



G-WADI-LAC

# Metodologías para la determinación de la vulnerabilidad a las sequías

UNESCO Contract EN 4500442860

Proyecto "Enhancing Climate Services for Improved Water Resources Management in Regions Vulnerable to Climate Change: Case Studies from Africa and Latin America and the Caribbean" (ClimWaR)

Gabriel Mancilla, PhD; MSc; Director Ejecutivo  
Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC)

# Contexto: Sequías



- Desbalance temporal en la disponibilidad de agua de carácter natural, consistente en la persistencia de precipitaciones promedio que son inferiores al promedio anual.
- Las sequías son el segundo fenómeno vinculado al clima que más afecta la sociedad a nivel mundial.
- Entre 2005 y 2017, las sequías causaron pérdidas estimadas en 96 billones de dólares a la agricultura de países en desarrollo en el mundo.

## Contexto: Sequías y sus causas

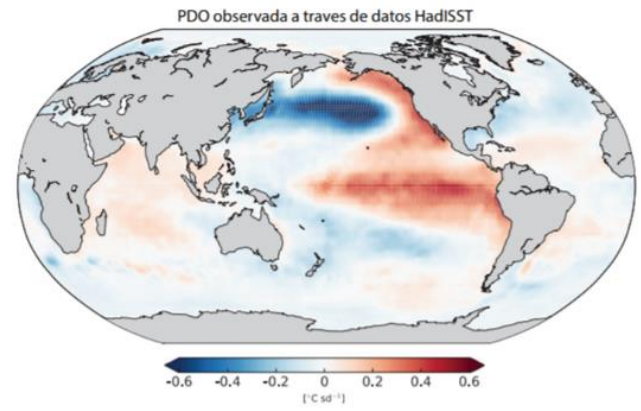
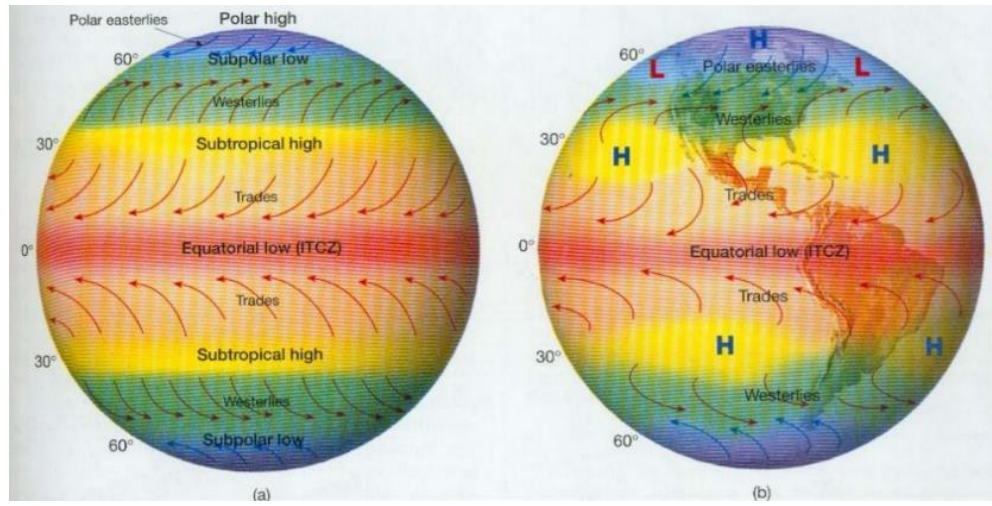
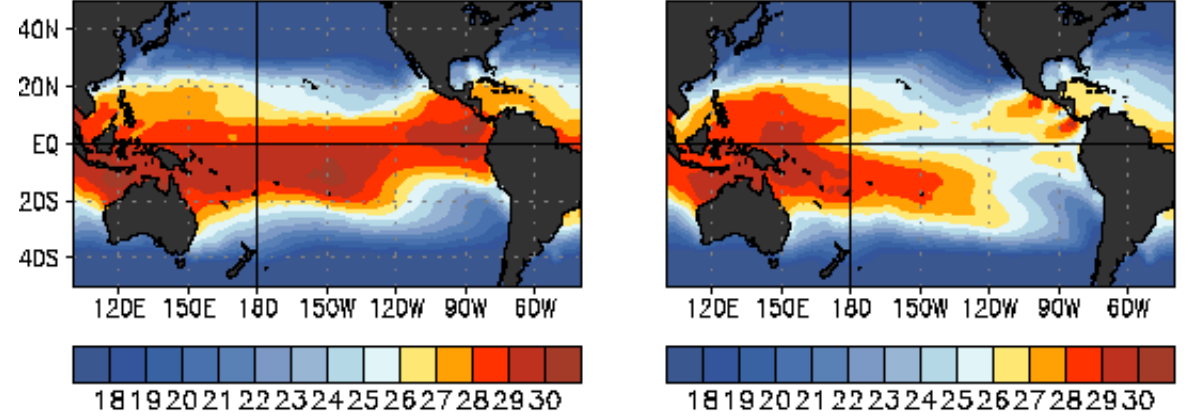


Figura1.- Patrón espacial de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) calculada con datos de temperatura superficial del mar de HadISST (<https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst/>).

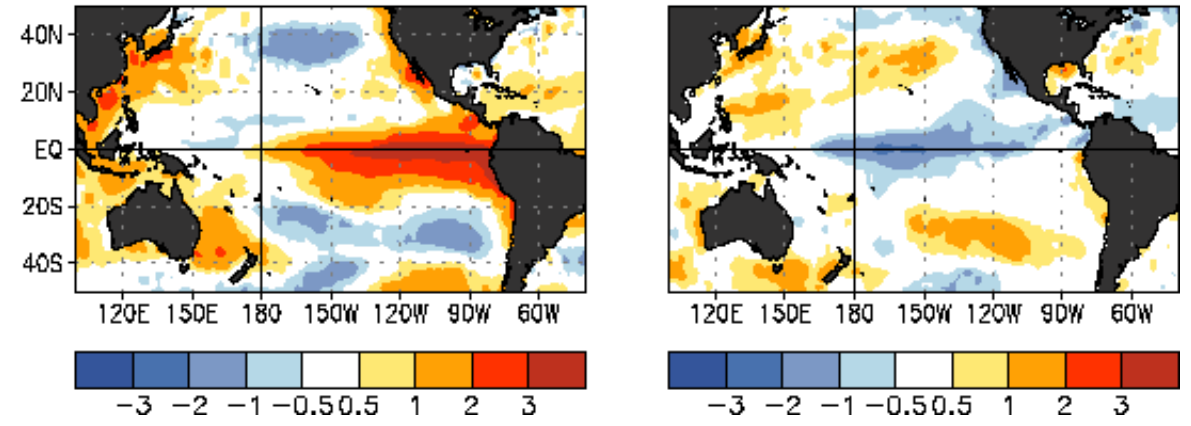
### OCEAN TEMPERATURES (°C)

#### EL NIÑO Jan-Mar 1998

#### LA NIÑA Jan-Mar 1989

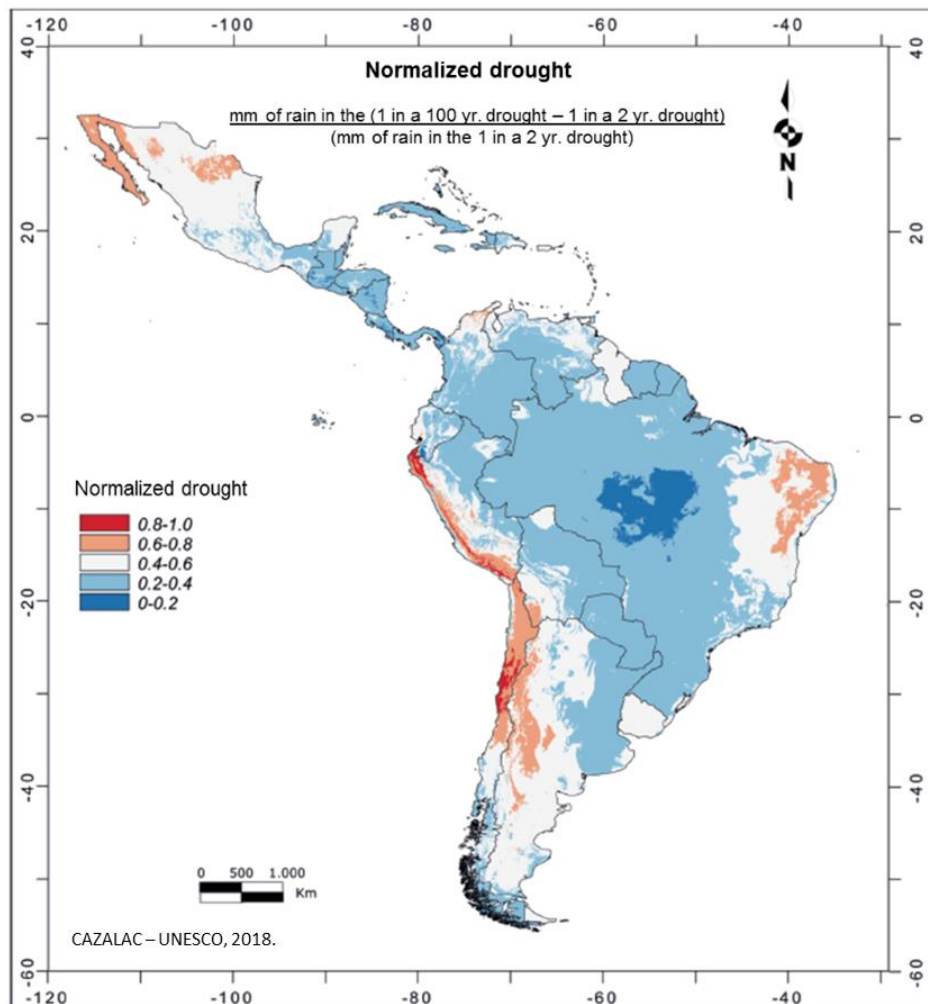


### OCEAN TEMPERATURE DEPARTURES (°C)



[https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensocycle/ensocycle.shtml](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensocycle/ensocycle.shtml)

## Contexto: Sequías y sus impactos



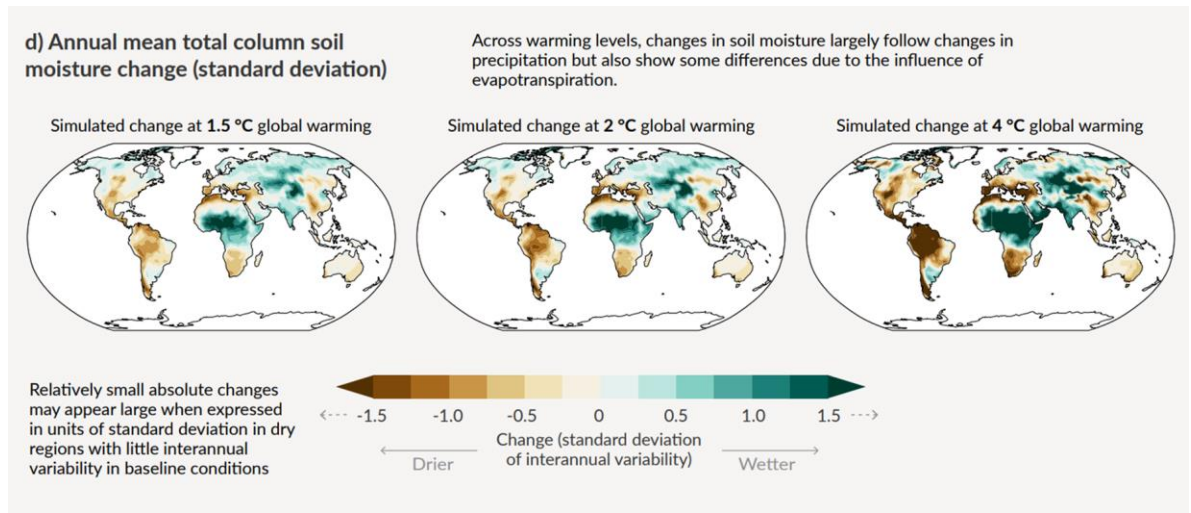
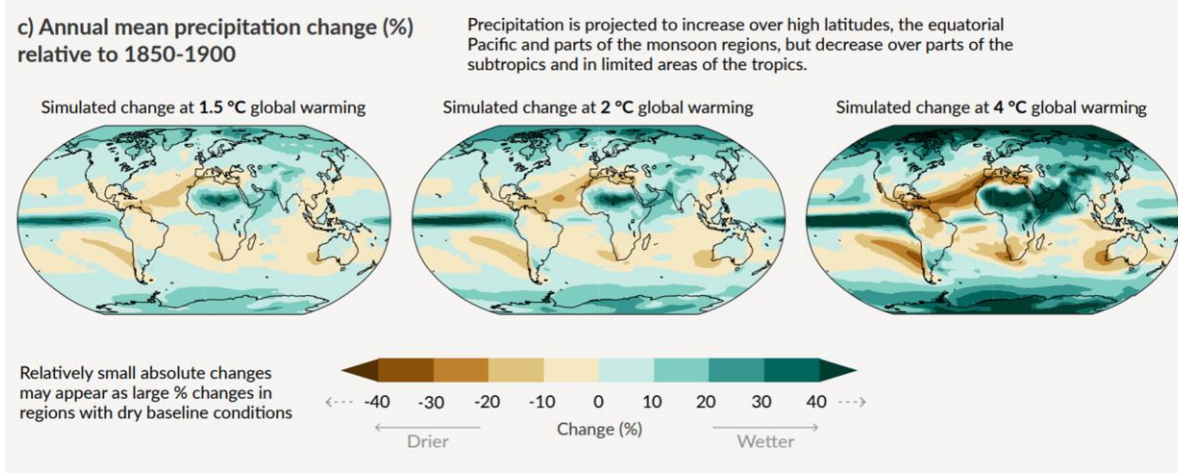
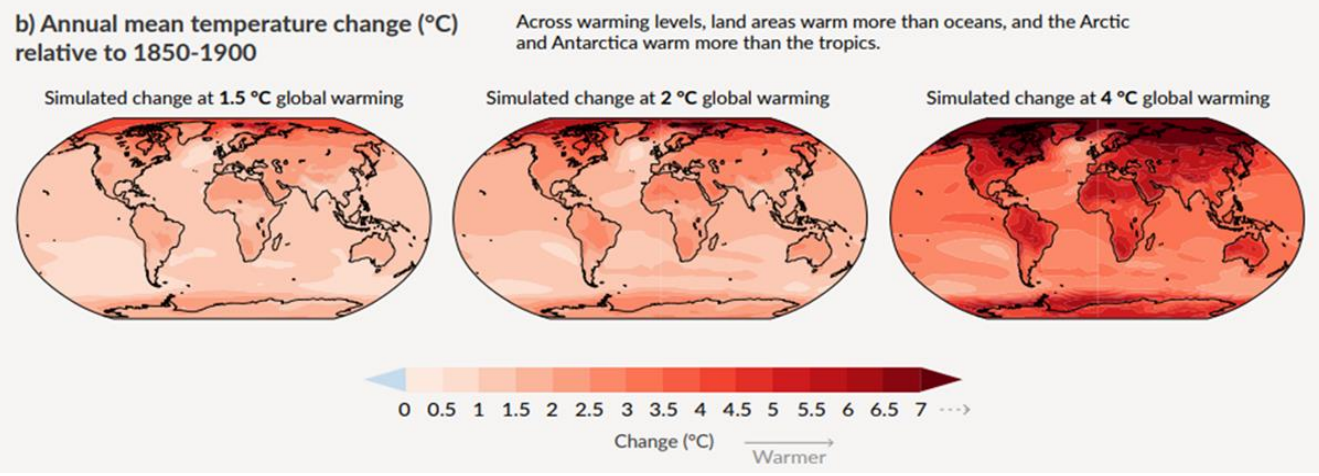
Las sequías son más intensas en:

- **Argentina** (Río Negro, La Pampa, Mendoza, Catamarca, La Rioja, San Juan, San Luis, Córdoba)
- **Bolivia** (Altiplano suroeste)
- **Brasil** (Río Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Ceará, Sergipe, Bahía, Piauí)
- **Chile** (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, O`higgins, Talca).
- **Colombia** (parte de La Guajira y Magdalena)
- **Perú** (Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Áncash, Lima, Ica, Arequipa, Moquehua, Tacna, parte de Ayachucho)
- **México** (Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila)

## Contexto: Sequías y sus impactos

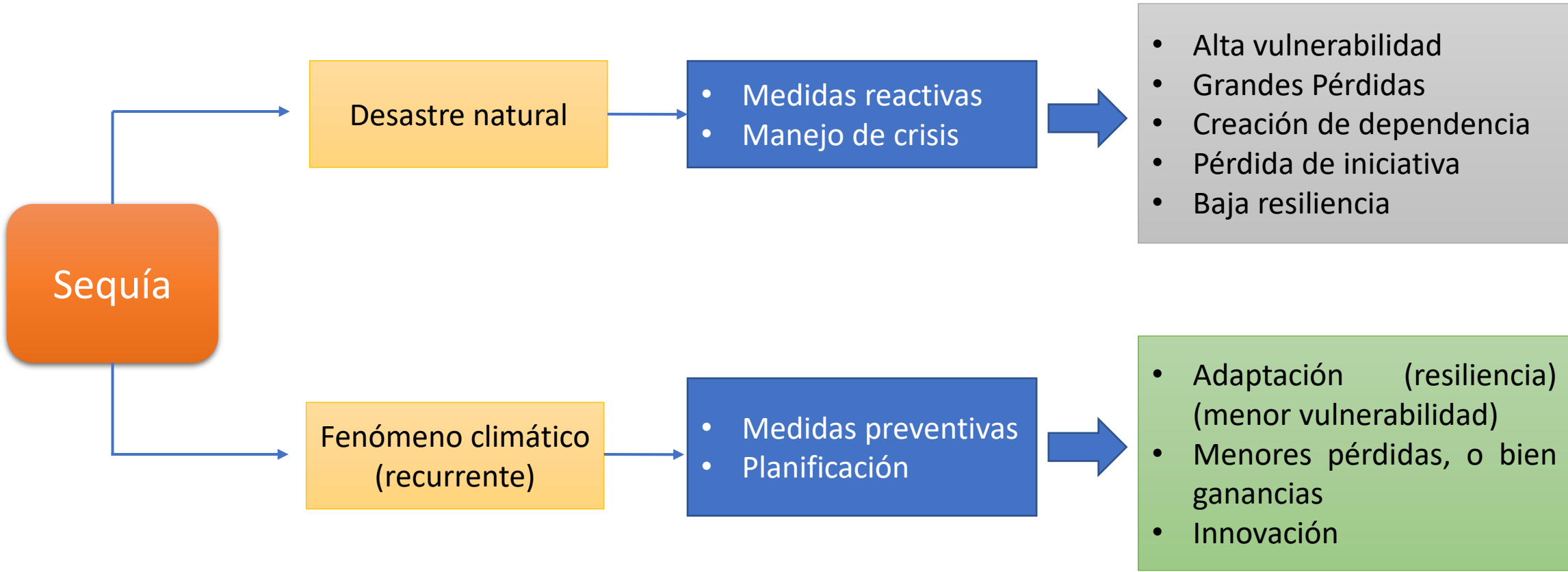
País									
Última sequía	Peor en 70 años	2016-2018	La peor en 84 años	2010-2020	2014, 2015, 2016, 2017	2017	2016-2017	2017-2018	2011 y 2020-2021
Efectos generales	-US\$ 5.000 millones menos de ganancias para el país. -PIB reducido desde 2,5 a 2,0	-125.000 familias afectadas. -Restricciones en agua potable en La Paz. -Retroceso en glaciares. -500 millones de dólares en pérdidas (2017).	-Sao Paulo y Río amenazadas de restricciones en agua potable. -Dengue y otros problemas sanitarios detectados.	-70% de la población afectada. -72% del territorio afectado. -Migraciones. -Incendios. -Retroceso glaciar.	-Sin agua potable en varios distritos -Millones sufren restricciones de agua potable	-Miles de familias en la zona del Chaco sin continuidad de agua potable.	-Carencia de agua potable en varias zonas. -Proliferación de enfermedades (diarrea, tífus, cólera) -Incendios forestales	-Sin agua potable en algunos distritos.	- 80% del territorio con sequía (2020-2021) -2011 la peor sequía en 70 años (86% del territorio) - Grandes incendios forestales (2011).
Efectos en agricultura	-Reducción en producciones de soja, maíz y trigo. -80% de los campos afectados.	-300.000 hectáreas agrícolas dañadas. -350.000 vacunos en riesgo.	-45% de la producción de café afectada.	- 55% de distritos agrícolas en emergencia.  - Miles de millones en pérdidas.	-Incendios forestales. -Miles de cabezas de ganado perdidas. -Miles de hectáreas agrícolas sin producción.	-Ganado y cultivos muy dañados. -Falta de forraje.	-30% de reducción en la producción de arroz.	-2,227 productores afectados. -20% menos de producción de soja. -Pérdida de ganado.	-1.300 millones de dólares en pérdidas agrícolas (2011). -Pérdida total del 10% del PIB (2011).

## Contexto: Sequías y sus proyecciones

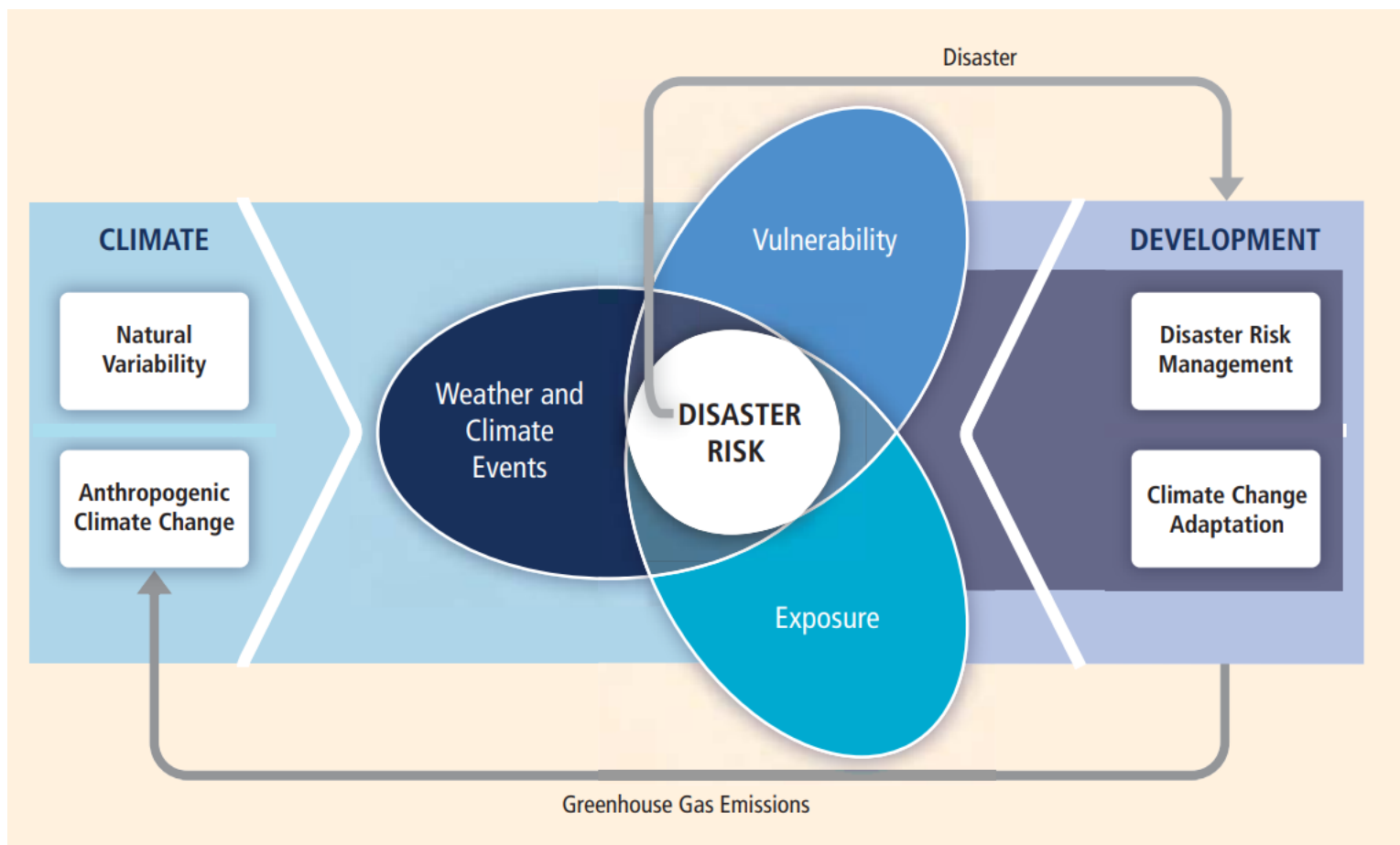


# Contexto: ¿Cómo enfrentar las sequías?

Las estrategias para enfrentar las sequías han ido variando sus objetivos.



# Contexto

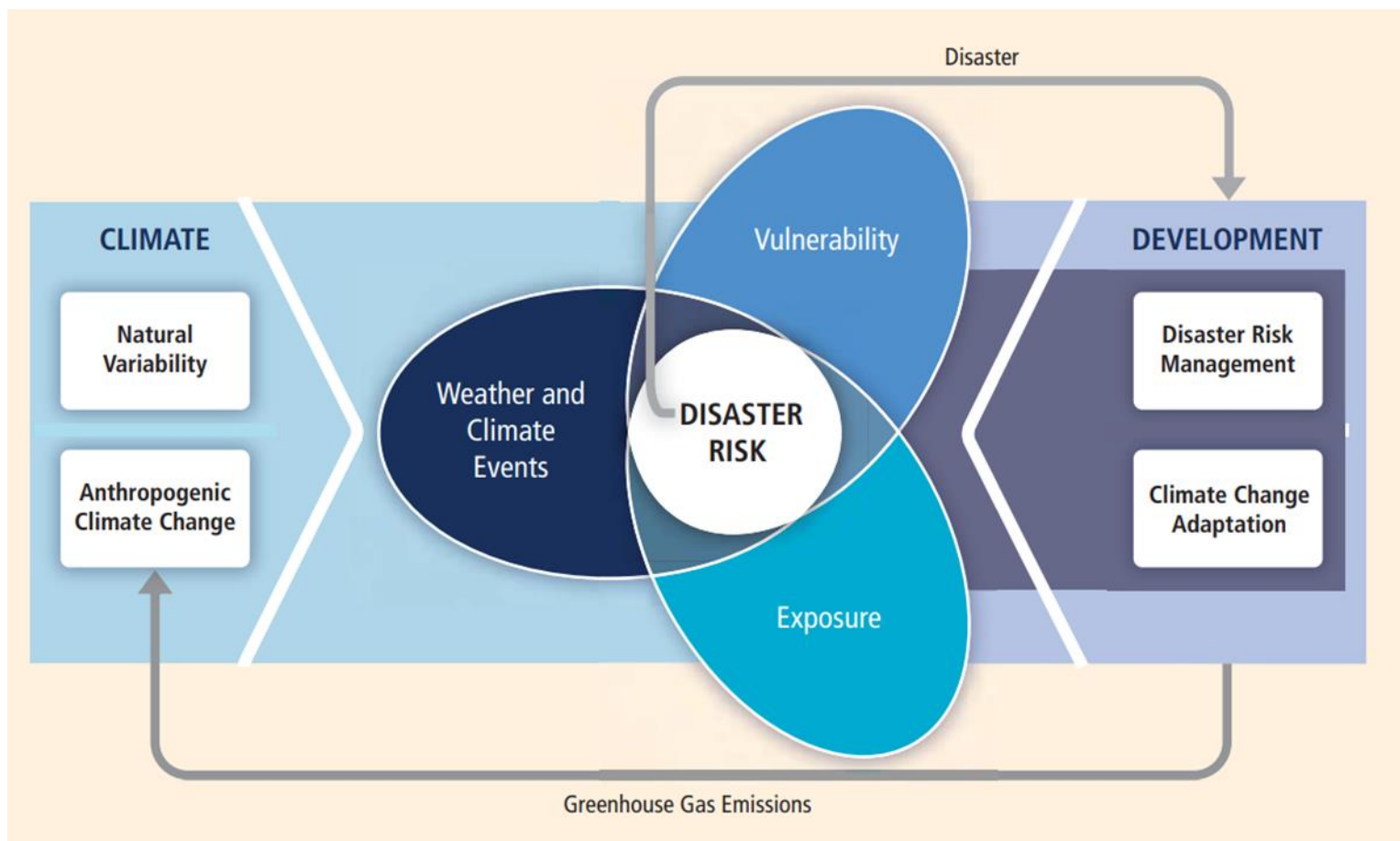


- Un extremo climático se considera desastre cuando produce un daño extenso y altera severamente el bienestar y normal funcionamiento de la sociedad o comunidades.
- El carácter y la severidad de los impactos de riesgos climáticos dependen de cuán extremos sean estos, pero también de cuán expuestos y/o vulnerables sean las áreas, ecosistemas o comunidades sujetas a dichos impactos.

Fuente: IPCC, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.



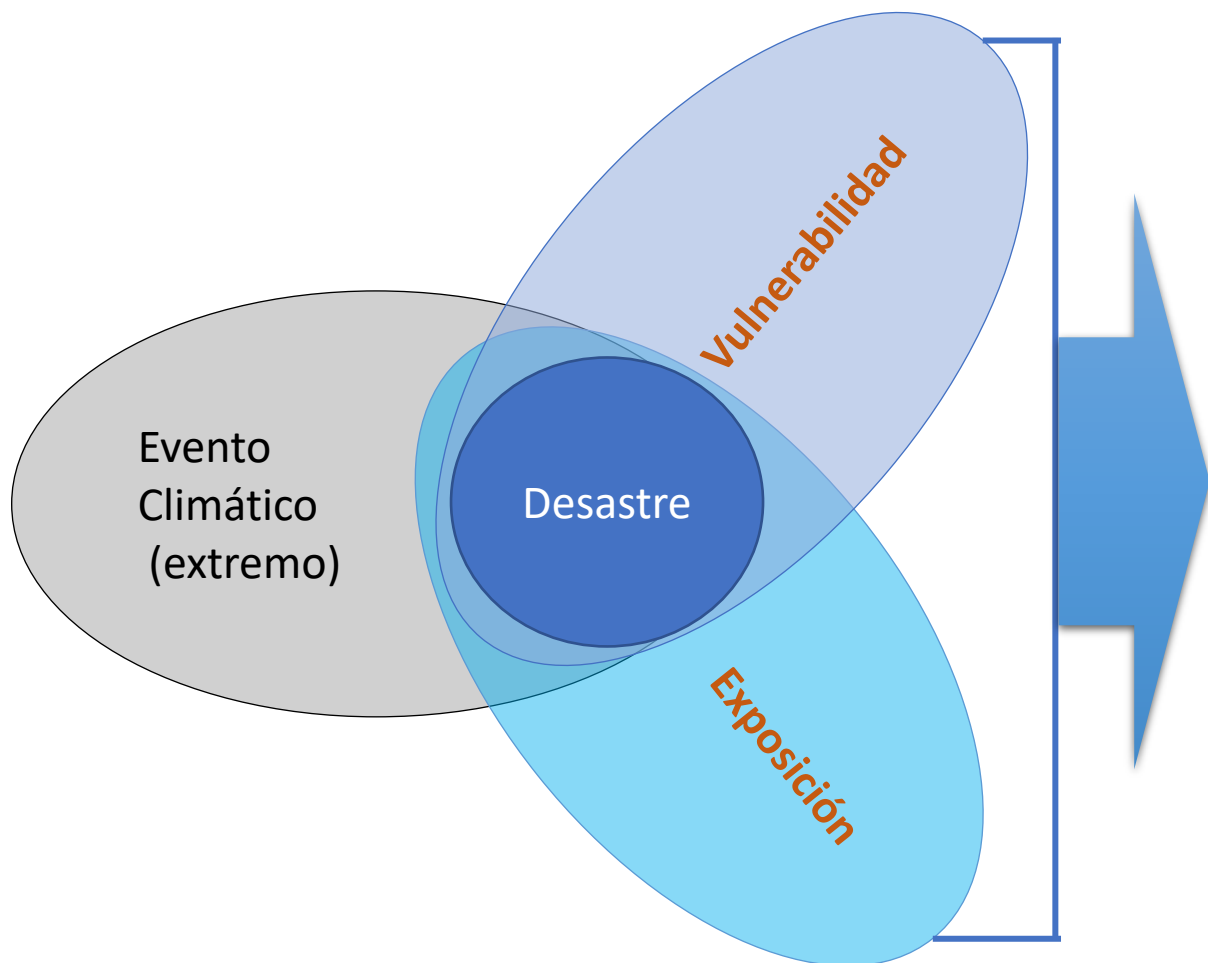
## Contexto



- Los extremos climáticos, la exposición y vulnerabilidad son influidas por muchos factores, incluyendo el cambio climático antropogénico, la variabilidad climática natural y el Desarrollo socioeconómico.
- La gestión de riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático se refieren a reducir la exposición y vulnerabilidad e incrementar la resiliencia ante los impactos potenciales de los extremos climáticos, aunque los riesgos no pueden ser totalmente eliminados.

Fuente: IPCC, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

# Contexto



- Dinámicas.
- Variables a escala temporal y espacial.

- Dependientes de factores:
- Económicos
  - Sociales
  - Geográficos
  - Demográficos
  - Culturales
  - Institucionales
  - De gobernanza
  - Ambientales

Comunidades e individuos tienen distinto nivel de exposición y vulnerabilidad por desigualdades expresadas según niveles de:

- Riqueza
- Educación
- Discapacidad
- Salud
- Género
- Edad
- Clase social
- Otros (sociales y culturales).

# Vulnerabilidad al riesgo

- Definición

**Vulnerabilidad:** (IPCC, 2001). Propensión o predisposición a ser afectado en forma adversa. La predisposición es una característica interna del elemento afectado. En el ámbito del riesgo de desastres, la vulnerabilidad incluye las características (o situaciones) de una persona o grupo que influyen en su(s) capacidad(es) para anticiparse, convivir, resistir y recuperarse de los efectos adversos de los eventos. La vulnerabilidad es el resultado de procesos y/o condiciones de tipo históricas, sociales, económicas, políticas, culturales, institucionales, de recursos naturales y ambientales.

En torno a la gestión de riesgos de desastres, la vulnerabilidad es importante porque releva el rol de factores sociales en la constitución del riesgo, yendo más allá de la mera explicación física del daño y las pérdidas. Entonces, en eventos de la misma magnitud y ante similar exposición, daños y pérdidas podrán ser distintos según los niveles de vulnerabilidad.

# Vulnerabilidad al riesgo

- Definición

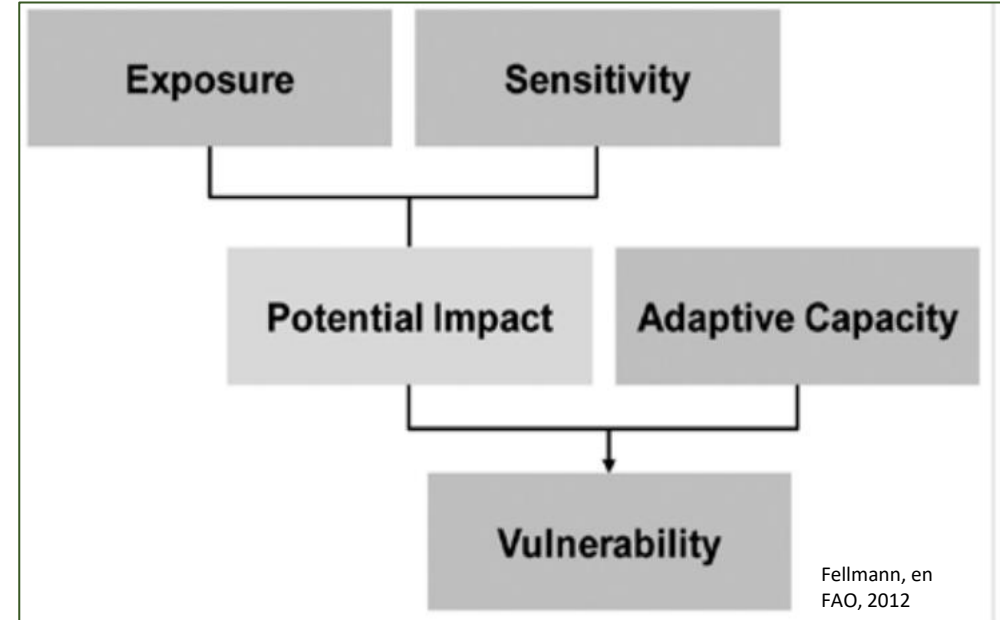
De manera más específica en torno al riesgo por desastres climáticos, el IPCC (2007), infiere que la vulnerabilidad se manifestaría de manera diferente respecto a la magnitud del evento, definiéndola como: “el grado en el cual un sistema es susceptible o incapaz de convivir con efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los eventos extremos. La vulnerabilidad es función del carácter, magnitud y tasa del cambio climático y la variación a la cual el sistema está expuesto, su sensibilidad y capacidad adaptativa”.

Dicha definición induce a que las causas físicas y sus correspondientes efectos serían un aspecto explícito de la vulnerabilidad, mientras que el contexto social estaría inmerso dentro de las nociones de sensibilidad y capacidad adaptativa.

# Vulnerabilidad al riesgo

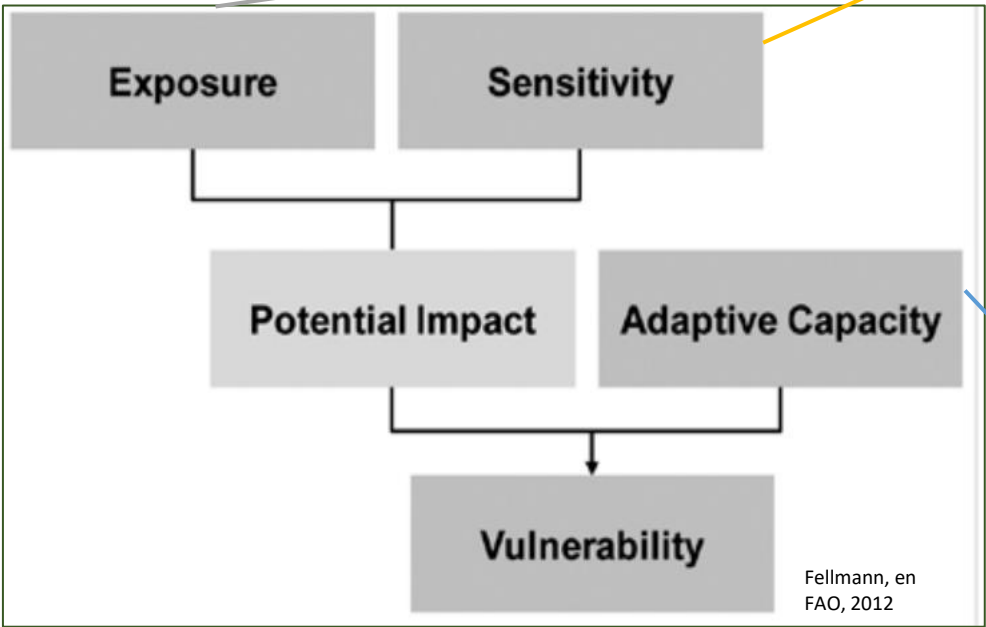
- Vulnerabilidad

“Grado en el cual un sistema es susceptible o incapaz de convivir con efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los eventos extremos. La vulnerabilidad es función del carácter, magnitud y tasa del cambio climático y la variación a la cual el sistema está expuesto, su sensibilidad y capacidad adaptativa”.



Naturaleza y extensión al cual un sistema está expuesto a variaciones significativas del clima (IPCC, 2001). No solo la define la extensión a la cual el sistema está sujeto a variaciones significativas del clima, sino que también la duración de ellas. Es relevante definir la unidad de exposición (actividad, grupo, región o recurso sujeto al fenómeno).

Grado en el cual un sistema es afectado (favorable o desfavorablemente), por el fenómeno climático. El efecto puede ser directo o indirecto. Refleja la respuesta de un sistema a las influencias climáticas y el grado en el cual los cambios climáticos afectarían su forma o funcionamiento actual. Sistemas sensibles responderán fuertemente al clima y serán muy afectados por pequeños cambios climáticos.



Habilidad o potencial de un sistema para ajustarse a los cambios del clima, para moderar el daño, aprovechar oportunidades o convivir con las consecuencias. Se enfatiza la confluencia de factores biofísicos con factores socio-económicos, en donde destacan el rol de las instituciones, la gobernanza y la gestión.

# Vulnerabilidad al riesgo ¿Por qué evaluarla?

Combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Compuesto por la amenaza y la vulnerabilidad.

Características y circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza

**Riesgo = Amenaza x vulnerabilidad**

Fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

- *Exposición x (susceptibilidad/resiliencia)*
- *Exposición + susceptibilidad – capacidad de adaptación*

f (intensidad, frecuencia)

# Vulnerabilidad al riesgo ¿Por qué evaluarla?

Combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Compuesto por la amenaza y la vulnerabilidad.

Características y circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza

**Riesgo** = **Amenaza** x **vulnerabilidad**

Fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

- *Exposición x (susceptibilidad/resiliencia)*
- *Exposición + susceptibilidad – capacidad de adaptación*

Difícilmente (imposible) manejable

Manejable en diferentes medidas



## Vulnerabilidad al riesgo ¿Por qué evaluarla?

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{vulnerabilidad}$$

*Exposición x (susceptibilidad/resiliencia)*

*Exposición +susceptibilidad-capacidad de adaptación*

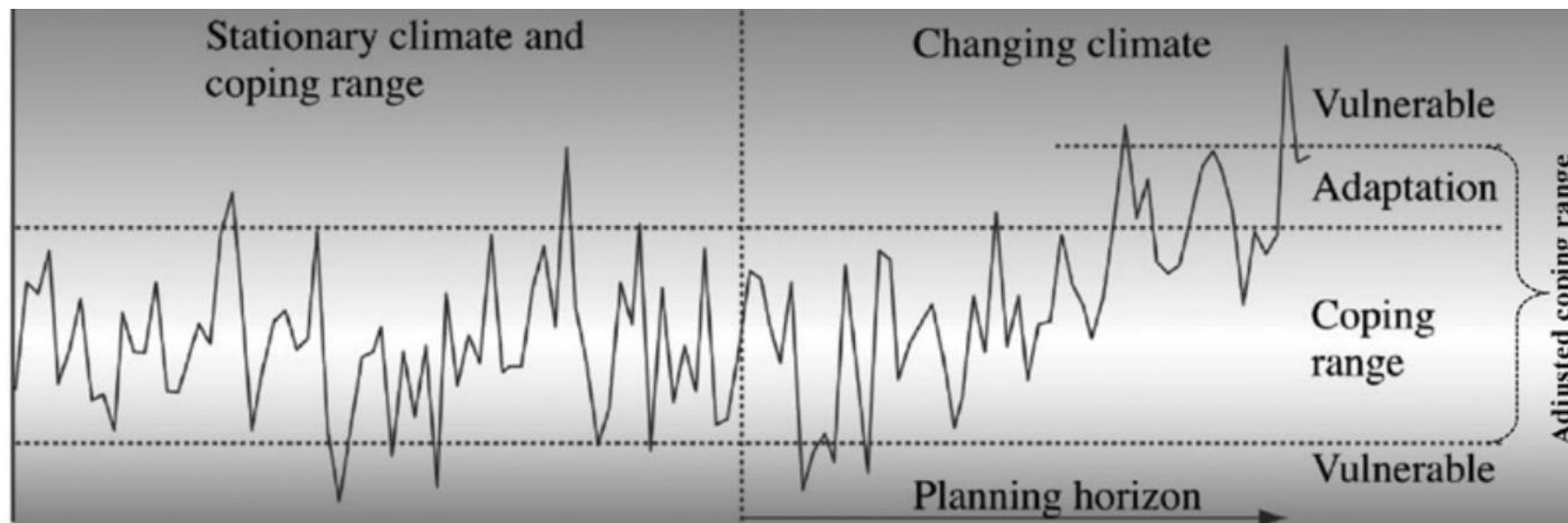
- Los planes de gestión del riesgo de desastres (prevención, mitigación, restauración) deben establecer lineamientos para determinar, medir y localizar amenazas, y definir las localidades (comunidades, infraestructuras, ecosistemas u otros) más vulnerables.
- Los planes deben también establecer de qué forma las localidades (comunidades, infraestructuras, ecosistemas u otros) expuestas pueden reducir su susceptibilidad y ser más resilientes ante dichos riesgos.
- Entonces, se priorizará los recursos dependiendo del grado de amenaza o según los niveles de vulnerabilidad, entendiendo que el uso de esos recursos será más redituable en la medida de que la susceptibilidad pueda ser mayormente reducida, y/o la resiliencia pueda ser mayor (aumentada).

## Vulnerabilidad al riesgo ¿Por qué evaluarla?

**Riesgo = Amenaza x vulnerabilidad**

*Exposición x (susceptibilidad/resiliencia)*

*Exposición +susceptibilidad-capacidad de adaptación*



**Figure 3. Relationships between climate change, coping range, vulnerability thresholds and adaptation**

Source: Slightly modified from Jones and Mearns (2005) by adding the adjusted coping range.

Metodologías para la determinación de la vulnerabilidad a las sequías

Fuente: FAO, 2012

## Ejemplo: Riesgo de daños por sequías

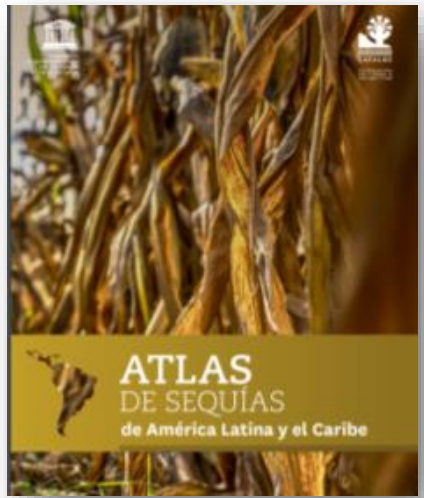
### Riesgo a daño por sequías

= Amenaza a sequía de determinadas características  
(intensidad y frecuencia)

x

Vulnerabilidad

[exposición +susceptibilidad – capacidad de adaptación]



[http://dgf.uchile.cl/rene/PUBS/AtlasSequia\\_latam\\_UNESCO.pdf](http://dgf.uchile.cl/rene/PUBS/AtlasSequia_latam_UNESCO.pdf)



[Atlas de la Canicula - IHP-Wins - Unesco](http://www.climatedatalibrary.cl/CAZALAC/maproom/?Set-Language=es)

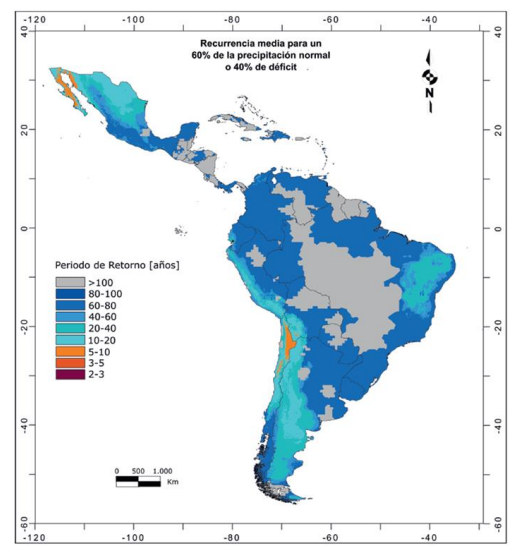
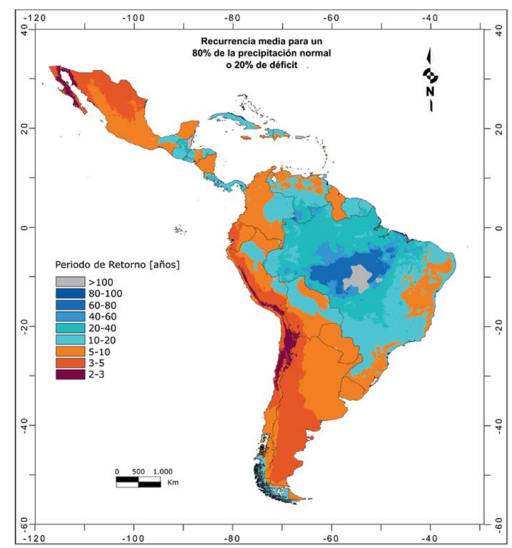
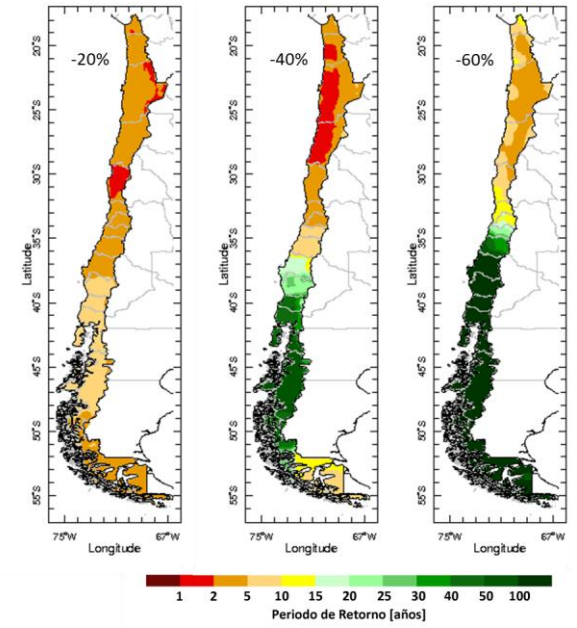
**Atlas de Zonas Áridas y de Sequía de América Latina y el Caribe**  
 Este cuarto de mapas ("maproom") es una colección de mapas y otras figuras que muestran la distribución de zonas áridas de América Latina y el Caribe y que muestran la vulnerabilidad ante sequías.

**Atlas de Aridez de ALC**  
 Atlas de Zonas Áridas, Semihúmedas y Subhúmedas de América Latina y el Caribe.

**Atlas de Sequías de ALC**  
 Análisis histórico de frecuencia de sequías en países de América Latina y el Caribe. En este cuarto de mapas se visualiza los resultados del Análisis Regional de Frecuencia usando L-Momentos

**Observatorio de la Canicula**  
 Este Observatorio Regional Climático presenta diferentes mapas para identificar la frecuencia de la sequía intraestival o Canicula histórica para los países de América Central y el Caribe, y entrega herramientas para el monitoreo y pronóstico de la sequía.

<http://www.climatedatalibrary.cl/CAZALAC/maproom/?Set-Language=es>



**Gobierno de México**  
 Trámites Gobierno

La Sequía    Mapa    Gráficas    Marco Teórico    Publicaciones

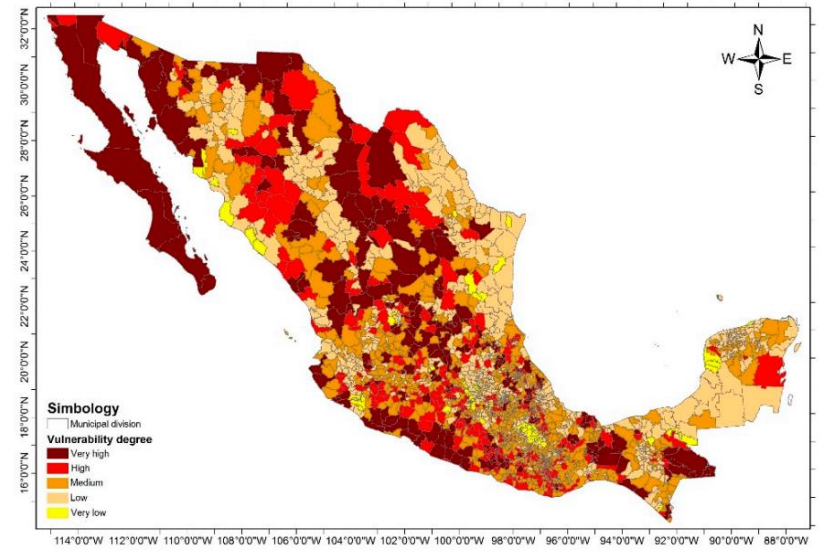
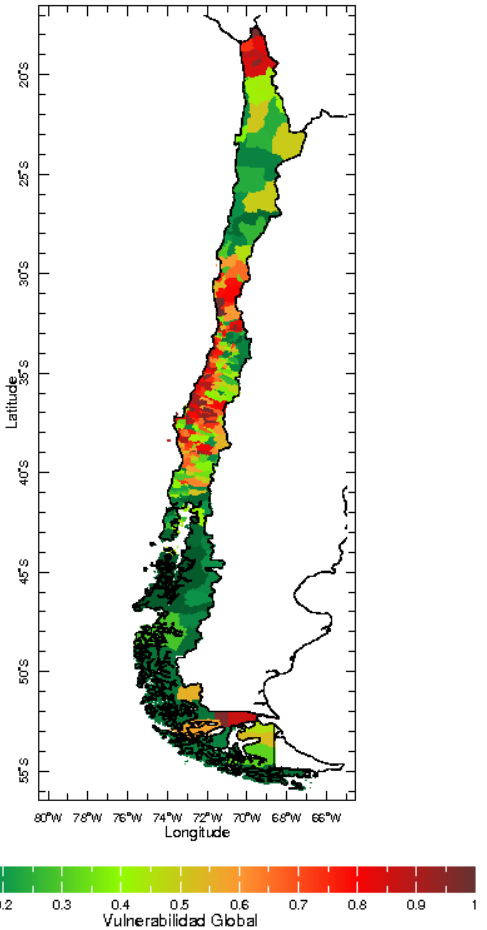
**Tzolkin**

Simbología	Rango
[Lightest Yellow]	$M < 1$
[Yellow]	$1 \leq M < 3$
[Orange]	$3 \leq M < 6$
[Red]	$6 \leq M < 9$

## Riesgo a daño por sequías: Evaluación de la vulnerabilidad

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{Grado de Exposición} + \text{Sensibilidad} - \text{Capacidad de Adaptación}$$

	Grado de Exposición	Sensibilidad	Capacidad de Adaptación
<b>Ambiental</b>	Índice de Aridez	Presión sobre los Recursos Hídricos	Cobertura Natural Protegida
	Riesgo de Desertificación, Degradación de las Tierras y Sequía		
<b>Productivo</b>	Producción Expuesta - Producción Agrícola - Ganadería	Diversificación Productiva	Seguridad de Riego Tecnificado
			Adaptación Tecnológica
<b>Socio-Económico</b>	Población Expuesta	Pobreza	- Edad
		Agua Potable Desempleo	- Escolaridad
			- Rendimiento
			- Dominio
			Marco Institucional



Tipo de vulnerabilidad	Componentes de la vulnerabilidad		
	Grado de exposición (GE)	Sensibilidad (S)	Capacidad de Adaptación (CA)
	Indicadores		
Global	<b>Económica</b>	✓ Densidad de población (hab/km <sup>2</sup> )	✓ Valor de la producción agrícola de riego y temporal (miles \$)
		✓ Población económicamente activa desocupada (%)	✓ Valor de la producción del ganado en pie (miles \$)
	<b>Social</b>	✓ Población en condiciones de pobreza (%)	✓ Viviendas sin agua entubada (%)
✓ Población sin derechohabencia a servicios de salud (%)		✓ Viviendas sin drenaje ni excusado (%)	✓ Beneficiarios del programa Oportunidades (%)
<b>Ambiental</b>	✓ Población sin derechohabencia a servicios de salud (%)	✓ Viviendas sin energía eléctrica (%)	✓ Beneficiarios del programa Liconsa (%)
	✓ Población analfabeta (%)	✓ Viviendas con piso de tierra (%)	✓ Años promedio de escolaridad (adim.)
	✓ Grado de explotación de las cuencas (adim.)*	✓ Deforestación (% de área crítica forestal)	✓ Superficie reforestada (ha)
	✓ Grado de explotación de los acuíferos (adim.)*	✓ Superficie afectada por incendios forestales (ha)	✓ Áreas naturales protegidas (% de área)

## Evaluación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad es:

- Multidimensional
- Diferencial: varía a través del espacio físico y entre y dentro de los grupos sociales.
- Dependiente de la escala con respecto al espacio y las unidades de análisis como individuo, hogar, región o sistema;
- Dinámica: las características y fuerzas impulsoras de la vulnerabilidad cambian con el tiempo.

# Evaluación de la vulnerabilidad

Según el IPCC (2012), la vulnerabilidad puede definirse conforme a una serie de indicadores que dan cuenta de su multidimensionalidad, diferenciación espacial y social, dependencia escalar y dinámica.

## Dimensiones medioambientales

- Físicas Geografía y localización
- Patrones de asentamiento y trayectorias de desarrollo.
  - ❖ Ambiente urbano
  - ❖ Ambiente rural

## Dimensiones económicas

## Dimensiones sociales

- Demografía
  - ❖ Migraciones y desplazamientos
  - ❖ Grupos sociales
- Educación
- Salud y bienestar
- Dimensiones culturales
- Dimensiones institucionales y de gobernanza.

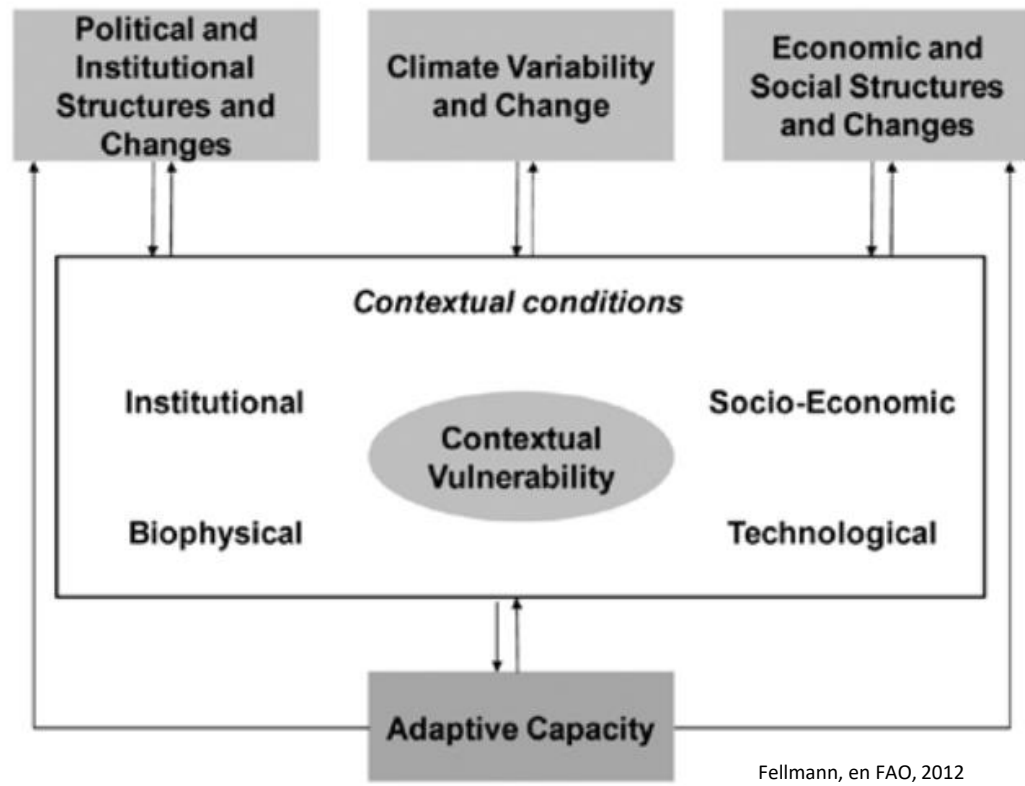
## Interacciones, temas transversales e integraciones

- Interseccionalidad y otras dimensiones.
- Escalas de tiempo, espaciales y funcionales
  - ❖ Oportunismo del tiempo (timing) y escala de tiempo.
  - ❖ Escalas funcionales y espaciales.
- Ciencia y tecnología

Múltiples indicadores

# Evaluación de la vulnerabilidad

## Enfoques



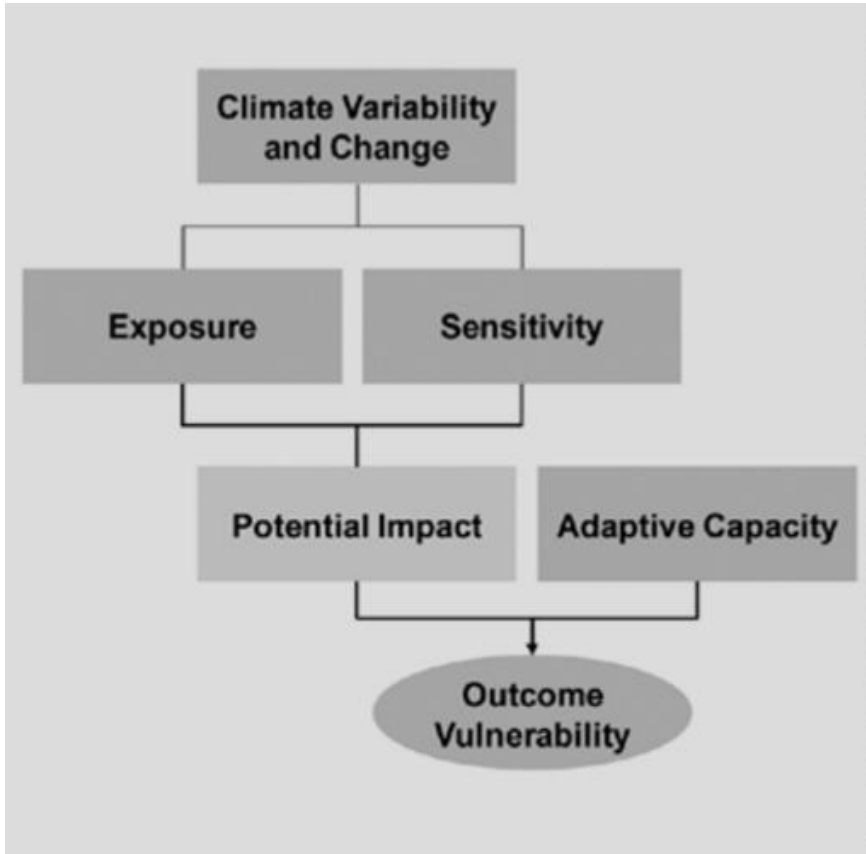
## Vulnerabilidad contextual o inicial.

- Considera a la vulnerabilidad como la incapacidad actual de un sistema para convivir con condiciones climáticas cambiantes, en donde se considera que la vulnerabilidad está siendo influenciada por condiciones biofísicas cambiantes, así como dinámicas sociales, económicas, políticas, institucionales y tecnológicas, estructuras y procesos.
- Por lo tanto, en este enfoque la vulnerabilidad es vista como una característica de sistemas ecológicos y sociales, que está determinada por múltiples factores y procesos.
- Conceptualiza la vulnerabilidad en torno a características intrínsecas del sistema impactado y la operacionaliza, en indicadores compuestos.
- En agricultura, este enfoque ha sido bien relacionado a efectos productivos (ejemplo, baja de rendimientos por sequía).



# Evaluación de la vulnerabilidad

## Enfoques



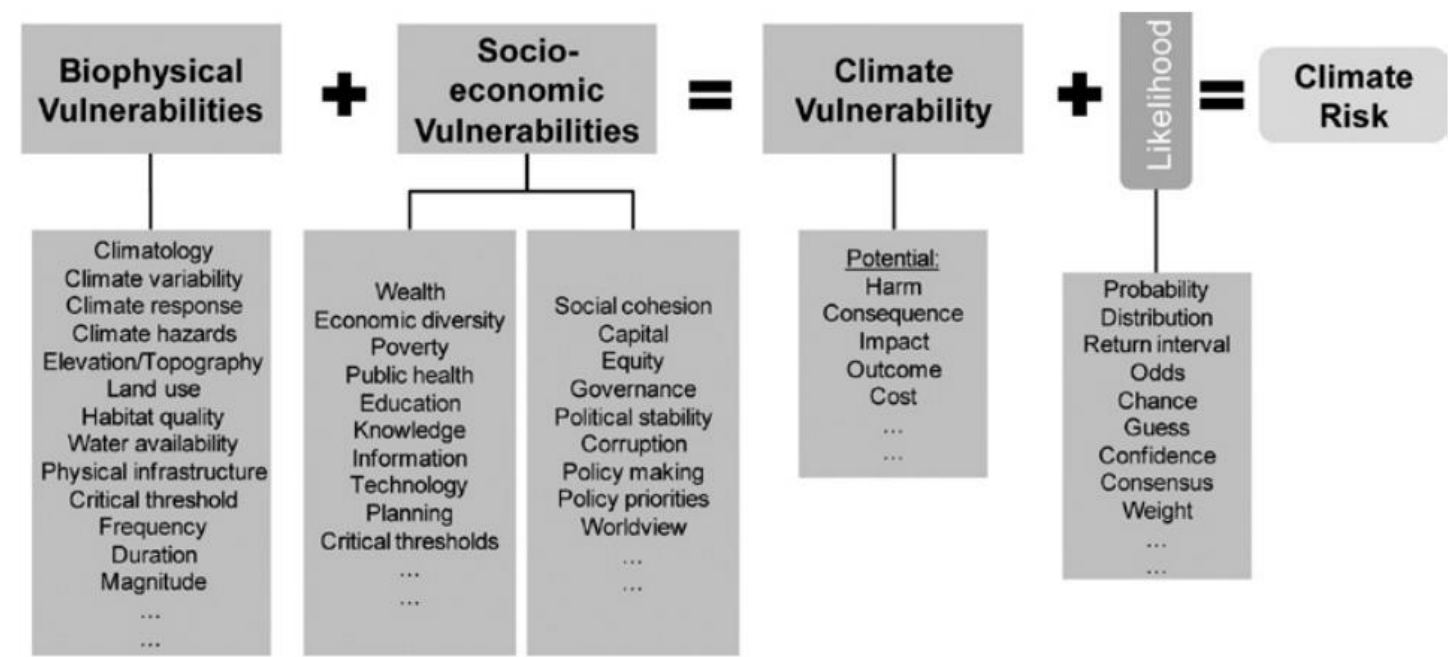
Fellmann, en FAO, 2012

### Vulnerabilidad final o de resultado.

- Considera la vulnerabilidad como los impactos netos o potenciales del cambio climático (o fenómeno) sobre una unidad expuesta específica (biofísica o social), después que acciones o métodos de adaptación factibles han sido consideradas.
- Por lo tanto, este enfoque combina información sobre impactos biofísicos potenciales del cambio climático con información sobre la capacidad socioeconómica para hacer frente y adaptarse.
- Conceptualiza a la vulnerabilidad como una relación funcional entre el factor estresante y la respuesta del sistema impactado. Ocupa métricas basadas en cambios en las variables relevantes debido a variaciones en el factor estresante y su relación con ciertos umbrales.
- Es más empleado en estudios vinculados a los efectos del cambio climático sobre la agricultura.

Ambos enfoques son complementarios, pues consideran igualmente la vulnerabilidad desde perspectivas diferentes y buscan comprender la relevancia del cambio (fenómeno) climático y las respectivas respuestas.

Entonces, la vulnerabilidad al clima se caracteriza en función de sus componentes (vulnerabilidades) biofísica y socio-económica, cada una de las cuales queda definida por las dimensiones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Cuando se combinan con la probabilidad de ocurrencia (ya sea asociada a cambios biofísicos o a variables socio-económicas), la vulnerabilidad climática se transforma en riesgo.



La evaluación de la vulnerabilidad tiende a complejizarse más si se incorpora el tiempo como factor de análisis. Pero también es un factor que promueve la complementariedad entre los enfoques de contexto (más actual) y de resultado (más futuro). Por ejemplo, medidas adaptativas actuales pueden influir en el impacto futuro de un fenómeno climático. Entonces, diversos autores plantean la necesidad de incluir ambos horizontes de tiempo en la evaluación.

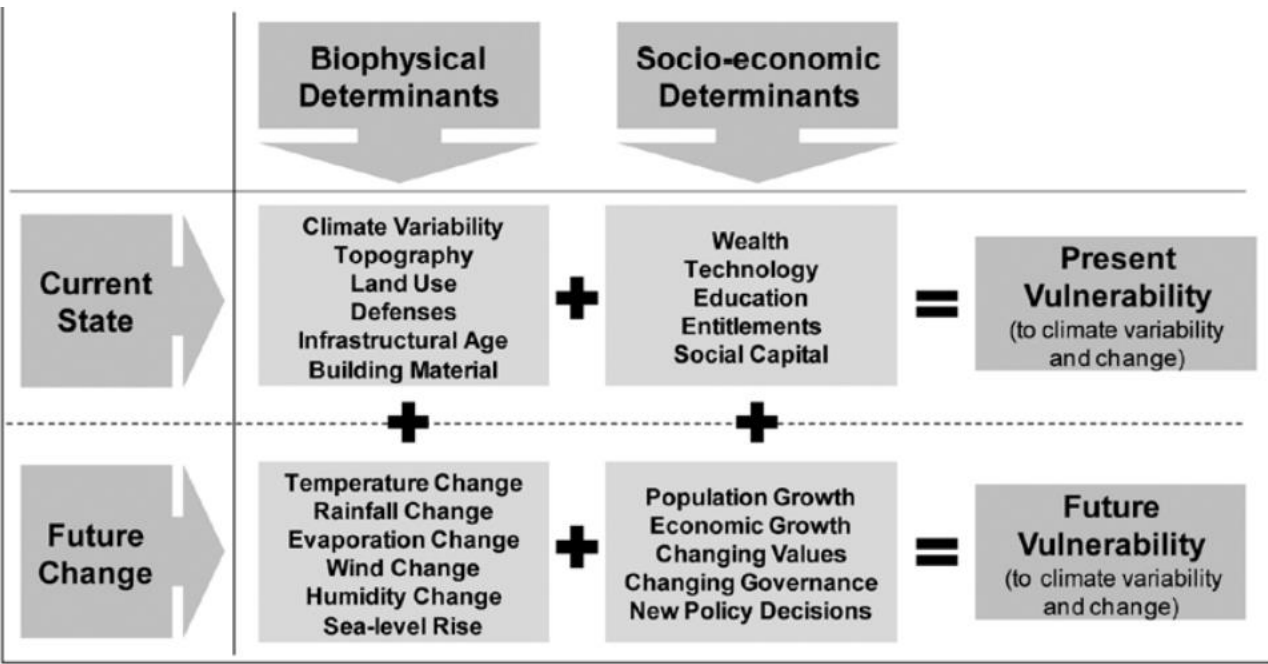


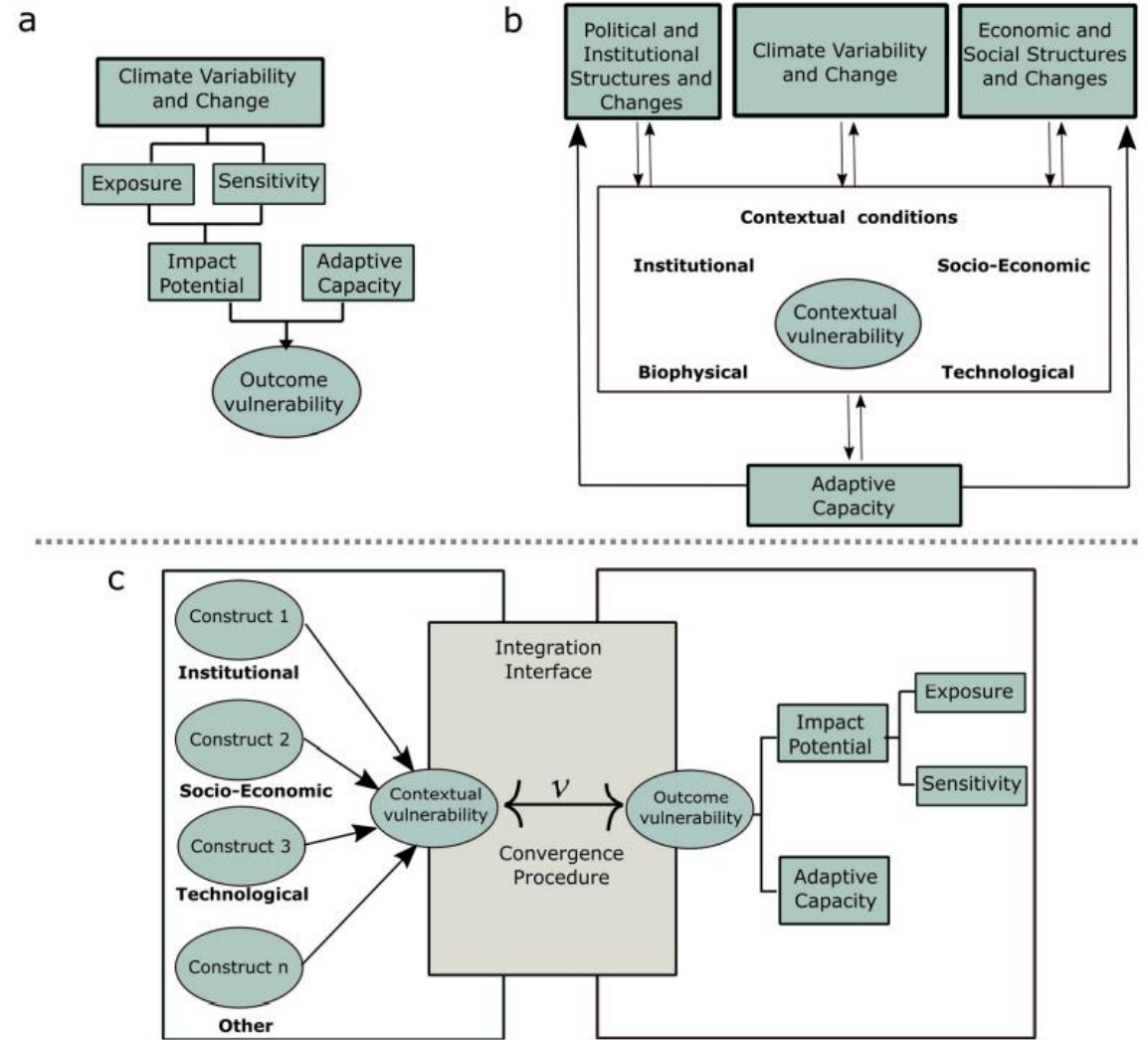
Figure 6. Relationships between current and future determinants of vulnerability to climate variability and change

Fellmann, en FAO, 2012, tomado de Preston y Stafford-Smith (2009)  
 Metodologías para la determinación de la vulnerabilidad a las sequías

# Metodologías para la determinación de vulnerabilidad a las sequías

## Metodología de aproximación convergente

Núñez et al. (2017), proponen el método de la “aproximación convergente”, que intenta integrar los dos principales marcos conceptuales detrás de la evaluación de vulnerabilidad a la sequía (enfoques contextual y de resultado).



Núñez, J., Vergara, A., Leyton, C., Metzkes, C., Mancilla, G., & Bettancourt, D. (2017). Reconciling drought vulnerability assessment using a convergent approach: Application to water security in the Elqui river basin, north-central Chile. *Water*, 9(8), 589. <https://doi.org/10.3390/w9080589>

# Metodologías para la determinación de vulnerabilidad a las sequías

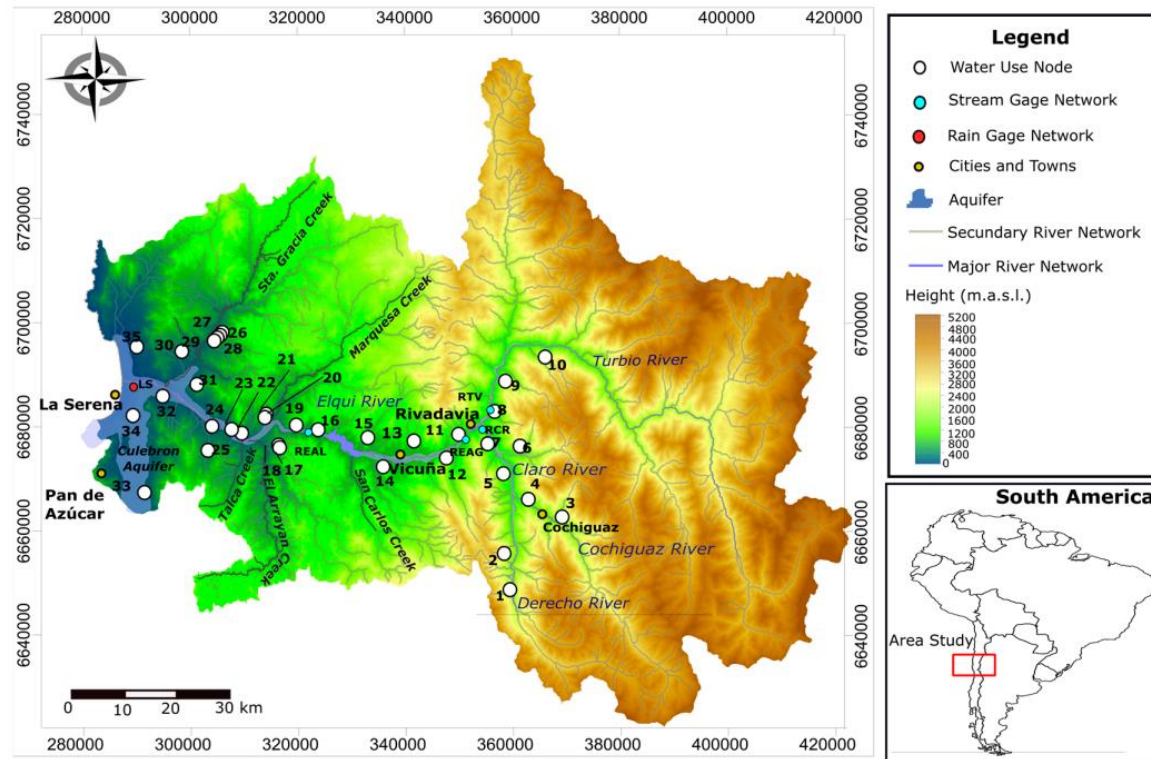
## Metodología de aproximación convergente

Outcome Framework	Contextual Framework	Convergent Approach under the Integral Framework
End-Point Vulnerability	Start-Point Vulnerability	Convergent Vulnerability
Model-based approach	Index-based approach	Mixed index-model-based approach
Based on relationships between stressor and response	Based on intrinsic factors and characteristics	Based on both intrinsic factors and relationships between stressor and response
Simulation model as a main tool	Composite Indicators as a main tool	SEM based PLSPM as a main tool
Factors are mainly used to test future scenarios	Factors are subjectively weighted for building Composite Indicators	Factors are objectively weighted for building Composite Indicators
Based on natural sciences	Based on social sciences	Based on a transdisciplinary point of view
Responds predominantly to who is vulnerable	Responds predominantly to why the subject is vulnerable	Responds similarly to who is vulnerable and why
Examples: [37, 42, 43]	Examples: [31,33,35,46]	Examples: the present study

# Metodologías para la determinación de vulnerabilidad a las sequías

## Metodología de aproximación convergente: Aplicación

## Vulnerabilidad de la seguridad hídrica ante sequía en cuenca de Limarí, Chile



**Figure 3.** Study area location with rain and stream gauge network. Also shown are points and places of interest. White circles with adjacent numbers refer to nodes of the Water Evaluation and Planning System (WEAP)-Elqui model (Section 2.2.2).

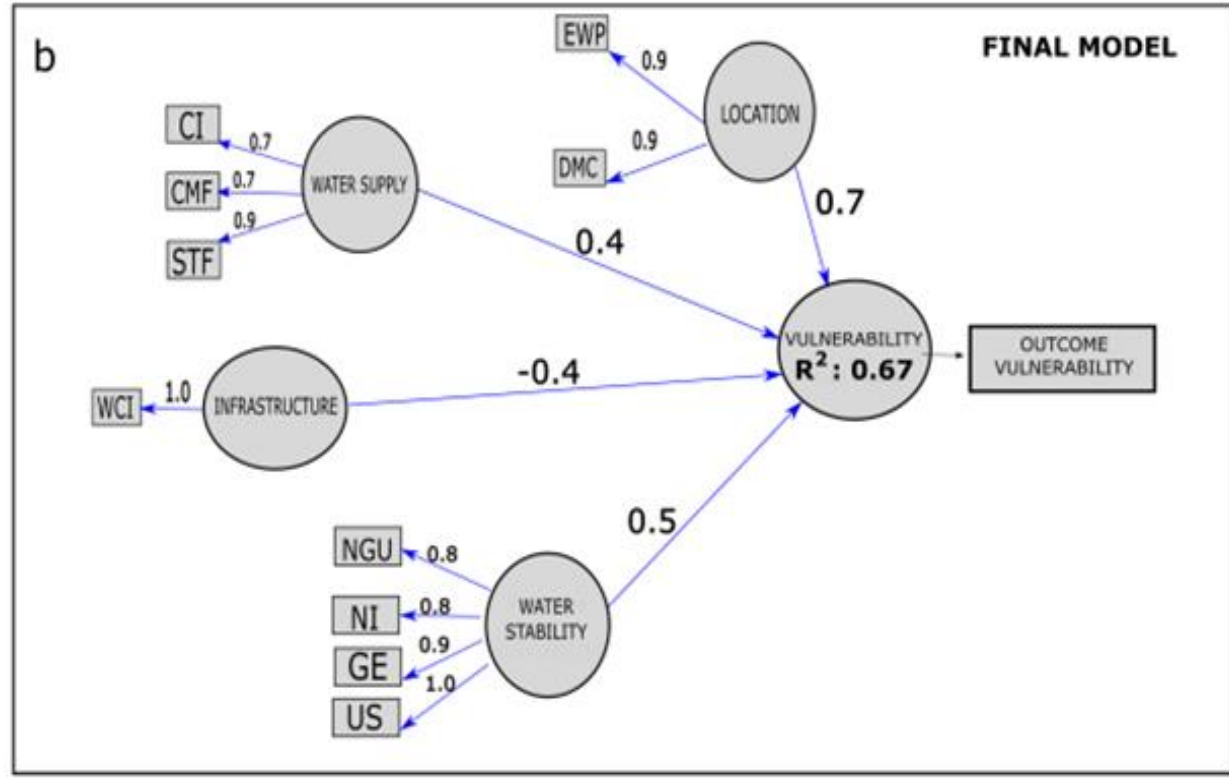
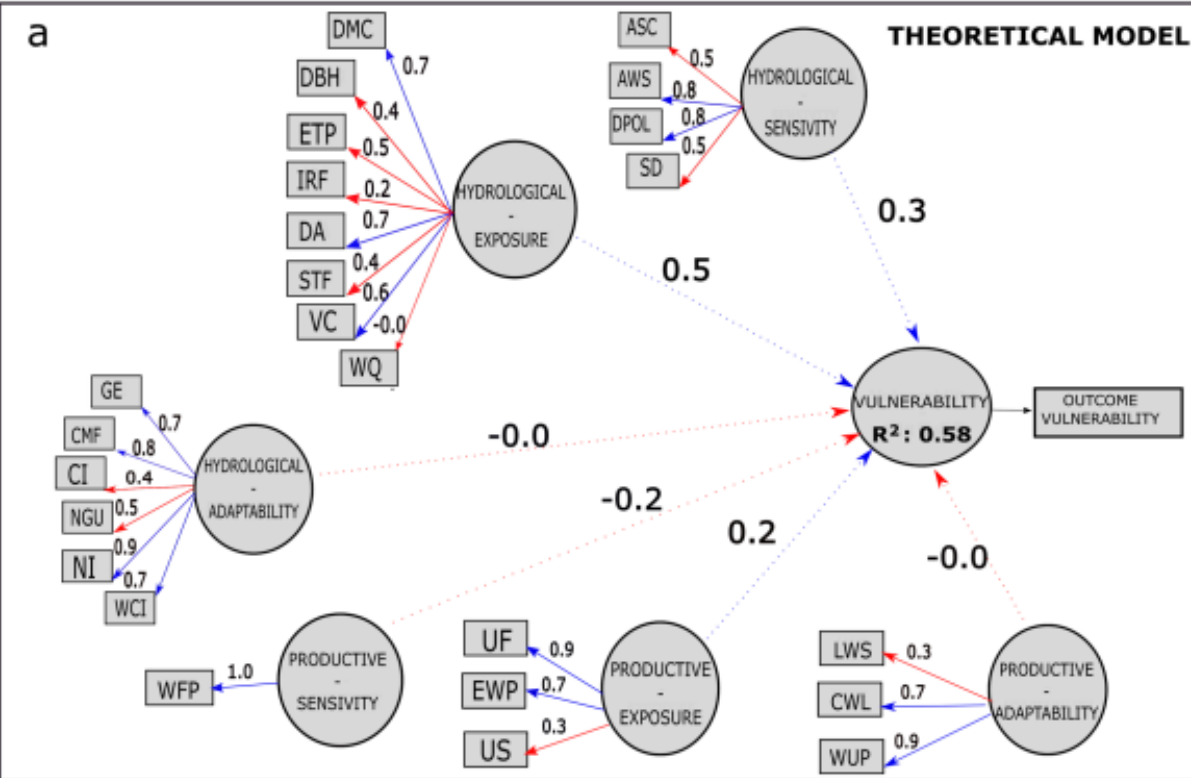
## Metodologías para la determinación de vulnerabilidad a las sequías

### Metodología de aproximación convergente: Aplicación

Dominio	Capacidad de adaptación	Exposición	Sensibilidad	Hidrología	Legal-productivo
INDICADORES	Nodo	Evapotranspiración potencial	Fuentes alternativas de agua	Evapotranspiración potencial	Factor de uso
	Infraestructura de canal	Cobertura de vegetación	Orden de propagación de sequía	Cobertura de vegetación	Tamaño del usuario
	Infraestructura de control hídrica	Infiltración/escorrentía	Drenaje del suelo	Infiltración/escorrentía	Posición geográfica E-W
	Flujo máximo del canal	Flujo corriente	Capacidad de almacenaje del acuífero	Flujo corriente	Huella hídrica
	Extracción de agua subterránea	Distancia a canal principal	Huella hídrica	Distancia a canal principal	Fuente hídrica legal
	Usuarios de aguas subterráneas	Distancia a cabecera de cuenca		Distancia a cabecera de cuenca	Ganancias por uso de agua
	Fuente hídrica legal	Distancia al acuífero		Distancia al acuífero	Pérdidas en canal
	Ganancias por uso de agua	Calidad de agua		Calidad de agua	
	Pérdidas en canal	Factor de uso		Fuentes alternativas de agua	
		Tamaño del usuario		Orden de propagación de sequía	
	Posición geográfica E-W		Drenaje del suelo		
			Capacidad de almacenaje del acuífero		
			Fuentes alternativas de agua		
			Nodo		
			Infraestructura de canal		
			Infraestructura de control hídrica		
			Flujo máximo del canal		
			Extracción de agua subterránea		
			Usuarios de aguas subterráneas		

## Metodologías para la determinación de vulnerabilidad a las sequías

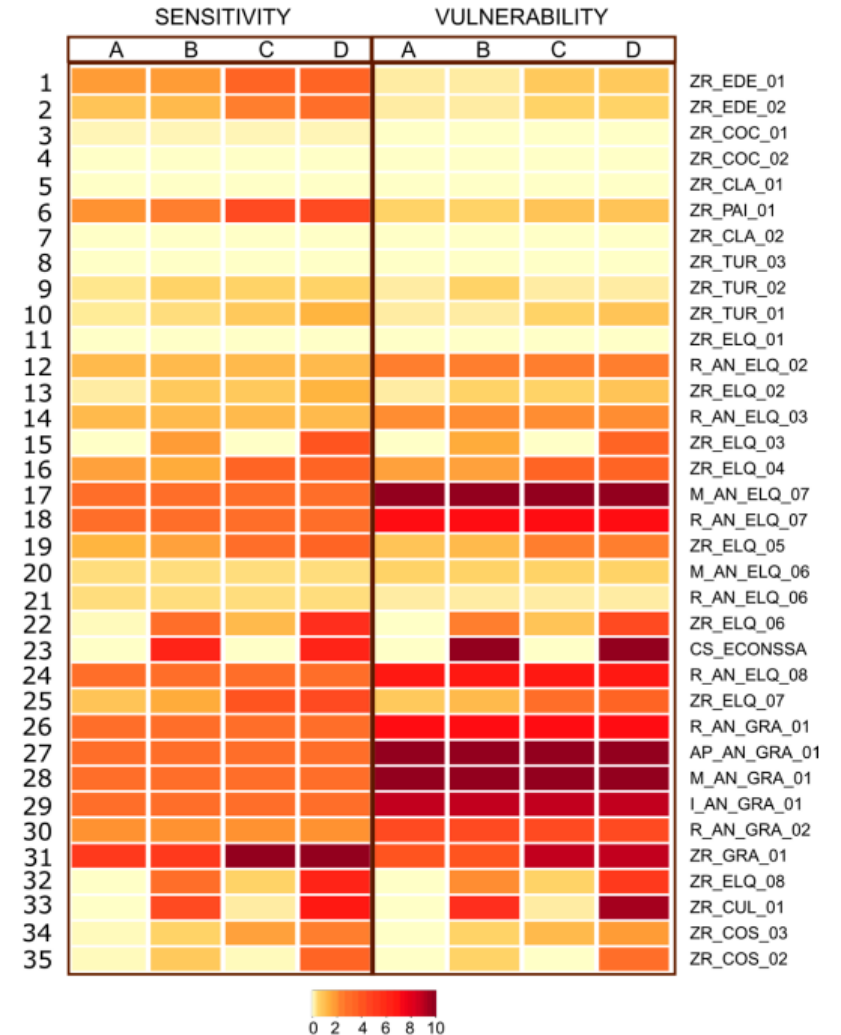
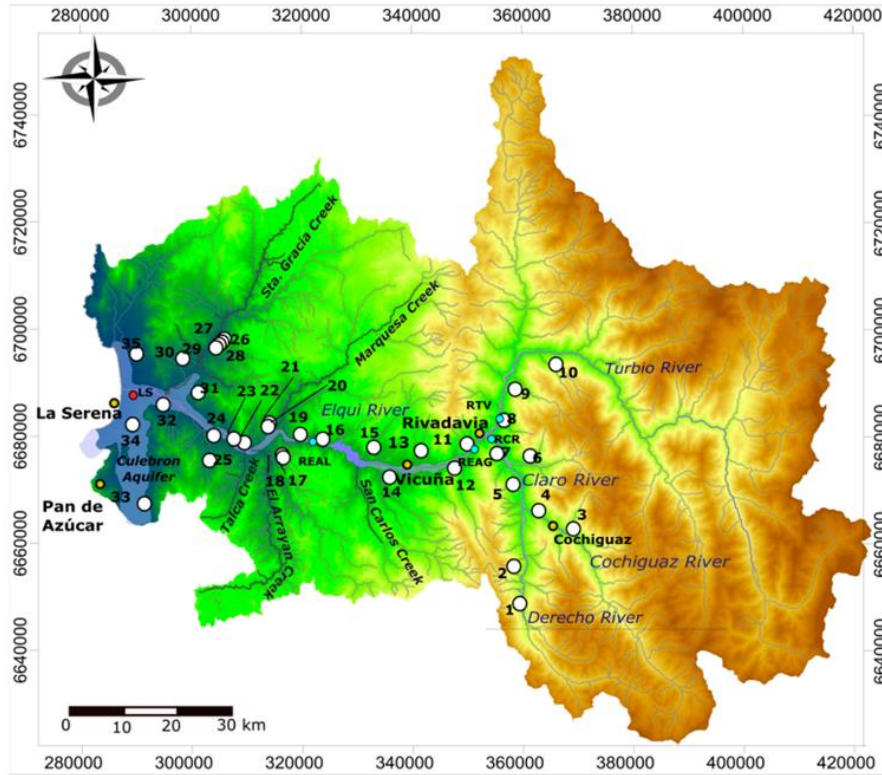
### Metodología de aproximación convergente: Aplicación





## Metodologías para la determinación de vulnerabilidad a las sequías

### Metodología de aproximación convergente: Resultados de aplicación



La metodología de aproximación convergente permitió responder a las preguntas de ¿quién, de qué forma y por qué razones es vulnerable a la sequía?.

# Metodologías para la determinación de vulnerabilidad a las sequías

## Metodología empleada por CONAGUA-IMTA (México)

Ortega-Gaucin et al. (2016 y 2018), propusieron y emplearon una metodología inserta en el Programa Nacional contra la Sequía (PRONACOSE) de CONAGUA. La metodología fue aplicada en todo México, a nivel de Organismo de cuenca, generando un mapa de vulnerabilidad a las sequías del país completo.

$$V = f(\text{Exposición} + \text{susceptibilidad} - \text{capacidad de adaptación})$$

Exposición + susceptibilidad = Impacto potencial del fenómeno

Ortega-Gaucin, D., Velasco, I., De la Cruz, J., y H. Castellano (2016). Metodología para calcular índices de vulnerabilidad ante la sequía en los organismos de cuenca en México. En XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Lima, Perú.

Ortega-Gaucin, D., De la Cruz Bartolón, J., & Castellano Bahena, H. (2018). Drought vulnerability indices in Mexico. *Water*, 10(11), 1671. <https://doi.org/10.3390/w1011167>

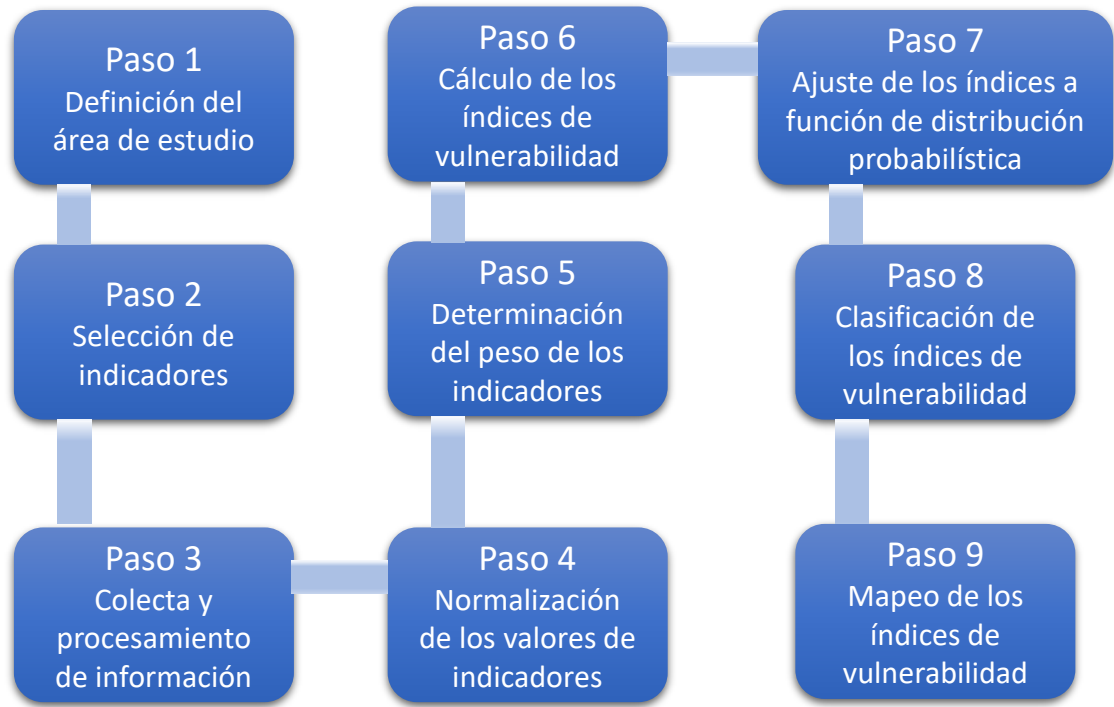
La metodología puede emplearse para analizar 4 tipos de vulnerabilidades diferentes:

1. **V. Económica:** formulada a partir de la relación indirecta entre los niveles de ingresos y el impacto de la sequía. El riesgo de padecer el desastre aumenta debido a la falta de financiamiento a la producción, insuficiencia de ingresos, desempleo o subempleo e inestabilidad laboral, entre otros.
2. **V. Social:** Referida a la inseguridad e indefensión de las comunidades, familias e individuos en sus condiciones de vida ante el impacto causado por una sequía. Además, la pobreza, la marginación, el rezago social, la dificultad de acceso a los servicios de salud, educación y recreación, también limitan la capacidad de prevenir, mitigar y dar respuesta oportuna ante una situación de desastre por déficit hídrico.
3. **V. Ambiental:** Vinculada a la susceptibilidad intrínseca del medio o los recursos naturales a sufrir daños por la falta de agua, ya que los seres vivos necesitan de ciertas condiciones ambientales para desarrollarse, y en caso de existir un deterioro de la naturaleza por la destrucción de las reservas ambientales, los ecosistemas resultan altamente vulnerables ante amenazas como la sequía.
4. **V. Global:** Integración de los tres tipos de vulnerabilidad descritos, en la cual confluyen factores de tipo económico, social y ambiental.

# Metodologías para la determinación de vulnerabilidad a las sequías

## Metodología empleada por CONAGUA-IMTA (México)

Consta de 9 pasos:



# Metodologías para la determinación de vulnerabilidad a las sequías

## Metodología empleada por CONAGUA-IMTA (México)

La selección de los indicadores empleó diversos criterios, primando la relevancia directa con el aspecto que los indicadores intentan medir y la disponibilidad de datos a nivel municipal (o su facilidad de cálculo), a partir de cifras, índices, tasas o proporciones existentes en bases de datos reconocidas. Se llegó a un conjunto de 24 indicadores. Luego estos fueron agrupados en una matriz, en las tres componentes de la vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación) y en los cuatro tipos de vulnerabilidad (económica, social, ambiental y global).

**Tabla 1.-** Matriz de indicadores seleccionados y agrupados en los tipos y componentes de la vulnerabilidad ante la sequía.

Tipo de vulnerabilidad		Componentes de la vulnerabilidad		
		Grado de exposición (GE)	Sensibilidad (S)	Capacidad de Adaptación (CA)
		Indicadores		
Global	Económica	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Densidad de población (hab/km<sup>2</sup>)</li> <li>✓ Población económicamente activa desocupada (%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Valor de la producción agrícola de riego y temporal (miles \$)</li> <li>✓ Valor de la producción del ganado en pie (miles \$)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Superficie rehabilitada al riego (ha)</li> <li>✓ Superficie agrícola tecnificada (ha)</li> <li>✓ Longitud de caminos rurales (km)</li> </ul>
	Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Población en condiciones de pobreza (%)</li> <li>✓ Población sin derechohabencia a servicios de salud (%)</li> <li>✓ Población analfabeta (%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Viviendas sin agua entubada (%)</li> <li>✓ Viviendas sin drenaje ni excusado (%)</li> <li>✓ Viviendas sin energía eléctrica (%)</li> <li>✓ Viviendas con piso de tierra (%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ingreso per cápita anual (dólares)</li> <li>✓ Beneficiarios del programa Oportunidades (%)</li> <li>✓ Beneficiarios del programa Liconsa (%)</li> <li>✓ Años promedio de escolaridad (adim.)</li> </ul>
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Grado de explotación de las cuencas (adim.)*</li> <li>✓ Grado de explotación de los acuíferos (adim.)*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Deforestación (% de área crítica forestal)</li> <li>✓ Superficie afectada por incendios forestales (ha)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Superficie reforestada (ha)</li> <li>✓ Áreas naturales protegidas (% de área)</li> </ul>

\*Debido a su importancia para la sequía, estos dos indicadores están contemplados en los tres tipos de vulnerabilidad: económica, social y ambiental.

## Metodología empleada por CONAGUA-IMTA (México)

Indicador	Fórmula y unidades de medida	Fuente de información
Densidad de población (DP)	$DP = \frac{No. habitantes}{Área (km^2)}$ ; hab/km <sup>2</sup>	Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010)
Población económicamente activa desocupada (PEAD)	$PEAD = \frac{PEA desocupada}{PEA total}$ ; %	Principales Datos Socioeconómicos por Municipio (INAFED, 2010)
Población sin derecho a servicios de salud (PSD)	$PSD = \frac{Pob. derechohabiente}{Pob. total}$ ; %	Índice de Rezago Social (CONEVAL, 2010)
Población en condiciones de pobreza (PCP)	$PCP = \frac{Pob. en condiciones de pobreza}{Pob. total}$ ; %	Medición de la Pobreza (CONEVAL, 2010)
Población analfabeta (PA)	$PA = \frac{No. hab misma edad no saben leer}{100 hab misma edad}$ ; %	Índice de Marginación (CONAPO, 2010)
Viviendas sin agua entubada (VSA)	$VSA = \frac{No. viv. sin serv. agua entubada}{No. total viviendas}$ ; %	Estadísticas del Agua en México (CONAGUA, 2015)
Viviendas sin drenaje ni excusado (VSD)	$VSD = \frac{No. viv. sin drenaje ni excusado}{No. total viviendas}$ ; %	Estadísticas del Agua en México (CONAGUA, 2015)
Viviendas sin energía eléctrica (VSE)	$VSE = \frac{No. viv. sin energía eléctrica}{No. total viviendas}$ ; %	Índice de Marginación (CONAPO, 2010)
Viviendas con piso de tierra (VPT)	$VPT = \frac{No. viv. con piso de tierra}{No. total viviendas}$ ; %	Índice de Marginación (CONAPO, 2010)
Ingreso per cápita anual (IPC)	$IPC = \frac{PIB anual (dólares)}{No. habitantes}$ ; dólares/hab	Índice de Desarrollo Humano (PNUD, 2014)
Años promedio de escolaridad (APE)	Años acumulados de educación en personas mayores a 24 años; adim.	Índice de Desarrollo Humano (PNUD, 2014)
Beneficiarios del programa Oportunidades (BPO)	$BPO = \frac{No. beneficiarios Oportunidades}{No. habitantes}$ ; %	Anuarios Estadísticos y Geográficos Estatales (INEGI, 2014)
Beneficiarios del programa Liconsa (BPL)	$BPL = \frac{No. beneficiarios Liconsa}{No. habitantes}$ ; %	Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos (INEGI, 2010)
Longitud de caminos rurales (LCR)	LCR; cantidad, km	Anuarios Estadísticos y Geográficos Estatales (INEGI, 2014)
Valor de la producción agrícola de riego y temporal (VPA)	VPA; cantidad, miles de \$	Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA, 2013)
Valor de la producción del ganado en pie (VPG)	VPG; cantidad, miles de \$	Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA, 2013)
Superficie rehabilitada al riego (SRR)	SRR; cantidad, ha	Anuarios Estadísticos y Geográficos Estatales (INEGI, 2014)
Superficie agrícola tecnificada (SAT)	SAT; cantidad, ha	Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA, 2013)
Grado de explotación de las cuencas (GEC)	$GEC = \frac{Vol. anual de extr. sup. (hm^3)}{Vol. medio anual escurr. (hm^3)}$ ; adim.	Estudios de Disponibilidad de Aguas Superficiales (DOF, 2015)
Grado de explotación de los acuíferos (GEA)	$GEA = \frac{Vol. extracción (hm^3)}{Recarga media anual (hm^3)}$ ; adim.	Estudios de Disponibilidad de Aguas Subterráneas (DOF, 2015)
Deforestación (DF)	$DF = \frac{Área deforestada (km^2)}{Área total (km^2)}$ ; %	Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2012)
Superficie afectada por incendios forestales (SAI)	$SAI = \frac{Área afectada por incendios (km^2)}{Área total (km^2)}$ ; %	Anuarios Estadísticos y Geográficos Estatales (INEGI, 2014)
Superficie reforestada (SR)	SR; cantidad, ha	Anuarios Estadísticos y Geográficos Estatales (INEGI, 2014)
Áreas naturales protegidas (ANP)	$ANP = \frac{Área cob. veg. protegida (km^2)}{Área total (km^2)}$ ; %	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2012)

➔ Normalización de los indicadores (en valores entre 0 y 1)

$$X_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

Si el indicador aumenta la vulnerabilidad

$$X_i = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}}$$

Si el indicador disminuye la vulnerabilidad

↓ Ponderación de los indicadores

$$P_i = \frac{1}{(\sigma_i) \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i} \right)}$$

Pi: peso del indicador normalizado i;  
 σi : desviación estándar del conjunto de valores del indicador i  
 n: número de indicadores seleccionados.

↓ Cálculo de los índices de vulnerabilidad

$$IVE, IVS, IVA = \sum_{i=1}^n X_i P_i$$

Xi: valor normalizado del indicador i;  
 n: número de indicadores correspondientes a cada tipo de vulnerabilidad

$$IVG = \frac{IVE}{3} + \frac{IVS}{3} + \frac{IVA}{3}$$

↓ Ajuste de los índices a una distribución probabilística (beta)

↓ Clasificación de los índices de vulnerabilidad (valores ajustados x 100)

Grado de vulnerabilidad	Valor del percentil
Muy baja	$0 < IV_i \leq 20$
Baja	$20 < IV_i \leq 40$
Moderada	$40 < IV_i \leq 60$
Alta	$60 < IV_i \leq 80$
Muy alta	$80 < IV_i \leq 100$

### Metodología empleada por CONAGUA-IMTA (México)

Grado de vulnerabilidad	Valor del percentil
Muy baja	$0 < IV_i \leq 20$
Baja	$20 < IV_i \leq 40$
Moderada	$40 < IV_i \leq 60$
Alta	$60 < IV_i \leq 80$
Muy alta	$80 < IV_i \leq 100$

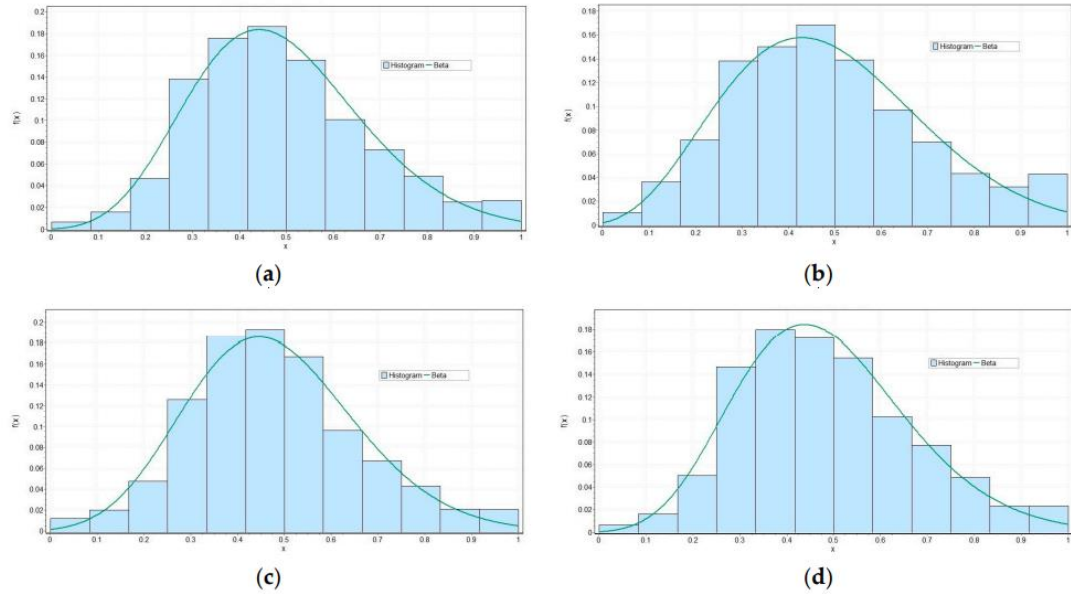


Figure 4. Fitting of the social (a); economic (b); environmental (c); and overall (d) vulnerability indices to the beta probability density function.

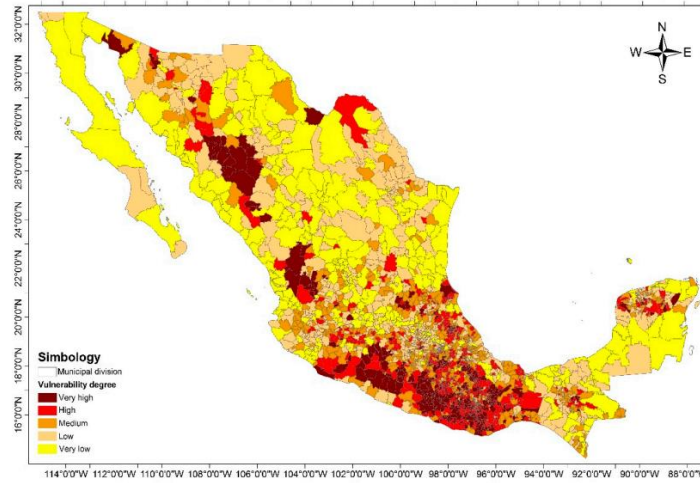


Figure 5. Map of social vulnerability to drought.

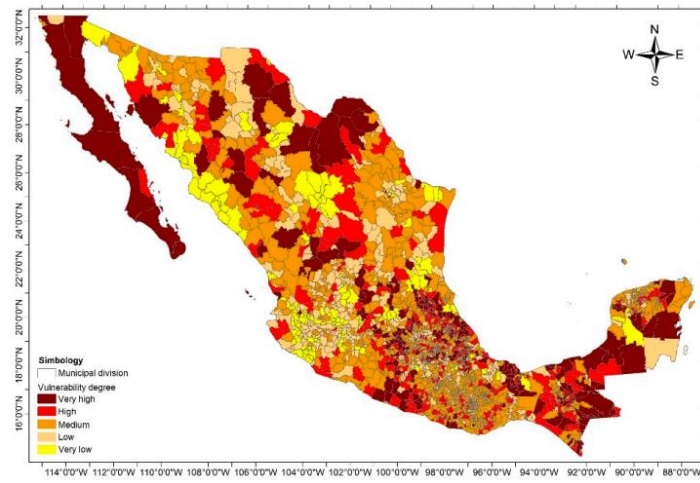


Figure 6. Map of economic vulnerability to drought.

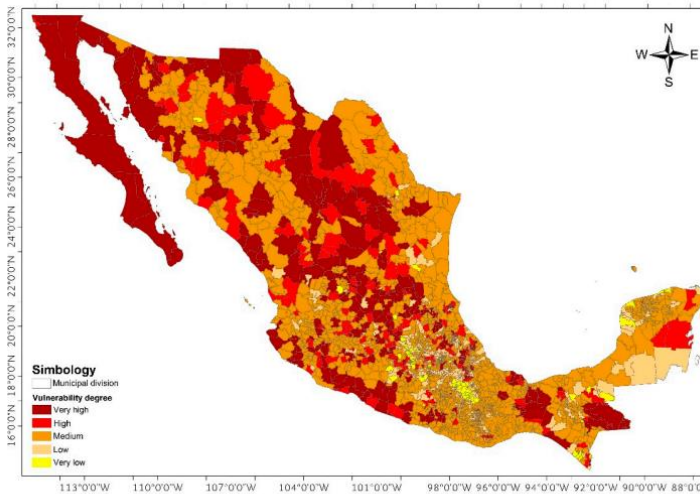


Figure 7. Map of environmental vulnerability to drought.

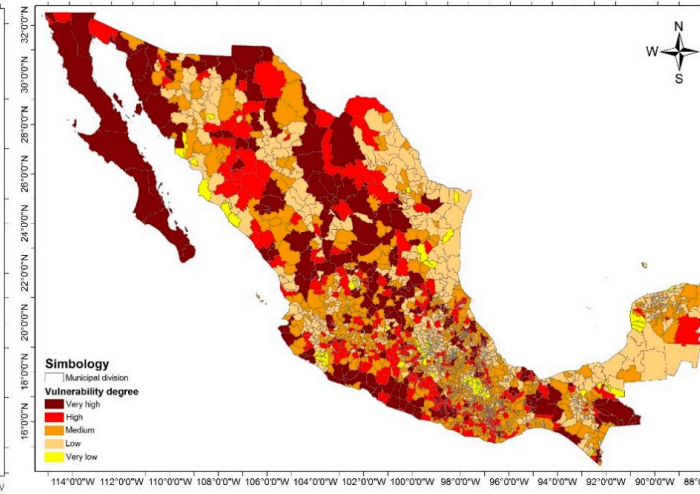
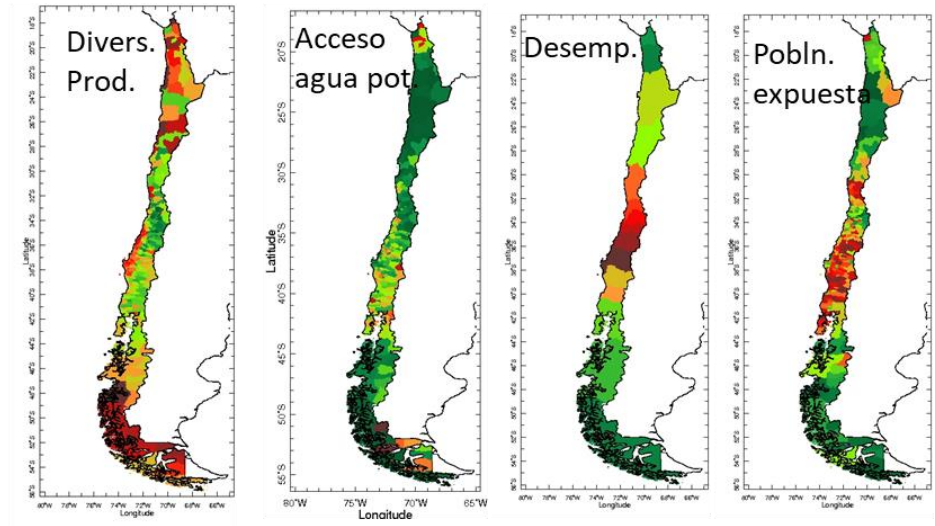
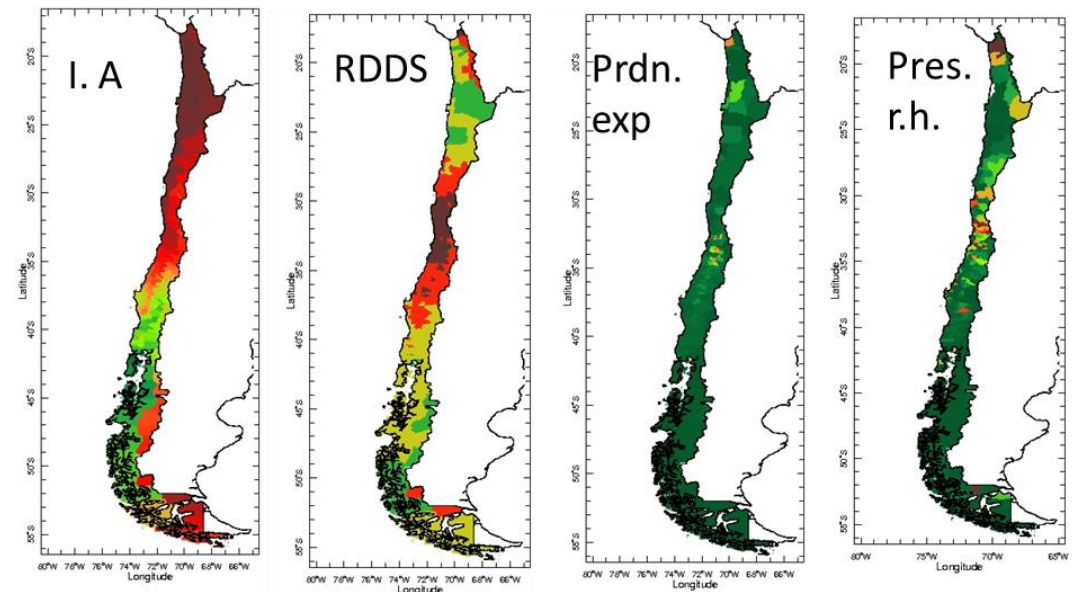


Figure 8. Map of overall vulnerability to drought.

### Metodología CONAGUA-IMTA (México) aplicada para vulnerabilidad agrícola ante la sequía

$$Vulnerabilidad = Grado de Exposición + Sensibilidad - Capacidad de Adaptación$$

	Grado de Exposición	Sensibilidad	Capacidad de Adaptación
<b>Ambiental</b>	Índice de Aridez	Presión sobre los Recursos Hídricos	Cobertura Natural Protegida
	Riesgo de Desertificación, Degradación de las Tierras y Sequía		
<b>Productivo</b>	Producción Expuesta - Producción Agrícola - Ganadería	Diversificación Productiva	Seguridad de Riego Tecnificado
			Adaptación Tecnológica
<b>Socio-Económico</b>	Población Expuesta	Pobreza	- Edad
		Agua Potable	- Escolaridad
		Desempleo	- Rendimiento
			- Dominio
			Marco Institucional

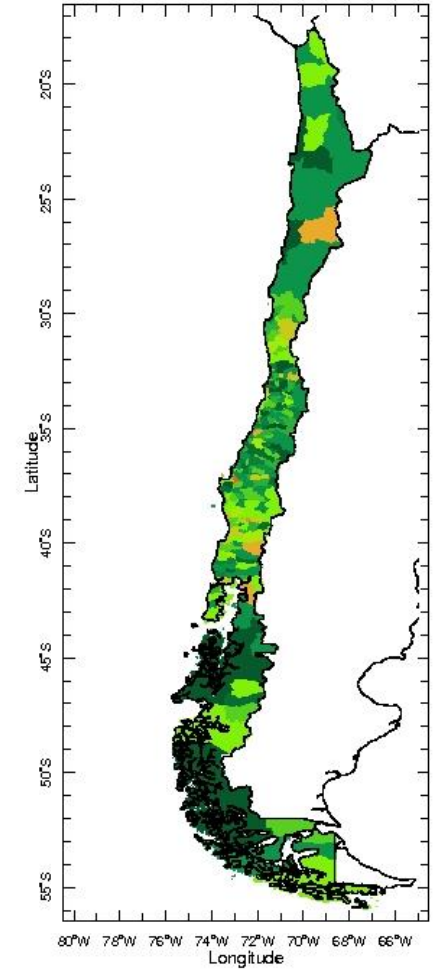


## Metodología CONAGUA-IMTA (México) aplicada para vulnerabilidad agrícola ante la sequía

### Ej. Adaptación tecnológica

Cuartil	Edad inferior a 45 años	Educación superior a básica completa	Condición de tenencia regular de la propiedad	Rendimiento de cultivos anuales superior al promedio comunal	Valor ponderado
Q1	0,00 - 0,28	0,00 - 0,13	0,00 - 0,54	0,00 - 0,071	1
Q2	0,29 - 0,31	0,14 - 0,20	0,55 - 0,66	0,072 - 0,180	2
Q3	0,32 - 0,36	0,21 - 0,28	0,67 - 0,75	0,185 - 0,285	3
Q4	0,37 - 1,00	0,29 - 1,00	0,76 - 1,00	0,286 - 0,630	4

Fuente: Apey y Barril, 2006.

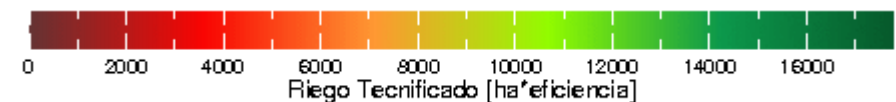
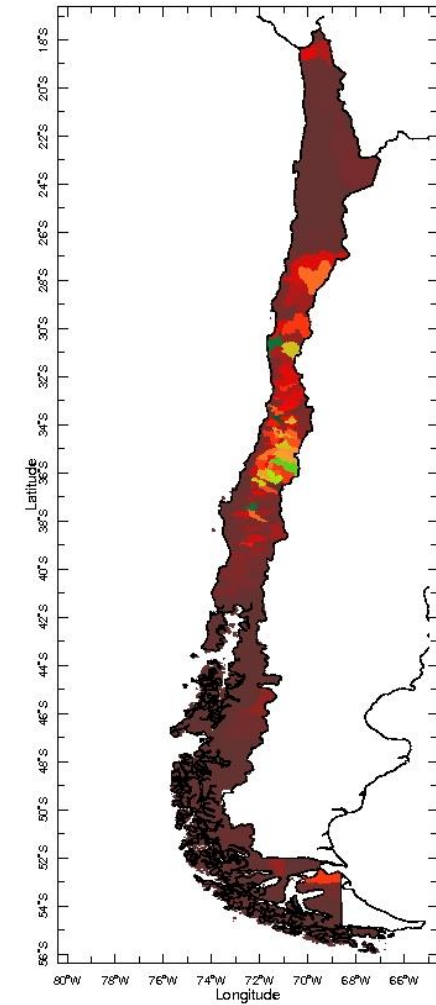




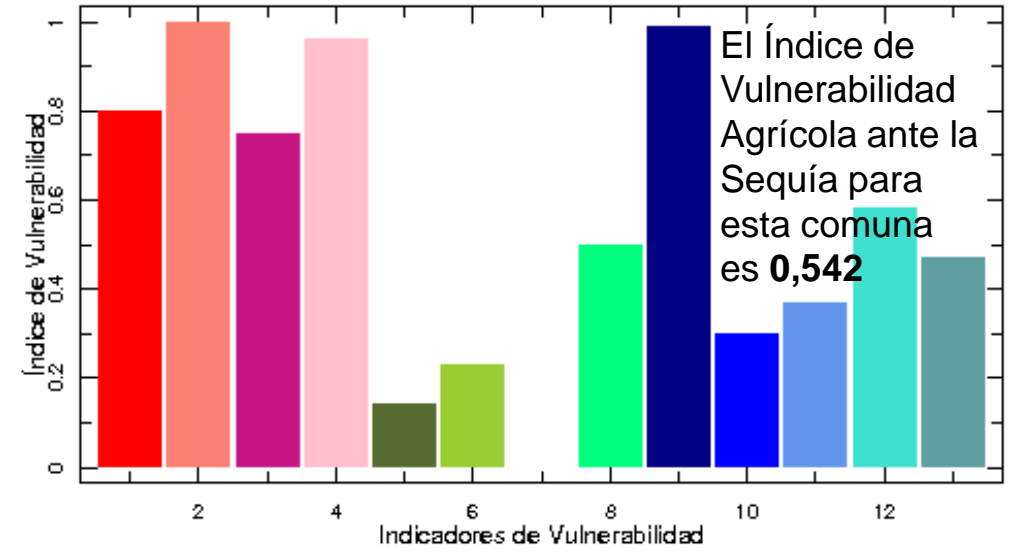
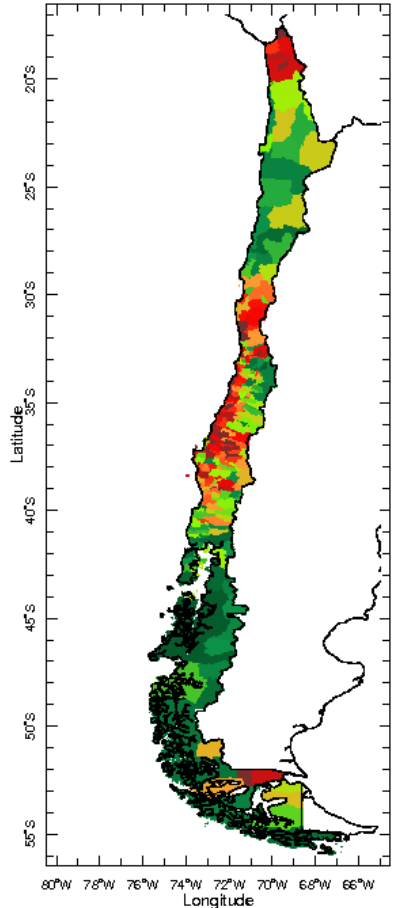
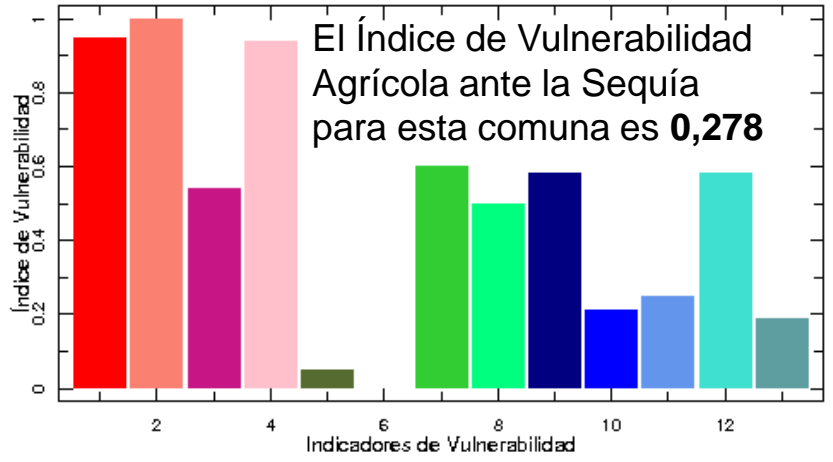
## Metodología CONAGUA-IMTA (México) aplicada para vulnerabilidad agrícola ante la sequía

### Ej. Seguridad de riego tecnificado

Indicador de Riego Tecnificado = área bajo riego por eficiencia (agua efectivamente usada por el cultivo vs. Agua provista)



### Metodología CONAGUA-IMTA (México) aplicada para vulnerabilidad agrícola ante la sequía



La Serena, Elqui



Ovalle, Limarí





G-WADI-LAC

# Metodologías para la determinación de la vulnerabilidad a las sequías

UNESCO Contract EN 4500442860

Proyecto "Enhancing Climate Services for Improved Water Resources Management in Regions Vulnerable to Climate Change: Case Studies from Africa and Latin America and the Caribbean" (ClimWaR)

Gabriel Mancilla, PhD; MSc; Director Ejecutivo  
Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC)  
gmancilla@cazalac.org