

# Análisis de la disponibilidad de agua ante escenarios de cambio climático y sequías

---

Dra. Rocío del C. Vargas Castilleja

M. en C. Juan José Arteaga Del Ángel

Dr. Gerardo Sánchez-Torres Esqueda



GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

**SEGURIDAD**  
SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CENAPRED**  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

22 de marzo de 2024.

# Escenarios de Cambio Climático en la cuenca baja del Río Pánuco

---

Dra. Rocío del Carmen Vargas Castilleja

Investigadora, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Facultad de Ingeniería Tampico,  
Universidad Autónoma de Tamaulipas

Colaboradora de Ingenieros Sin Fronteras México, A.C.



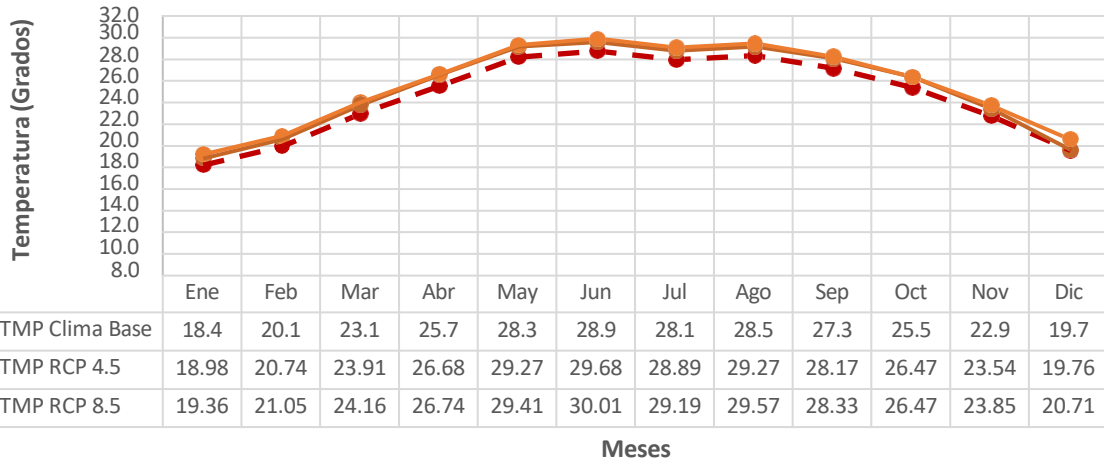
GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

**SEGURIDAD**  
SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA

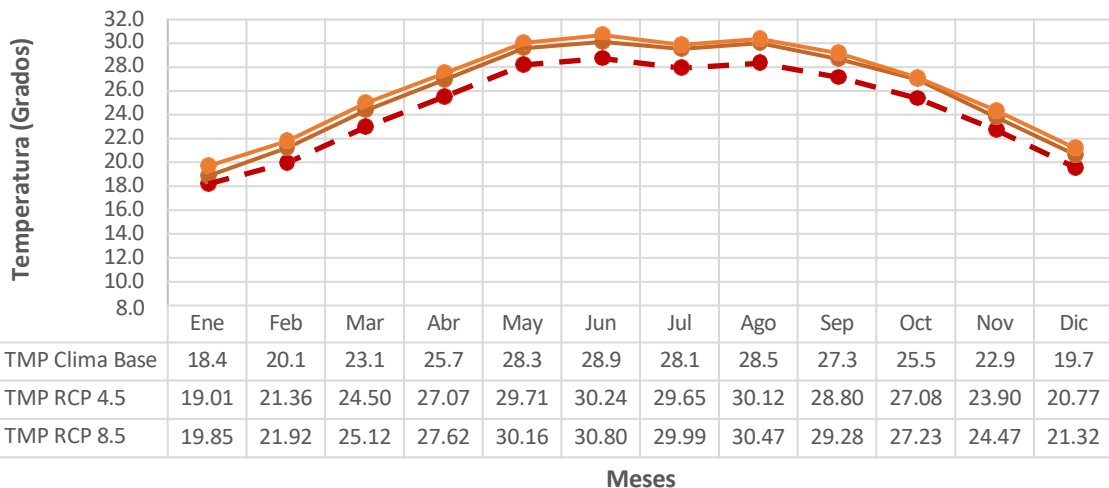


**CENAPRED**  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

### Comparación de TMPs. Hor. Cercano: 2021-2040

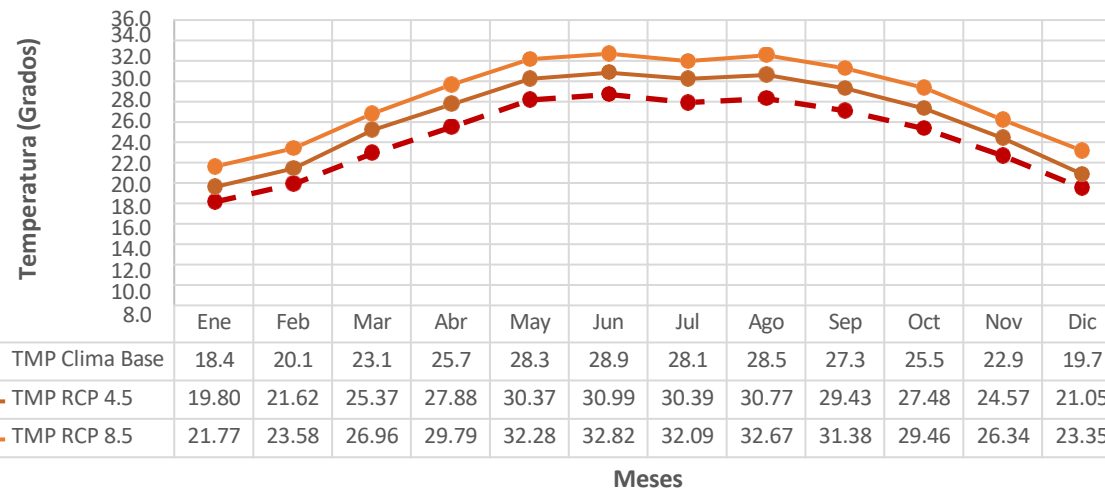


### Comparación de TMPs. Hor. Medio: 2041-2060



Comportamiento de los escenarios de cambio climático para dos escenarios con forzamiento medio y alto (RCP 4.5 y 8.5), para tres horizontes de tiempo cercano, medio y lejano) para la temperatura máxima, mínima y media, así como la precipitación.

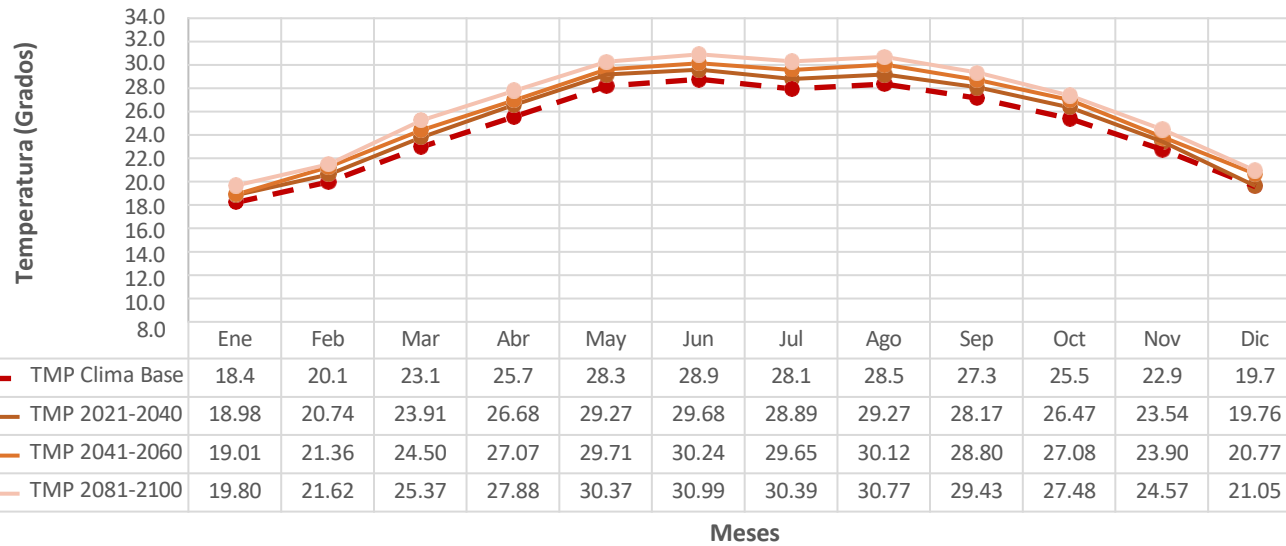
### Comparación de TMPs. Hor. Lejano: 2081-2100



**Observaciones mensuales para ambos escenarios para la temperatura media**

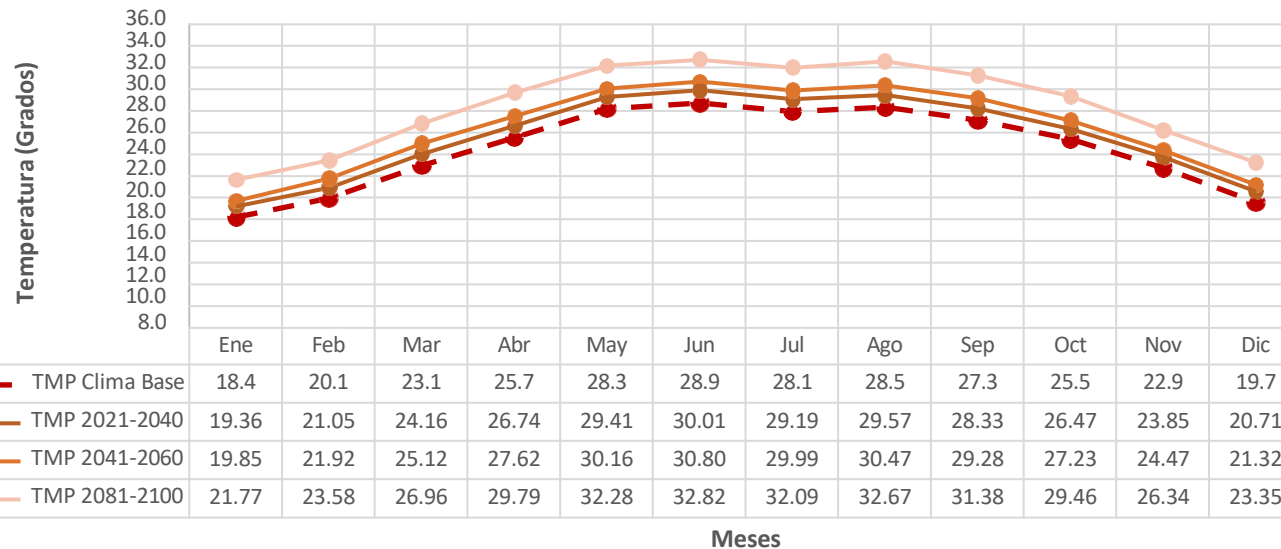


### Comparación de TMPs. Escenario RCP 4.5



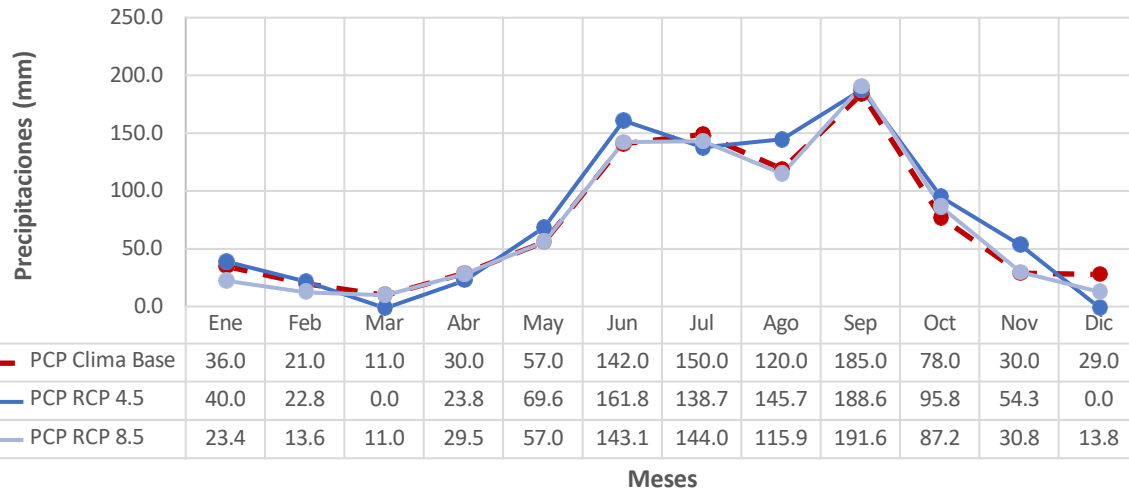
**Observaciones mensuales el clima base con respecto a los tres horizontes de tiempo para ambos escenarios para la temperatura media**

### Comparación de TMPs. Escenario RCP 8.5

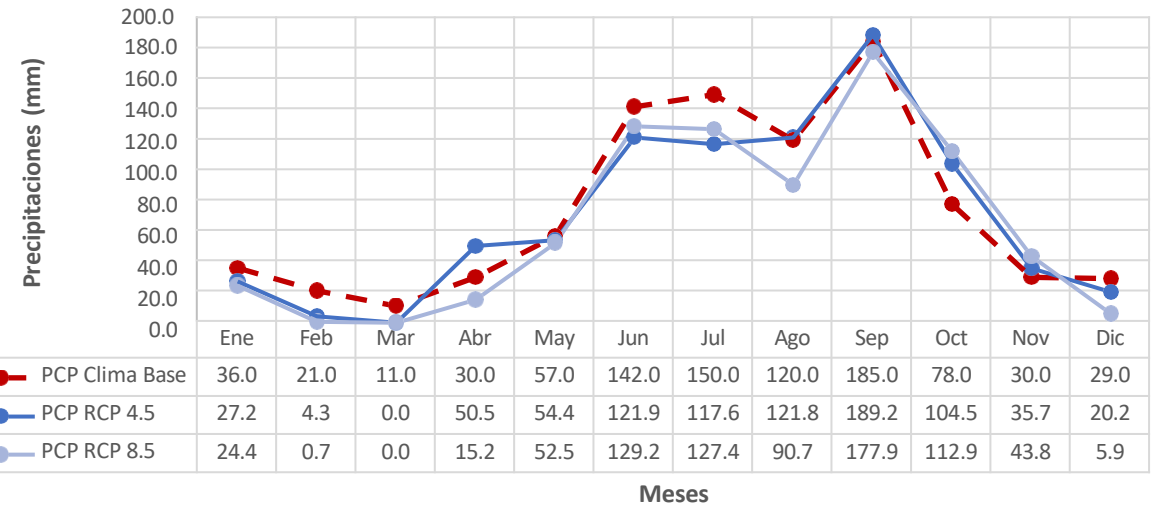




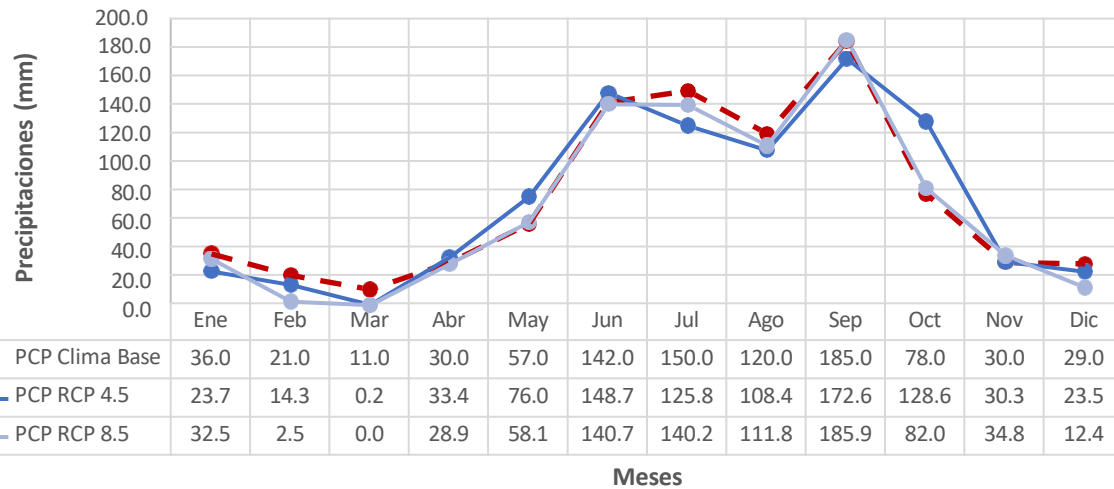
### Comparación de PCPs. Hor. Cercano: 2021-2040



### Comparación de PCPs. Hor. Lejano: 2081-2100



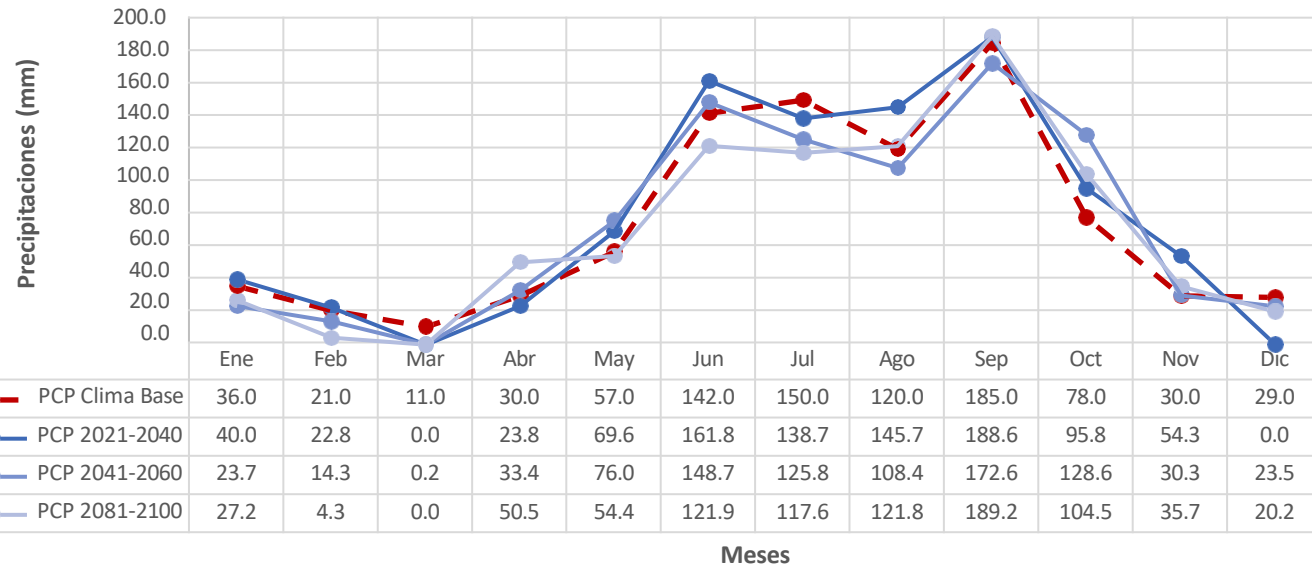
### Comparación de PCPs. Hor. Medio: 2041-2060



**Observaciones mensuales para ambos escenarios para la precipitación media**

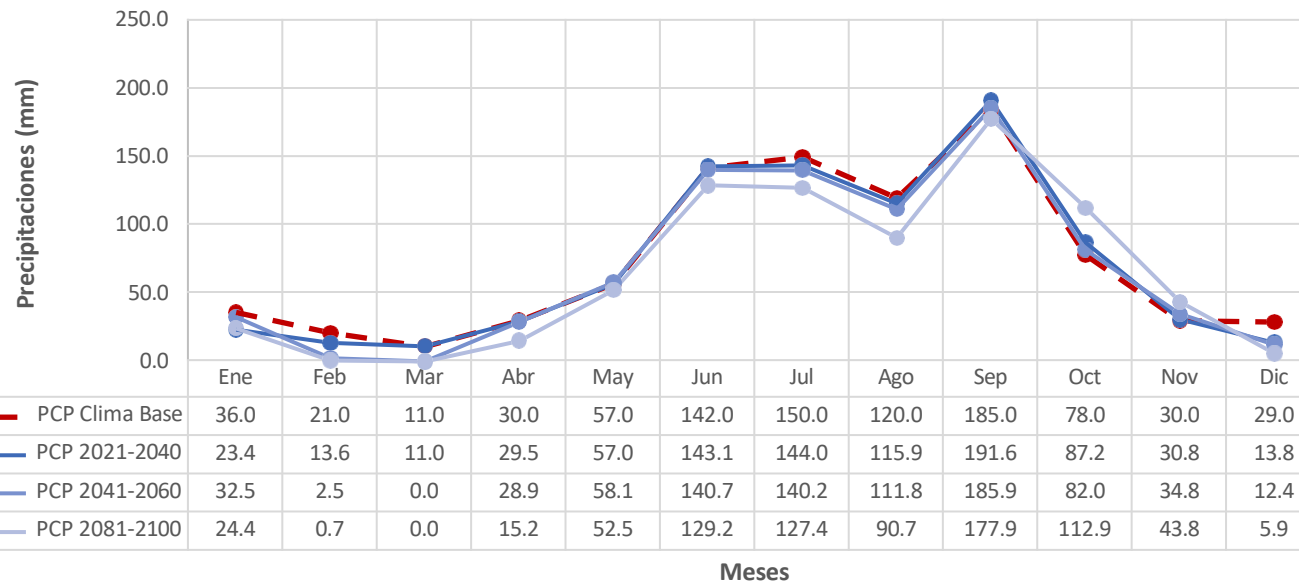


### Comparación de PCPs. Escenario RCP 4.5



**Observaciones mensuales del clima base con respecto a los tres horizontes de tiempo para ambos escenarios para la precipitación media**

### Comparación de PCPs. Escenario RCP 8.5





### COMPORTAMIENTOS FUTUROS ANUALES

	Base	RCP 4.5			RCP 8.5		
	1970-2000	2021-2040	2041-2060	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2081-2100
TMP Media	24.7	25.4	26.0	26.6	25.7	26.5	28.5
PCP Media	889.0	941.1	885.3	847.4	861.0	829.7	780.6

Mientras la temperatura media **anual** se **incrementa** en promedio en un **2%** por periodo de tiempo para el escenario 4.5, para el escenario 8.5 el promedio de incremento de temperatura es del **6%**.

Para el caso de la precipitación media **anual**, se observa una ligera recuperación para el horizonte cercano, pero una **disminución** del orden del **4%** para el escenario 4.5, mientras que para el escenario 8.5 la reducción promedio es del **7%**.

*Es importante observar, considerar y analizar el comportamiento merdeal ambas variables de manera mensual, principalmente para fines de planeación hídrica.*



# Análisis de sequías en la Cuenca del Río Pánuco 1961-2020

---

M. en C. José Juan Arteaga Del Ángel

Jefe de Proyectos, Ingenieros Sin Fronteras México, A.C.



**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

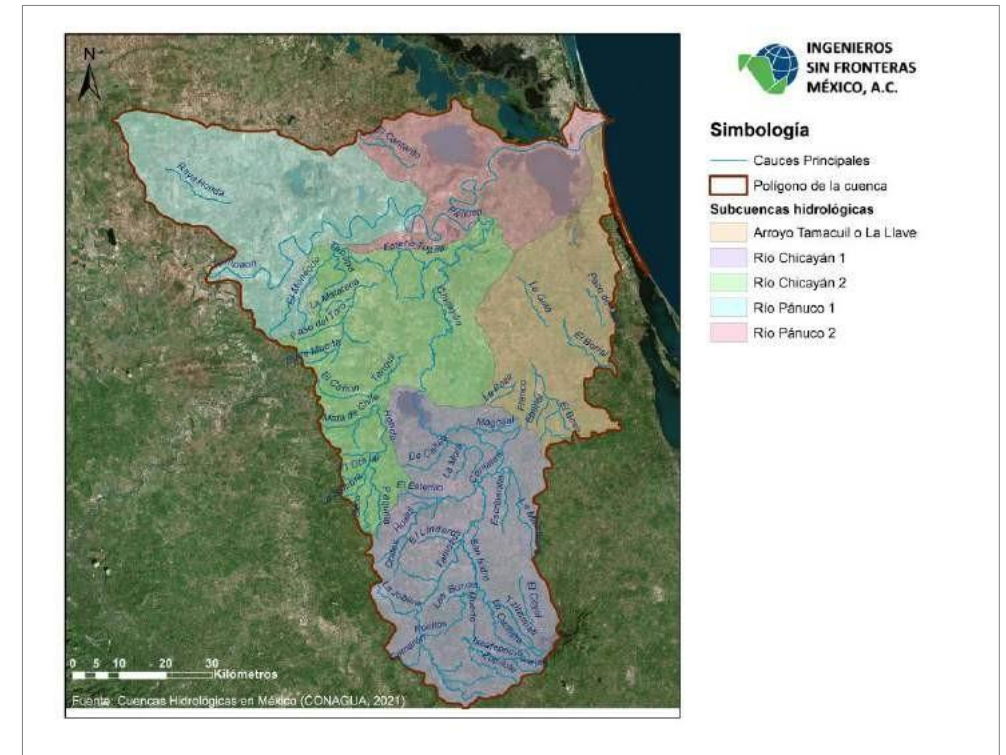


# SPEI y SPI

El análisis de sequías dentro de la **Cuenca del Río Pánuco (RH26A)** se realizó a través del cálculo de dos índices de sequías\*:

- Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración** (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index, desarrollado por **Vicente-Serrano** et al. (2010).
- Índice Estandarizado de Precipitación** (Standardised Precipitation Index, **SPI**), propuesto por McKee et al. (1993).

\*Ambos índices son ampliamente recomendados por la Organización Meteorológica Mundial (WMO), por su estimación y uso extendido.

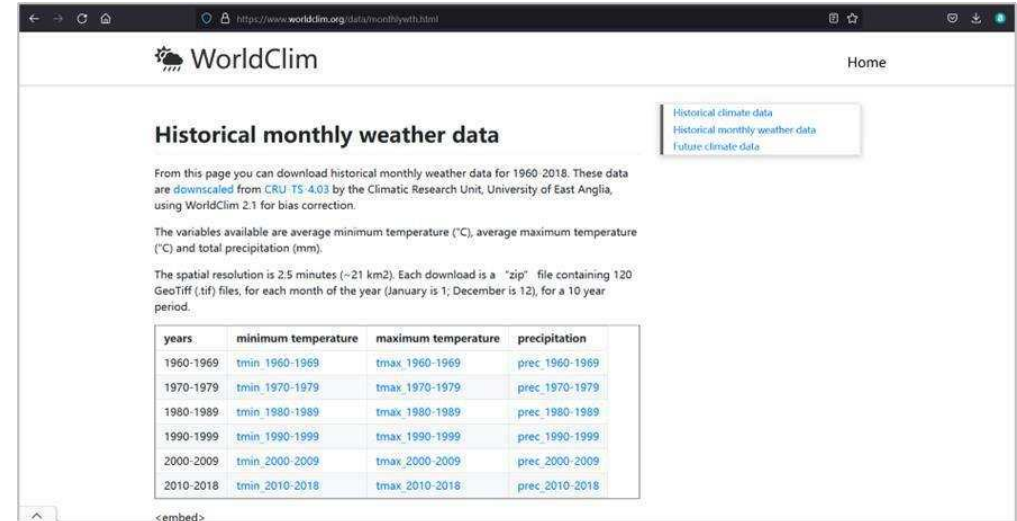




# Cálculo de los índices de sequía

- El cálculo se realizó con información climatológica histórica mensual de la base de datos del **WorldClim** para el periodo de **enero 1961 hasta diciembre 2020**.
- La información fue procesada a través de RStudio (versión 4.2.1) utilizando el paquete de lenguaje R “SPEI: Calculation of the Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index version 1.8.1” (Beguería & Vicente-Serrano, 2017).
- Se optó por calcular ambos índices a una escala de tiempo de 3 meses (SPEI-3 y SPI-3), escala ideal para monitorear y analizar el primer avistamiento de las sequías (WMO & GWP, 2016).

Climatología histórica mensual WorldClim. Fuente: WorldClim (2024).



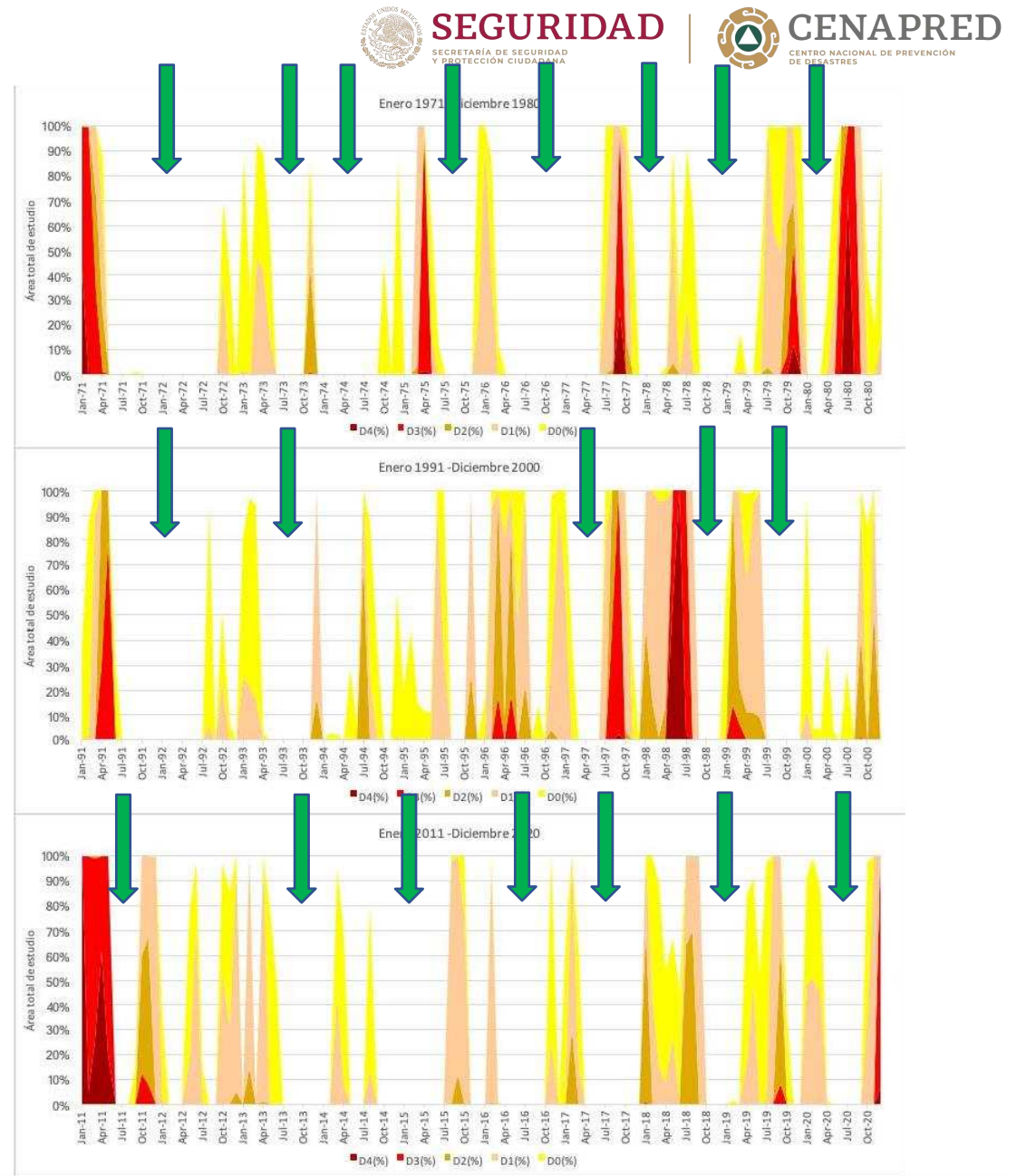
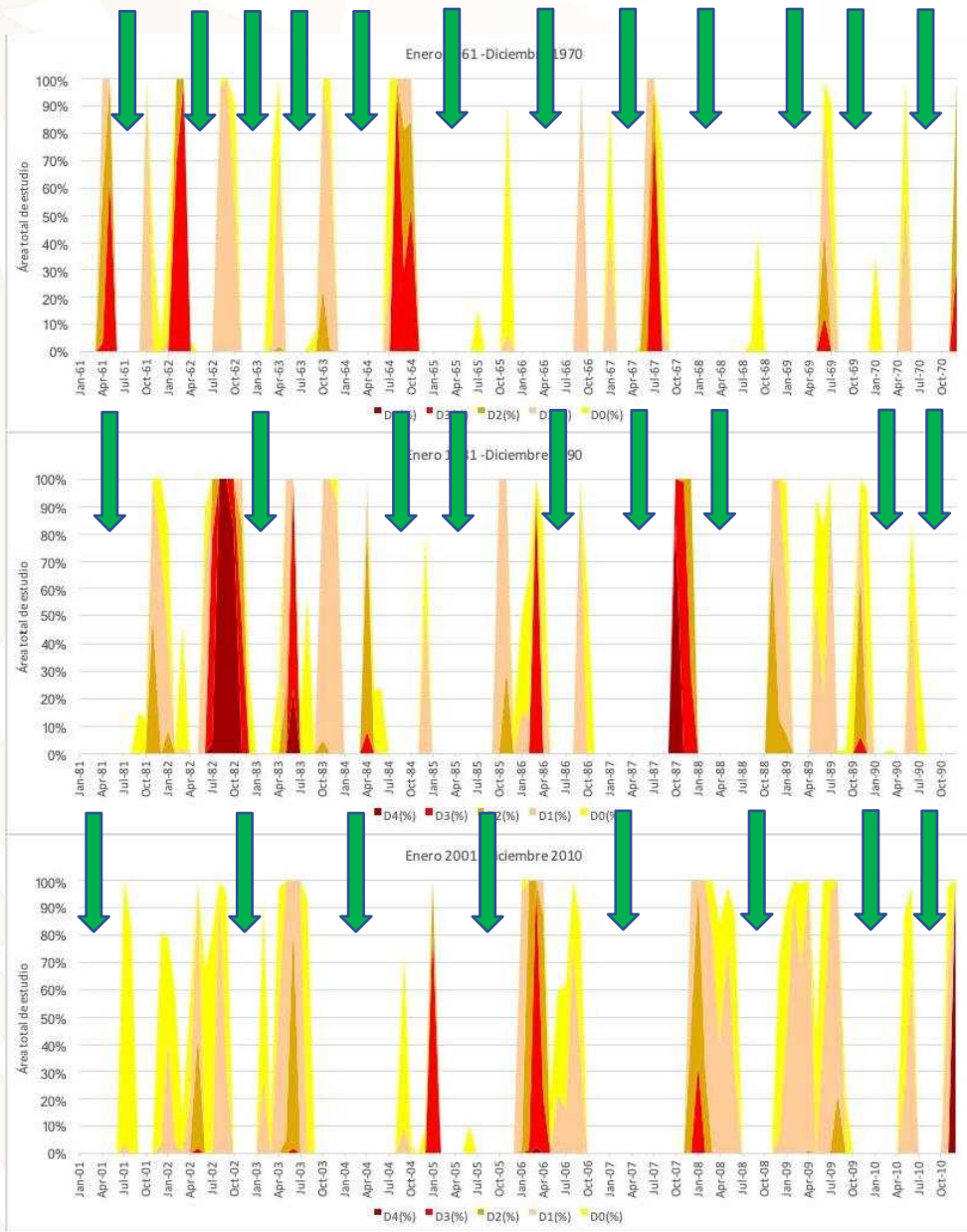
Intensidad de sequias. Fuente: USDM (2022).

Intensidad de la sequía	Valores
Sin Sequía	> -0.5
D0 Anormalmente Seco	-0.5 a -0.79
D1 Sequía Moderada	-0.8 a -1.29
D2 Sequía Severa	-1.3 a -1.59
D3 Sequía Extrema	-1.6 a -1.99
D4 Sequía Excepcional	≤ -2.0



- Beguería, S., & Vicente-Serrano, S.M., (2017). SPEI: Calculation of the Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index [en línea]. Actualizado: 02/03/2023, <<https://cran.r-project.org/web/packages/SPEI/index.html>> [Consulta: 26 de febrero de 2024].
- USDM (2022). Clasificación de sequias del Monitor de sequias de Estados Unidos [en línea]. Actualizado: 26/02/2024, <<https://droughtmonitor.unl.edu/About/AbouttheData/DroughtClassification.aspx>> [Consulta: 26 de febrero de 2024].
- WMO, & GWP, (2016). Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. World Meteorological Organization and Global Water Partnership,. Geneva, WMONo. 1173, ISBN 978-92-63-11173-9. Disponible en: [https://library.wmo.int/index.php?VI=notice\\_display&id=19498#XsvVTBMza1s](https://library.wmo.int/index.php?VI=notice_display&id=19498#XsvVTBMza1s).
- WorldClim (2024). Historically monthly weather data [en línea]. Actualizado: 26/02/2024, <https://www.worldclim.org/> > [Consulta: 26 de febrero de 2024].

# Distribución temporal de los eventos de sequía (SPEI-3)



**SEGURIDAD**  
 SECRETARÍA DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CENAPRED**  
 CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

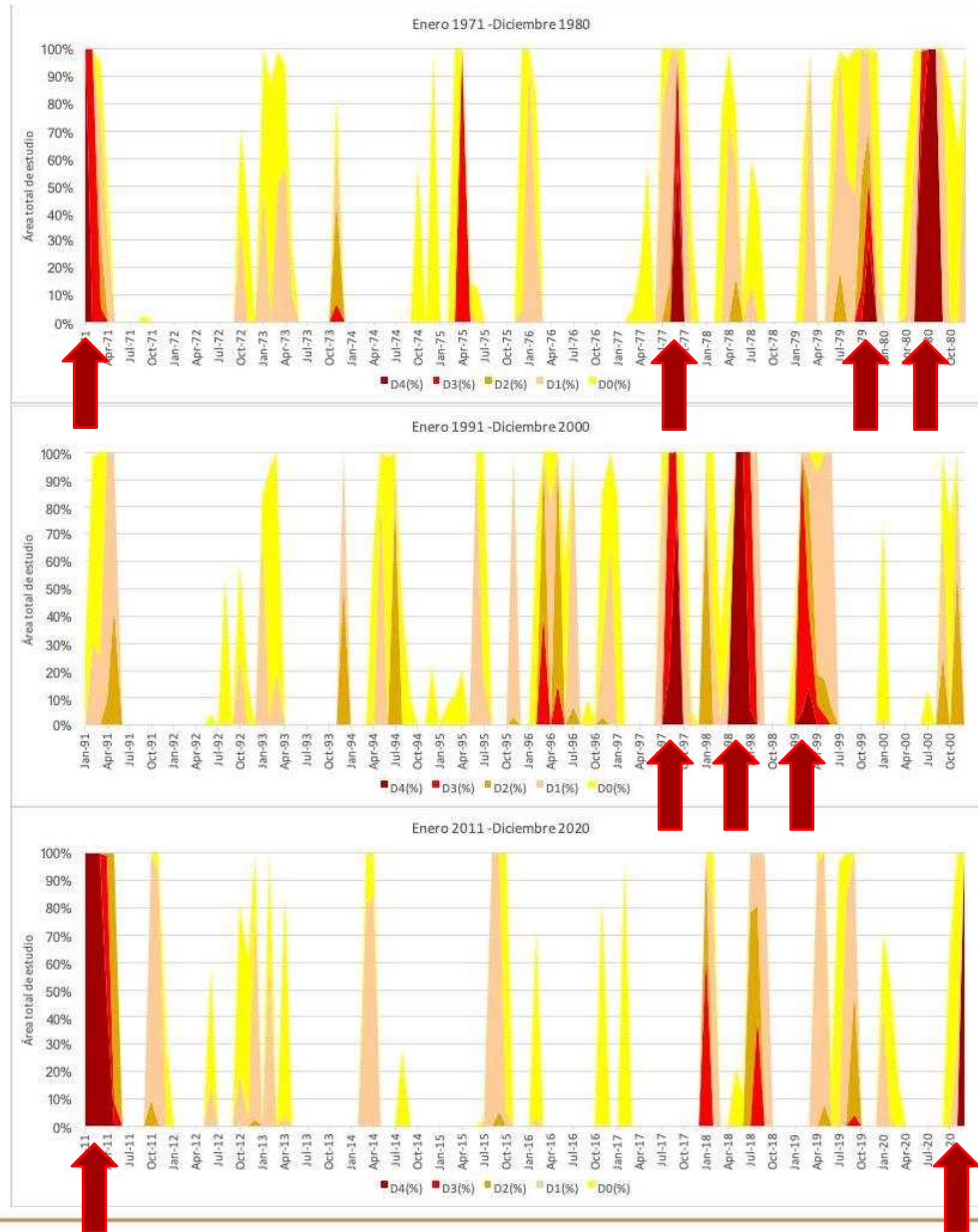
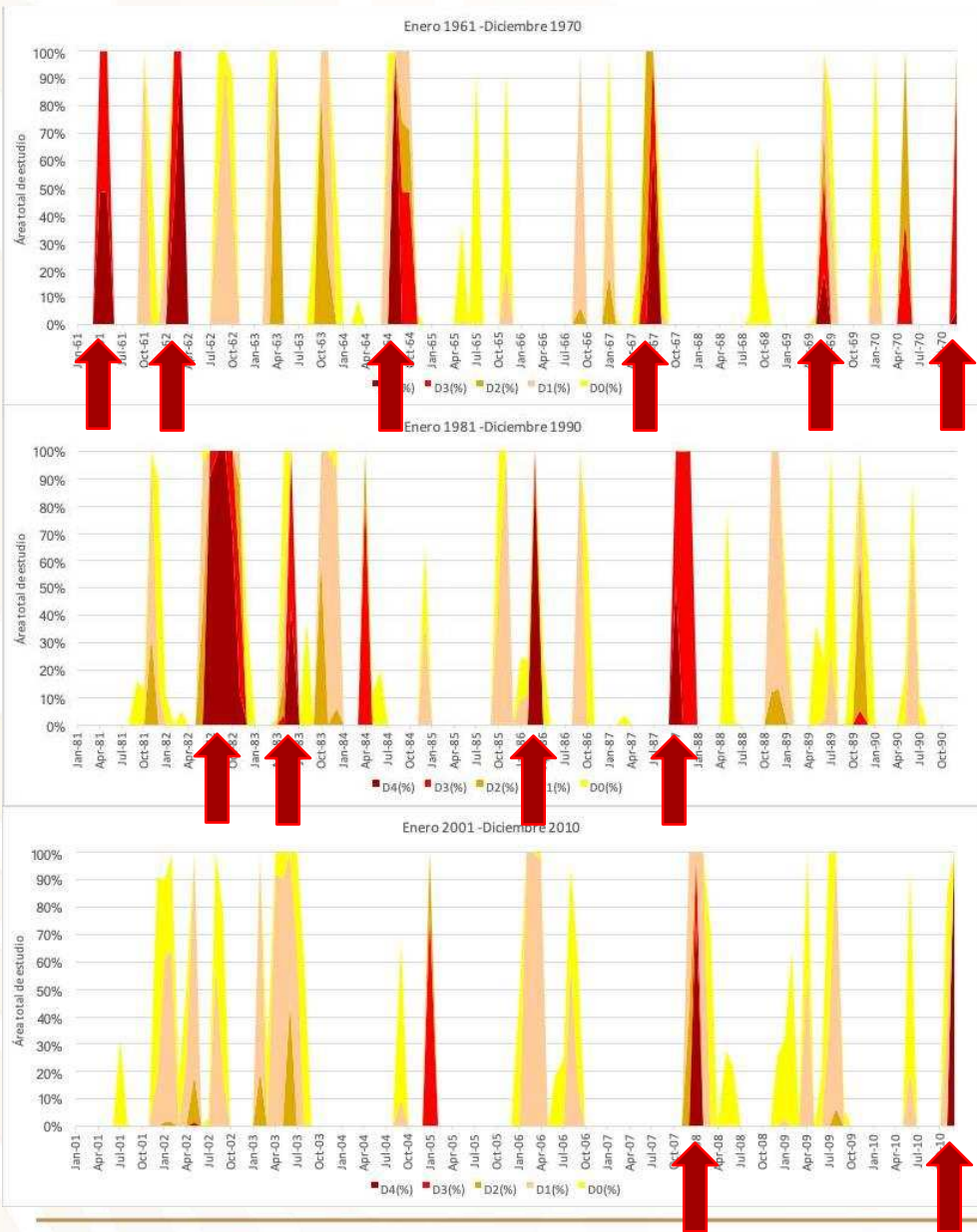
# Distribución temporal de los eventos de sequía (SPI-3)



**SEGURIDAD**  
 SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
 Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CENAPRED**  
 CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
 DE DESASTRES





## Década con más eventos de sequía

### SPEI-3



Periodo	D0	D1	D2	D3	D4	Totales
1961-1970	2,956	4,462	1,642	2,293	1	11,354
1971-1980	6,064	5,323	986	2,570	647	15,590
1981-1990	3,753	6,178	2,058	1,557	1,657	15,603
1991-2000	6,447	8,564	3,154	1,902	676	20,743
2001-2010	6,708	7,862	2,037	1,002	432	18,121
2011-2020	6,440	8,116	1,821	1,721	921	19,019
<b>Totales</b>	<b>32,450</b>	<b>40,505</b>	<b>11,696</b>	<b>11,445</b>	<b>4,334</b>	

\*Número de píxeles dentro del área de estudio que presentan alguna condición de sequía.

### SPI-3

Periodo	D0	D1	D2	D3	D4	Totales
1961-1970	3,430	3,741	1,906	1,987	1,806	12,870
1971-1980	7,322	6,156	735	1,346	1,923	17,482
1981-1990	3,889	4,402	1,231	2,071	2,333	13,732
1991-2000	6,752	6,880	2,462	1,636	1,346	19,076
2001-2010	4,385	6,271	655	441	757	13,093
2011-2020	4,916	5,695	1,343	719	1,880	14,553
<b>Totales</b>	<b>31,098</b>	<b>33,145</b>	<b>8,332</b>	<b>8,200</b>	<b>10,031</b>	

\*Número de píxeles dentro del área de estudio que presentan alguna condición de sequía.

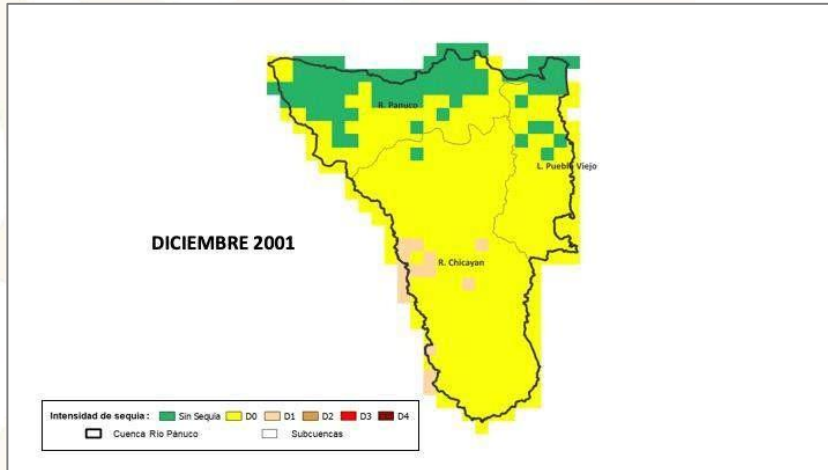
## Tabla resumen de la probabilidad de ocurrencia de los eventos de sequía

Mes	Índice	D0	D1	D2	D3	D4
Enero	SPEI-3	14.63%	11.31%			
	SPI-3	9.83%	8.31%			
Febrero	SPEI-3	10.55%	13.51%			
	SPI-3	15.08%	10.21%			
Marzo	SPEI-3	9.77%	12.10%			
	SPI-3	10.81%	8.44%			
Abril	SPEI-3	10.21%	13.49%			
	SPI-3	8.75%	14.77%			
Mayo	SPEI-3	11.31%	12.71%	5.83%	2.05%	2.47%
	SPI-3	7.91%	10.52%			
Junio	SPEI-3	12.53%	12.24%	3.14%	2.78%	2.06%
	SPI-3	8.21%	8.10%	3.21%	2.42%	3.83%
Julio	SPEI-3	12.85%	13.29%	3.33%	4.75%	1.29%
	SPI-3	11.39%	10.77%	3.12%	2.31%	4.35%
Agosto	SPEI-3	10.86%	14.86%	2.52%	4.06%	1.67%
	SPI-3	8.25%	11.81%	1.06%	2.03%	5.30%
Septiembre	SPEI-3	6.33%	13.73%	2.72%	3.50%	2.14%
	SPI-3	6.52%	13.32%	1.83%	1.96%	3.91%
Octubre	SPEI-3	9.21%	15.43%	2.96%	1.78%	2.78%
	SPI-3	13.69%	10.54%	3.69%	2.34%	2.02%
Noviembre	SPEI-3	9.17%	13.99%	7.62%	3.34%	0.20%
	SPI-3	10.66%	14.54%	4.70%	2.97%	0.69%
Diciembre	SPEI-3	11.46%	14.71%	3.69%	2.56%	1.77%
	SPI-3	12.43%	10.19%	2.12%	3.07%	3.42%

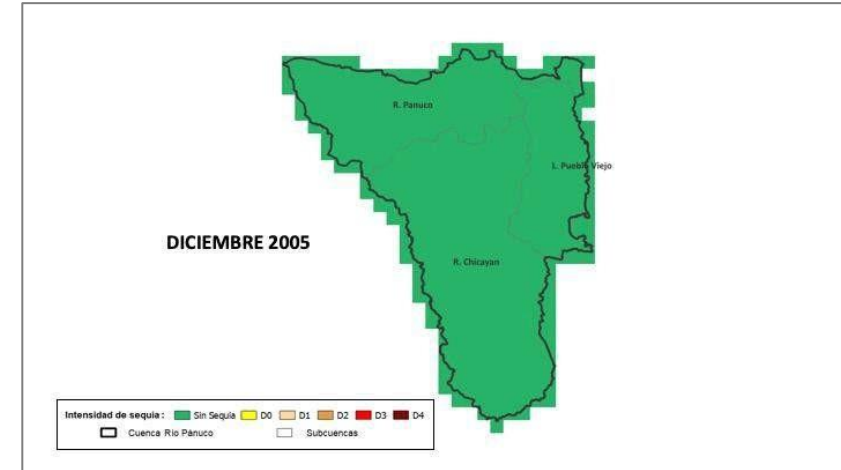
- Mayor probabilidad de ocurrencia de sequías D0 y D1.
- SPEI-3 nos indica que las sequías D1 predominan mayoritariamente durante todo el año, con la excepción de enero y junio.

## Eventos de sequía de mayor duración dentro de los últimos 20 años de la serie de tiempo (SPEI-3)

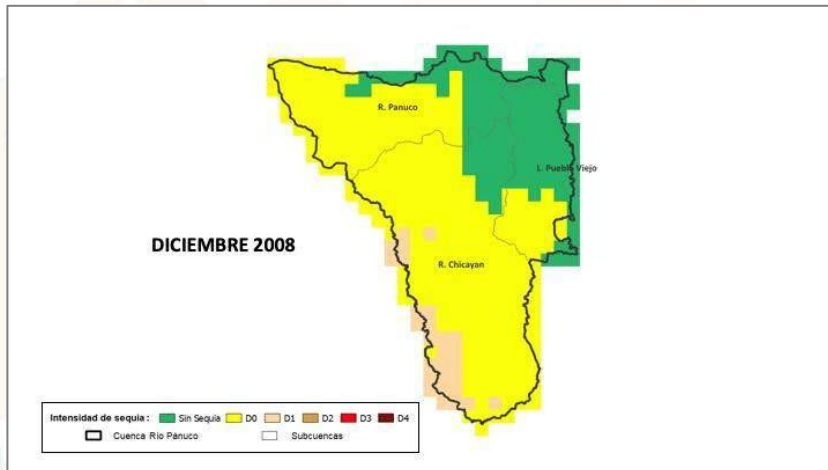
DIC 2001 - SEP 2002  
10 MESES



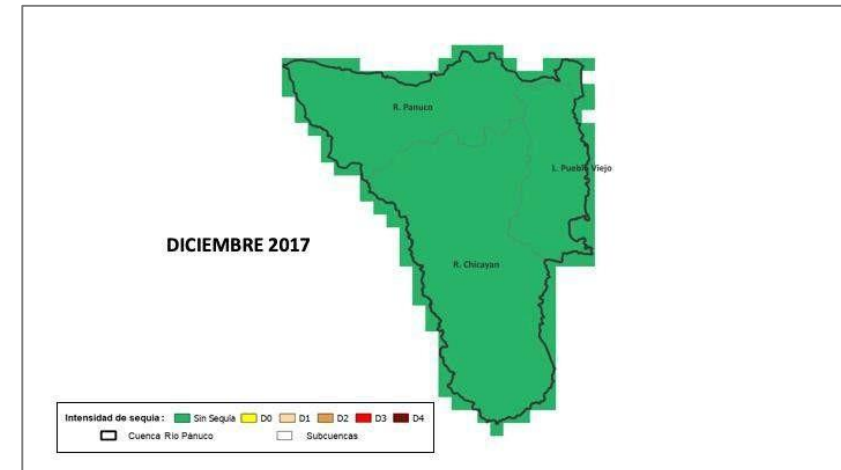
ENE 2006 - SEP 2006  
9 MESES



DIC 2008 - SEP 2009  
10 MESES



ENE 2018 - SEP 2018  
9 MESES





# Principales conclusiones del análisis

1. En general, el **SPEI-3** determina valores más altos en relación a la duración y la frecuencia de los eventos de sequía hacia las últimas décadas; implicando que el incremento de las temperaturas ha tenido un impacto mucho mayor en las sequías. Por otro lado, el **SPI-3** determina valores más altos en la intensidad (principalmente en el número de sequías excepcionales D4).
2. Durante la década de los 90s y 2010s las sequías fueron más frecuentes, siendo en la década de los 90s donde se presentaron el mayor número de eventos.
3. De acuerdo al **SPEI-3**, ha habido un aumento de las sequías a través de las décadas (fuertemente ligado al incremento de las temperaturas), alineándose a lo establecido por el IPCC.
4. Considerando esta tendencia en el aumento de las temperaturas, es probable que las condiciones de sequía en el futuro sean aún más severas que las que aquí se presentan.

# Impacto del cambio climático y sequías en la cuenca baja del Río Pánuco

---

Dr. Gerardo Sánchez Torres Esqueda

Presidente, Ingenieros Sin Fronteras México, A.C.



**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES





# ¿Qué hacer para satisfacer la creciente demanda de agua en el noreste de México?

- **Tecnificar el riego para disminuir el consumo de agua para uso agrícola y rehabilitar toda la infraestructura hidráulica para riego, agua potable y saneamiento.**
- **Tratar y reutilizar el 100% de las aguas residuales domésticas para su uso en los sectores agrícola, industrial y comercial.**
- **Repurificar las aguas residuales domésticas, aplicando procesos avanzados de tratamiento y naturalización del agua para su reutilización en el sector doméstico**



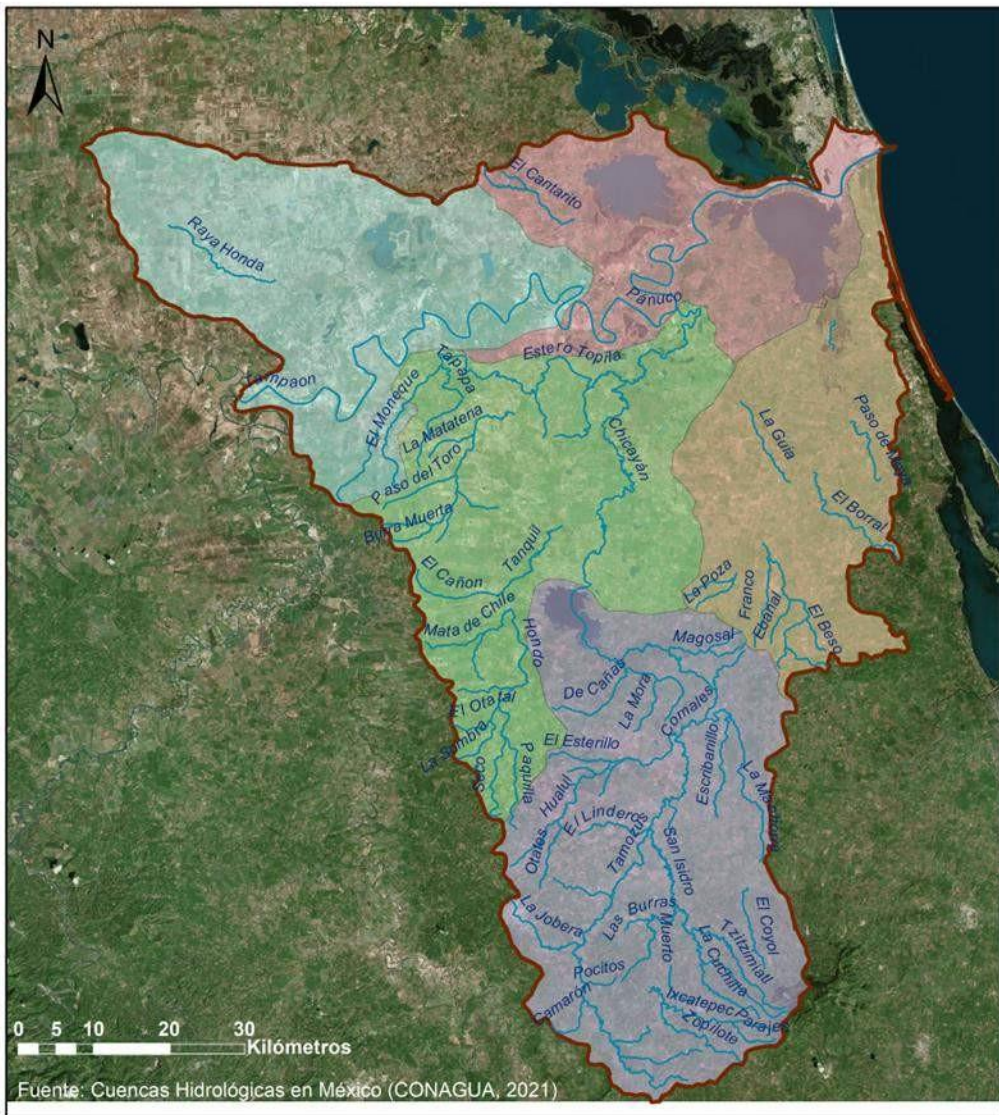
# ¿Qué hacer para satisfacer la creciente demanda de agua en el noreste de México?

- Eliminar la contaminación del agua superficial y subterránea, porque ésta impacta a la disponibilidad del agua
- Reducir a estándares internacionales (<10%) las fugas de agua en las redes de distribución de agua potable, e iniciar el proceso de digitalización del sector agua potable y saneamiento para hacerlo más eficiente, reducir los consumos de energía, las pérdidas de agua y las interrupciones de los servicios de agua potable y saneamiento



# ¿Qué hacer para satisfacer la creciente demanda de agua en el noreste de México?

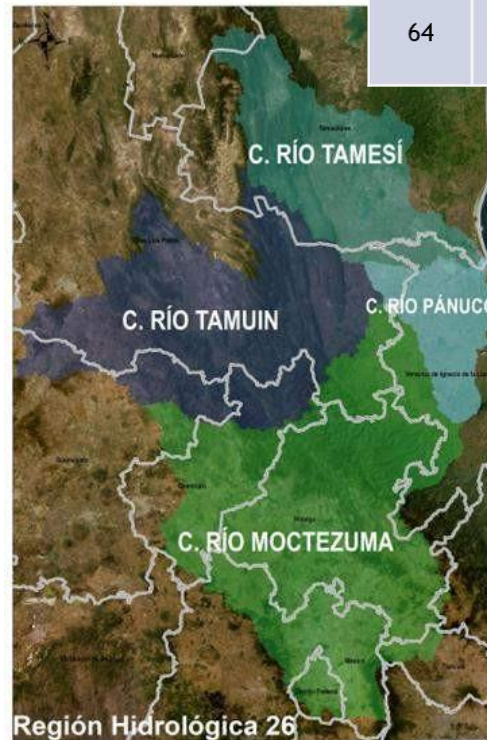
- Llevar a cabo estudios detallados de disponibilidad del agua, en cada cuenca hidrológica, aplicando el programa Water Evaluation And Planning (WEAP) para establecer con toda certeza la disponibilidad de agua ante diferentes escenarios de manejo de los recursos hídricos, calidad del agua, cambio climático y sequías (<https://www.weap21.org/>)
- Evaluar nuevas opciones tecnológicas para la desalinización del agua en el Golfo de México que implique la instalación de tres plantas desalinizadoras submarinas en la costa de Tamaulipas (Matamoros, La Pesca y Altamira)



**Simbología**

- Cauces Principales
- Polígono de la cuenca
- Subcuencas hidrológicas**
- Arroyo Tamacuil o La Llave
- Río Chicayán 1
- Río Chicayán 2
- Río Pánuco 1
- Río Pánuco 2

Tramo	Cuenca Hidrológica	Descripción	Superficie (km <sup>2</sup> )
60	Río Chicayán 1	Desde su nacimiento hasta la Estación Hidrométrica Paso de Piedras	1,889.775
61	Río Chicayán 2	Desde la Estación Hidrométrica Paso de Piedras hasta la confluencia con el Río Pánuco	1,549.461
62	Río Pánuco 1	Desde la Estación Hidrométrica Las Adjuntas hasta la Estación Hidrométrica Pánuco	1,457.475
63	Arroyo Tamacuil o La Llave	Desde su nacimiento hasta su confluencia a la Laguna de Pueblo Viejo	1,084.897
64	Río Pánuco 2	Desde la Estación Hidrométrica Pánuco, las confluencias de los ríos Chicayán, Tamacuil y Tamesí, hasta su descarga al Golfo de México	955.863



# Ecuación del balance hidráulico:

$$D_f = Q_{mm} + Q_{mcp} + Q_{mr} - Q_{mev} - Q_{ecol} - D_{apr} - D_{apur} - D_{acaa} - D_{amty}$$

## Donde:

$D_f$  = Disponibilidad final

$Q_{mm}$  = Gasto medio mensual

$Q_{mcp}$  = Gasto medio por cuenca propia

$Q_{mr}$  = Gasto mensual por flujos de retorno

$Q_{mev}$  = Gasto mensual por evaporación

$Q_{ecol}$  = Caudal ecológico

$D_{apr}$  = Demanda de agua para riego

$D_{apur}$  = Demanda de agua para uso público urbano y rural

$D_{acaa}$  = Demanda de agua comprometida aguas abajo

$D_{amty}$  = Demanda de agua Proyecto Monterrey VI

**Las unidades de todos los parámetros pueden estar expresadas en  $m^3/s$  o en  $Mm^3$**

# Balance hidráulico del tramo 2662 Río Pánuco 1 en mayo 2013:



Mes	Q medio mensual m3/s	Q mensual Cp m3/s	Q mensual retorno R m3/s	Q mensual evaporación m3/s	Gasto Ecológico o medio men min m3/s	Q mensual dem. Agua para riego m3/s	Q mensual dem. Agua PU y Rural m3/s	Q mensual dem. Agua Comp A.A m3/s	Dispon. preliminar de agua m3/s	Proyecto Mty VI m3/s	Dispon. final de agua m3/s
Ene	161.01	2.09	11.26	1.97	99.57	13.36	7.00	14.91	37.56	15.00	22.56
Feb	135.92	1.68	11.26	2.88	99.57	13.36	7.00	13.47	12.59	15.00	-2.41
Mar	113.13	1.47	11.26	4.02	99.57	13.36	7.00	14.91	-13.00	15.00	-28.00
Abr	118.88	2.42	11.26	5.11	99.57	13.36	7.00	14.43	-6.91	15.00	-21.91
May	140.99	4.95	11.26	5.57	99.57	13.36	7.00	14.91	16.79	15.00	1.79
Jun	375.14	10.91	3.87	5.28	99.57	0.00	7.00	0.00	278.08	15.00	263.08
Jul	691.23	12.30	3.87	4.63	128.23	0.00	7.00	0.00	567.54	15.00	552.54
Ago	562.53	9.95	3.87	4.62	128.23	0.00	7.00	0.00	436.50	15.00	421.50
Sep	992.95	14.26	3.87	3.87	128.23	0.00	7.00	0.00	871.99	15.00	856.99
Oct	838.87	5.52	3.87	3.19	128.23	0.00	7.00	0.00	709.84	15.00	694.84
Nov	341.95	2.22	11.26	2.39	99.57	13.36	7.00	14.43	218.68	15.00	203.68
Dic	228.97	2.30	11.26	1.86	99.57	13.36	7.00	14.91	105.83	15.00	90.83
Vol Mm <sup>3</sup>	12,399.44	184.69	257.46	119.40	3,444.51	244.99	220.89	267.19	8,545.05	473.36	8,071.95

D.O.F.	12,184.43	184.69	257.46	119.40	3,444.51	404.57	273.18	8,480.96		
--------	-----------	--------	--------	--------	----------	--------	--------	----------	--	--



# Balance hidráulico del tramo 2662 Río Pánuco 1 en mayo 2023:



Información Obtenida del DOF del 21 de septiembre de 2020.

Balance Hidráulico del Tramo 2662, Río Pánuco 1: Desde la EH Las Adjuntas hasta la EH Pánuco.

Tramo No.	Nombre del Tramo	Cp	Ar	Uc (a)	Uc(b)	Uc (c)	R	Im	Ex	Ev	Dv	Ab	Rxy	Ab - Rxy	D	Clasificación
2662	Río Pánuco 1	215.388	11,924.557	349.490	4.813	0.000	72.837	97.908	788.400	119.413	0.000	11,048.574	3,711.662	7,336.912	7,336.912	Disponibilidad

Nota: Todos los valores están expresados en Mm3.

Fórmulas:

$$Ab = Cp + Ar + R + Im - (Uc(a) + Uc(b) + Uc(c) + Ev + Ex + Av)$$

$$D = Ab - Rxy$$

Simbología:

Cp: Volumen medio anual de escurrimiento natural por cuenca propia.

Ar: Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba.

Uc(a): Volumen anual de extracción de agua superficial mediante títulos inscritos/asignados actualmente en el REPDA.

Uc(b): Volumen anual de extracción de agua superficial de títulos en proceso de inscripción en el REPDA.

Uc(c): Volumen anual correspondiente a las reservas y las zonas reglamentadas.

R: Volumen anual de retornos.

Im: Volumen anual de importaciones.

Ex: Volumen anual de exportaciones.

Ev: Volumen medio anual de evaporación en embalses.

Av: Volumen medio anual de variación de almacenamiento en embalses.

Ab: Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo.

Rxy: Volumen anual actual comprometido aguas abajo, los volúmenes correspondientes a reservas, uso ambiental, reglamentos y programación hídrica.

D: Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica.

EH: Estación hidrométrica.

EC: Estación climatológica.



**Balance Hidráulico del Tramo 2662: Río Pánuco 1, sin Impacto del Cambio Climático y Sequías, con Base en el Balance Hidráulico Publicado en el DOF del 21 de Septiembre de 2020.**



Demanda de agua para Monterrey, m3/s: 15.00  
 Demanda de agua para Ciudad Victoria, m3/s: 15.00



Mes	Vol. Med. Men. de Escur. desde Aguas Arriba (Mm3)	Vol. Med. Men. Escur. por Cuenca Propia, Cp (Mm3)	Vol. Med. Men. Por Flujos de Retorno (Mm3)	Vol. Med. Men. de Import. Agua (Mm3)	Vol. Med. Men. Por Evap. en Embalses (Mm3)	Vol. Med. Men. Caudal Ecológico (Mm3)	Vol. Dem. Men. Agua para Riego (Mm3)	Vol. Dem. Men. Agua para Uso P.U. y Rural (Mm3)	Vol. Men. de Agua Compr. Aguas Abajo (Mm3)	Vol. Med. Men. de Export. Agua (Mm3)	Vol. de Disp. Prelim. de Agua (Mm3)	Vol. Dem. de Agua para Proy. Mty. VI (Mm3)	Vol. de Disp. Final de Agua Parte 1 (Mm3)	Vol. Dem. de Agua para Cd. Victoria (Mm3)	Vol. de Disp. Final de Agua Parte 2 (Mm3)	Vol. Déficit Mensual de Agua (Mm3)
Ene	414.738	6.541	8.533	8.159	5.265	84.256	27.237	14.273	128.801	65.700	112.439	40.176	72.263	40.176	32.087	0.000
Feb	316.228	4.753	7.707	8.159	6.969	64.196	24.603	12.887	98.137	65.700	64.355	36.288	28.067	36.288	-8.221	-8.221
Mar	291.413	4.594	8.533	8.159	10.778	59.202	27.237	14.273	90.501	65.700	45.010	40.176	4.834	40.176	-35.342	-35.342
Abr	296.344	7.310	8.258	8.159	13.248	60.731	26.361	13.809	92.839	65.700	47.383	38.880	8.503	38.880	-30.377	-30.377
May	363.159	15.458	8.533	8.159	14.910	75.723	27.237	14.273	115.758	65.700	81.709	40.176	41.533	40.176	1.357	0.000
Jun	935.129	32.975	2.839	8.159	13.683	387.241	0.000	13.809	295.988	65.700	202.681	38.880	163.801	38.880	124.921	0.000
Jul	1,780.480	38.429	2.934	8.159	12.413	727.563	0.000	14.273	556.112	65.700	453.940	40.176	413.764	40.176	373.588	0.000
Ago	1,448.967	31.074	2.934	8.159	12.371	592.016	0.000	14.273	452.507	65.700	354.267	40.176	314.091	40.176	273.915	0.000
Sep	2,475.150	43.114	2.839	8.159	10.036	1,007.305	0.000	13.809	769.933	65.700	662.478	38.880	623.598	38.880	584.718	0.000
Oct	2,160.768	17.246	2.934	8.159	8.545	871.206	0.000	14.273	665.905	65.700	563.478	40.176	523.302	40.176	483.126	0.000
Nov	852.390	6.722	8.258	8.159	6.202	171.822	26.361	13.809	262.664	65.700	328.970	38.880	290.090	38.880	251.210	0.000
Dic	589.792	7.174	8.533	8.159	4.993	119.393	27.237	14.273	182.516	65.700	199.547	40.176	159.371	40.176	119.195	0.000
Totales:	11,924.557	215.388	72.837	97.908	119.413	4,220.655	186.271	168.032	3,711.662	788.400	3,116.257	473.040	2,643.217	473.040	2,170.177	-73.939

Variables:	Ar	Cp	R	Im	Ev	Uc(a) + Uc(b)	Rxy	Ex
DOF 21/09/2020	11,924.557	215.388	72.837	97.908	119.413	354.303	3,711.662	788.400
% Q Ecol.:					34.8			

Q Ecológico: Meses de estiaje igual al 20% del escurrimiento medio mensual. Meses de avenidas igual al 40% del escurrimiento medio mensual.

# Balance hidráulico del tramo 2662 Río Pánuco 1 en mayo 2023:





Balance Hidráulico del Tramo 2662: Río Pánuco 1, con Impacto del Cambio Climático, con Base en el Balance Hidráulico Publicado en el DOF del 21 de Septiembre de 2020.



Escenario: SSP585. Período: 2021-2040.

Demanda de agua para Monterrey, m3/s: 15.00  
 Demanda de agua para Ciudad Victoria, m3/s: 15.00



Mes	Vol. Med. Men. de Escur. desde Aguas Arriba (Mm3)	Vol. Med. Men. Escur. por Cuenca Propia, Cp (Mm3)	Vol. Med. Men. Por Flujos de Retorno (Mm3)	Vol. Med. Men. de Import. Agua (Mm3)	Vol. Med. Men. Por Evap. en Embalses (Mm3)	Vol. Med. Men. Caudal Ecológico (Mm3)	Vol. Dem. Men. Agua para Riego (Mm3)	Vol. Dem. Men. Agua para Uso P.U. y Rural (Mm3)	Vol. Men. de Agua Compr. Aguas Abajo (Mm3)	Vol. Med. Men. de Export. Agua (Mm3)	Vol. de Disp. Prelim. de Agua (Mm3)	Vol. Dem. de Agua para Proy. Mty. VI (Mm3)	Vol. de Disp. Final de Agua Parte 1 (Mm3)	Vol. Dem. de Agua para Cd. Victoria (Mm3)	Vol. de Disp. Final de Agua Parte 2 (Mm3)	Vol. Déficit Mensual de Agua (Mm3)
Ene	269.810	4.255	5.551	8.159	5.265	54.813	27.237	14.273	86.086	65.700	34.401	40.176	-5.775	40.176	-45.951	-45.951
Feb	204.946	3.080	4.995	8.159	6.969	41.605	24.603	12.887	65.343	65.700	4.073	36.288	-32.215	36.288	-68.503	-68.503
Mar	292.473	4.611	8.564	8.159	10.778	59.417	27.237	14.273	93.317	65.700	43.087	40.176	2.911	40.176	-37.265	-37.265
Abr	291.306	7.186	8.118	8.159	13.248	59.698	26.361	13.809	93.759	65.700	42.193	38.880	3.313	38.880	-35.567	-35.567
May	363.350	15.466	8.538	8.159	14.910	75.763	27.237	14.273	118.990	65.700	78.641	40.176	38.465	40.176	-1.711	-1.711
Jun	942.439	33.232	2.861	8.159	13.683	390.268	0.000	13.809	306.467	65.700	196.764	38.880	157.884	38.880	119.004	0.000
Jul	1,708.786	36.882	2.816	8.159	12.413	698.267	0.000	14.273	548.330	65.700	417.659	40.176	377.483	40.176	337.307	0.000
Ago	1,399.461	30.012	2.834	8.159	12.371	571.789	0.000	14.273	449.011	65.700	327.322	40.176	287.146	40.176	246.970	0.000
Sep	2,563.586	44.654	2.940	8.159	10.036	1,043.296	0.000	13.809	819.272	65.700	667.226	38.880	628.346	38.880	589.466	0.000
Oct	2,415.074	19.275	3.280	8.159	8.545	973.740	0.000	14.273	764.652	65.700	618.878	40.176	578.702	40.176	538.526	0.000
Nov	875.404	6.903	8.481	8.159	6.202	176.461	26.361	13.809	277.141	65.700	333.273	38.880	294.393	38.880	255.513	0.000
Dic	280.863	3.416	4.064	8.159	4.993	56.856	27.237	14.273	89.295	65.700	38.149	40.176	-2.027	40.176	-42.203	-42.203
Totales:	11,607.497	208.973	63.042	97.908	119.413	4,201.974	186.271	168.032	3,711.662	788.400	2,801.668	473.040	2,328.628	473.040	1,855.588	-231.199

Variables:	Ar	Cp	R	Im	Ev	Uc(a) + Uc(b)	Rxy	Ex
DOF 21/09/2020	11,924.557	215.388	72.837	97.908	119.413	354.303	3,711.662	788.400
% Q Ecol.:					35.6			

Q Ecológico: Meses de estiaje igual al 20% del escurrimiento medio mensual. Meses de avenidas igual al 40% del escurrimiento medio mensual.

# Balance hidráulico del tramo 2662 Río Pánuco 1 en febrero 2024:



**Balance Hidráulico del Tramo 2662: Río Pánuco 1, con Impacto del Cambio Climático y Sequías, con Base en el Balance Hidráulico Publicado en el DOF del 21 de Septiembre de 2020.**

Escenario: SSP585. Período: 2021-2040.

Demanda de agua para Monterrey, m3/s: 15.00  
Demanda de agua para Ciudad Victoria, m3/s: 15.00



Mes	Vol. Med. Men. de Ecur. desde Aguas Arriba (Mm3)	Vol. Med. Men. Ecur. por Cuenca Propia, Cp (Mm3)	Vol. Med. Men. Por Flujos de Retorno (Mm3)	Vol. Med. Men. de Import. Agua (Mm3)	Vol. Med. Men. Por Evap. en Embalses (Mm3)	Vol. Med. Men. Caudal Ecológico (Mm3)	Vol. Dem. Men. Agua para Riego (Mm3)	Vol. Dem. Men. Agua para Uso P.U. y Rural (Mm3)	Vol. Men. de Agua Compr. Aguas Abajo (Mm3)	Vol. Med. Men. de Export. Agua (Mm3)	Vol. de Disp. Prelim. de Agua (Mm3)	Vol. Dem. de Agua para Proy. Mty. VI (Mm3)	Vol. de Disp. Final de Agua Parte 1 (Mm3)	Vol. Dem. de Agua para Cd. Victoria (Mm3)	Vol. de Disp. Final de Agua Parte 2 (Mm3)	Vol. Déficit Mensual de Agua (Mm3)
Ene	202.357	3.191	4.164	8.159	5.265	41.110	27.237	14.273	97.480	65.700	-33.193	40.176	-73.369	40.176	-113.545	-113.545
Feb	153.709	2.310	3.746	8.159	6.969	31.204	24.603	12.887	73.991	65.700	-47.430	36.288	-83.718	36.288	-120.006	-120.006
Mar	190.108	2.997	5.567	8.159	10.778	38.621	27.237	14.273	91.579	65.700	-41.356	40.176	-81.532	40.176	-121.708	-121.708
Abr	189.349	4.671	5.276	8.159	13.248	38.804	26.361	13.809	92.013	65.700	-42.479	38.880	-81.359	38.880	-120.239	-120.239
May	236.178	10.053	5.550	8.159	14.910	49.246	27.237	14.273	116.773	65.700	-28.199	40.176	-68.375	40.176	-108.551	-108.551
Jun	706.829	24.924	2.146	8.159	13.683	292.701	0.000	13.809	347.030	65.700	9.136	38.880	-29.744	38.880	-68.624	-68.624
Jul	1,110.711	23.973	1.830	8.159	12.413	453.873	0.000	14.273	538.117	65.700	60.297	40.176	20.121	40.176	-20.055	-20.055
Ago	909.649	19.508	1.842	8.159	12.371	371.663	0.000	14.273	440.647	65.700	34.505	40.176	-5.671	40.176	-45.847	-45.847
Sep	1,666.331	29.025	1.911	8.159	10.036	678.143	0.000	13.809	804.013	65.700	133.727	38.880	94.847	38.880	55.967	0.000
Oct	1,569.798	12.529	2.132	8.159	8.545	632.931	0.000	14.273	750.409	65.700	120.760	40.176	80.584	40.176	40.408	0.000
Nov	569.013	4.487	5.513	8.159	6.202	114.700	26.361	13.809	271.979	65.700	88.421	38.880	49.541	38.880	10.661	0.000
Dic	182.561	2.221	2.641	8.159	4.993	36.956	27.237	14.273	87.632	65.700	-41.208	40.176	-81.384	40.176	-121.560	-121.560
Totales:	7,686.593	139.889	42.318	97.908	119.413	2,779.952	186.271	168.032	3,711.662	788.400	212.978	473.040	-260.062	473.040	-733.102	-840.137

Variables:	Ar	Cp	R	Im	Ev	Uc(a) + Uc(b)	Rxy	Ex
DOF 21/09/2020	11,924.557	215.388	72.837	97.908	119.413	354.303	3,711.662	788.400
% Q Ecol.:						35.5		

Q Ecológico: Meses de estiaje igual al 20% del escurrimiento medio mensual. Meses de avenidas igual al 40% del escurrimiento medio mensual.

## Reducción de la PCP para las intensidades de sequía:

Intensidad de la sequía	Rangos de reducción de la PCP
<b>D0 Anormalmente seco</b>	-20% a -30%
<b>D1 Sequía moderada</b>	-30.1% a -40%
<b>D2 Sequía severa</b>	-40.1% a -49%
<b>D3 Sequía extrema</b>	-49.1% a -59%
<b>D4 Sequía excepcional</b>	Mayor de -59%

Fuente: <https://hisagua.cedex.es/>



# Tecnología OceanWell:

## El Problema:

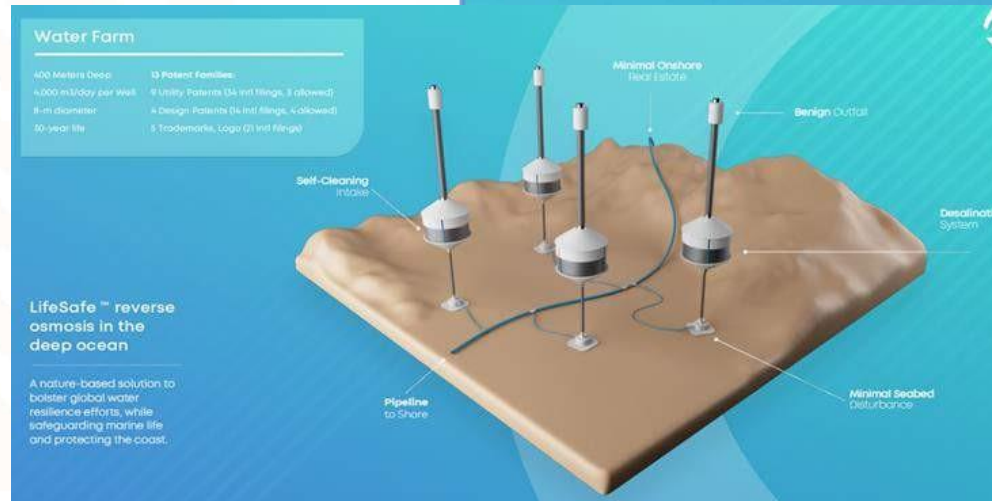
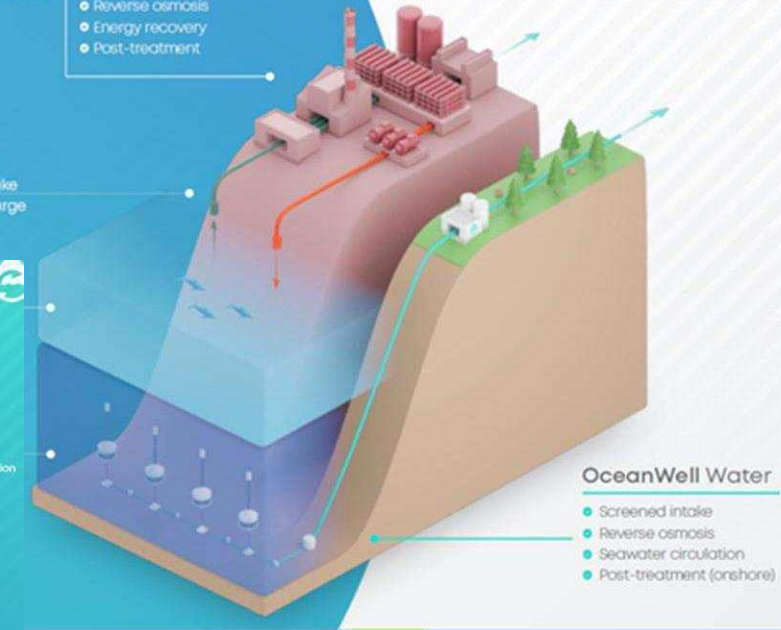
- ❑ Solamente el 1% del agua del planeta es apta para consumo humano
- ❑ 5,000 millones de personas padecerán escasez de agua para el año 2050
- ❑ Problemas de las plantas desalinizadoras convencionales:
  - Altos costos de energía y emisiones de GEI
  - Mata el 100% de la vida marina que entra al proceso de desalinización
  - Las aguas de rechazo dañan la vida marina
  - Generación de lodos tóxicos
  - Impactos ambientales en la zona costera
  - Rechazo de las comunidades costeras a este tipo de infraestructura

Ocean Well is simple and benefits the environment.

Onshore Desalination

- Chemical pretreatment
- Solid waste
- Reverse osmosis
- Energy recovery
- Post-treatment

Screened Intake & Brine Discharge



## La Solución: Desalinización 2.0, Granjas de Agua Modulares Submarinas de OceanWell:

- ❑ Reducción del 30-40% en el consumo de energía
- ❑ No hay mortandad de vida marina
- ❑ No genera aguas de rechazo
- ❑ No se requiere de una planta industrial en la zona costera
- ❑ No se emplean químicos
- ❑ No se generan lodos tóxicos
- ❑ No se generan desechos sólidos
- ❑ El agua dulce que se produce es extremadamente fría
- ❑ No se genera boro

Fuente: <https://www.oceanwellwater.com/>

## Nuestra ruta de producción es rápida y flexible:

- Iniciamos en el 2023 las pruebas de producción de agua a gran escala
- Las pruebas de las etapas TRL 6-7 de pruebas piloto en embarcaciones, a pruebas piloto de largo plazo de los dispositivos anclados en el fondo marino, permitirán optimizar el desempeño del sistema, y responder a situaciones ambientales críticas, a un bajo costo
- Escalamiento comercial flexible (TRL 8-9) de 4,000 a 60,000 m<sup>3</sup>/día nos permitirá dar servicio a diferentes mercados, con diferentes batimetrías, a un bajo costo
- Mega instalaciones de las granjas de agua submarina, en la costa de California y otras regiones alrededor del mundo, permitirán suministrar agua dulce en forma ilimitada, sin los problemas ambientales generados por plantas desaladoras convencionales



Scalable Production depends on subsea environment and fresh water needs

## Proceso de implementación de la tecnología OceanWell



# GRACIAS



Contactos:

Dra. Rocío del Carmen Vargas Castilleja

[rocvargas@docentes.uat.edu.mx](mailto:rocvargas@docentes.uat.edu.mx)

M. en C. José Juan Arteaga Del Ángel

[joarteda@gmail.com](mailto:joarteda@gmail.com)

Dr. Gerardo Sánchez Torres Esqueda

[gsanchezt@docentes.uat.edu.mx](mailto:gsanchezt@docentes.uat.edu.mx)



GOBIERNO DE  
**MÉXICO**

**SEGURIDAD**  
SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CENAPRED**  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES