

MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE UNA CUENCA DEL NORTE ÁRIDO DE MÉXICO Y SU RESPUESTA A CAMBIOS AMBIENTALES

Gerardo Esquivel-Arriaga¹, María M. Nevarez Favela², Miguel A. Velásquez Valle³,
Ignacio Sánchez Cohen¹ y Palmira Bueno Hurtado¹

¹ INIFAP-CENID-RASPA, ² URUZA-UACH, ³ INIFAP-CEXP. SALTILLO

II Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEI 2016
08 al 10 de septiembre del 2016
Chapingo, México

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO GENERAL

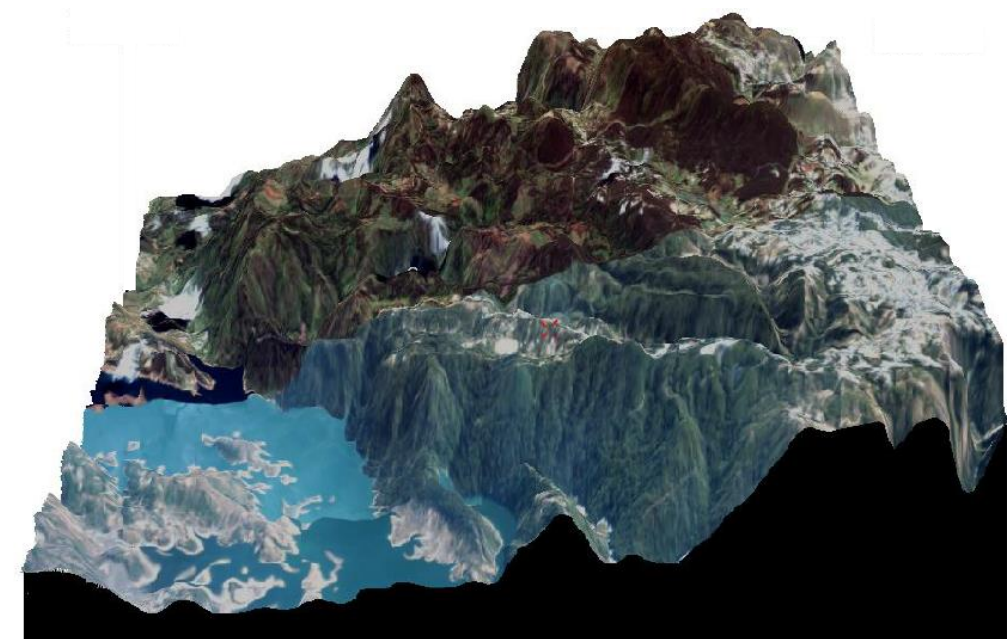
MODELACIÓN HIDROLÓGICA

SIMULACIÓN DEL ESCURRIMIENTO

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

RESULTADOS

CONCLUSIONES



INTRODUCCIÓN

Entre los múltiples servicios que las cuencas brindan al ser humano se destacan los ambientales, incluyendo los hidrológicos, cuya característica de cantidad y calidad dependen del clima y del estado de conservación en el que se encuentran las cuencas (Duque y Vázquez, 2015).





En las regiones áridas, la escasez de agua es un tema de interés que suscita investigaciones enfocadas sobre los diversos aspectos que las caracterizan (Loyer, et al., 1993).



Las variaciones en los patrones climáticos originada en gran medida por la actividad humana en décadas recientes, hace alusión al cambio climático como un acontecimiento inminente.

Una de las mayores preocupaciones en relación con el cambio climático se refiere a sus posibles efectos en los recursos hídricos.

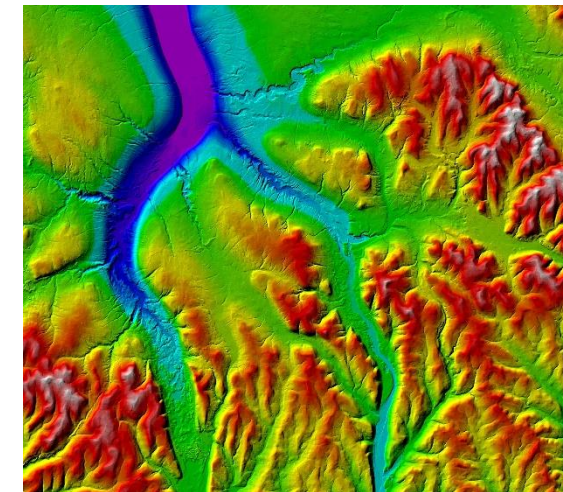
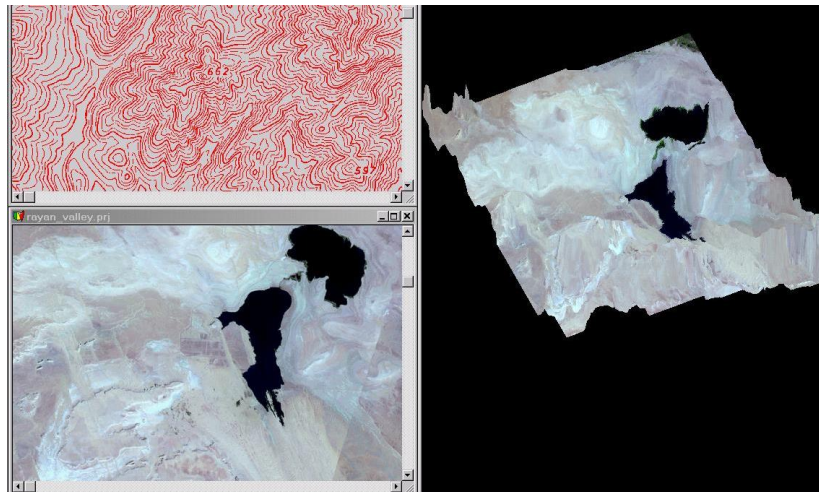
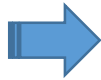
OBJETIVO GENERAL

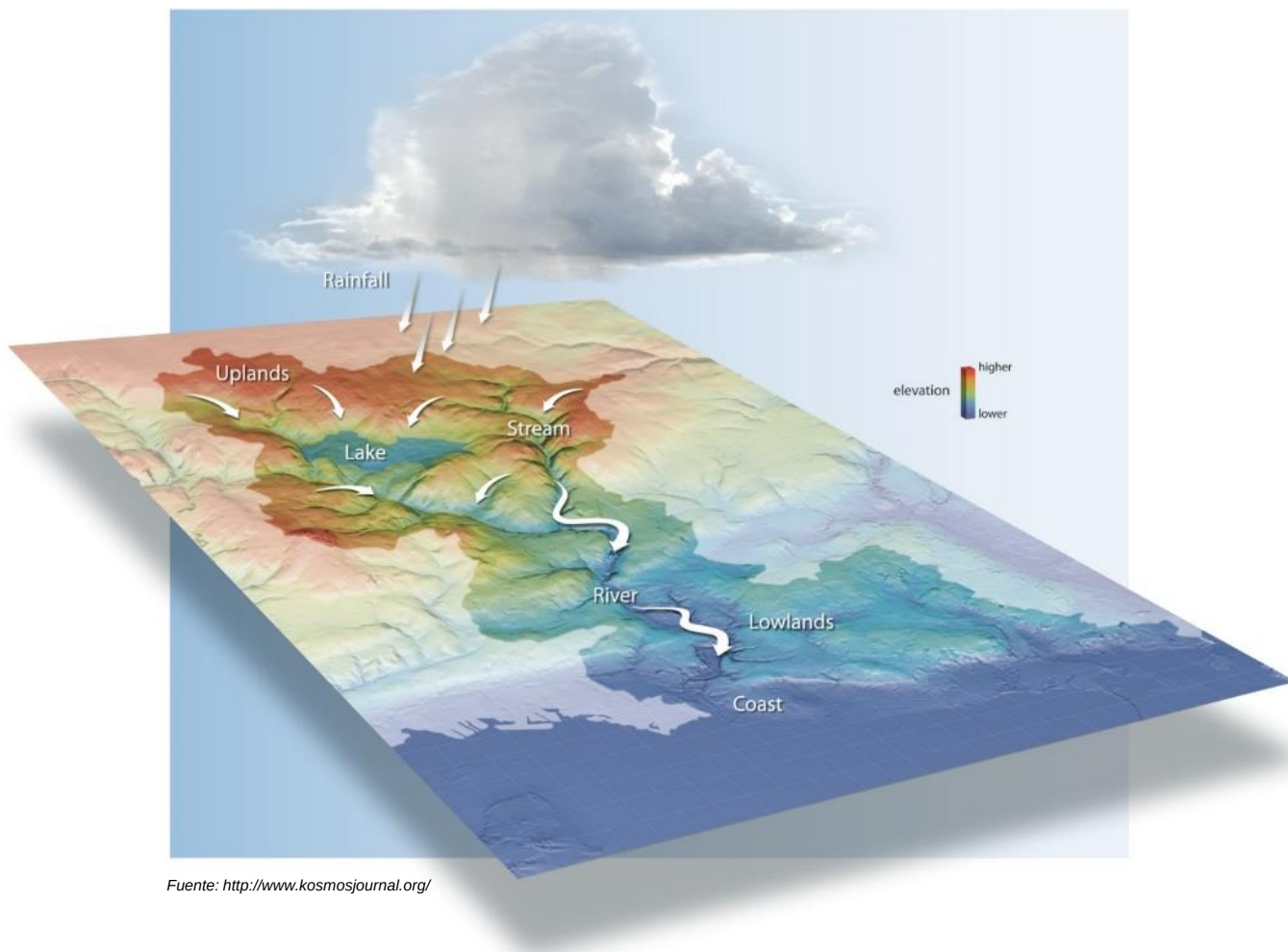
Evaluar el impacto de las variaciones en los patrones de clima sobre el escurrimiento en una cuenca del norte árido de México aplicando el modelo WEAP (Water Evaluation and Planning System)

MODELACIÓN HIDROLÓGICA

A nivel de cuenca, la modelación hidrológica se ha convertido en un componente indispensable de la investigación, manejo y gestión de los recursos hídricos.

Roof_Type	Avg_Ht_AGL	Min_Ht_AGL	Max_Ht_AGL
Pitched	3.04333	1.192766	3.827674
Pitched	2.542799	1.712323	3.234108
Simple.Flat	4.792862	3.044702	5.416057
Pitched	5.003529	3.093997	5.425552
Simple.Flat	2.6166	1.814855	2.892974
Simple.Flat	4.618173	3.334638	5.145265
Simple.Flat	8.077682	1.435283	9.315976
Pitched	4.905226	3.350702	6.3052
Pitched	6.072811	4.557938	7.163973
Simple.Flat	4.090418	0	5.556484
Pitched	6.78592	4.091491	7.585442
Pitched	3.911287	3.075367	5.192387
Pitched	5.988836	3.296188	7.032839
Pitched	4.075218	0.396373	7.108521
Pitched	3.15928	0	4.003309
Simple.Flat	4.982954	3.002581	5.81727
Pitched	4.002069	0	5.449104
Simple.Flat	3.725375	1.736443	4.749671
Pitched	5.248662	3.246933	6.503086
Pitched	6.451601	4.593157	7.982617
Pitched	5.918221	0.692826	7.488332
Pitched	6.048743	3.159515	8.532107
Pitched	6.878404	4.892618	8.377879
Simple.Flat	4.369682	3.9973	5.617317
Simple.Flat	3.714104	2.790897	4.011073





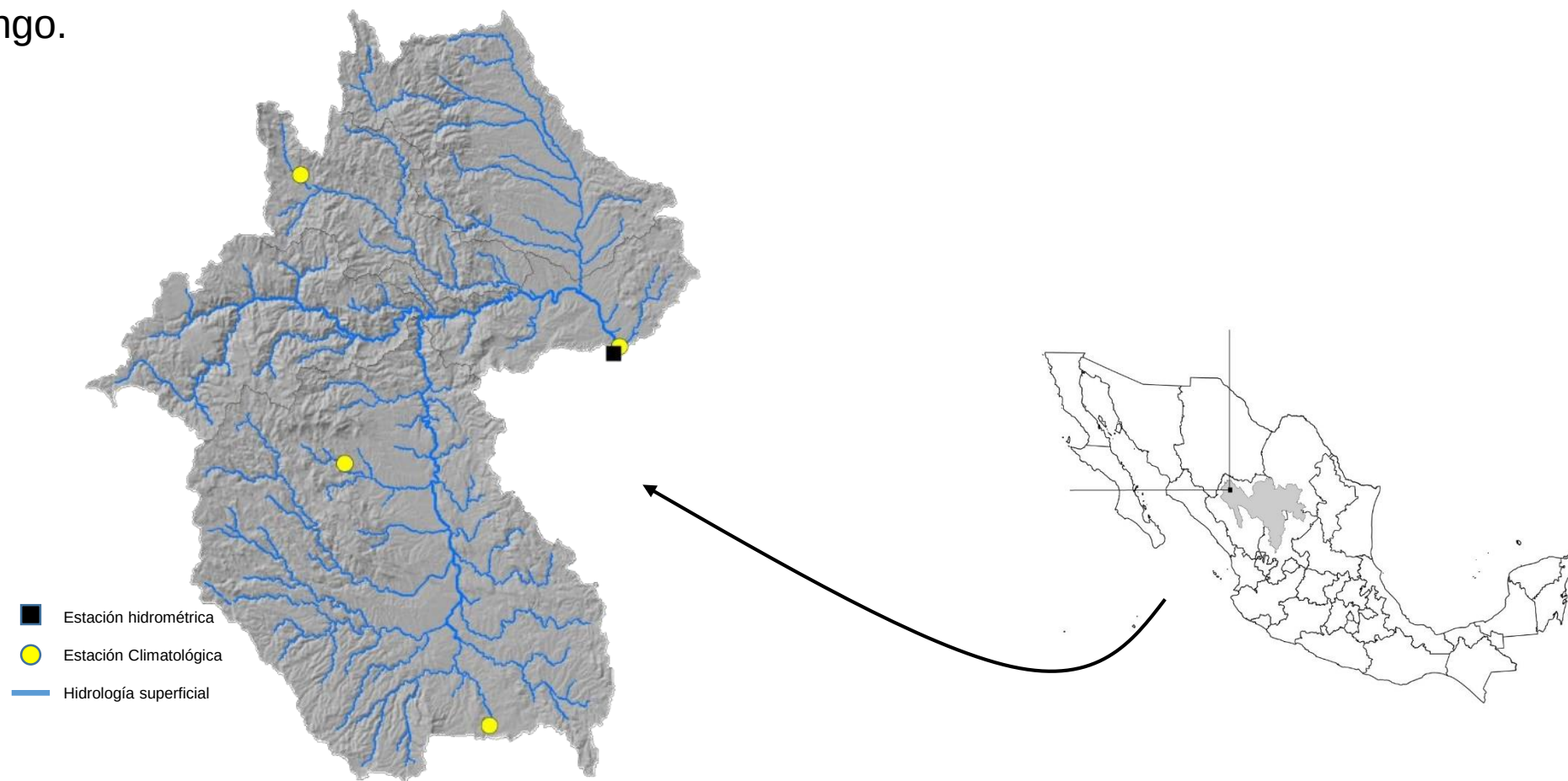
Los modelos hidrológicos ayudan a entender el pasado y el estado actual de los recursos hídricos de una cuenca, y proveen una vía para explorar las implicaciones resultantes de las decisiones de manejo implementadas o las variaciones climáticas involucradas dentro de dicho territorio geográfico.

En la actualidad existen una gran cantidad de modelos que pretenden ofrecer posibles soluciones al problema, sin embargo es trabajo del investigador y/o responsable de la toma de decisiones escoger el que mejor se adapte a sus necesidades y a la disponibilidad de información (Mena, 2009).



SIMULACIÓN DEL ESCURRIMIENTO

Este estudio usó un modelo para simular los procesos hidrológicos en una cuenca de la parte alta del Nazas, pertenecientes a la región hidrológica No. 36 Nazas-Aguanaval ubicada en el centro-noreste del estado de Durango.



Delimitación de la cuenca.



Se utilizó la información vectorial del simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL) el cual clasifica a la zona de estudio en cinco subcuencas (Cuadro 1). Para el caso de la sub cuenca Sextín se hizo una delimitación independiente, debido a que la estación de aforo se encuentra en una zona intermedia. La delimitación se realizó utilizando un modelo digital de elevación con resolución de 15 m.

Cuadro 1. Cuencas consideradas en el estudio.

Subcuenca	Clave	Perímetro (km)	Área (km ²)	Elevación máx. (m)	Elevación mín. (m)	Pendiente media (%)
El Oro	RH36Cg	276.95	2445.27	3140	1800	28.49
San Esteban	RH36Cf	177.59	716.54	3140	1800	37.83
De Lobos	RH36Ce	166.91	515.11	3260	1700	37.91
Matalotes	RH36Cd	186.84	891.90	2980	1660	34.82
Sextín*	RH36Cc	353.15	2553.78	2700	1520	29.48

Información climatológica e hidrométrica



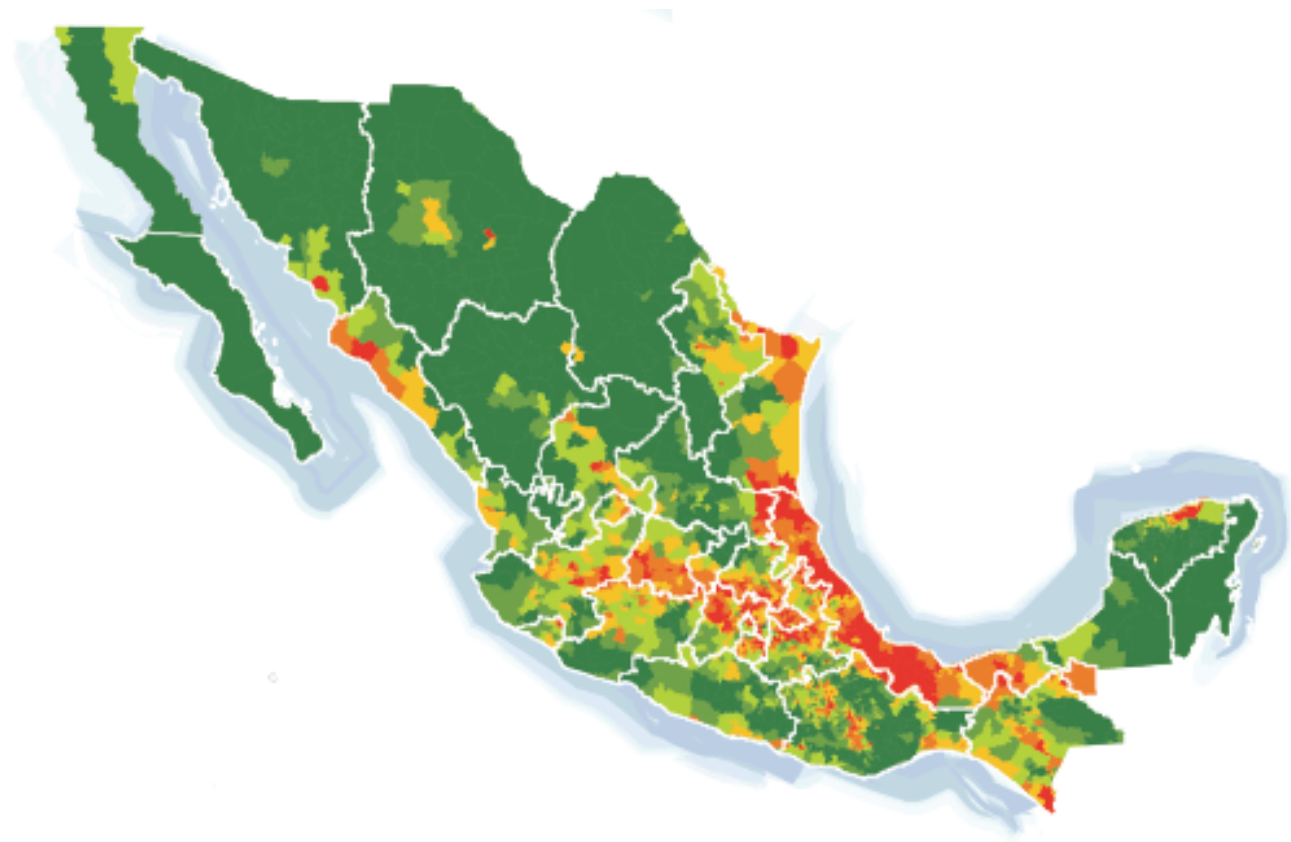
La información fue obtenida de cuatro estaciones climatológicas localizadas en la cuenca (Cuadro 2). Se realizó una análisis de consistencia y homogeneidad de la información y los datos faltantes fueron calculados utilizando un generador climático (Esquivel, 2015). La información hidrométrica ingresada al modelo corresponde a la estación 36071 Sardinas, periodo 1971-2004, obtenida del Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS).

Cuadro 2. Datos climatológicos e hidrométricos

Estación climatológica	Clave	Longitud	Latitud	Altitud	Primer dato	Último dato
Cendradillas	10006	-106.017	26.300	2500	01/1961	01/2008
Ciénega de Escobar	10007	-105.746	25.601	2144	04/1965	01/2009
Guanaceví	10029	-105.952	25.933	2300	06/1922	01/2009
Sardinas	10078	-105.566	26.084	1639	05/1970	05/2009

Uso de suelo y vegetación

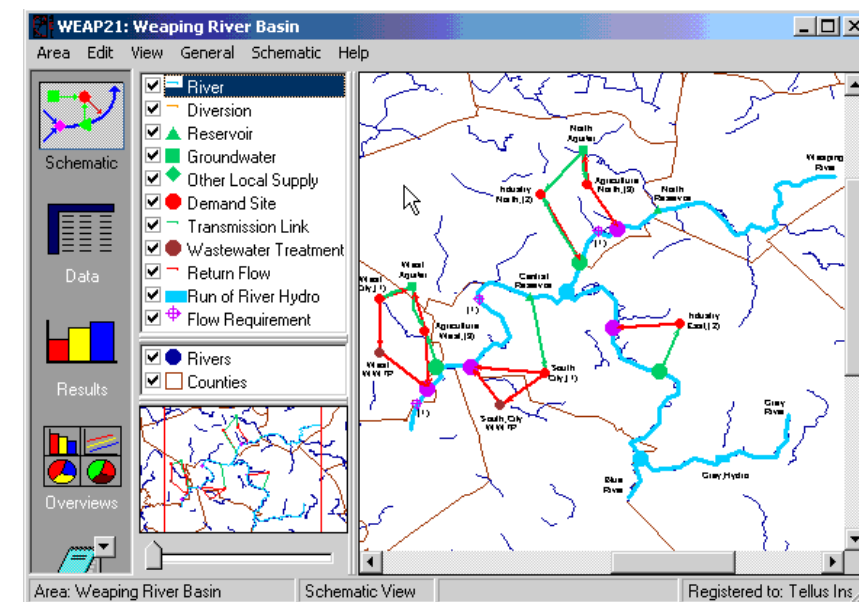
Se utilizó la Serie III de INEGI escala 1: 250 000 para parametrizar el uso de suelo y vegetación presente en cada subcuenca. La cuenca de estudio se compone de: bosque de coníferas (47.6 %), bosque de encino (26 %), pastizal (16.9 %), vegetación inducida (4.7 %), aprovechamiento agrícola-pecuario-forestal (IAPF) (4.5 %) y suelo desnudo (0.3 %).



Descripción y parametrización de WEAP

WEAP es una herramienta de modelación para la planificación y distribución de agua que puede ser aplicada a diferentes escalas, desde pequeñas zonas de captación hasta extensas cuencas. Se considera un modelo ideal para realizar estudios de cambio climático (ej. cambios en la precipitación proyectados) y en la demanda de agua (ej. cambios en la demanda por evaporación de cultivos), etc., los cuales producirán un balance de agua diferente a nivel de cuenca (CCG-UCC, SEI, 2009).

Water
Evaluation
And
Planning



La parametrización del esquema hidrológico en WEAP fue realizada utilizando series de tiempo mensuales para la calibración de la cuenca. Información climática, hidrométrica, de uso de suelo y vegetación y una serie de parámetros calibrados fueron desarrollados a través del modelo en todas las sub cuencas para capturar la variabilidad estacional e inter-anual de las mediciones de flujo a través del modelo.

Calibración del modelo

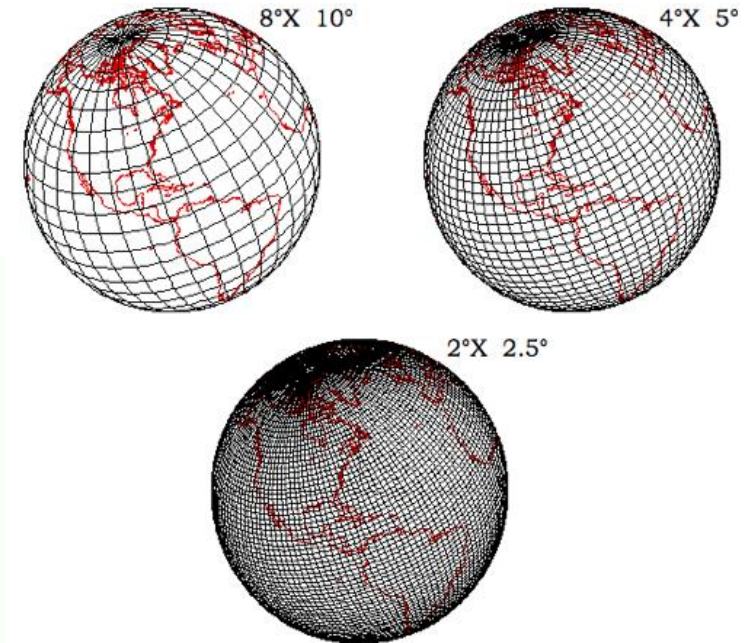
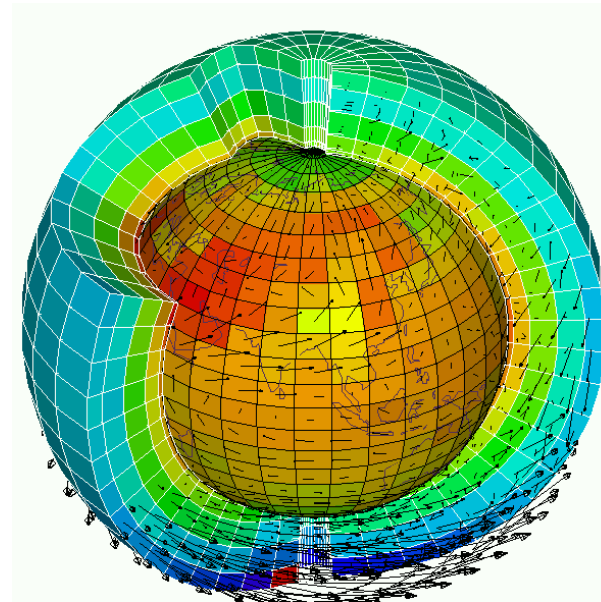
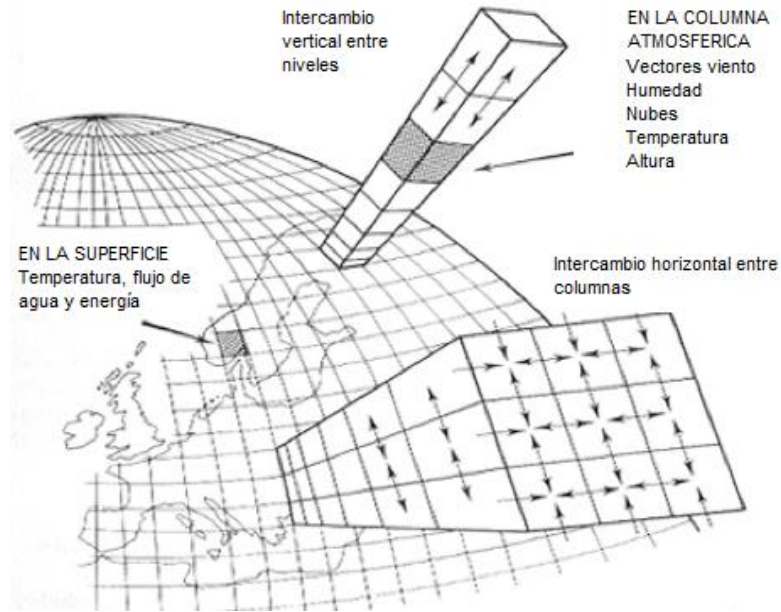
Para medir la eficiencia predictiva del modelo, se utilizaron algunos indicadores de los más frecuentemente usados en modelación hidrológica:

$$\% \text{ BIAS} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim_i} - Q_{obs_i})}{\sum_{i=1}^n Q_{obs_i}} \times 100$$

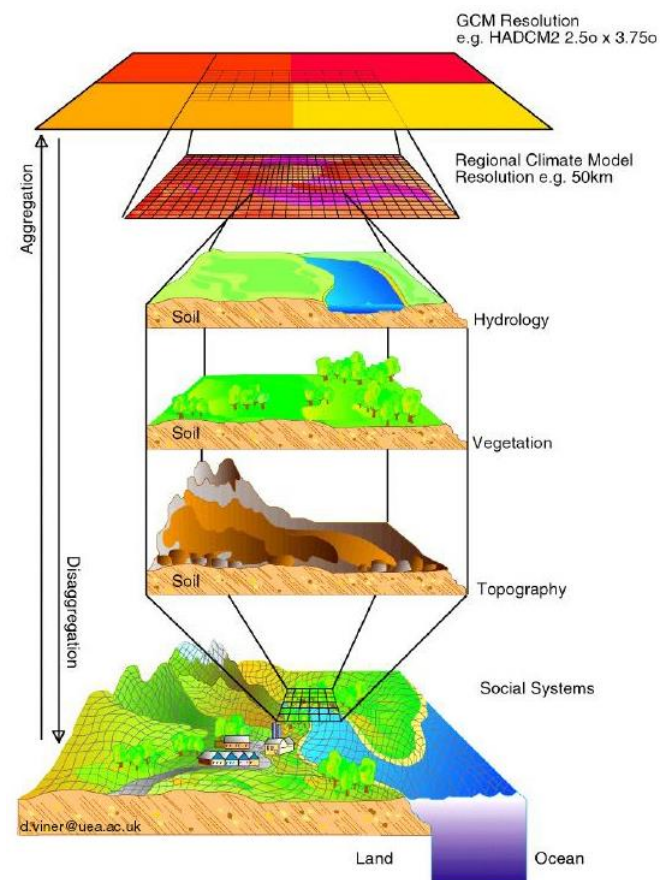
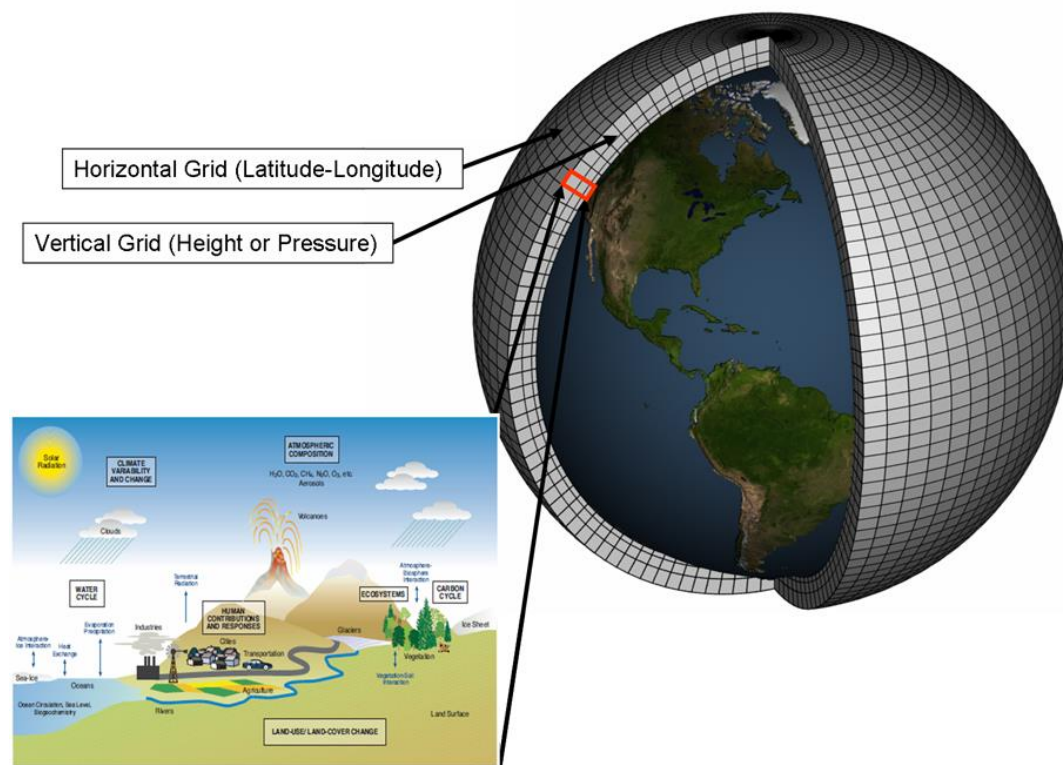
$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{obs}) (Q_{sim_i} - \bar{Q}_{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{obs})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{sim_i} - \bar{Q}_{sim})^2}} \right\}^2$$

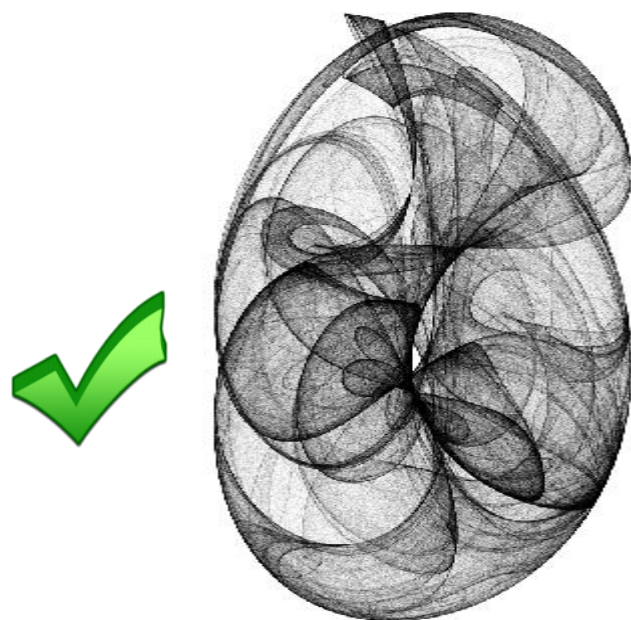
$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim_i} - Q_{obs_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{obs})^2}$$

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO



Downscaling



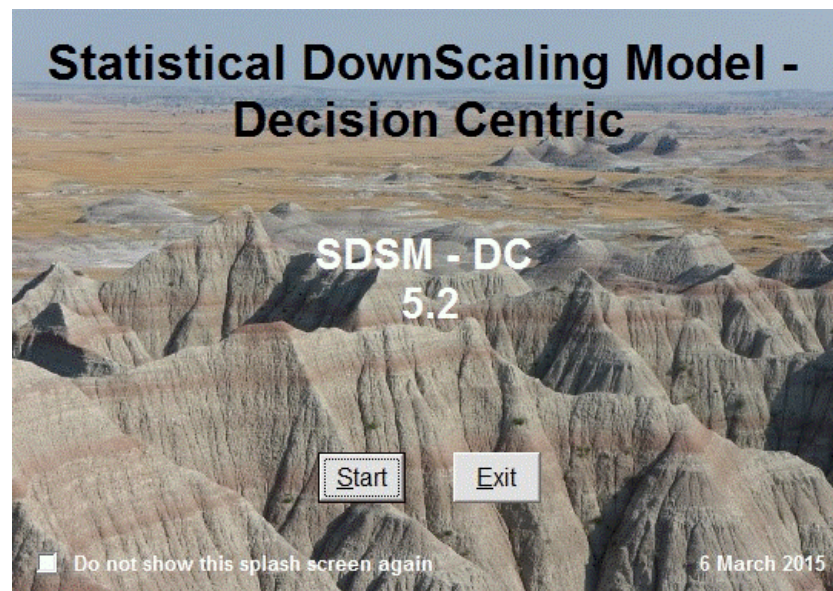


LARS-WG

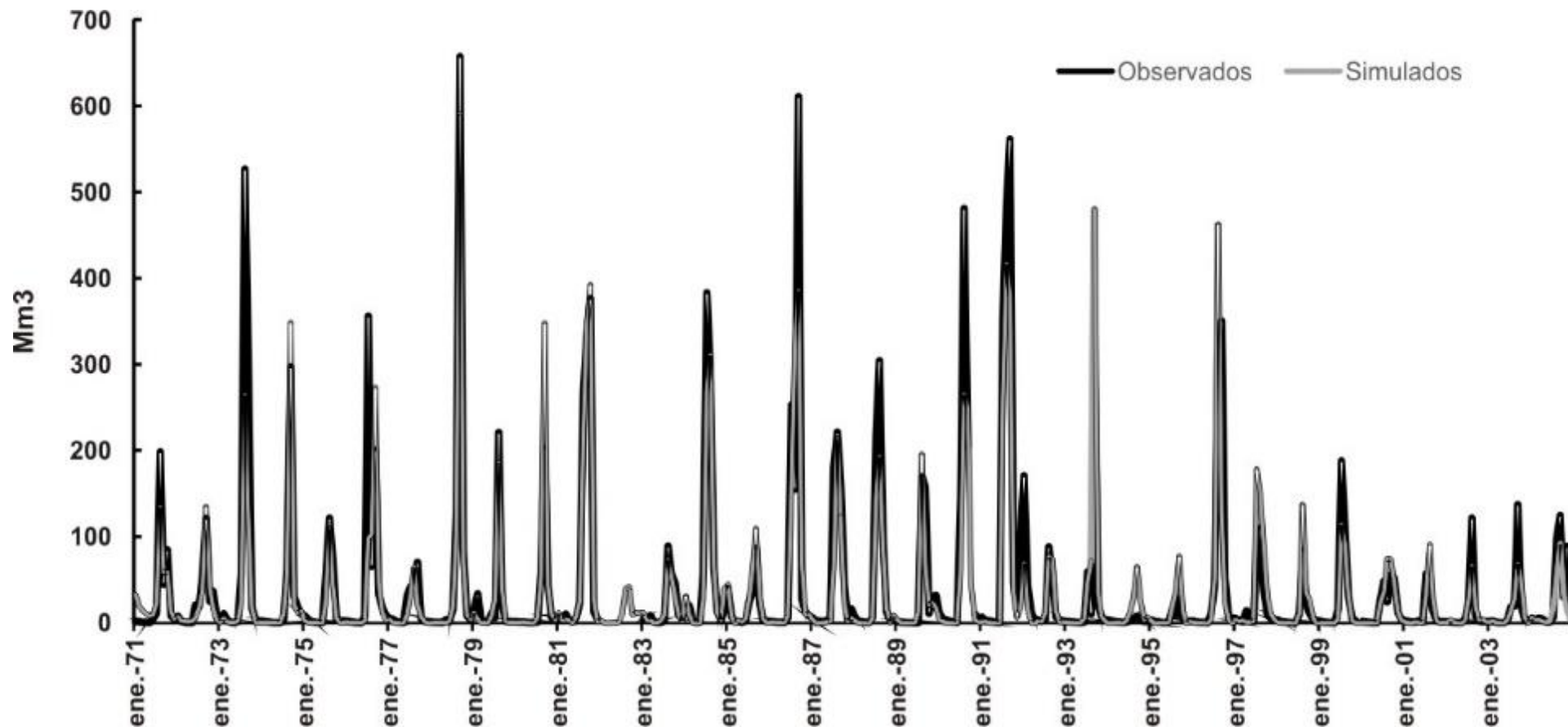
Escenarios realizados:

periodo 2020s: 2010-2039

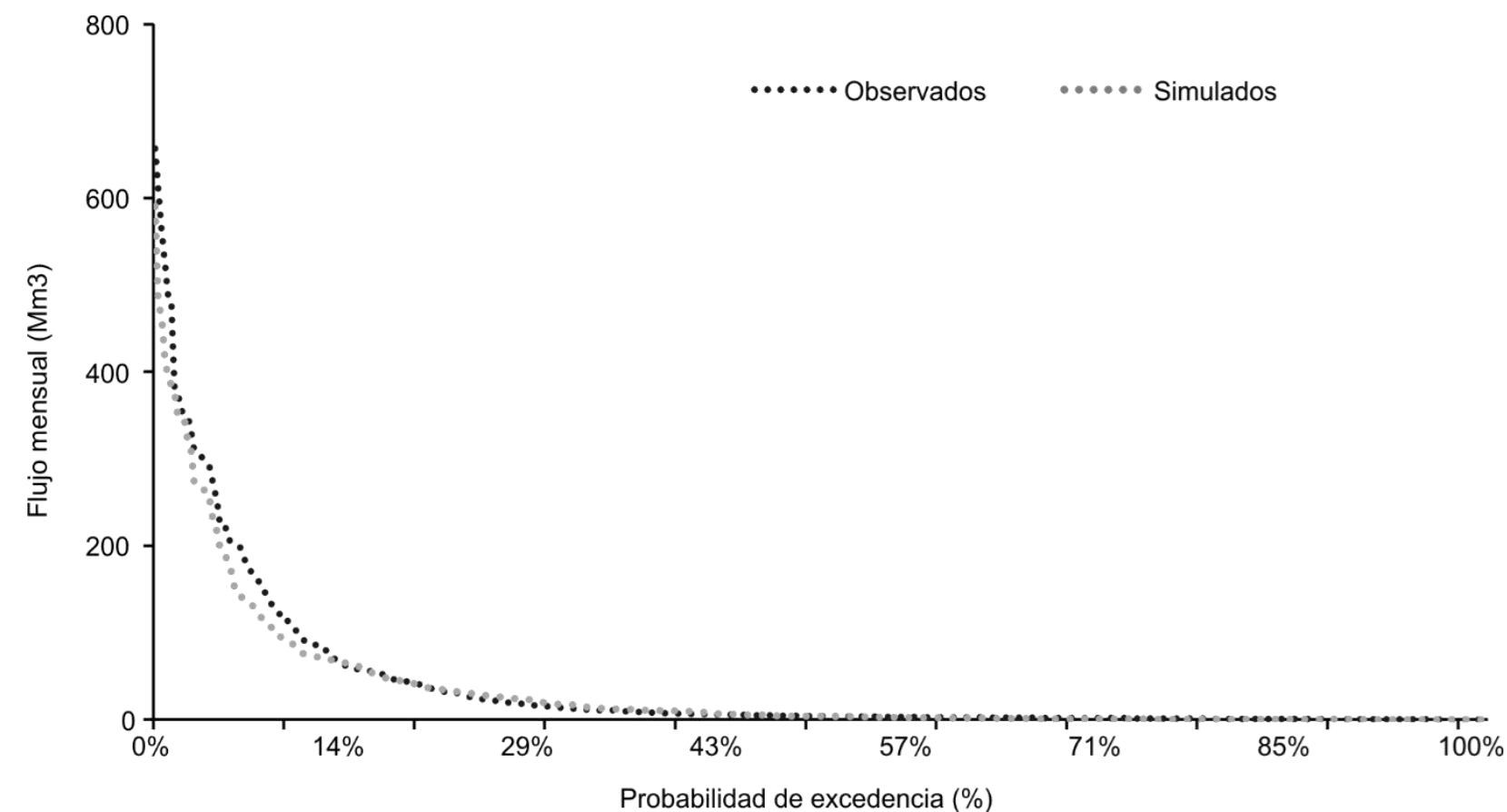
periodo 2050s: 2040-2069



RESULTADOS



Datos observados y simulados por el modelo para la cuenca de estudio; periodo de calibración (1971-2004)



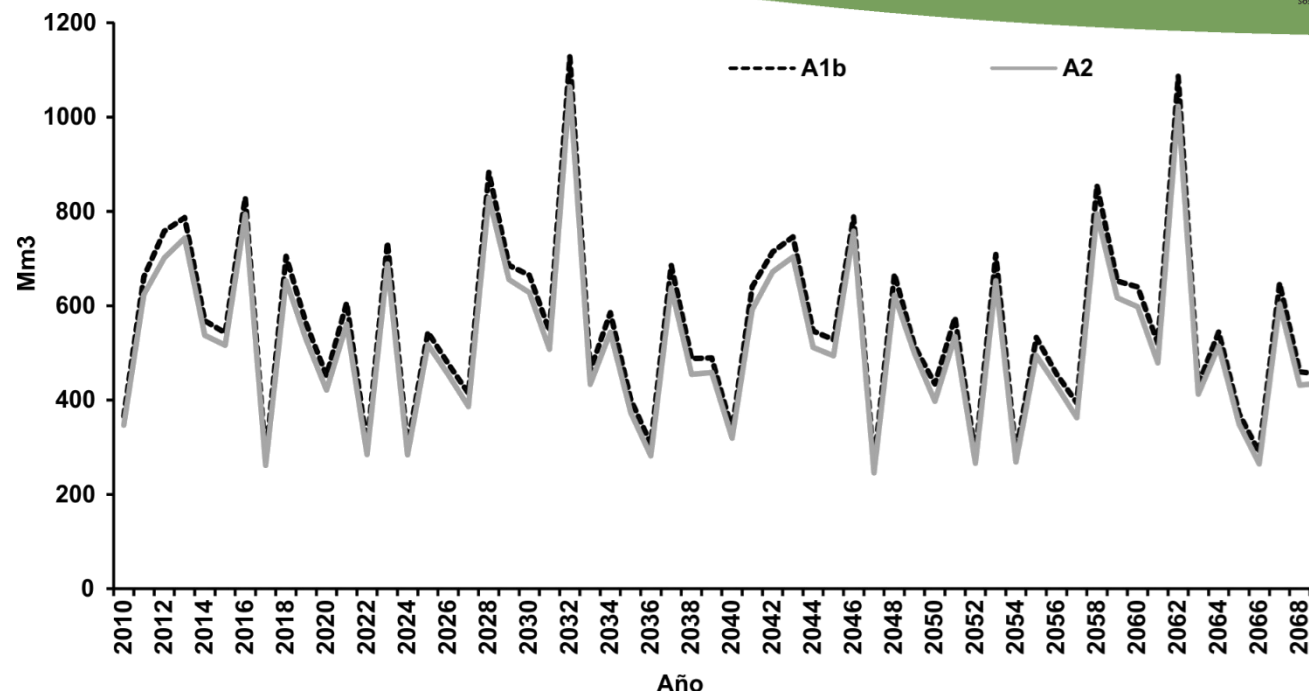
INDICE	VALOR	CATEGORÍA
Nash-Sutcliffe	0.81	Muy bueno
PBIAS	12.1	Bueno
R ²	0.81	
Moriasi et al., 2007.		

Se realizó la curva de duración de caudales, la cual es representativa del régimen de caudales medios de la corriente.

Escenarios futuros de temperatura y precipitación promedio anual para los periodos 2020s (2010-2039) y 2050s (2040-2069)

2020s	Escenario	Estaciones climatológicas			
		Cendradillas	Ciénega de escobar	Guanaceví	Sardinas
T _{max} (°C)	Histórico	21.5	22.9	23.2	25.8
	A1B	22.8	23.6	24.3	26.6
	A2	22.7	23.5	24.3	26.6
T _{min} (°C)	Histórico	1.9	6.4	7.2	6.3
	A1B	3.5	7.1	8.0	7.4
	A2	3.5	7.1	8.0	7.4
PP (mm)	Histórico	585	580	650	486
	A1B	618	607	647	555
	A2	605	594	634	549

2050s	Escenario	Estaciones climatológicas			
		Cendradillas	Ciénega de escobar	Guanaceví	Sardinas
T _{max} (°C)	Histórico	21.5	22.9	23.2	25.8
	A1B	23.6	24.4	25.2	27.5
	A2	23.6	24.4	25.2	27.4
T _{min} (°C)	Histórico	1.9	6.4	7.2	6.3
	A1B	4.3	7.9	8.8	8.2
	A2	4.3	7.9	8.8	8.2
PP (mm)	Histórico	585	580	650	486
	A1B	610	599	640	546
	A2	599	592	632	546



Los resultados indican que para el primer periodo analizado (2020s) el escenario A1B proyecta un incremento en el gasto medio anual de la cuenca del 9.6 %, mientras que para el escenario A2 es del 3 %, lo anterior como efecto del posible aumento en las precipitaciones de las estaciones analizadas.

Para el caso de segundo periodo analizado (2050s) el escenario A1B proyecta un incremento del 4.2 % en el gasto promedio anual, sin embargo, el escenario A2 presenta una disminución del 3.3 %, considerando las precipitaciones generadas por el generador climático.

CONCLUSIONES

- En la actualidad, un número creciente de profesionistas para el manejo integral del agua está considerando WEAP como una alternativa más en los procesos de modelación hidrológica.
- Para el caso de la cuenca analizada, el modelo mostró un buen desempeño al simular y representar la respuesta hidrológica de la cuenca.
- Las proyecciones de los escenarios climáticos regionalizados proyectan un aumento en las tres variables analizadas para la mayoría de las estaciones climatológicas de la cuenca, lo que se vé reflejado en el escurrimiento proyectado para los dos periodos analizados (2020s y 2050s).
- Se recomienda realizar más estudios con otros modelos climáticos que permitan realizar comparaciones y determinar las tendencias, para una mejor comprensión y análisis de los riesgos futuros pro efectos de las variaciones climáticas.