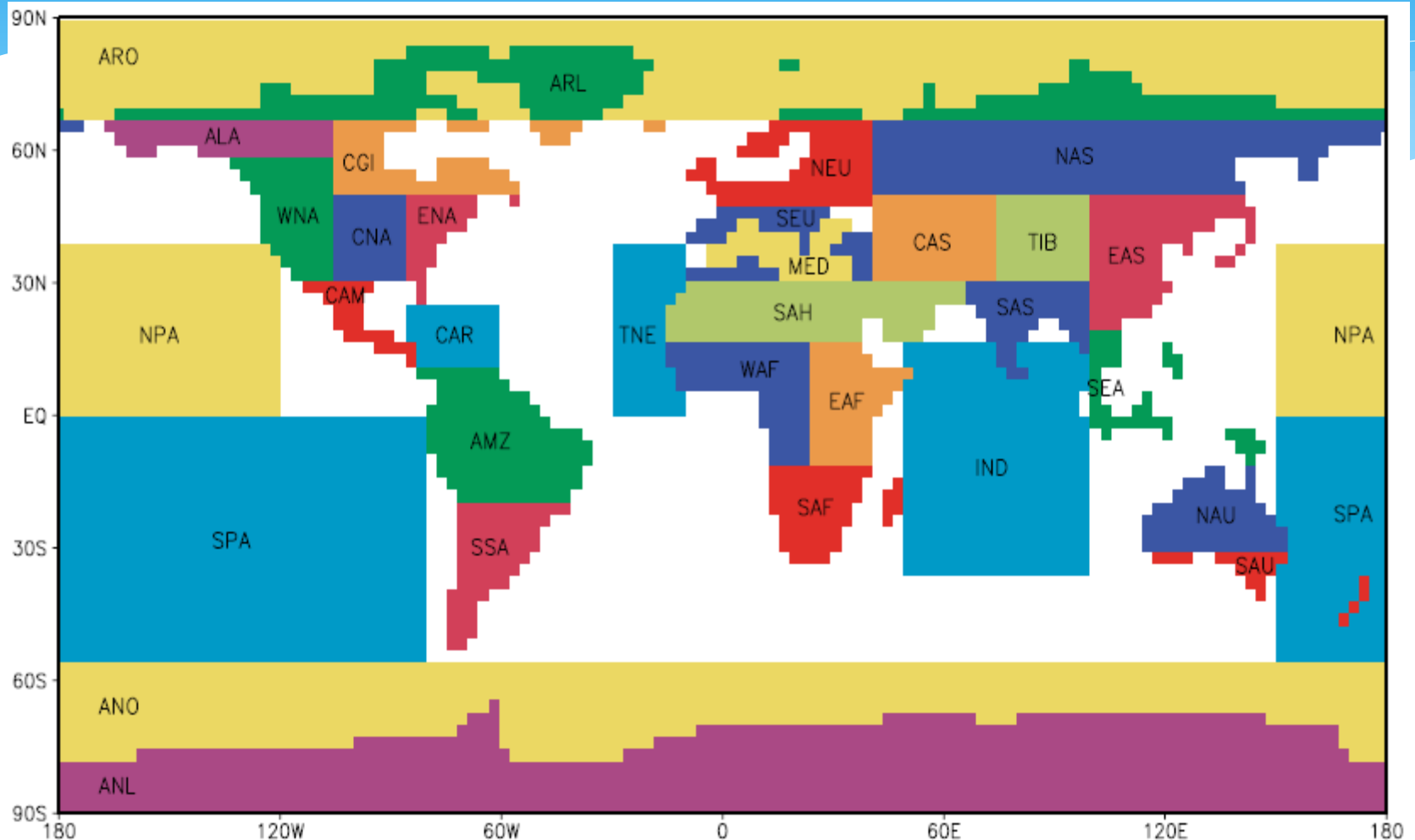


Modelos de Circulación General Océano Atmosféricos Acoplados (AOGCMs) -(2)

AOGCMs analizados por Ruostenoja et al. (2003)

MODEL	COUNTRY	GRID	N	L	DT _{glob} (°C)
CCSR/NIES	Japan	5.6X5.6°	2048	20	4.4
CGCM2	Canada	3.8x3.8°	4608	10	3.5
CSIRO Mk2	Australia	3.2x5.6°	3584	9	3.4
ECHAM4/OPYC3	Germany	2.8x2,8°	8192	19	3.3
GFDL R30	U.S.A.	2.2x3.8°	7680	14	3.1
HadCM3	United Kingdom	2.5x3.8°	7008	19	3.2
NCAR DOE PCM	U.S.A.	2.8x2.8°	8192	18	2.4

Regiones mundiales



Las 32 regiones del mundo definidas en la Tabla 2.2. El tamaño de celda corresponde al modelo ECHAM4

Projected temperature and precipitation variations

TIME	SLICE	2010-2039						
DEC-FEB	TEMPERATURE CHANGE				PRECIPITATION CHANGE			
MODEL	A2	B2	A1FI	B1	A2	B2	A1FI	B1
CCSRNIES	1.0729	0.9767	0.6703	0.3501	-1.8100	0.0900	2.0900	3.3400
CSIRO	0.8168	0.8887	0.8821	0.8171	1.8700	3.2300	2.0200	2.1700
ECHAM4	1.2226	1.4541	1.3449	1.2505	1.8300	2.3300	2.0200	2.0000
HADCM3	1.3266	1.2755	1.4460	1.1096	-1.2900	-2.6900	-1.4100	-2.3400
NCAR PCM	0.7116	0.8687	0.7828	0.7471	-0.7800	1.4000	-0.8600	1.2100
CGCM2	0.8350	0.8450			1.0400	2.7200		
GFDL-R30	0.8972	0.7862			9.0700	7.7600		
MAR-MAY	TEMPERATURE CHANGE				PRECIPITATION CHANGE			
MODEL	A2	B2	A1FI	B1	A2	B2	A1FI	B1
CCSRNIES	0.9302	0.9344	0.8825	0.6160	-2.4700	-3.8300	-1.4500	-1.6800
CSIRO	0.8730	0.9734	0.9429	0.8559	1.2800	1.1400	1.3900	1.1900
ECHAM4	1.1695	1.3595	1.2865	1.1691	0.7000	1.9300	0.7700	1.6600
HADCM3	1.2482	1.2507	1.3605	1.0881	-3.4700	-1.6200	-3.7800	-1.4100
NCAR PCM	0.6749	0.8096	0.7424	0.6962	1.9300	1.8000	2.1200	1.5500
CGCM2	0.8103	0.8124			-0.1300	-0.7200		
GFDL-R30	0.7175	0.7970			4.3100	2.2100		
JUN-AUG	TEMPERATURE CHANGE				PRECIPITATION CHANGE			
MODEL	A2	B2	A1FI	B1	A2	B2	A1FI	B1
CCSRNIES	1.0727	1.1503	0.9002	0.8380	-1.8200	-2.7000	2.0400	2.8000
CSIRO	0.8986	1.0543	0.9705	1.0243	-0.1300	0.3000	-0.1400	0.4200
ECHAM4	1.6097	1.7607	1.7707	1.5142	-3.0200	-0.9000	-3.3200	-0.7800
HADCM3	1.5219	1.4141	1.6589	1.2302	-8.7300	-8.9500	-9.5200	-7.7900
NCAR PCM	0.7662	0.8881	0.8428	0.7637	0.2000	1.5800	0.2200	1.3600
CGCM2	0.8314	0.7697			0.7200	-1.0900		
GFDL-R30	1.0859	1.1074			-0.5200	5.8700		
SEP-NOV	TEMPERATURE CHANGE				PRECIPITATION CHANGE			
MODEL	A2	B2	A1FI	B1	A2	B2	A1FI	B1
CCSRNIES	1.3244	1.4588	1.2691	0.7154	-6.7600	-9.5100	-3.1100	0.5900
CSIRO	0.9081	0.9527	0.9808	0.8715	0.8900	1.7600	0.9600	2.0900
ECHAM4	1.7018	2.0273	1.8720	1.7435	-2.8100	-3.1000	-3.1000	-2.6700
HADCM3	1.8980	1.5895	2.0688	1.3829	-11.0600	-6.2700	-12.0600	-5.4600
NCAR PCM	0.6683	0.8391	0.7351	0.7216	3.2700	2.5300	3.6000	2.1800
CGCM2	0.6918	0.6837			-1.3900	-2.8600		
GFDL-R30	1.0072	0.8599			2.7700	7.3200		

Parte III

Escenarios de Emisión



Kimmo Ruosteenoja, Timothy R. Carter,
Kirsti Jylhä and Heikki Tuomenvirta

Future climate in world regions:
an intercomparison of model-based
projections for the new IPCC
emissions scenarios

Escenarios de emisión (1)

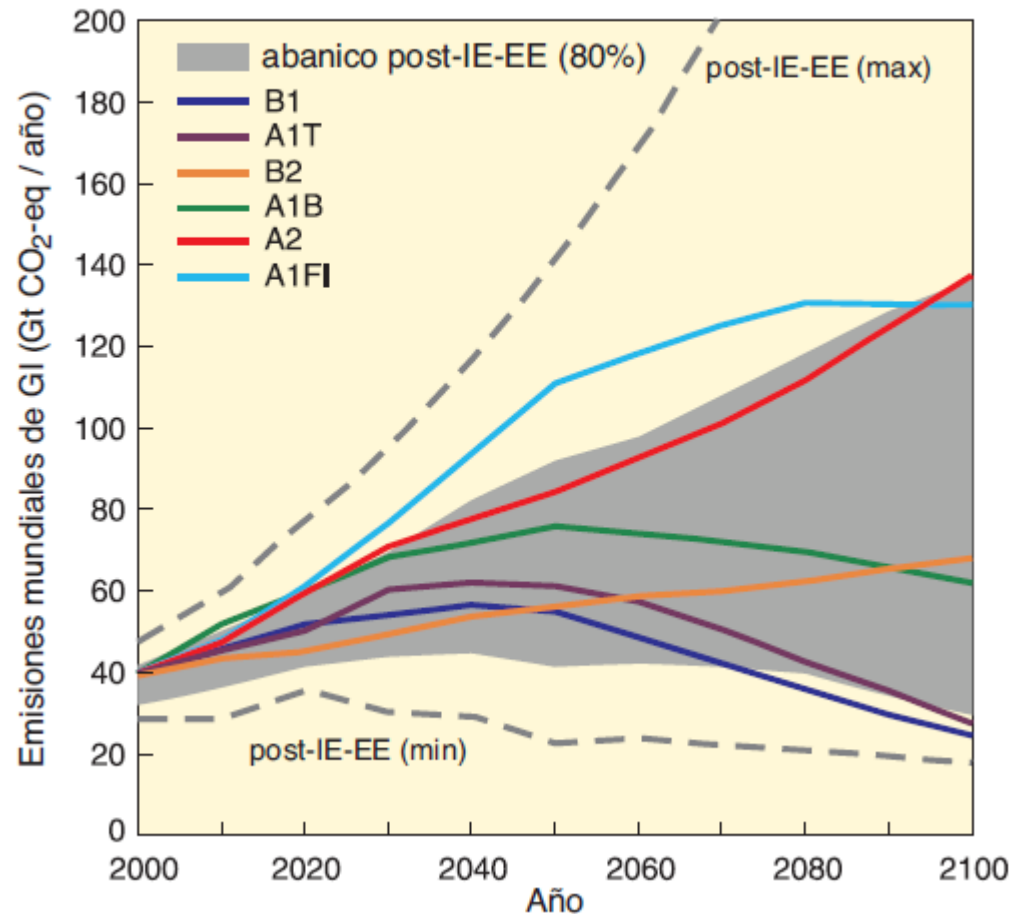
- * A1: presupone un crecimiento económico mundial muy rápido, un máximo de la población mundial hacia mediados de siglo, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes.
- * A1FI: intensiva en combustibles fósiles
- * A2: describe un mundo muy heterogéneo con crecimiento de población fuerte, desarrollo económico lento, y cambio tecnológico lento.

Escenarios de emisión (2)

- * B1: describe un mundo convergente, con la misma población mundial que A1, pero con una evolución más rápida de las estructuras económicas hacia una economía de servicios y de información.
- * B2: describe un planeta con una población intermedia y un crecimiento económico intermedio, más orientada a las soluciones locales para alcanzar la sostenibilidad económica, social y medioambiental.

Escenarios de emisión (3)

Escenarios de emisiones de GEI entre 2000 y 2100 en ausencia de políticas climáticas adicionales



• Tomado de IPCC (2007).

Parte IV

Efectos del Cambio Climático sobre la ocurrencia de sequías

Efectos del cambio climático

- * El incremento (o reducción) de precipitaciones produce un incremento (o reducción) de caudales.
- * El incremento de temperaturas produce mayor evapotranspiración y reducción de caudales.

¿Cómo pronosticar estos cambios?

- * AOGCMs proponen variaciones regionales de temperaturas y precipitaciones. Su uso adecuado permite obtener series proyectadas en el tiempo.

$$P'_i = (1 + \Delta P)P_i$$

$$T'_i = T_i + \Delta T$$

- * Para obtener series proyectadas de caudales, puede utilizarse un modelo precipitación-escorrentía que capture las variaciones de precipitación y temperatura.

Modelo abcd (1)

- * Modelo conceptual con bajos requerimientos de data de ingreso.
- * Sólomente requiere precipitación total mensual y temperatura media mensual como input.

Modelo abcd (2)

$$SR_t = aP_t$$

$$I_t = (1-a)P_t$$

$$E_t = bI_t$$

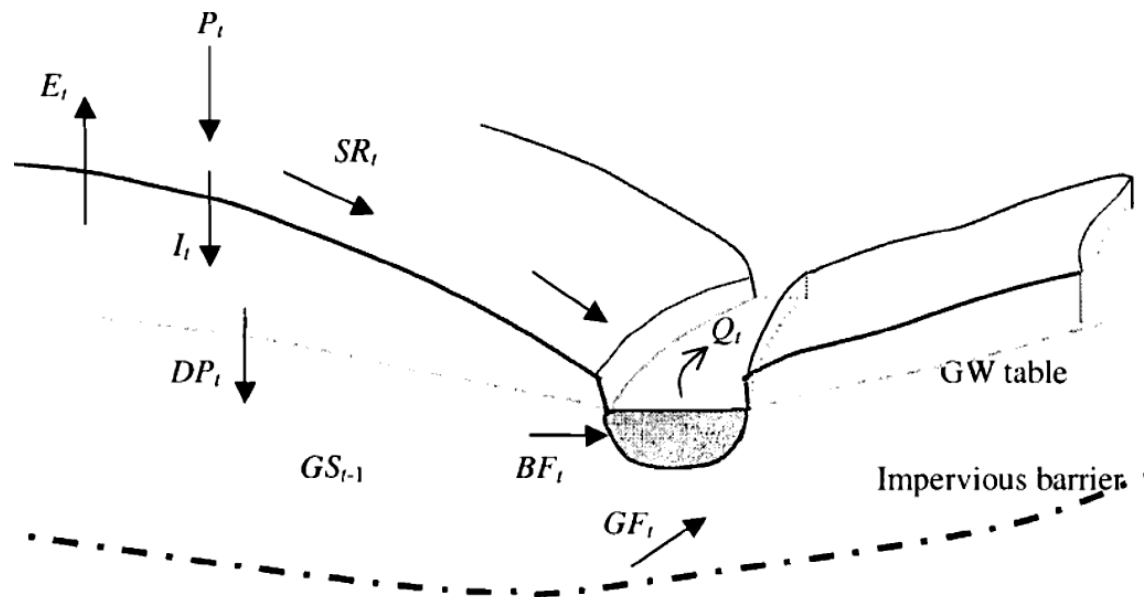
$$DP_t = (1-b)I_t$$

$$BF_t = cGS_{t-1}$$

$$GF_t = dGS_{t-1}$$

$$GS_t = (GS_{t-1} - BF_t - GF_t) + DP_t$$

$$Q_t = SR_t + BF_t$$



Disponibilidad Hídrica (1)

- * La disponibilidad hídrica para cultivos agrícolas se define como la suma de precipitación y caudales irrigados.

$$WA_i = P_i + I_i$$

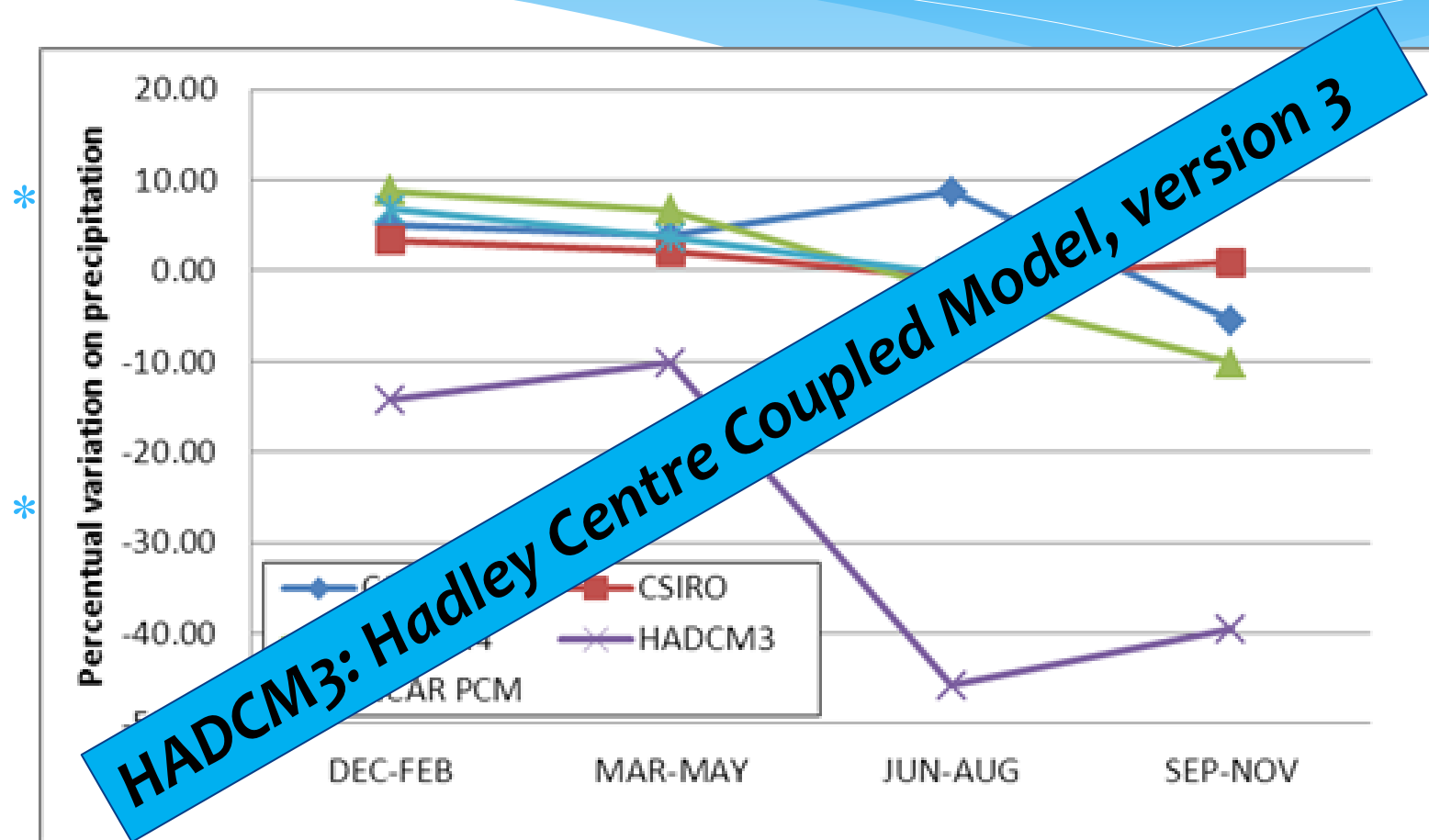
donde:

WA_i = disponibilidad hídrica en el mes “i” (mm).

P_i = precipitación en el mes “i” (mm).

I_i = agua irrigada en el mes “i” (mm).

Disponibilidad Hídrica (2)



Análisis Estadístico de sequías

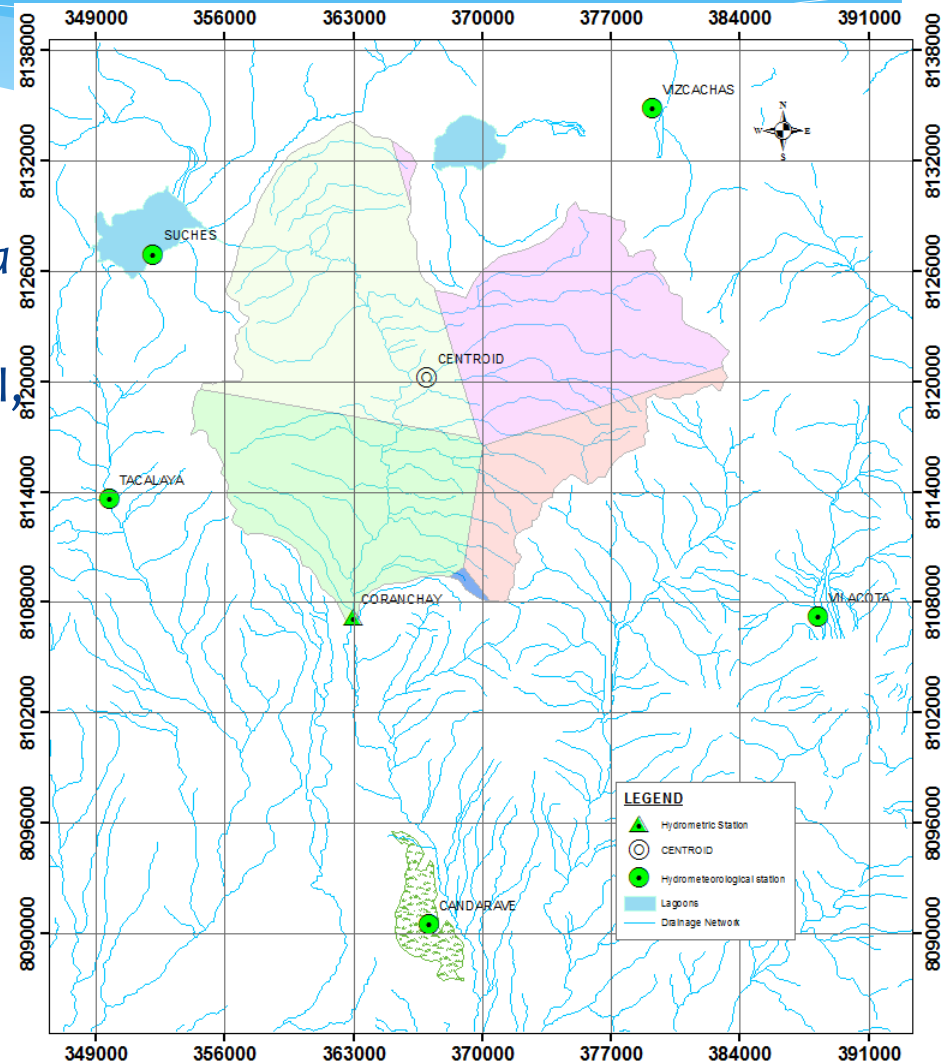
- * Las series de disponibilidad hídrica se comparan con la demanda agrícola para encontrar los meses con déficit.
- * Un primer análisis es hecho con respecto a las longitudes, para estimar la probabilidad de ocurrencia de períodos largos de sequías y evaluar la variación de estas longitudes para diferentes escenarios.
- * Un segundo análisis sobre las magnitudes permite comparar el escenario actual y el proyectado.

Parte V

Ejemplo de Aplicación

Data (1)

- * Data extraída del “Estudio de factibilidad: construcción de defensa ribereña y encausamiento del río Ilabaya y Locumba en los sectores de Chejaya, Ilabaya y Oconchay. Informe Final” (MDI, 2009).



Data (2)

The Callazas River headwater

Area : 437 Km²

Average precipitation/year : 420,3mm
The wettest month: January (113.4 mm).
The driest month : July (1.3 mm).

Average temperature per year: 9.8°C
The warmest month: July (10.54°C).
The coldest month : February (8.5°C).

The Candarave irrigation district

Area : 3186 Ha (31.86 Km²)

Average precipitation/ year : 166,7mm
The wettest month: February (54.8 mm).
The driest month: May (0.1 mm).

Average temperature per year: 9.8°C
The warmest month: January (10.4°C).
The coldest month : July (8.4°C).

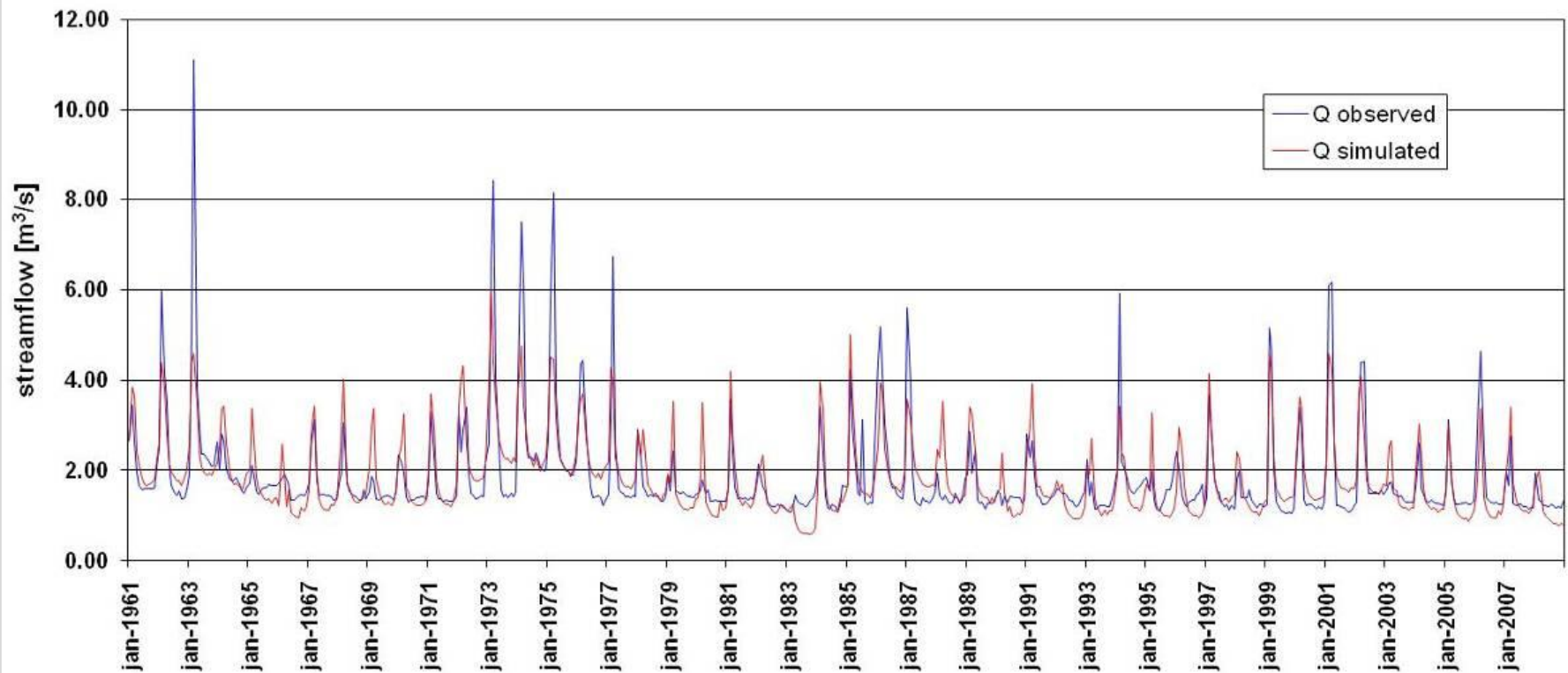
Estimación de la demanda agrícola

- * Demanda agrícola obtenida de “Estudio de factibilidad para el proyecto de regulación del río Callazas y mejoramiento de la infraestructura de riego en la provincia de Candarave. Informe Final.” (UNI, 2011).

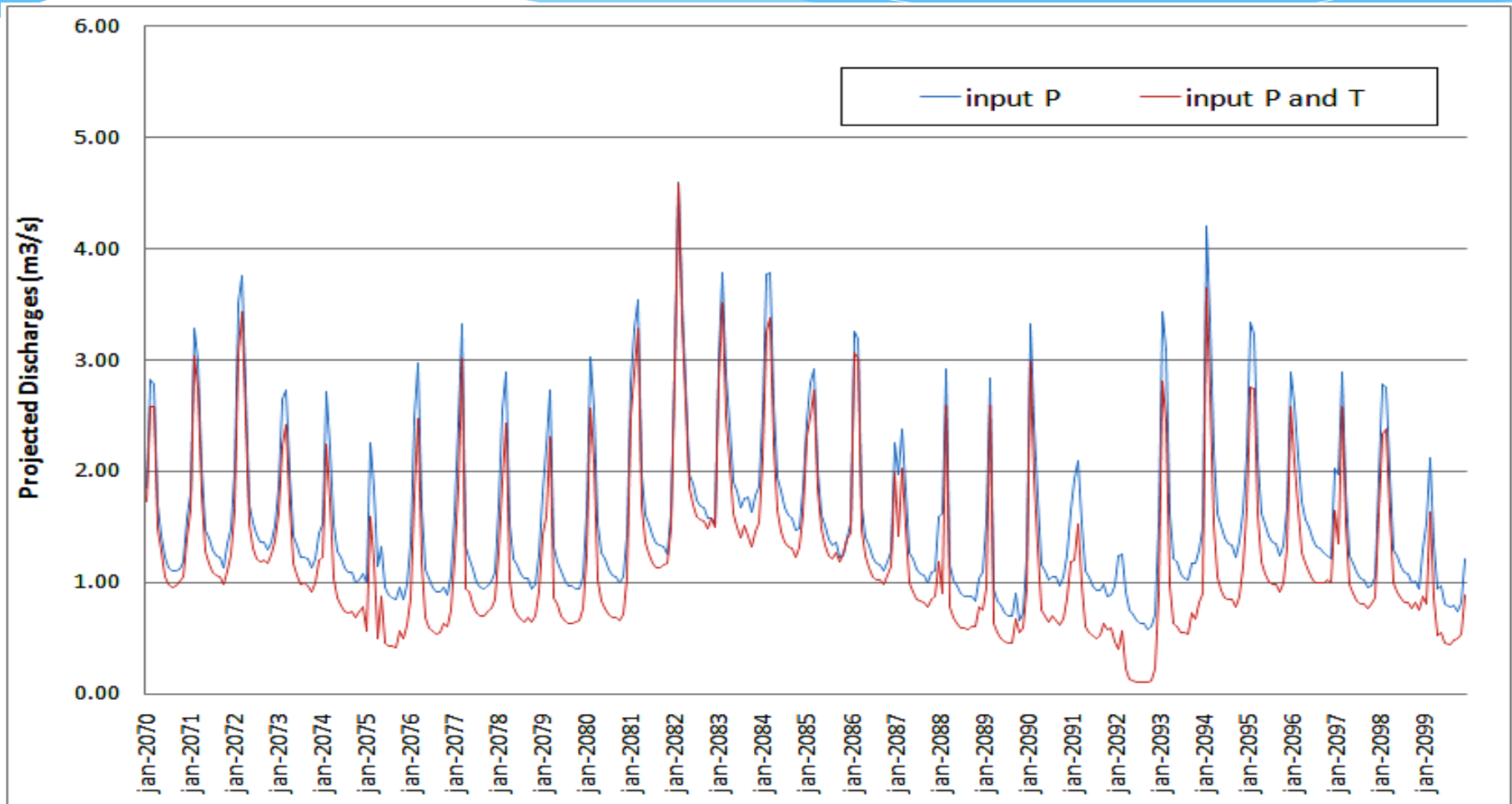
	Agricultural demand (m ³ /s)											
Scenario	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
75% of land	0.46	0.43	0.38	0.32	0.26	0.24	0.25	0.26	0.27	0.30	0.32	0.34

Estimación de caudales -Modelo abcd (1)

Comparison Between Historical and Simulated Streamflow
(seasonal abcd model - input P and T)



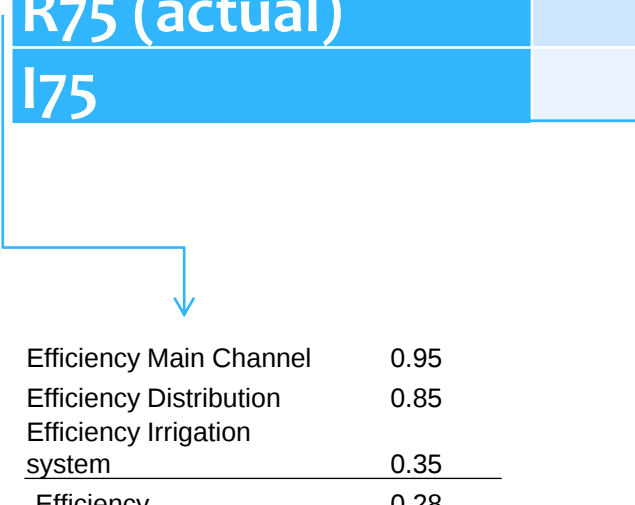
Estimación de caudales -Modelo abcd (2)



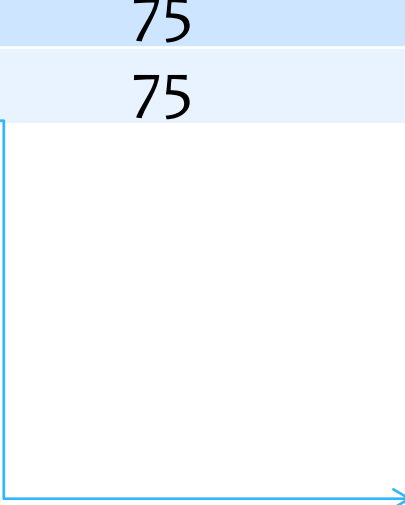
Escenarios de eficiencia de riego

Los escenarios considerados son:

Scenario	Area (%)	Efficiency
R75 (actual)	75	0.28
I75	75	0.54



Efficiency Main Channel	0.95
Efficiency Distribution	0.85
Efficiency Irrigation system	0.35
Efficiency	0.28



Efficiency Main Channel	0.95
Efficiency Distribution	0.95
Efficiency Irrigation system	0.60
Efficiency	0.54

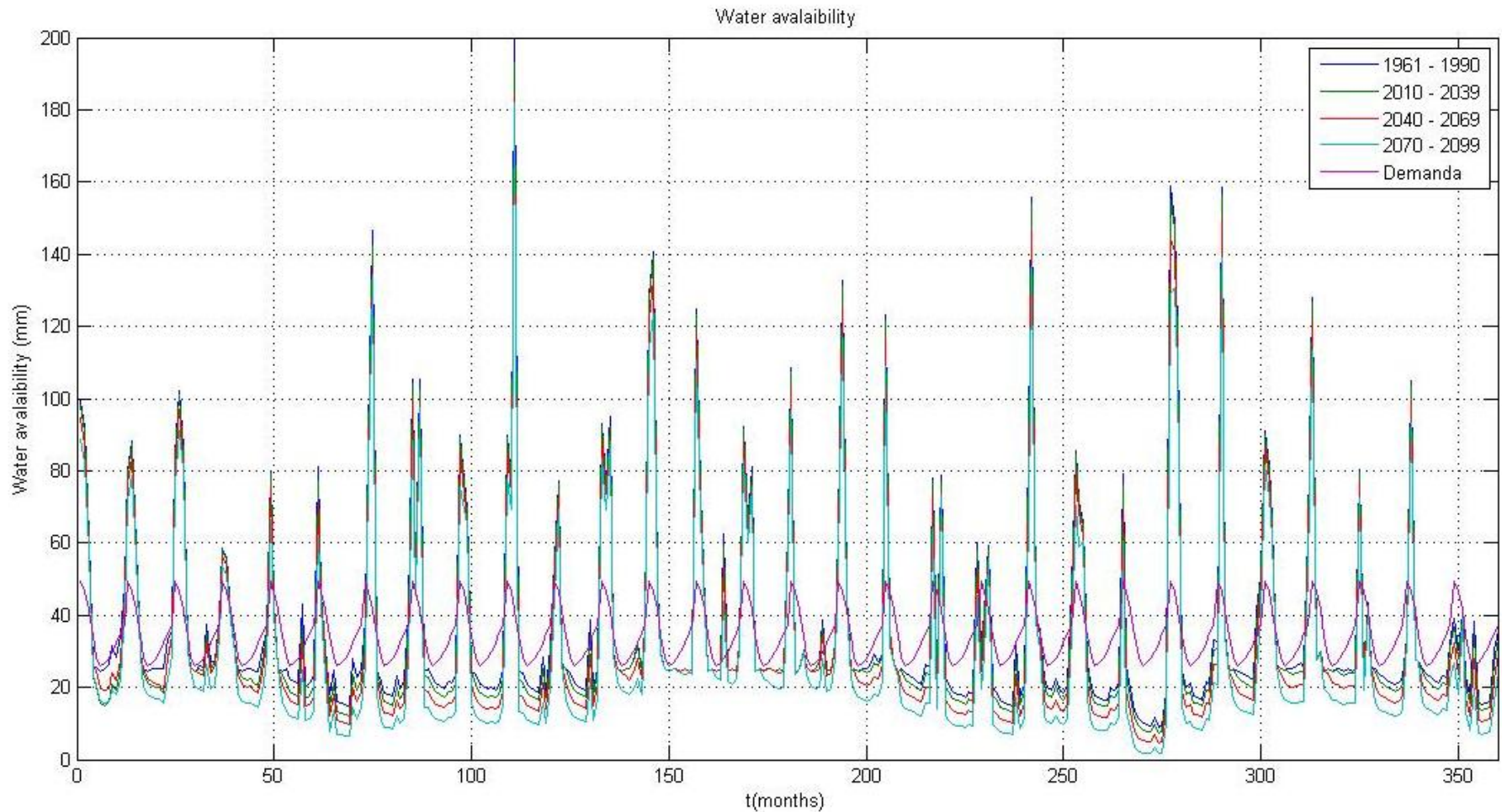
Estimación de Disponibilidad Hídrica (1)

- * Variaciones porcentuales de la disponibilidad hídrica entre escenarios futuros y el período de referencia (1961-1990).

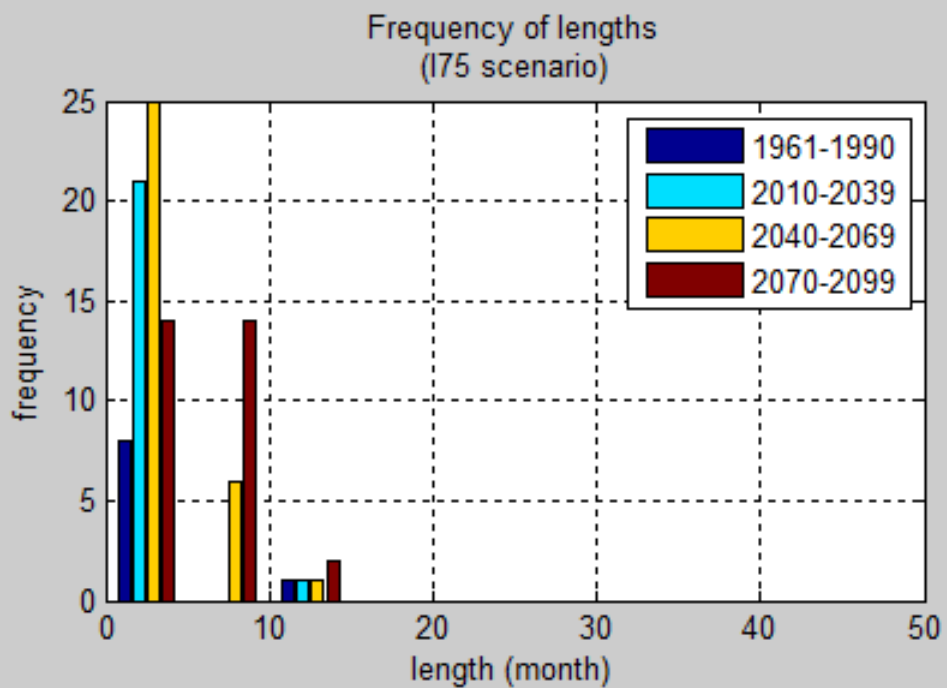
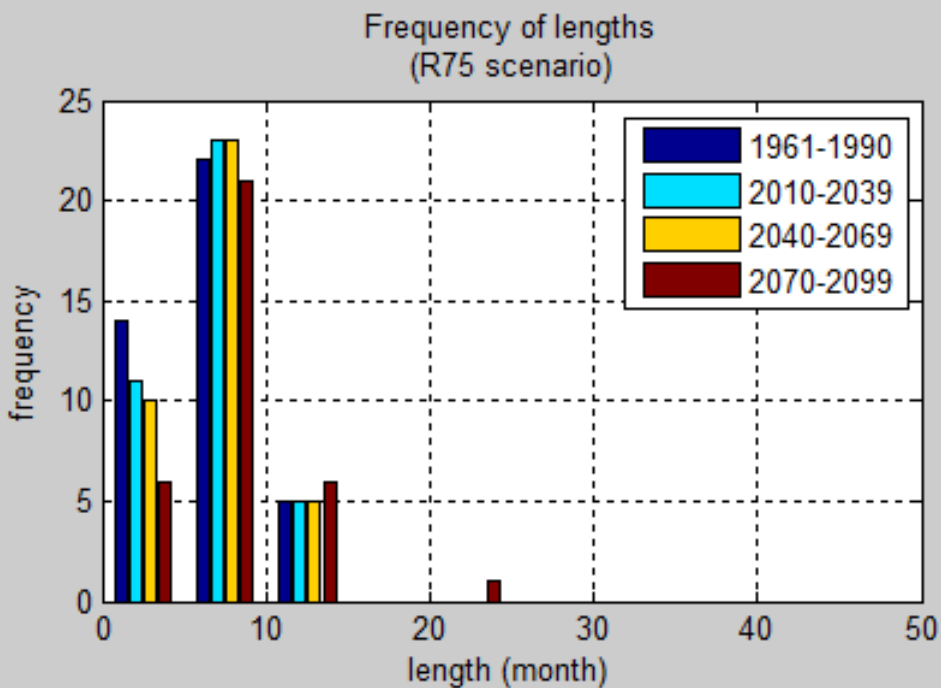
Landuse scenario	Emission scenario	Percentage terms variation respect to 1961-1990 (%)		
		2010-2039	2040-2069	2070-2099
R75	A1FI	-6.66	-15.88	-30.24
	A2	-6.20	-12.18	-23.38
	B1	-5.38	-6.45	-17.31
	B2	-6.02	-7.51	-21.88
I75	A1FI	-6.66	-15.80	-30.23
	A2	-6.20	-12.11	-23.32
	B1	-5.39	-6.42	-17.17
	B2	-6.03	-7.48	-21.75

Estimación de Disponibilidad Hídrica

(2)



Análisis de sequías – Longitudes (1)



Análisis de sequías – Longitudes (2)

Valores medios y desviación estandar de las longitudes de sequía en los diferentes períodos en evaluación (en meses). Escenario de emisión A1FI.

Landuse scenario	Emission scenario	Parameters	Periods			
			1961-1990	2010-2039	2040-2069	2070-2099
R75	A1FI	Mean (a)	6.80	7.23	7.50	8.65
		Std.Dev. (s)	3.51	3.42	3.37	3.84
I75	A1FI	Mean (a)	2.11	2.05	3.03	5.53
		Std.Dev. (s)	3.33	2.17	2.68	3.43

Análisis de sequías – Longitudes (3)

Variación porcentual de longitudes entre escenarios de eficiencia de riego.
Escenario de emisión A1FI.

Compared scenarios	Percentage terms variation (%)				Mean(%)
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	2070-2099	
R75 - I75	-68.98	-71.71	-59.58	-36.01	-59.07

Análisis de sequías – Longitudes (4)

Probabilidades de ocurrencia de sequías para longitudes mayores a 3, 6, 9, 12, y 15 meses. Escenario de emisión A1FI.

Landuse scenario	Emission scenario	Probabilities	Periods			
			1961-1990	2010-2039	2040-2069	2070-2099
R75	A1FI	P(L>3)	0.86	0.89	0.91	0.93
		P(L>6)	0.59	0.64	0.67	0.75
		P(L>9)	0.27	0.30	0.33	0.46
		P(L>12)	0.07	0.08	0.09	0.19
		P(L>15)	0.01	0.01	0.01	0.05
I75	A1FI	P(L>3)	0.39	0.33	0.50	0.77
		P(L>6)	0.12	0.03	0.13	0.45
		P(L>9)	0.02	0.00	0.01	0.16
		P(L>12)	0.00	0.00	0.00	0.03
		P(L>15)	0.00	0.00	0.00	0.00

Análisis de sequías – Longitudes (5)

- * De acuerdo a esta tabla, la probabilidad de ocurrencia de sequías con longitudes mayores a 12 meses se incrementaría de 7% a 19% en el intervalo 1961-1990 a 2070-2099 (escenario de eficiencia R75); sin embargo, estas probabilidades se reducen a 0% y 3% si la eficiencia de riego es mejorada.

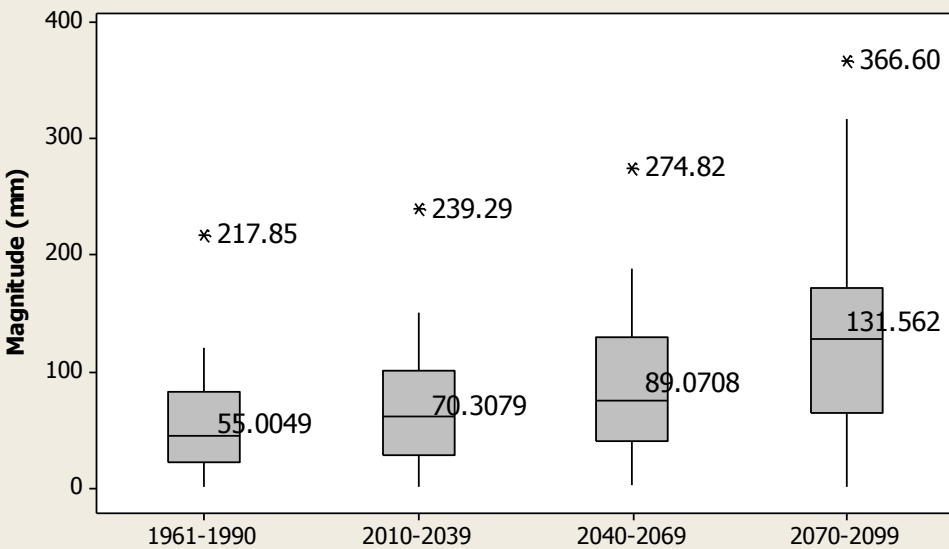
Análisis de sequías – Magnitudes (1)

Características de las series de magnitudes de sequías (en mm) para cada escenario de eficiencia de riego y período de tiempo. Escenario de emisión A1FI.

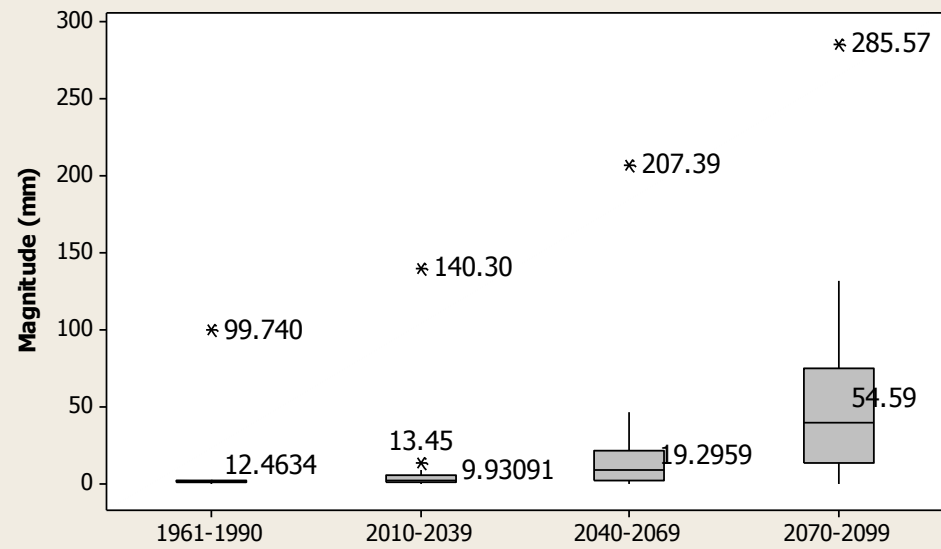
Landuse scenario	Emission scenario	Statistic	Periods			
			1961-1990	2010-2039	2040-2069	2070-2099
R75	A1FI	Mean	55.00	70.31	89.07	131.56
		Max	217.85	239.29	274.82	366.60
		Min	1.66	2.21	2.96	1.17
		Std.Dev.	42.42	47.95	60.18	80.46
I75	A1FI	Mean	12.46	9.93	19.30	54.59
		Max	99.74	140.30	207.39	285.57
		Min	0.41	0.47	0.74	0.44
		Std.Dev.	32.73	29.32	36.59	58.14

Análisis de sequías – Magnitudes (2)

Drought magnitude
(R75 scenario)



Drought magnitude
(I75 scenario)



Análisis de sequías – Magnitudes (3)

Variación porcentual de magnitudes de sequía entre los escenarios R75 y I75.
Escenario de emisión A1FI.

Compared scenarios	Percentage variation (%)				Mean(%)
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	2070-2099	
R75 - I75	-77.34	-85.88	-78.34	-58.51	-75.01

Análisis de sequías – Intensidades

Características de la sequía más común para cada escenario de eficiencia de riego, por períodos de tiempo. Escenario de emisión A1FI.

Landuse scenario	Emission scenario	Time period	Characteristic		Relative frequency
			Length (month)	Intensity (mm/month)	
R75	A1FI	1961-1990	9	7.81	0.20
		2010-2039	9	9.15	0.26
		2040-2069	9	11.35	0.29
		2070-2099	9	14.13	0.32
I75	A1FI	1961-1990	1	1.55	0.89
		2010-2039	1	1.88	0.55
		2040-2069	1	4.53	0.47
		2070-2099	1	6.19	0.2
			9	9.23	0.2

Conclusiones

Conclusions (1)

- * El cambio climático puede producir un incremento en la ocurrencia de sequías, incluyendo magnitud y longitud.
- * Estos efectos pueden ser eliminados mejorando la eficiencia del sistema de riego; esta solución es sostenible a mediano plazo (50 años).

Conclusions (2)

- * La metodología propuesta puede ser utilizada para elaborar planes de prevención y/o mitigación sobre zonas vulnerables.

¡GRACIAS!