

LEDS LAC WEBINARS
BASES PARA UN DESARROLLO RESILIENTE EN
ZONAS MARINO COSTERAS



ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ACUÍFERO DE LA
PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO



FEBRERO 7, MONTERREY, NUEVO LEÓN

Proyectos integrados:



-  **Proyecto Piloto A: México, La Paz, BCS**
-  **Proyecto Piloto B Haití, Zona costera sur de Haití**
-  **Proyecto Piloto C Transfronterizo (El Salvador, Honduras y Guatemala), Cuenca del Río Lempa**
-  **Franja costera Mar de Plata, Argentina**

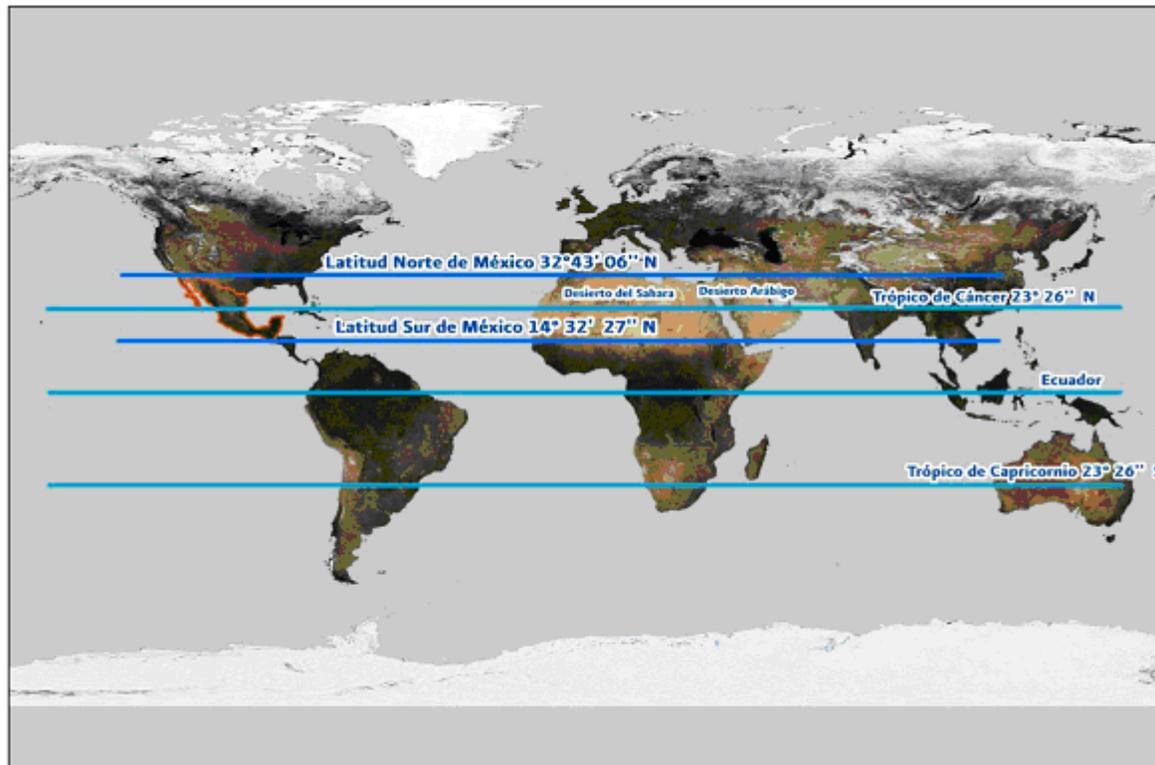
Financiado por la Unión Europea a través del programa EUROPEAID, programa temático para el medio ambiente y la gestión sostenible de los recursos naturales, incluida la energía



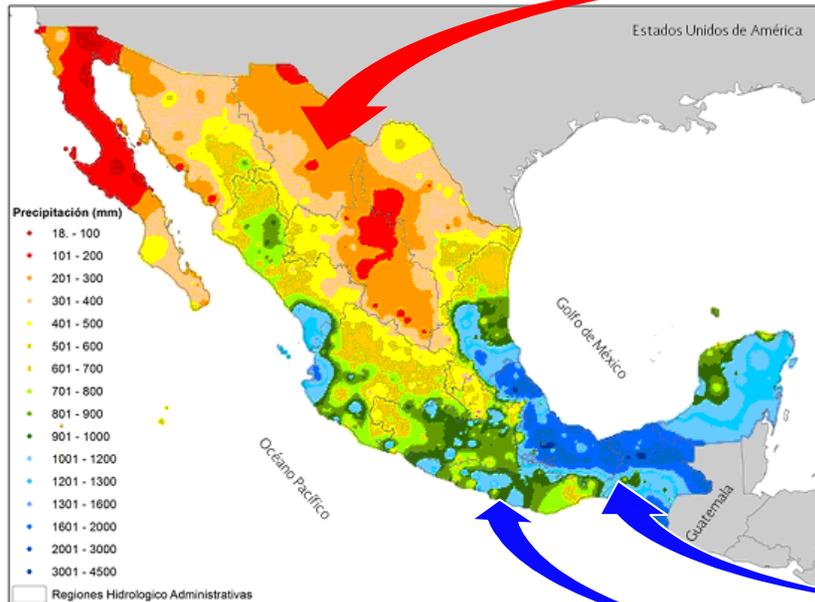
INTRODUCCIÓN



- México = 1 959 248 kilómetros cuadrados
- Parte del país se ubica en la **misma latitud que el desierto del Sáhara** y por ello la parte centro norte es semiárida y árida



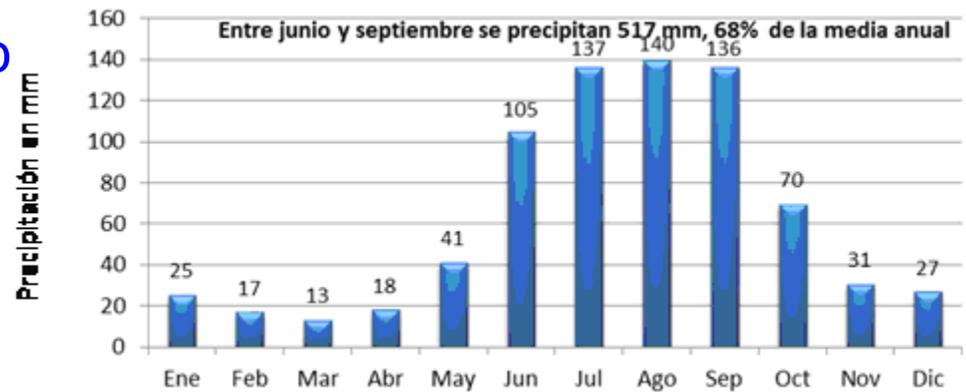
INTRODUCCIÓN



- Precipitación **escasa en el norte y noroeste del país y la península de Baja California**
- Abundante en el sureste y en las vertientes del **Golfo de México y del Pacífico**

$$P_{m\text{-anual}} = 760 \text{ mm} = 1\,489 \text{ km}^3/\text{año}$$

- ✓ 331 km³ escurren
- ✓ 1 065 km³ evapotranspiración
- ✓ **93 km³ recargan los acuíferos**

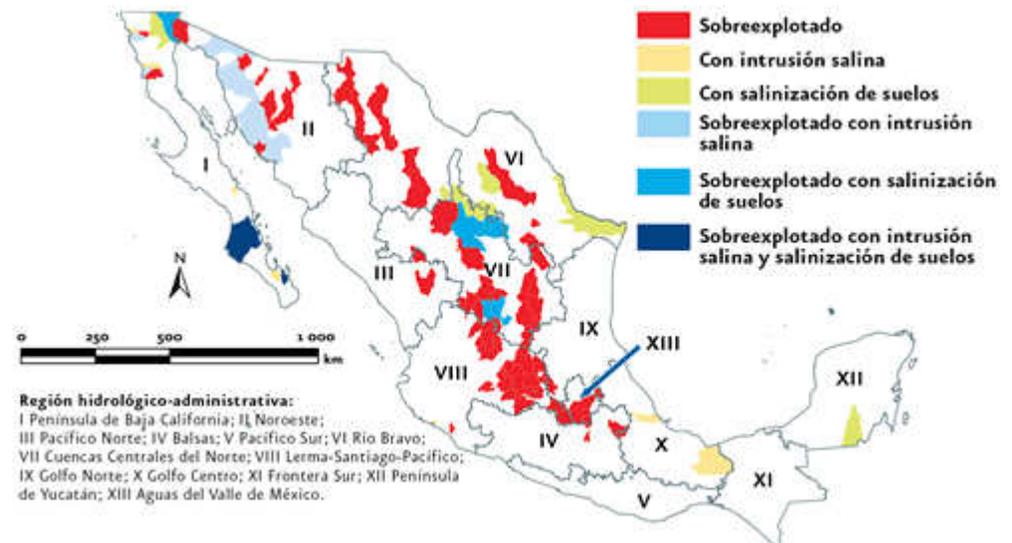


INTRODUCCIÓN

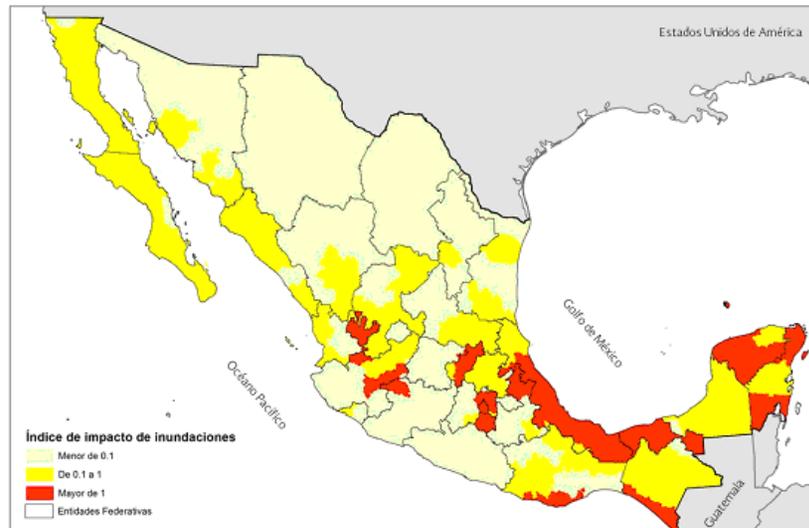


Marco de referencia para la gestión de las aguas subterráneas

- 653 acuíferos aportan **65% del volumen de agua** que demandan las ciudades donde se **concentran 60 millones de habitantes**
- Constituyen la principal fuente de abastecimiento de la **población rural**
- Aportan agua para **riego** de aproximadamente **2 millones de hectáreas, 35% de la superficie de riego**
- La **sobreexplotación de los acuíferos en México** cada año aumenta: **32 en 1975 y 106 en 2013**

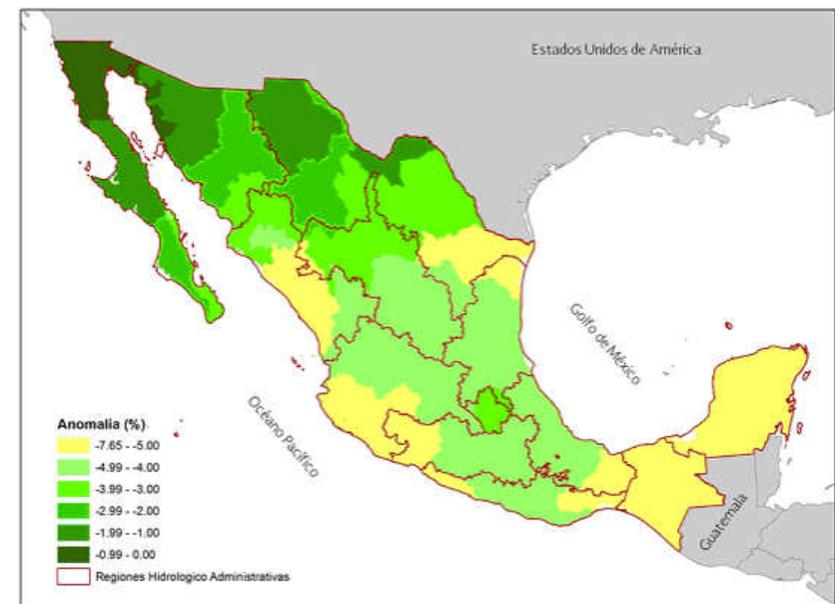


INTRODUCCIÓN



- Impacto de inundaciones, con alta densidad de población en zonas de riesgo

- México es un país altamente vulnerable a la sequía
- Precipitación disminuirá 7% en 2030 en algunas regiones hidrológicas bajo condiciones de cambio climático



GESTIÓN DE ZONAS COSTERAS



Acuífero de La Paz, BCS



Acciones:

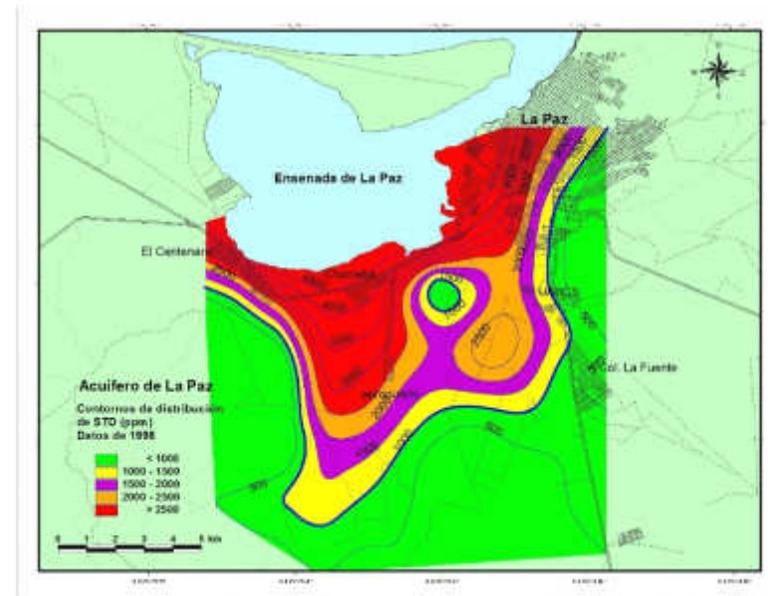
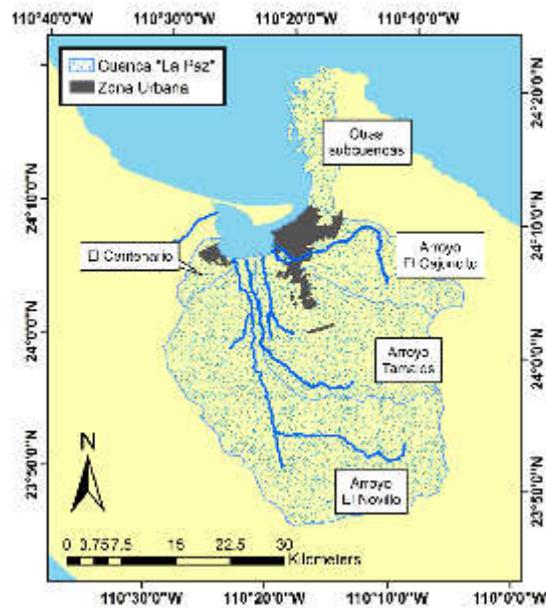
1. **Balance hídrico y modelo de flujo subterráneo** con transporte químico
2. Determinación de **tarifas autosuficientes** para el Organismo Operador Municipal del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de La Paz
3. **Análisis del riesgos asociado con el Cambio Climático (CC)**
4. Capacitación



1. BALANCE HÍDRICO Y MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO CON TRANSPORTE QUÍMICO



PROBLEMÁTICA

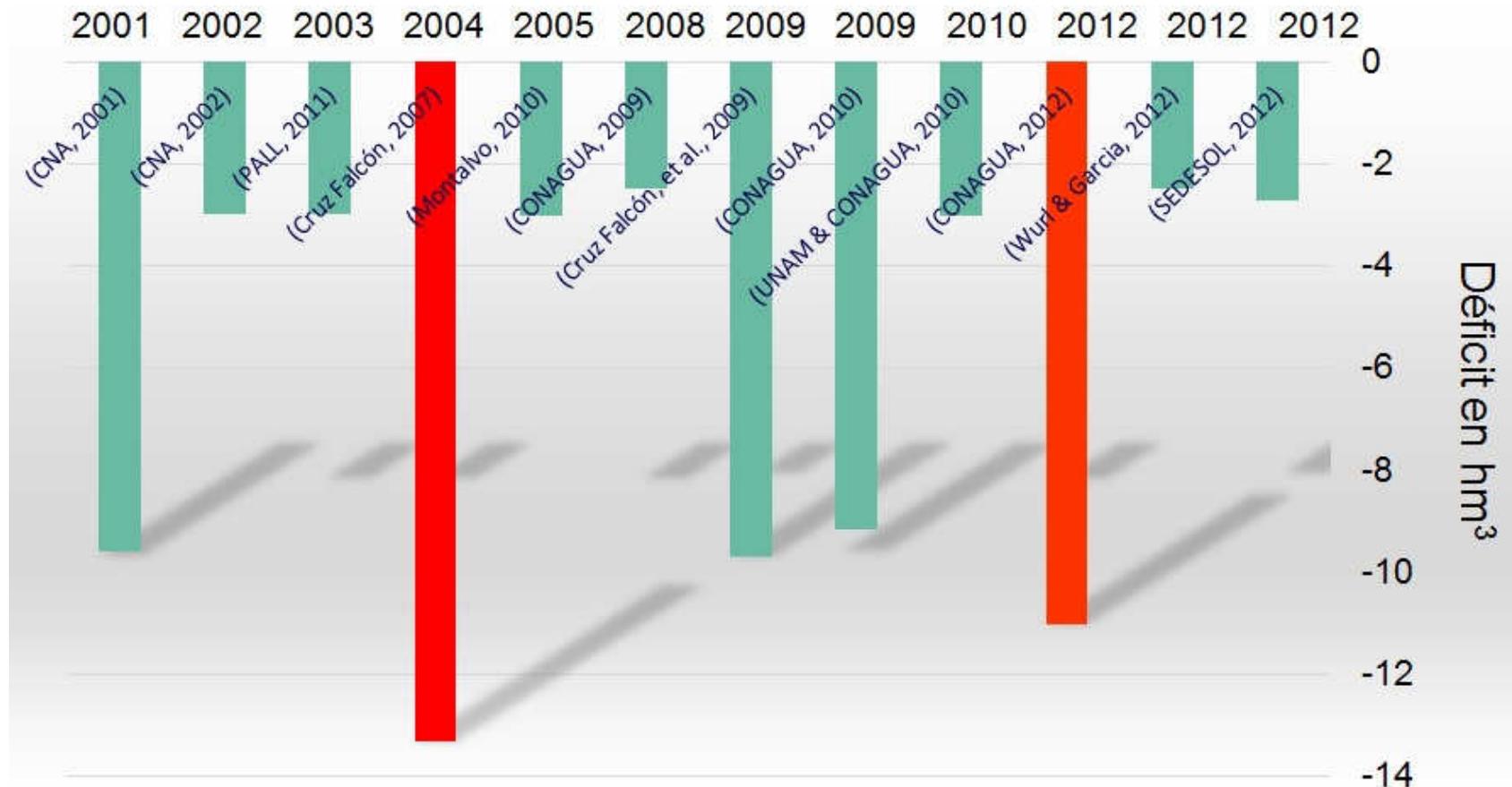


Explotación intensiva y afectación por intrusión salina

1. BALANCE HÍDRICO Y MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO CON TRANSPORTE QUÍMICO



PROBLEMÁTICA

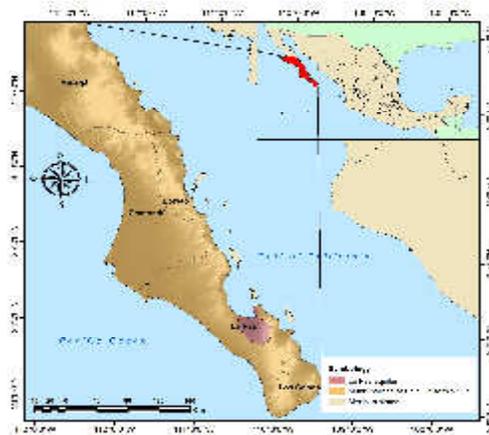


Desbalance entre la **recarga del acuífero** y el **volumen de extracción**, reportes indican **siempre negativo**

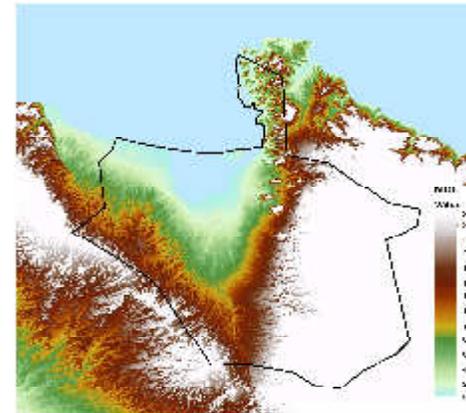
1. BALANCE HÍDRICO Y MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO CON TRANSPORTE QUÍMICO



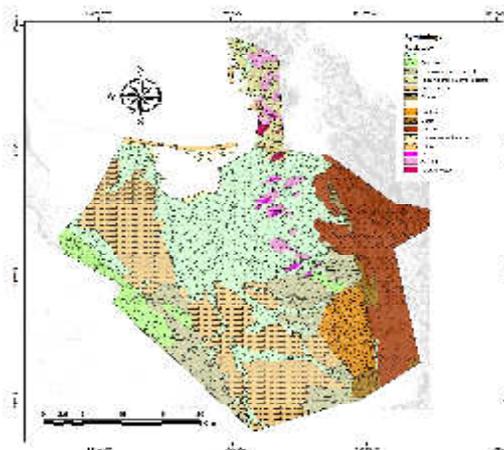
CARACTERIZACIÓN



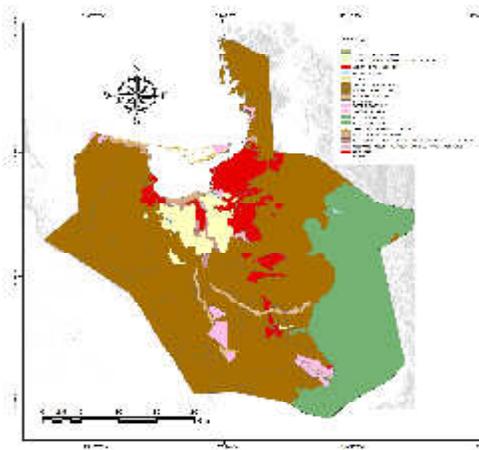
Ubicación del acuífero



Modelo Digital de Elevaciones



Mapa de Geología



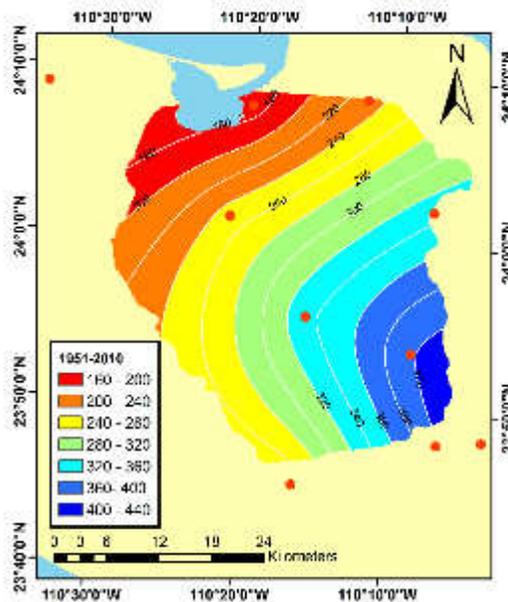
Mapa de uso de suelo

1. BALANCE HÍDRICO Y MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO CON TRANSPORTE QUÍMICO



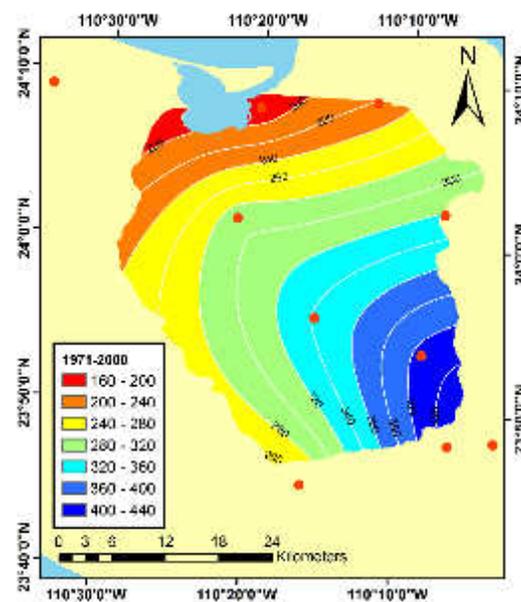
CARACTERIZACIÓN

1951 – 2010



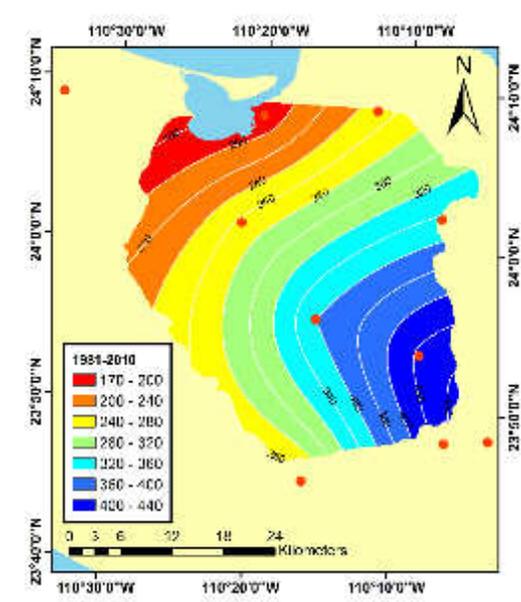
P media = 289.07 mm

1971 – 2000



P media = 304.37 mm

1981 – 2010



P media = 307.15 mm

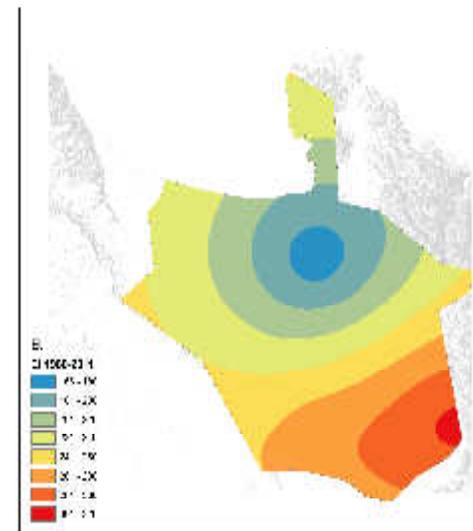
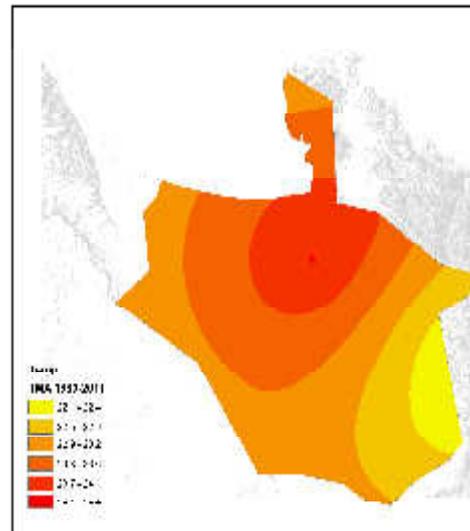
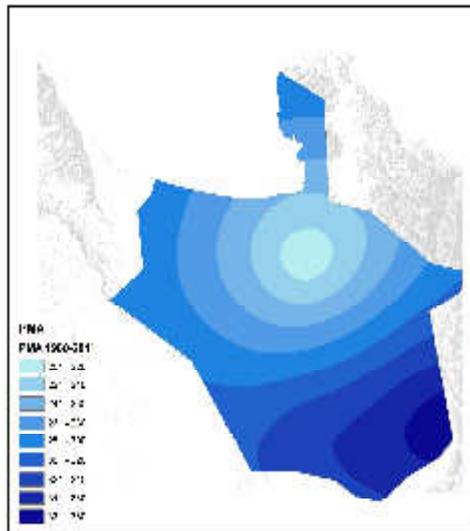
Precipitación media

P_{m-anual} = 760 mm

1. BALANCE HÍDRICO Y MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO CON TRANSPORTE QUÍMICO



CARACTERIZACIÓN

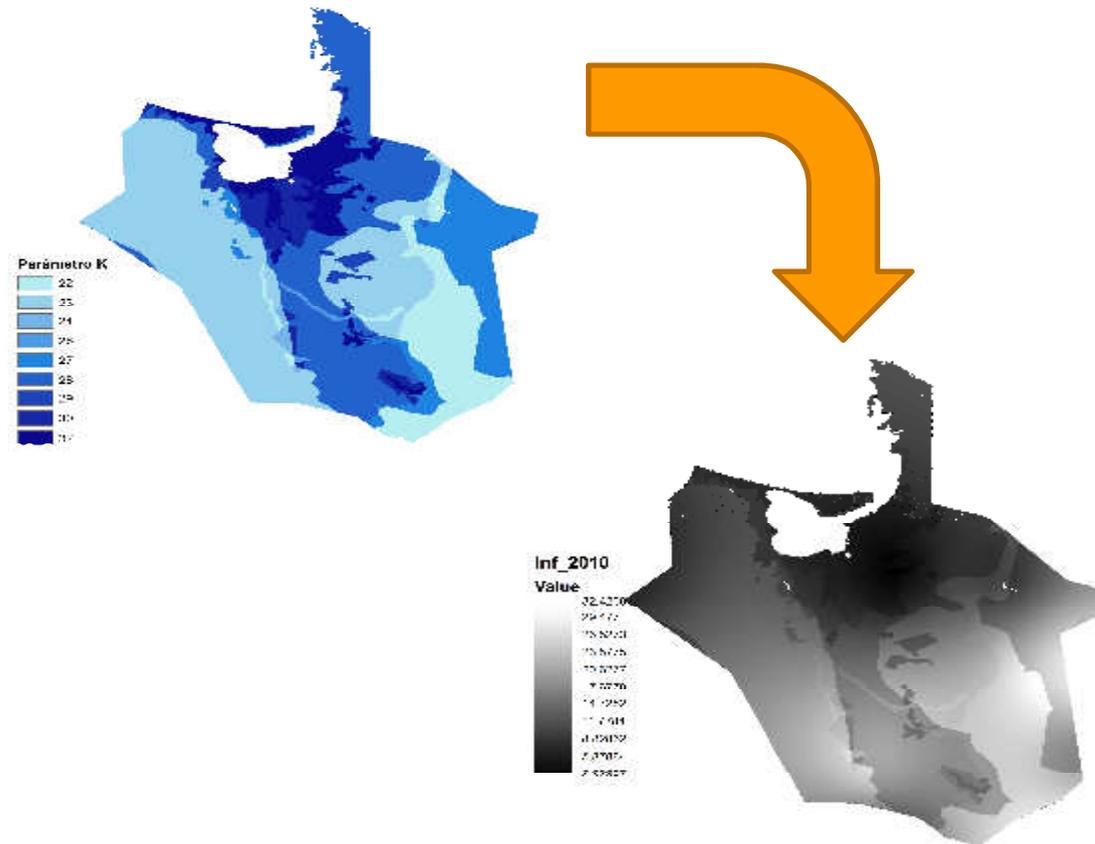


Cálculo de Evapotranspiración

1. BALANCE HÍDRICO Y MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO CON TRANSPORTE QUÍMICO



CARACTERIZACIÓN



Cálculo de Recarga Vertical

1. BALANCE HÍDRICO Y MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO CON TRANSPORTE QUÍMICO



CARACTERIZACIÓN



1. BALANCE HÍDRICO Y MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO CON TRANSPORTE QUÍMICO



CARACTERIZACIÓN

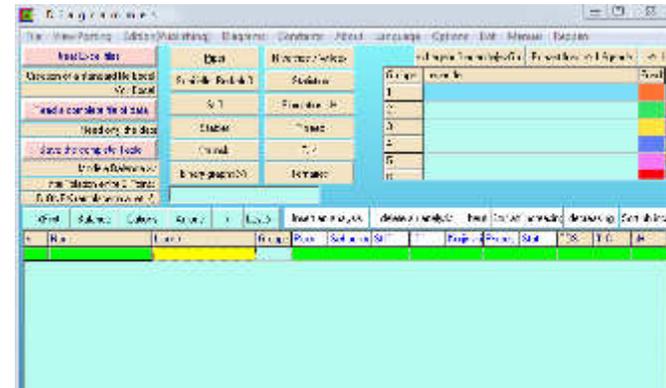


1. BALANCE HÍDRICO Y MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO CON TRANSPORTE QUÍMICO



CARACTERIZACIÓN

- Determinación de edades del agua



Diagrammes C:\Users\Arturo Hernandez\Desktop\Escritorio\Diagrammes\datos4.xls

File View Posting Edition(Publishing) Diagrams Constants About Language Options Exit Manuel Reopen

treat Excel files Piper Riverside / Wilcox =>Legend(Légende)=>Grou Echantillons => Légende => 1. 30 Grupper ?oland SIMLER Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon

Creation of a standard file Excel Schöeller Berkaloff Statistics Groupe Légende Fond Bord to Erase Copier Coller

Tableur (datos4.xls) Tableau (datos4.xls)

Read a complete file of data Stiff Simulation pH

Read only the data Stabler Phreeq

Save the complete Table Korjinski C14

Modèle Balance.xls binary graphs XY Ternaires

InterPolation entre 2 Points

DIONEX remplacer n.a. et ./.

Lieu Avignon

<<First Balance Cations Anions > Last >> Insert an analysis delete an analysis haut Sort ab increasing decreasing Sort nb increasing decreasing Colonnes supplémentaires

n	Nom	Phreeq	Stat	TDS	T°C	pH	c25°C	cCALC	cCt%	Bal=0% si HCO3	Bal=0% si Ca=	Balance	refaire	Cations\Anions[r	Ca	Mg	Na	K	Fer	Fe(II)	Fe(III)
1	Toluquilla1	oui		322	25	7.29	345	332	-2%	143 146.4	1.1 1.4	+1%	+	3.17710	3.22750	13.3	4.9	44.2	6.8		0.0
2	Toluquilla6	oui		1551	25	6.95	1619	1661	+1%	974 1069.0	2.1 0.1	-4%	? Br <=>	18.0960	19.6520	28.9	103	152	58		0.1
3	Toluquilla17	oui		1479	25	6.95	2310	1565	-19%	860 1031.0	2.0 8.8	-8%	? Br <=>	16.5580	19.3710	58.7	92.9	114	36		0.1
4	Toluquilla22	oui		1986	31.8	6.95	1792	1986	+5%	1141 1415.0	2.0 1.	-10%	? Br <=>	21.3010	25.7990	89.7	113	147	40.9		0.0
5	Toluquilla7	oui		1461	36.4	6.95	1900	1829	-2%	880 697.6	0.3 1.5	+7%	? Br <=>	21.5510	18.5550	80.7	104	174	48.4		0.3
6	LasPintas	oui		703	33.6	7.17	718	766	+3%	467 435.2	0.7 0.2	+3%	? Br <=>	8.19690	7.68190	31.2	16	102	33.9		0.0
7	Garabatos	oui		98	25	6.76	188.9	95	-33%	29 24.4	0.2 1.	+5%	tout +et-	0.87367	0.79151	2	0.4	16.1	1.2		0.0
8	SantaAnaTepetitlan	oui		282	25.8	6.9	240.4	336	+17%	-53 118.3	5.1 1.	-22%	? (H)ND	2.11890	3.29360	5.8	1	38.5	2.3		0.0
9	Tapatíos1	oui		302	25	6.19	310	298	-2%	166 122.0	- 1.8	+13%	- anions	3.21660	2.48880	6.7	2.3	57.3	7.2		0.0
10	Topacio	oui		425	28.2	6.89	445	449	+0%	255 242.2	0.7 0.9	+2%	+	4.55620	4.35420	14.3	6.3	63.8	21		0.0
11	JardinesdelBosque	oui		168	25.1	7.02	305	202	-20%	44 30.5	0.4 6.8	+7%	tout +et-	1.85520	1.62610	7.8	2.6	26.5	3.5		0.0
12	AquaAzul	oui		332	24.4	6.83	649	458	-17%	19 24.4	1.1 5.0	-1%	tout +et-	3.91440	4.00620	23	7.4	44.1	8.9		0.0
13	EducadoresLaliscienses	oui		204	32.6	7.49	190.7	192	+0%	120 102.5	0.7 1.0	+7%	+ cations	2.04130	1.76240	16.8	4.8	14.6	6.3		0.0

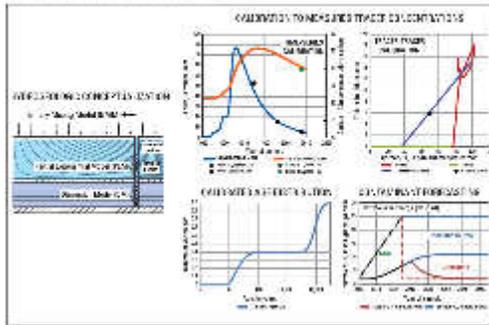
1. BALANCE HÍDRICO Y MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO CON TRANSPORTE QUÍMICO



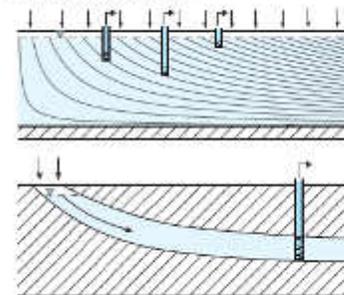
CARACTERIZACIÓN

- Determinación de los flujos del agua subterránea

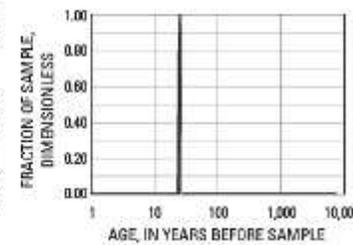
TracerLPM (Version 1): An Excel™ Workbook for Interpreting Groundwater Age Distributions from Environmental Tracer Data



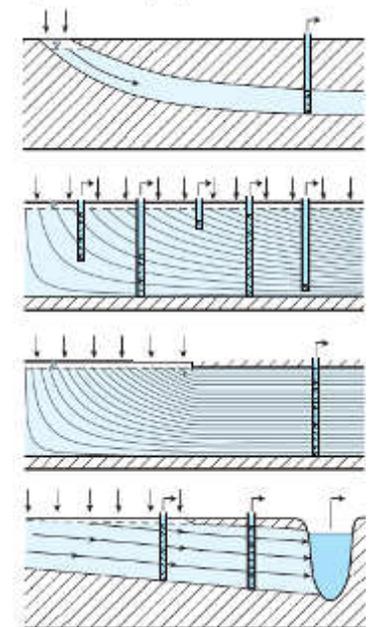
Piston-flow Model (PFM)



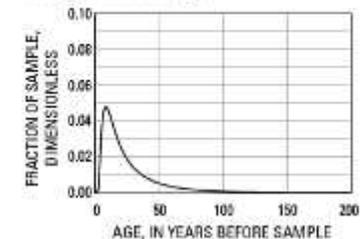
Exit Age Distribution, g(t)



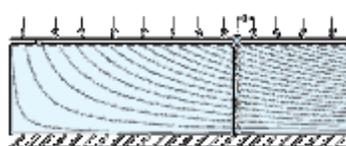
Dispersion Model (DM)



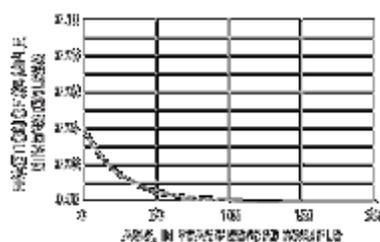
Exit Age Distribution, g(t)



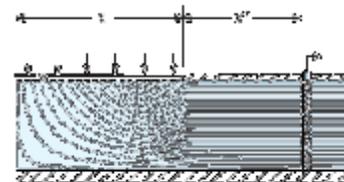
Exponential Mixing Model (EMM)



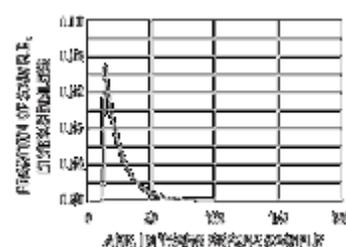
Exit Age Distribution, g(t)



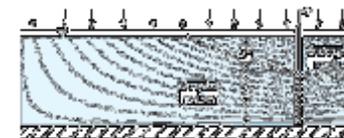
Generalized Piston-Flow Model (GPFM)



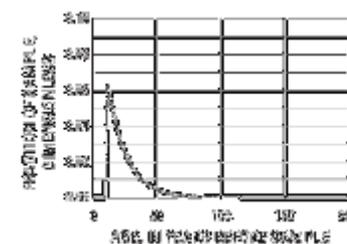
Exit Age Distribution, g(t)



Partial Exponential Model (PEM)



Exit Age Distribution, g(t)

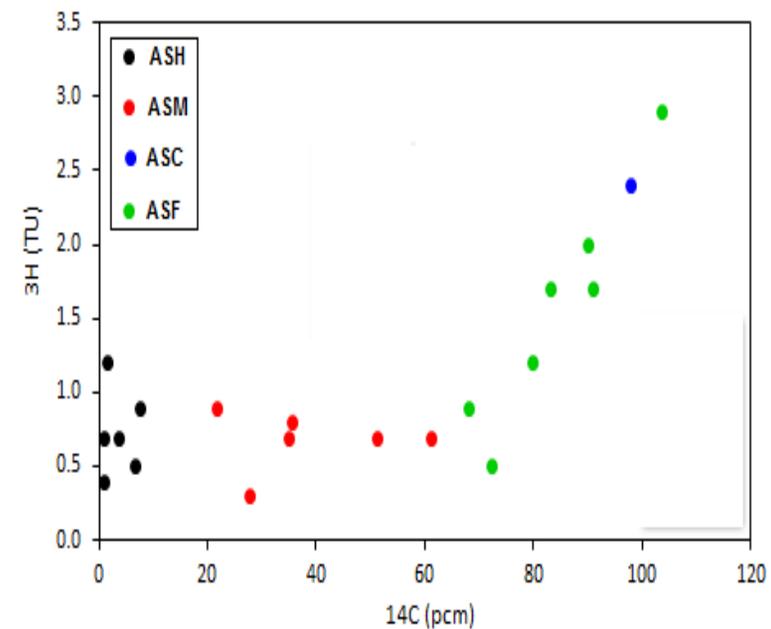
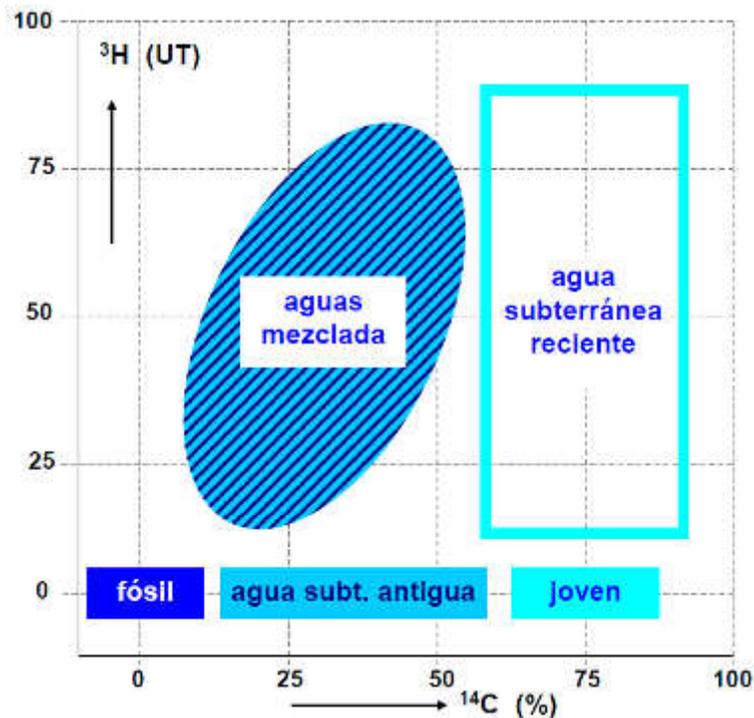


1. BALANCE HÍDRICO Y MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO CON TRANSPORTE QUÍMICO



CARACTERIZACIÓN

Edad y evolución del agua subterránea



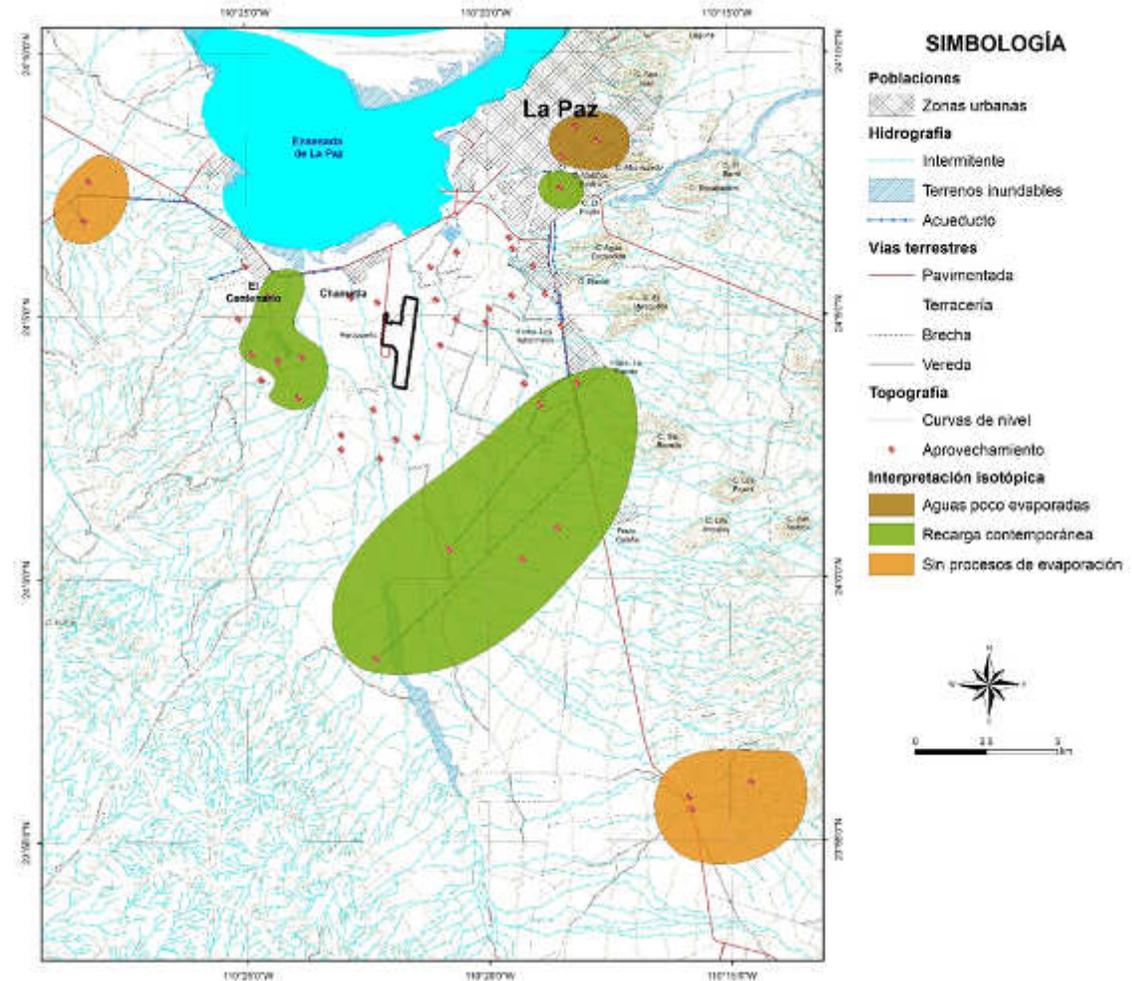
- Agua antigua
- Mezcla
- Agua moderna o de recarga reciente

1. BALANCE HÍDRICO Y MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO CON TRANSPORTE QUÍMICO



CARACTERIZACIÓN

Distribución espacial de la composición isotópica estable del agua subterránea

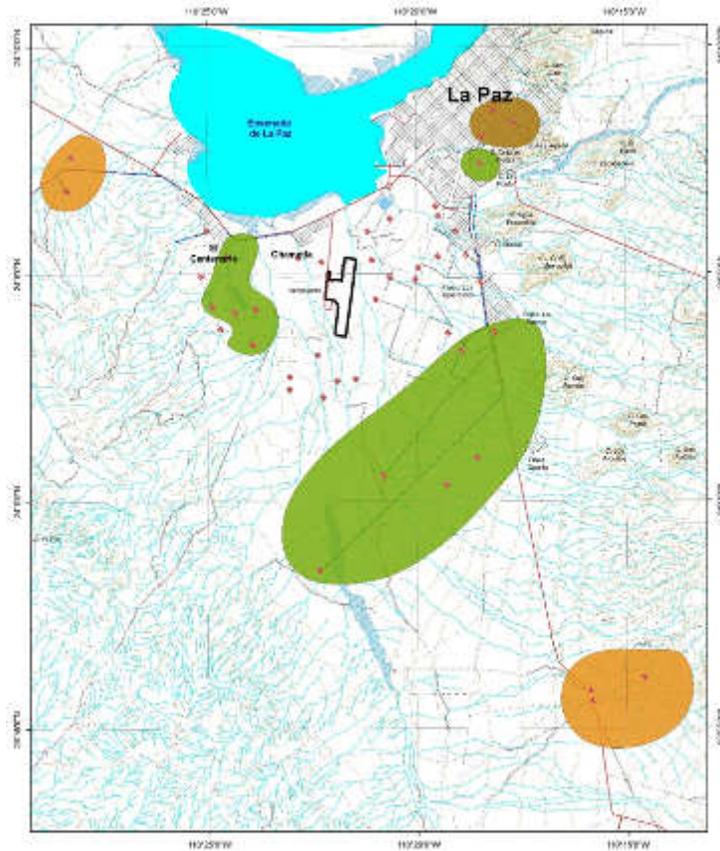


Hidrología Isotópica

1. BALANCE HÍDRICO Y MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO CON TRANSPORTE QUÍMICO

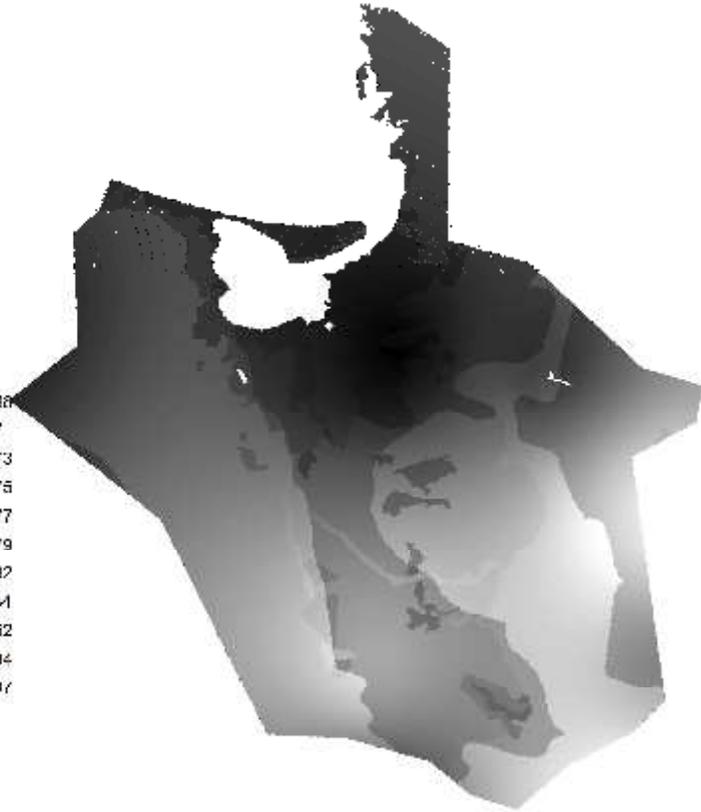


CARACTERIZACIÓN



Inf_2010

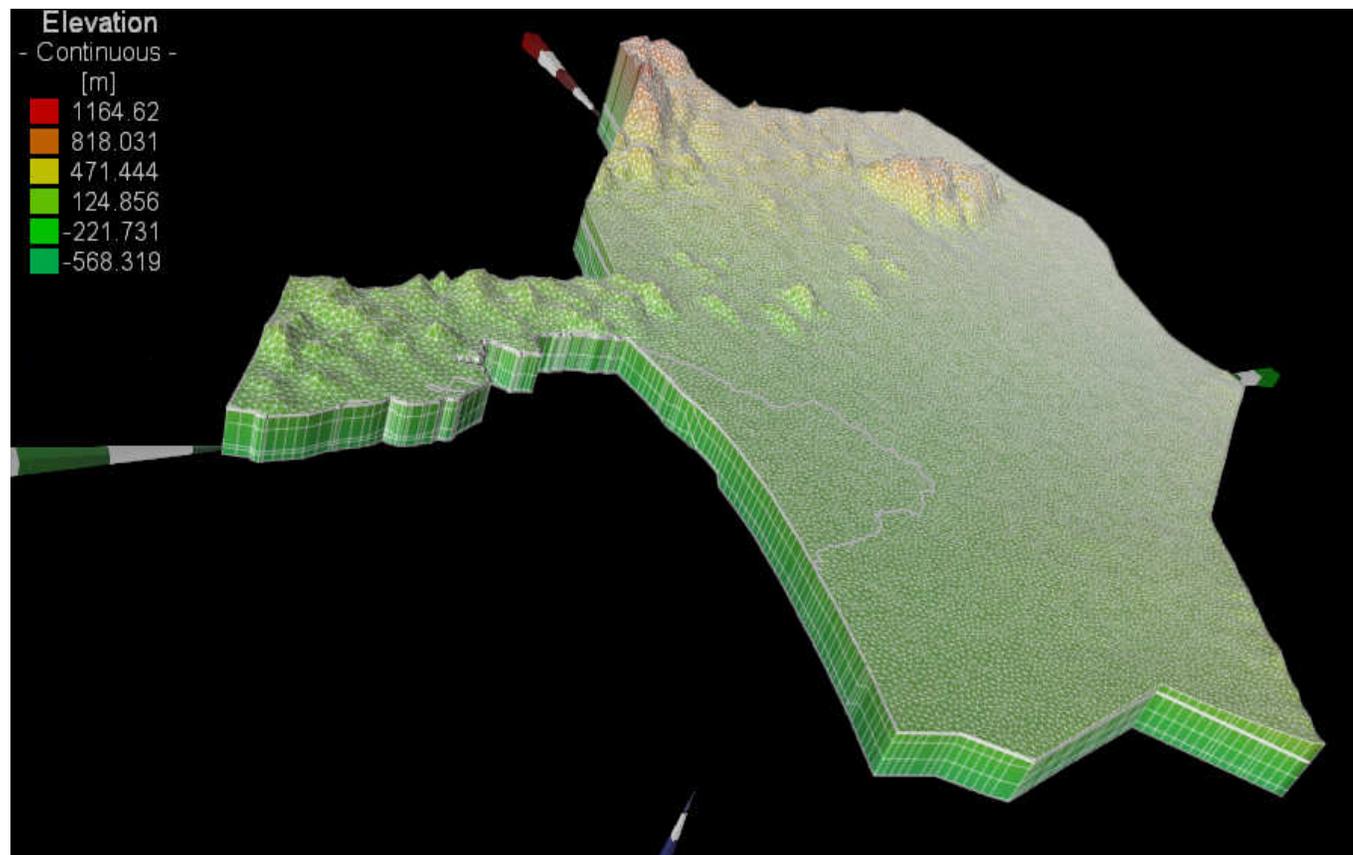
Value



1. BALANCE HÍDRICO Y MODELO DE FLUJO SUBTERRÁNEO CON TRANSPORTE QUÍMICO



CARACTERIZACIÓN



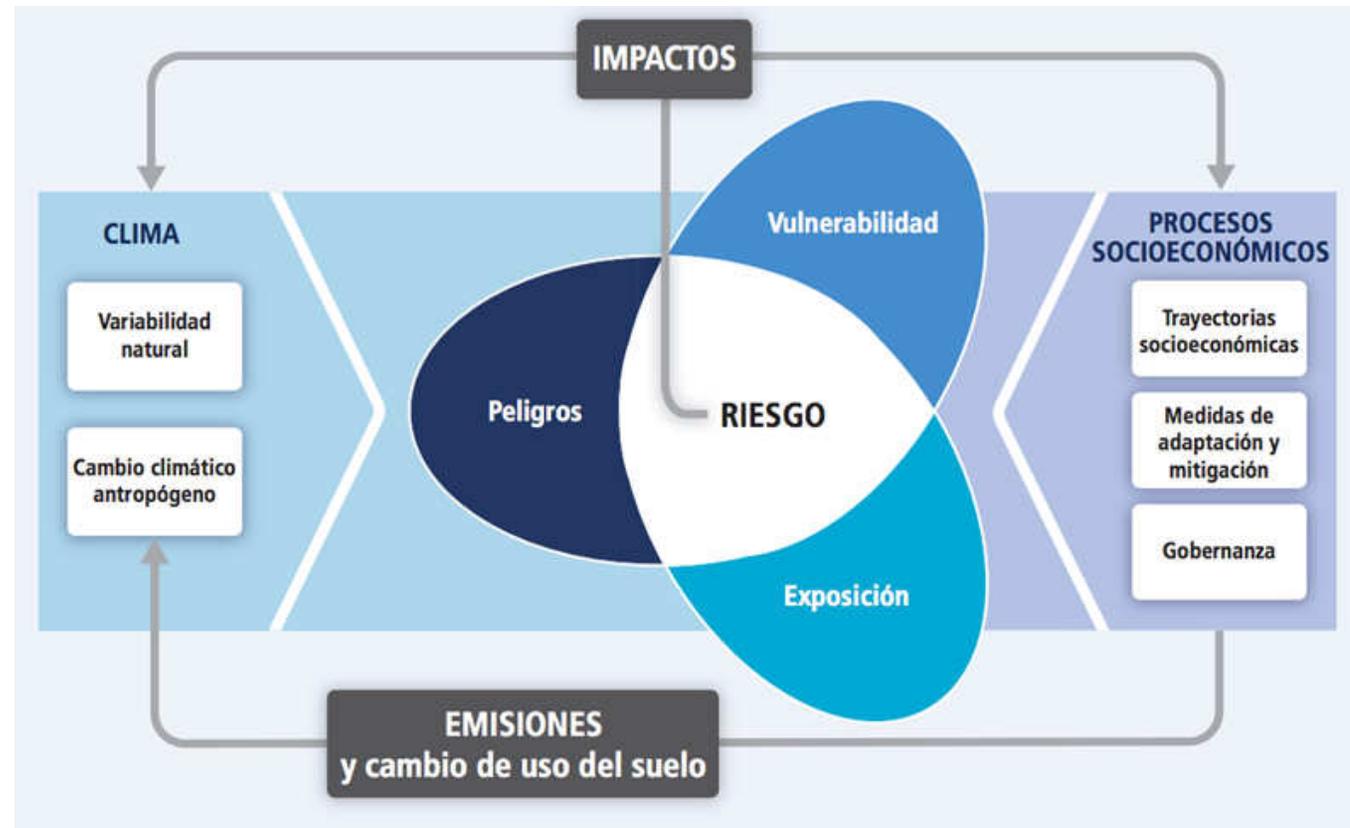
Importación de Modelo Digital de Elevaciones y Discretización vertical de los diferentes estratos

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



CARACTERIZACIÓN

Cambio climático: problema de gestión de riesgo. **Riesgo como resultado de combinar** la amenaza (o peligro), la exposición y la vulnerabilidad a dicha amenaza



Enfoque entre peligro, exposición, vulnerabilidad y riesgo (IPCC, 2014)

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO

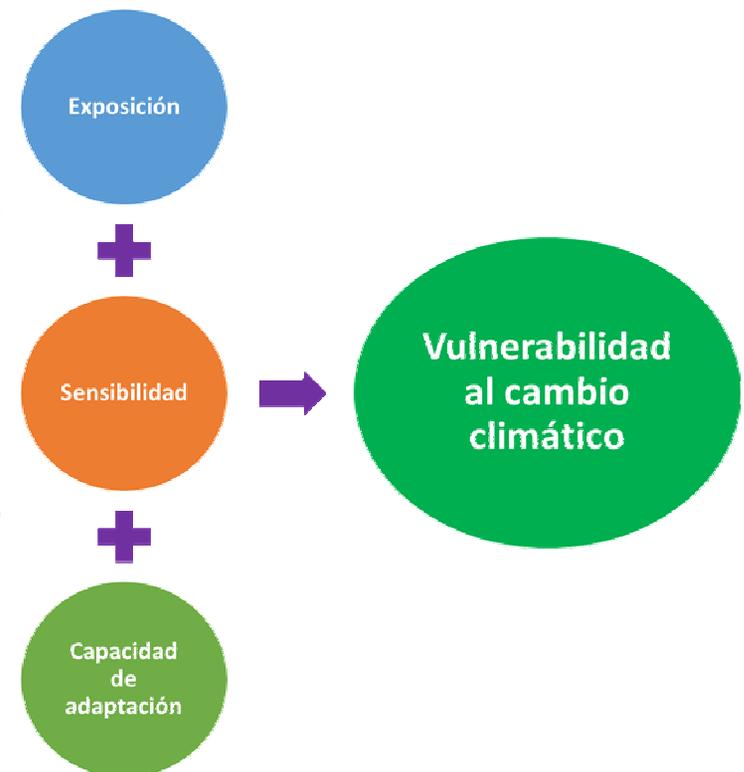


La **vulnerabilidad** se define como el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático (IPCC, 2007)

La exposición se relaciona con el **carácter y grado en que un sistema está expuesto a modificaciones climáticas** importantes, haciendo referencia a la magnitud y escala de variación según el clima del que se trate.

La sensibilidad se refiere al **nivel de respuesta del sistema por un cambio en el clima, positiva o negativamente.**

La capacidad adaptativa describe la **habilidad de un sistema de ajustarse a condiciones climáticas actuales o esperadas, o bien, de enfrentar las consecuencias.**



2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Procedimiento para la construcción del índice de vulnerabilidad al cambio climático



2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Recopilación de información



Proviene mayormente de dependencias gubernamentales (federales, estatales y municipales)

Selección de indicadores



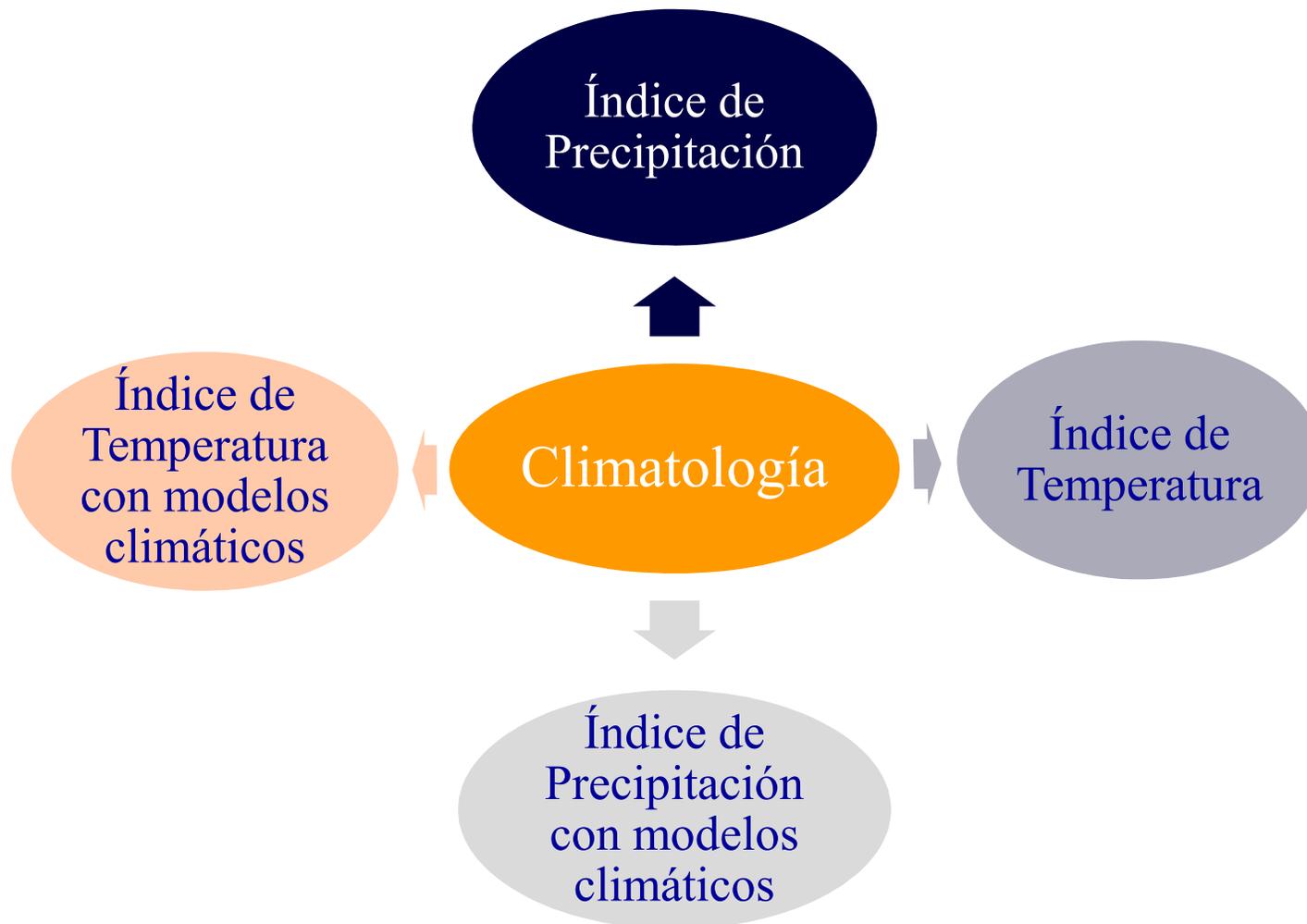
Se eligieron 34: 12 para caracterizar la exposición, 8 para sensibilidad y 14 para capacidad adaptativa

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Indicadores de exposición

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Indicadores de exposición

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO

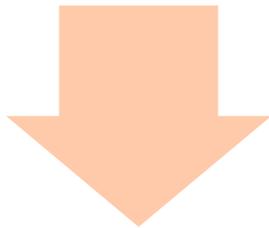


Indicadores de sensibilidad

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Población

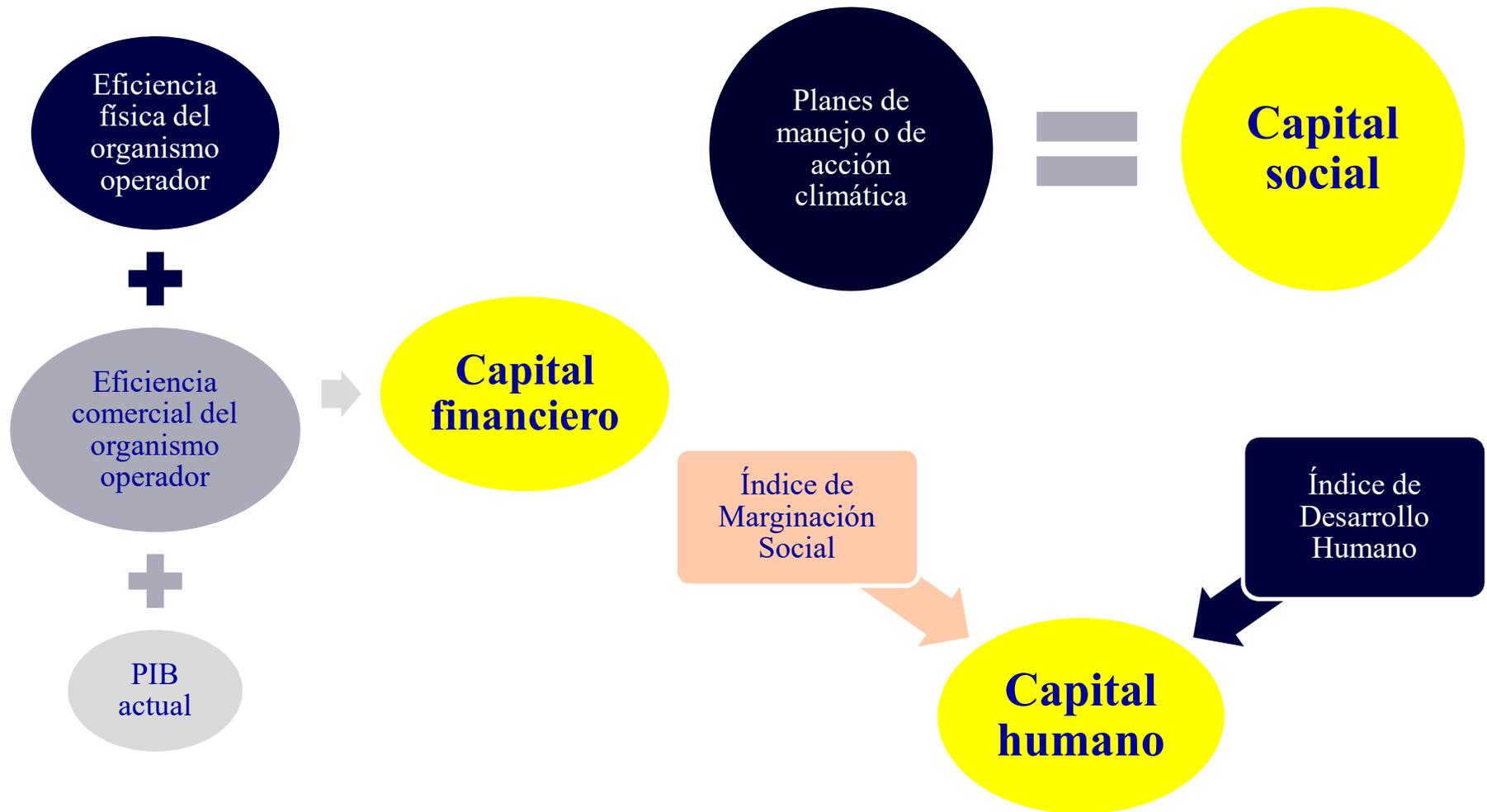


Población expuesta



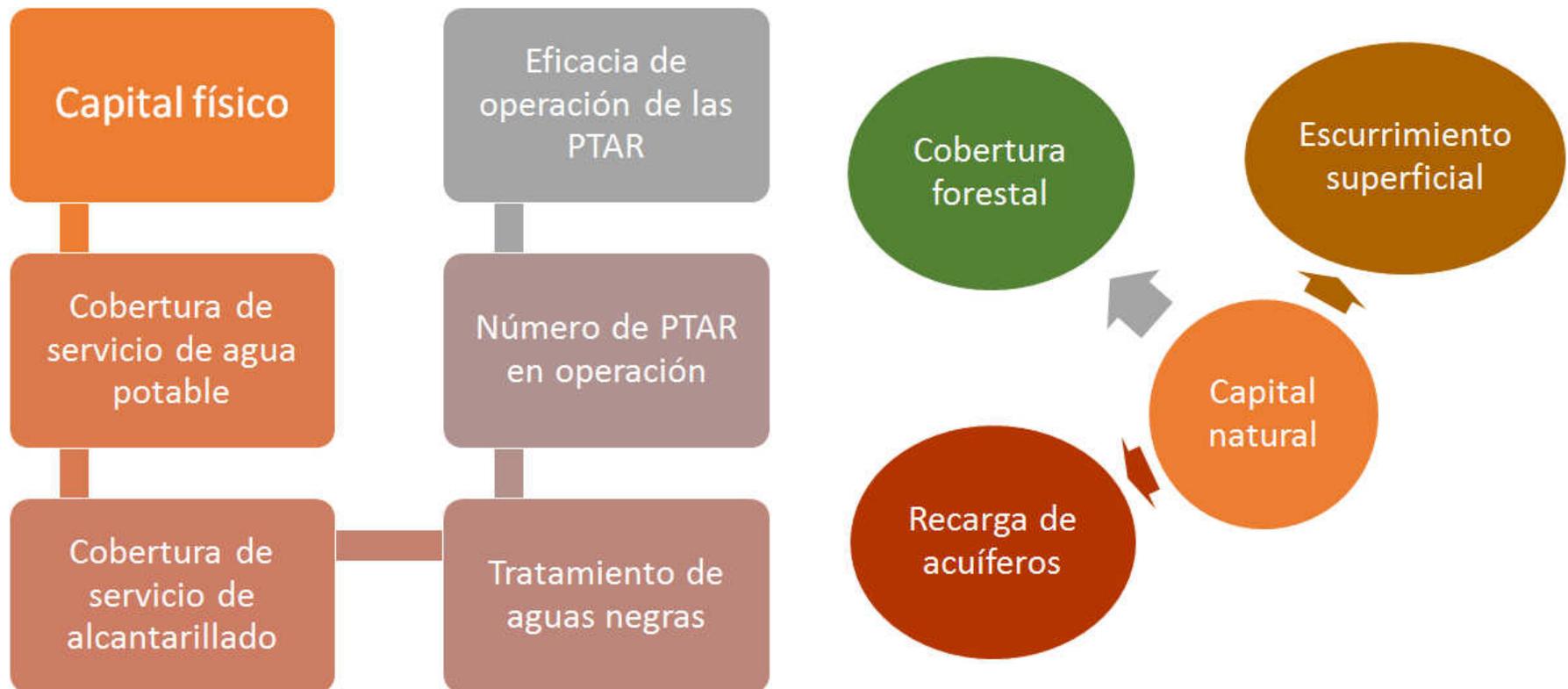
Indicadores de sensibilidad

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



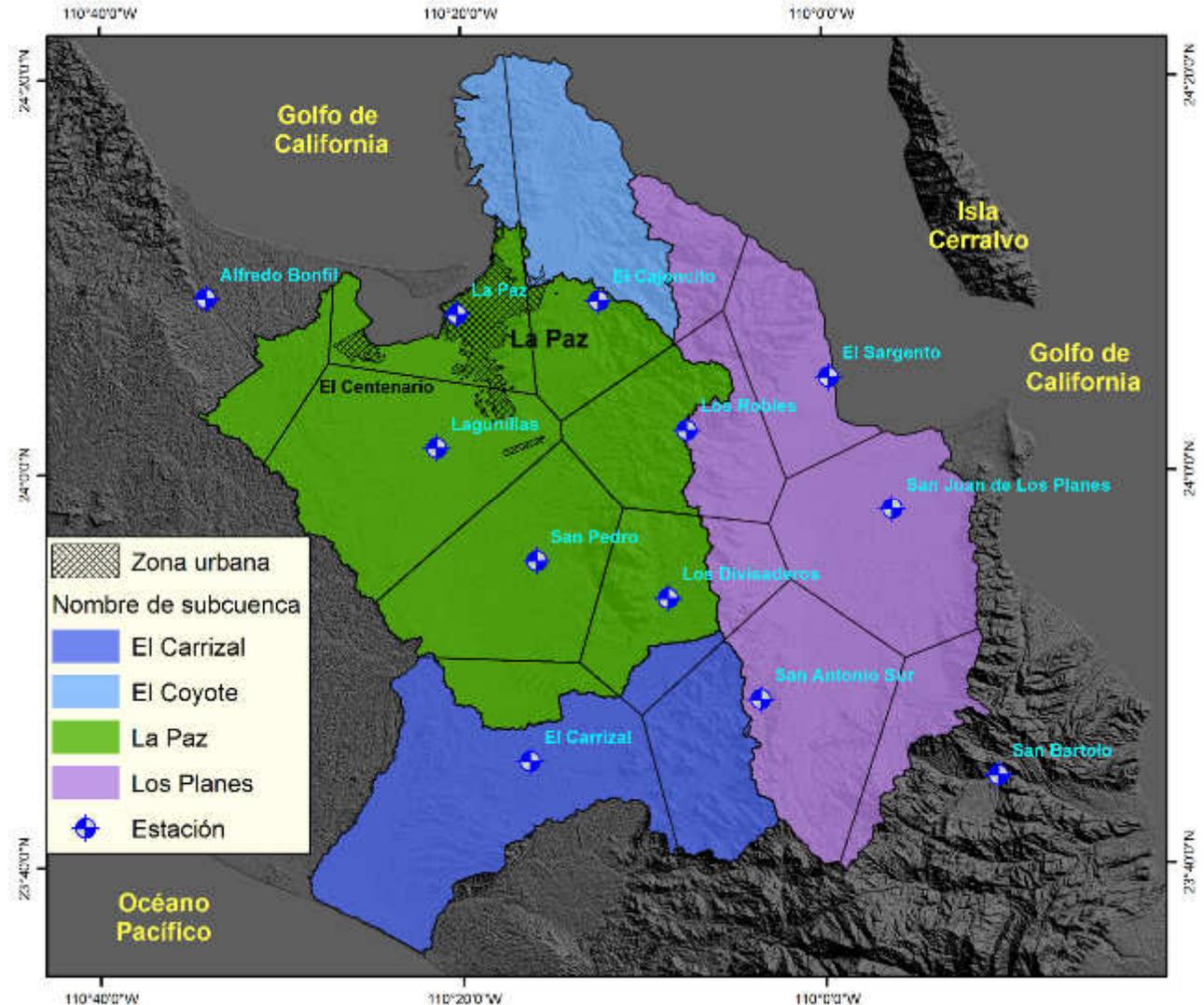
Indicadores de capacidad de adaptación

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Indicadores de capacidad de adaptación

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Se usaron los datos diarios de 12 estaciones climatológicas, cuya información esta contenida en el sistema CLICOM (<http://clicom-mex.cicese.mx>). Dichas estaciones se emplearon para el trazo de los polígonos de Thiessen y evaluar los indicadores de vulnerabilidad que utilizan variables climáticas por subcuenca.

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Indicador	Cálculo	Valor por subcuenca				Fuente
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal	
Índice de Precipitación Estandarizada	Se calculó con base en la utilización del registro diario de datos de la precipitación por cuenca. Se uso el software SPI_SL_6.exe	0.43	0.55	0.57	0.52	http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx
Índice de Lang	Se relacionó las medias anuales de la precipitación y la temperatura: $I_{LANG} = \frac{P_m}{T_m}$	9.71	12.33	13.10	13.71	Información climática diaria del sistema CLICOM
Índice de aridez	Razón de las medias anuales de la precipitación y la evapotranspiración de referencia (evaluada con el método de Hargreaves)	0.12	0.15	0.17	0.15	
Inundaciones	Frecuencia reportada por municipio entre 1970 y 2012	0.00	17.00	0.00	0.00	CENAPRED y http://www.desinventar.net/index_www.html
Lluvia intensa		0.00	36.00	0.00	0.00	
Nivel de mar	Se tomó de un índice valorado para el estado de Baja California Sur	0.00	2.00	0.00	0.00	Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático para Baja California Sur

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Exposición (Climatología)

Indicador	Cálculo	Valor por subcuenca				Fuente
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal	
Índice de Precipitación	<p>Relaciona la precipitación anual estimada en el año de 2012 (P_{AE}) con la precipitación media anual histórica (P_{AH})</p> $IP_{CC} = 1 - \frac{P_{AE}}{P_{AH}}$	-0.26	-0.15	0.04	-0.31	Información climática diaria del sistema CLICOM
Índice de Temperatura	<p>Razón de la temperatura anual estimada en el año de 2012 (T_{AE}) con la precipitación media anual histórica (T_{AH})</p> $IT_{CC} = 1 - \frac{T_{AE}}{T_{AH}}$	0.03	0.01	-0.01	0.00	

Sensibilidad (Recursos hídricos)

Indicador	Cálculo	Valor por subcuenca				Fuente
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal	
Consumo de agua (uso público urbano)	Se usaron los volúmenes concesionados al 31 de marzo de 2016 y la población en 2010	0.00	273.51	0.00	4.28	CONAGUA y censo de población 2010 de INEGI

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Sensibilidad (Recursos hídricos)

Indicador	Cálculo	Valor por subcuenca				Fuente
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal	
Índice de E scorrimiento superficial	Relaciona el volumen de escurrimiento superficial anual estimado en 2012 (VES_{AE}) con el volumen de escurrimiento superficial anual histórico (VES_{AH}), que se evaluó con el modelo SWAT	0.76	0.21	0.75	0.27	Modelo digital de elevación y red hidrográfica de INEGI; información climática diaria del sistema CLICOM; perfiles de suelo, capas de edafología y usos de suelo y vegetación escala 1:250,000 de INEGI
Grado de presión hídrica	Razón del volumen total de agua concesionado (V_{cons}) y el agua disponible (D_m). $GPH = 100 * \frac{V_{cons}}{D_m}$	227.93	199.63	81.59	97.44	Volúmenes concesionados registrados de en REPDA de CONAGUA y estudios de disponibilidad de agua subterránea y superficial publicados en el DOF

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Sensibilidad (Recursos hídricos)

Indicador	Cálculo	Valor por subcuenca				Fuente
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal	
Índice de disponibilidad de agua	<p>Relaciona la disponibilidad anual estimada en el año 2012 (D_{AE}) con la disponibilidad anual histórica (D_{AH}).</p> $IDA_{CC} = 1 - \frac{D_{AE}}{D_{AH}}$	0.27	0.20	0.11	-0.04	Estudios de disponibilidad de agua subterránea y superficial publicados en el DOF en diferentes años
Acuíferos	<p>Se estimó la relación entre la recarga (R) y la extracción del agua subterránea (Ext).</p> $Tasa = 100 * \frac{R}{Ext}$	61.19	95.99	76.48	135.24	Último estudio de disponibilidad de agua subterránea divulgado por CONAGUA
	<p>Se evaluó el porcentaje de acuíferos sobre-explotados (AS) y con intrusión salina, referente al número total de acuíferos (AT)</p> $Tasa = 100 * \frac{AS}{AT}$	0.00	100.00	100.00	0.00	Atlas del Agua en México Edición 2015

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Sensibilidad (Población)

Indicador	Cálculo	Valor por subcuenca				Fuente
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal	
Población expuesta	Número de habitantes por cuenca	173	226,899	4,829	3,200	Censo de población y vivienda 2010 de INEGI

Sensibilidad (Agrícola)

Indicador	Cálculo	Valor por subcuenca				Fuente
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal	
Superficie en actividades agropecuarias	Superficie en tierras dedicadas a actividades agrícolas y ganaderas por cuenca	110	6,032	7,096	35	Censo agropecuario y capa de usos de suelo y vegetación de INEGI

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Capacidad de adaptación (Capital financiero)

Indicador	Cálculo	Valor por subcuenca				Fuente
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal	
Desempeño de organismos operadores	Eficiencia física	0.00	64.35	0.00	0.00	Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (www.pigoo.gob.mx)
	Eficiencia comercial	0.00	39.00	0.00	0.00	Situación de Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2014
PIB actual	Se obtuvo el PIB a nivel municipal	3.24	4,248.91	90.43	59.92	Sistema Nacional de Información Municipal (www.snim.rami.gob.mx)

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Capacidad de adaptación (Capital físico)

Indicador	Cálculo	Valor por subcuenca				Fuente
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal	
Cobertura de servicio de agua potable	Porcentaje de la población con servicio de agua potable	0.00	95.39	0.00	0.00	Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (www.pigoo.gob.mx)
Cobertura de servicio de alcantarillado	Porcentaje de la población con servicio de drenaje	0.00	94.58	0.00	0.00	
Tratamiento de aguas negras	Se obtuvo el volumen total de agua residual municipal tratada comparada con el volumen total entregado para abastecimiento público urbano $A_{tratada} = 1 - \frac{V_{tratado}}{V_{cons}}$	0.00	68.94	0.00	0.00	Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Diciembre 2014
PTAR	Número de PTAR en operación	0.00	1.00	1.00	0.00	

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Capacidad de adaptación (Capital físico)

Indicador	Cálculo	Valor por subcuenca				Fuente
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal	
PTAR	Eficacia de operación de las PTAR	0.00	95.56	42.86	0.00	Programa de Acciones y Proyectos para la Sustentabilidad Hídrica Visión 2030. Baja California Sur

Capacidad de adaptación (Capital natural)

Indicador	Cálculo	Valor por subcuenca				Fuente
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal	
Cobertura forestal	Valoración de la superficie forestal por cuenca	37.19	322.61	512.56	215.18	Capa de cobertura de usos de suelo y vegetación serie V de INEGI

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Capacidad de adaptación (Capital social)

Indicador	Cálculo	Valor por subcuenca				Fuente
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal	
Planes de manejo o de acción climática	Existencia de planes de manejo o de acción ante el cambio climático	0.00	1.00	0.00	0.00	Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático para Baja California Sur (PEACC-BCS)

Capacidad de adaptación (Capital humano)

Indicador	Cálculo	Valor por subcuenca				Fuente
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal	
Índice de Marginación Social (IMS)	Valoración de los nueve indicadores socio-económicos propuestos por CONAPO por subcuenca	14.33	3.06	6.32	9.65	Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010 de CONAPO
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	Obtención de los tres indicadores por subcuenca propuestos por CONAPO	0.87	0.93	0.84	0.80	Índice de desarrollo humano por municipio de CONAPO y censo de población y vivienda 2010 de INEGI

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Proceso para eliminar las diferentes escalas y hacerlos comparables entre sí, dado que los indicadores se encuentran en distintas unidades y escalas.

Si el **incremento en el valor** de un indicador **aumenta la vulnerabilidad** de la región, **será positiva o ascendente**; si el **incremento en el valor** de un indicador **disminuye la vulnerabilidad** de la región, **será negativa o descendente**.

Relación funcional positiva
o ascendente



$$x_{ij} = \frac{X_{ij} - \text{Min}_i\{X_{ij}\}}{\text{Max}_i\{X_{ij}\} - \text{Min}_i\{X_{ij}\}}$$

Relación funcional negativa o
descendente



$$y_{ij} = \frac{\text{Max}_i\{X_{ij}\} - X_{ij}}{\text{Max}_i\{X_{ij}\} - \text{Min}_i\{X_{ij}\}}$$

Normalización de los indicadores

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Normalización de los indicadores

Indicador	Relación funcional	Indicadores normalizados				
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal	Desviación estándar
Índice de Precipitación Estandarizada	↓	1.00	0.11	0.00	0.34	0.39
Índice de Lang	↓	1.00	0.15	0.35	0.00	0.38
Índice de aridez	↓	1.00	0.13	0.00	0.36	0.38
Inundaciones	↑	0.00	1.00	0.00	0.00	0.43
Lluvia intensa	↑	0.00	1.00	0.00	0.00	0.43
Nivel del mar	↑	0.00	1.00	0.00	0.00	0.43
Índice de Precipitación	↑	0.13	0.46	1.00	0.00	0.39
Índice de Temperatura	↑	1.00	0.42	0.00	0.13	0.39

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Se empleó el método propuesto por Iyengar y Sudarshan, que **asigna a cada indicador un peso ponderado sobre todos los indicadores** que se evalúan a través del estadístico de la varianza

$$c = \sum_{j=1}^k \frac{1}{\sqrt{\text{var}_i(x_{ij})}}$$

$$w_j = \frac{c}{\sqrt{\text{var}_i(x_{ij})}}$$

Asignación de pesos

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Asignación de pesos y estimación del índice de vulnerabilidad actual

Indicador	Peso	Índice de vulnerabilidad			
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal
Índice de Precipitación Estandarizada	0.0382	3.8	0.4	0.0	1.3
Índice de Lang	0.0389	3.9	0.6	1.3	0.0
Índice de aridez	0.0386	3.9	0.5	0.0	1.4
Inundaciones	0.0342	0.0	3.4	0.0	0.0
Lluvia intensa	0.0342	0.0	3.4	0.0	0.0
Nivel del mar	0.0342	0.0	3.4	0.0	0.0
Índice de Precipitación	0.0384	0.5	1.8	3.8	0.0
Índice de Temperatura	0.0385	3.8	1.6	0.0	0.5

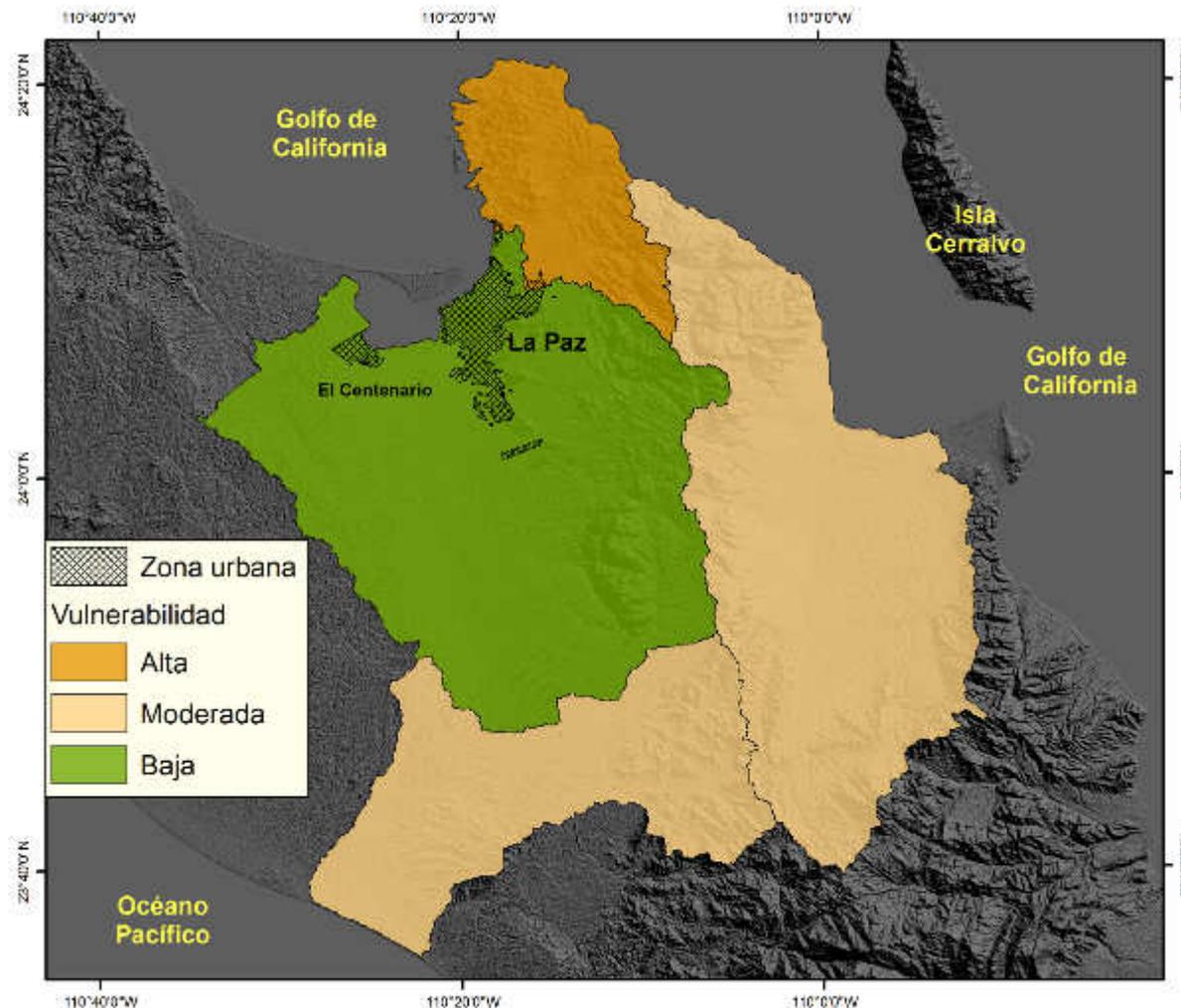
2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Asignación de pesos y estimación del índice de vulnerabilidad actual

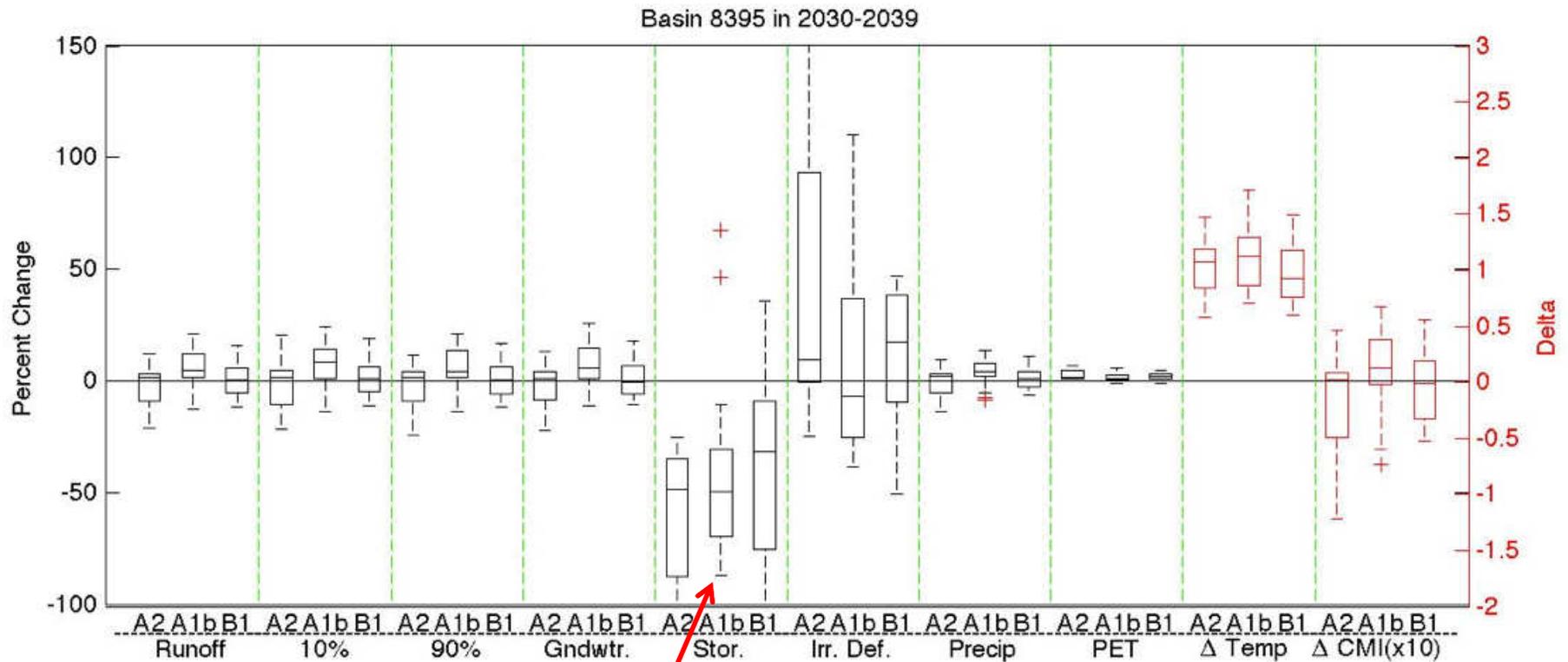
Indicador	Peso	Índice de vulnerabilidad			
		El Coyote	La Paz	Los Planes	El Carrizal
Número de PTAR en operación	0.0296	3.0	0.0	0.0	3.0
Eficacia de operación de las PTAR	0.0360	3.6	0.0	2.0	3.6
Cobertura forestal	0.0409	4.1	1.6	0.0	2.6
Planes de manejo o de acción climática	0.0342	3.4	0.0	3.4	3.4
Índice de Marginación Social	0.0401	4.0	0.0	1.2	2.3
Índice de Desarrollo Humano	0.0406	1.9	0.0	2.8	4.0
Índice de vulnerabilidad		71.2	37.3	47.9	43.7

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Vulnerabilidad

2. ANÁLISIS DEL RIESGO ASOCIADO CON EL CAMBIO CLIMÁTICO



Legend

Top of Box: 75th percentile
 Bottom of Box: 25th percentile
 Whiskers: extreme values

Disminución importante en las reservas

Middle Line: median
 Red Crosshairs: model outliers

**Incremento w/m^2 de radiación solar
 Lloverá menos y habrá mas calor negativo,
 Disminución diaria**

CONCLUSIONES



✓ Retos

- **Extracción intensiva, intrusión marina, contaminación del agua subterránea y superficial, efecto de sequías y el cambio climático agravan la disponibilidad del agua para uso, consumo humano y el desarrollo de actividades básicas**
- **Cómo garantizar el acceso al agua, lo cual aumenta la necesidad de una mejor gestión y administración del vital líquido**
- **Atención integral de diversas disciplinas, entre ellas la hidrología, modelos hidrológicos, isotopos e hidrogeoquímica**
- **Involucramiento de la sociedad**

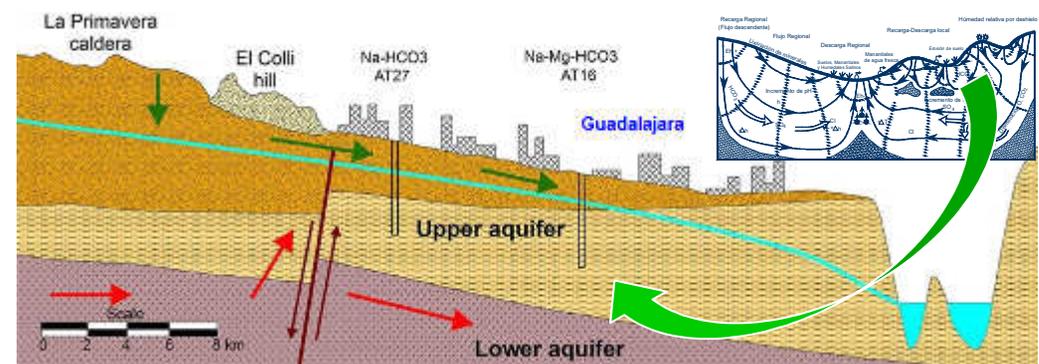
Ciencia y Tecnología del Agua

- ✓ Procesos Hidrológicos y Gestión de Recursos Hídricos



- ✓ Calidad de Agua y Tratamiento

- ✓ Geoprocesos Ambientales



**GRACIAS POR SU
ATENCIÓN**



CENTRO DE INVESTIGACIÓN



Oportunidad de:

**Postdoctorado
Doctorado
Maestría**

**100% beca por el ITESM
Beca CONACYT**

Dr. Arturo Hernández Antonio
heran@itesm.mx
www.centrodelagua.org