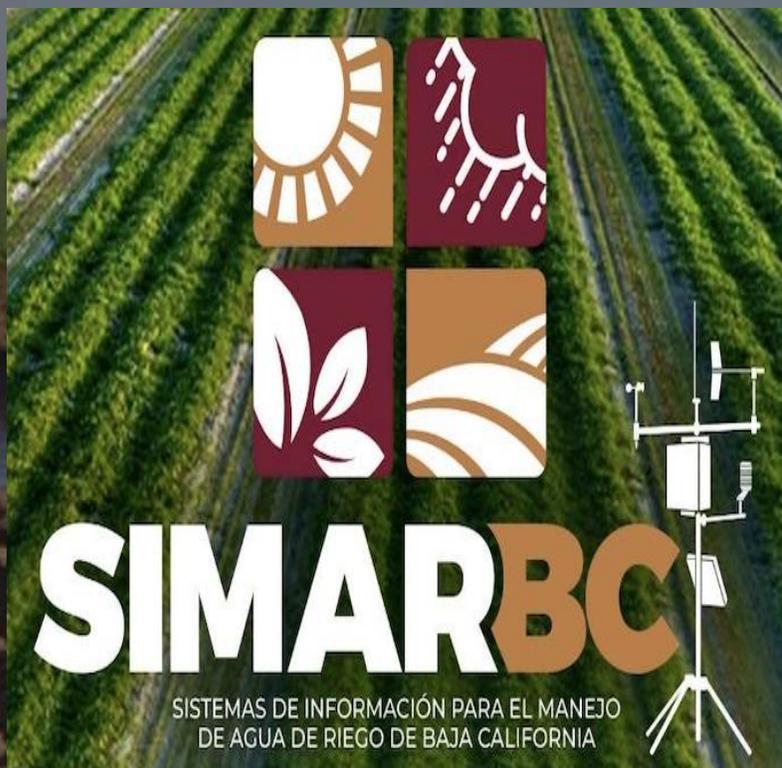


# La importancia de la información climatológica en la Agricultura

Necesidades hídricas de los cultivos Agrícolas



Dr. Jesús Salvador Ruiz Carvajal

Mexicali, Baja California a 14 de noviembre de 2024

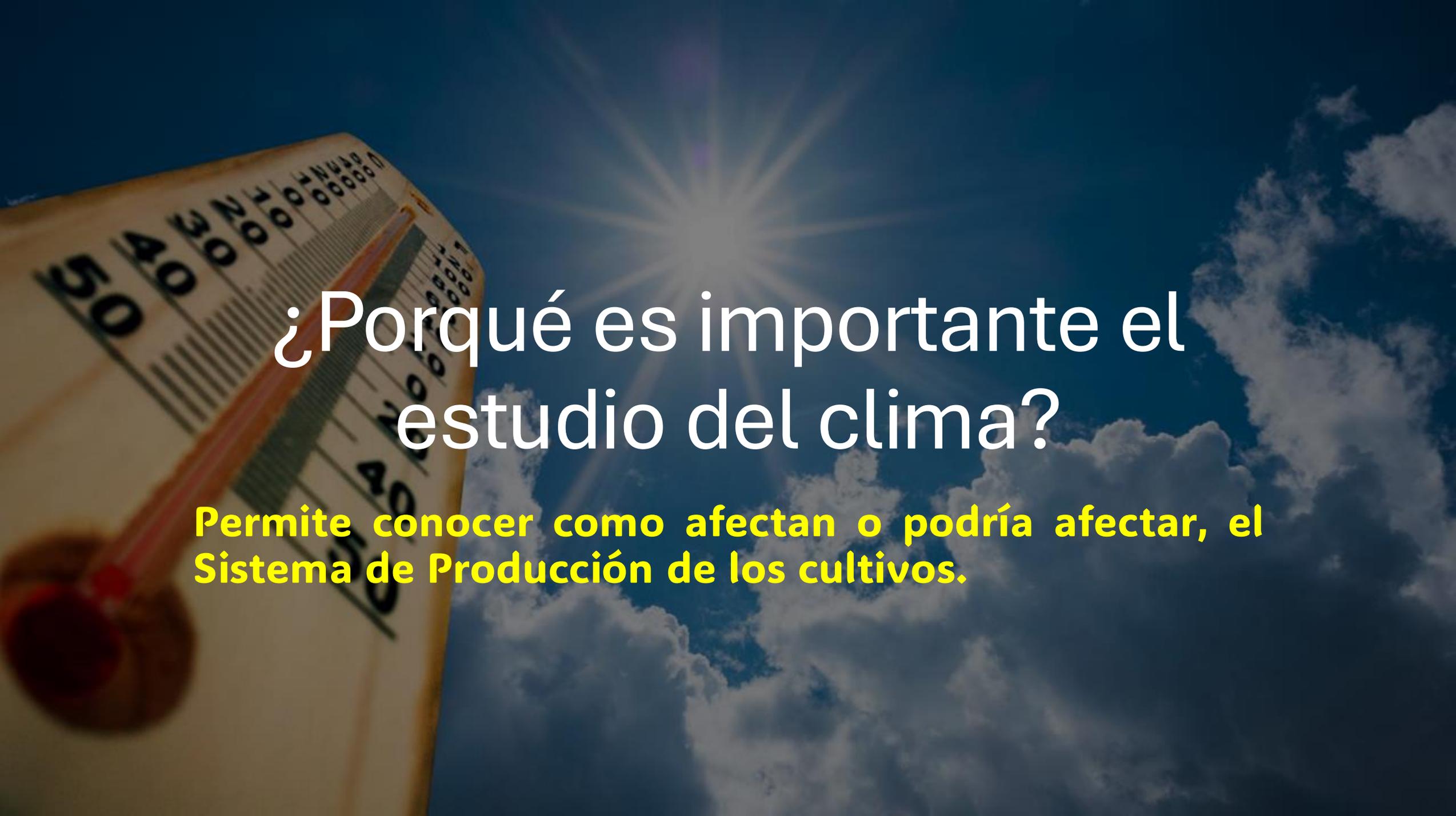
## Dice Lord William Kelvin (1824 – 1907)

Lo que no se define,  
no se puede medir

Lo que no se mide,  
no se puede mejorar

Lo que no se mejora,  
se degrada siempre





# ¿Porqué es importante el estudio del clima?

**Permite conocer como afectan o podría afectar, el Sistema de Producción de los cultivos.**

# Estrés Térmico

AUMENTO DE TEMPERATURAS



## Floración y Polinización

Reduce la temporada de crecimiento

## Adelanto del llenado del grano

Reduce la fase reproductiva

## Fotosíntesis

Reduce el Rendimiento

# Estrés Hídrico

Condiciones de Sequía

## NIVEL CELULAR

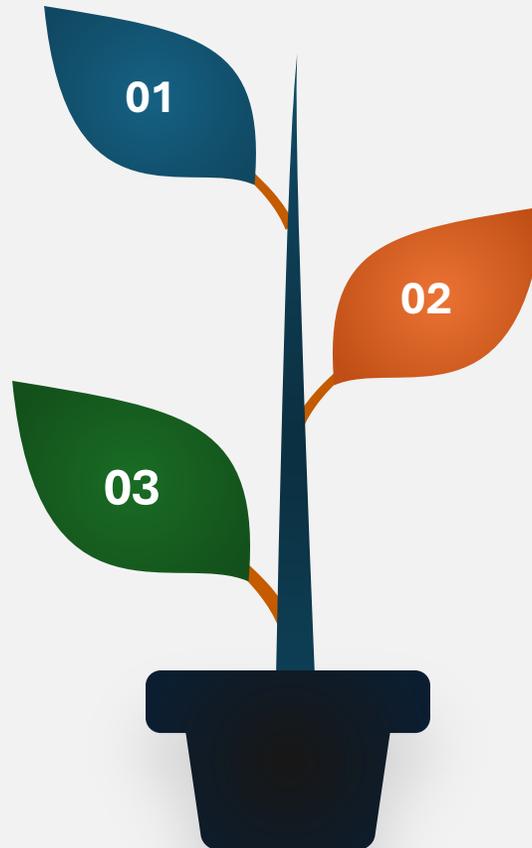
Condiciones déficit hídrico  
permanente

Mayor Resistencia a déficit hídrico

## MITIGACIÓN/ADAPTACIÓN

Fisiopatías

**Mayor  
Transpiración**



## NIVEL MOLECULAR

- Modificación de genes
- Alteración / acumulación de Proteínas

**Menor Absorción  
por las raíces**

# Estrés Ambiental

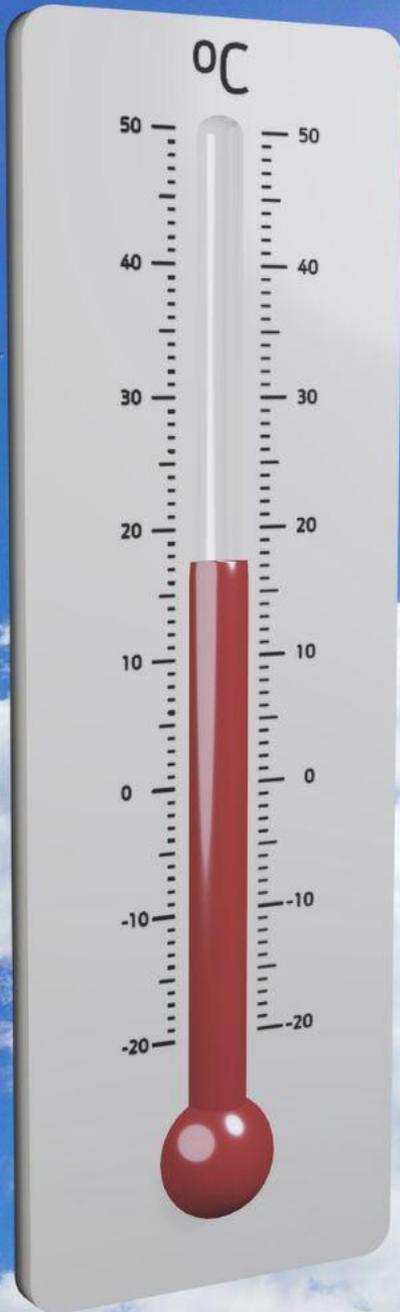




---

## ¿Qué importancia tiene conocer sobre el clima?

- **De vital importancia, para poder monitorear:**
  - Los procesos fisiológicos.
  - El crecimiento y desarrollo de las plantas.
  - Los rendimientos esperados.
  - La calidad de la cosecha.



**Al clima no lo podemos controlar**

# Clima

**Pero sí lo podemos "MONITOREAR"**

# Clima

Descrito por elementos

Descrito por factores

Termodinámicos

Acuosos

Geográficos

Temperatura

Viento

Presión  
Atmosférica

Precipitación  
Humedad  
relativa  
Nubosidad

Latitud

Altitud

Relieve

Continentalidad

Corrientes  
marinas

Vegetación

# Diferencias entre Clima y Tiempo

**Agroclimatología**

**Caracterización agroclimática  
+  
requerimientos de cultivos**

**Planificación  
(a largo plazo)**

**Agrometeorología**

**Condiciones del tiempo  
+  
requerimiento de cultivos**

**Decisiones de manejo  
(Corto plazo)**

# Diferencias entre Clima y Tiempo

El clima

El tiempo

Es lo que esperas

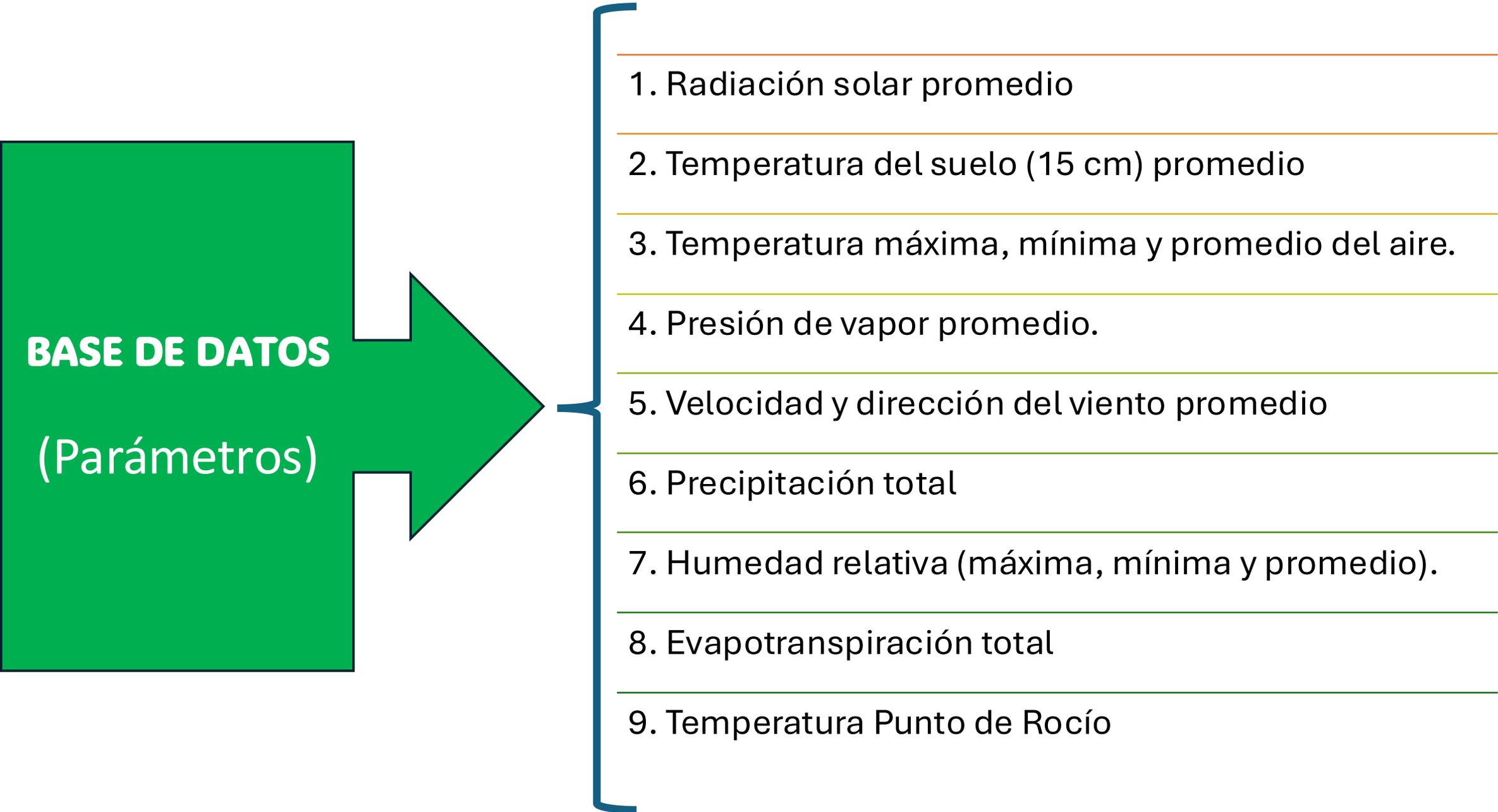
Es lo que obtienes

Largo plazo

Corto plazo

# ¿Cómo Monitorear el Clima

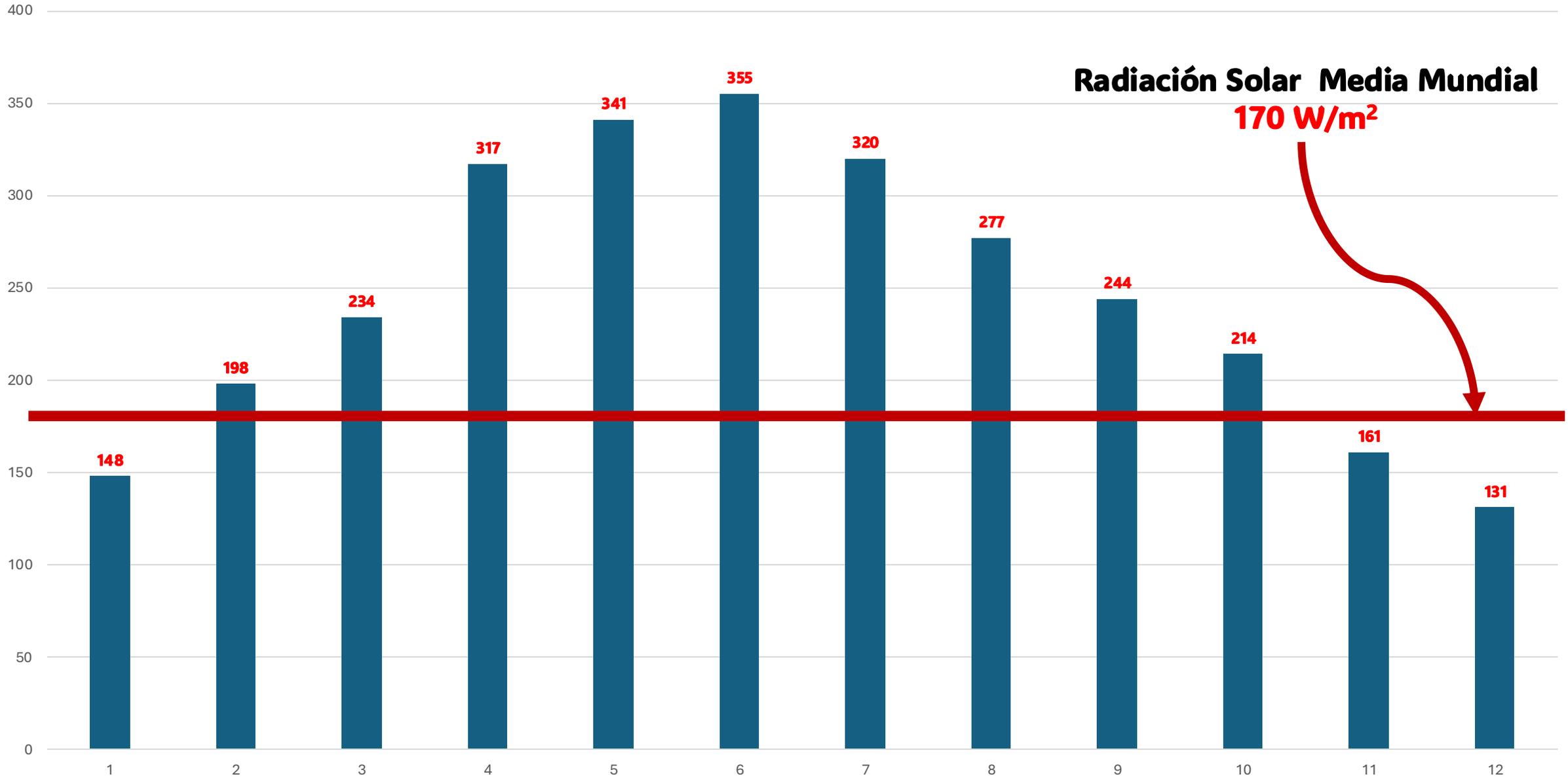




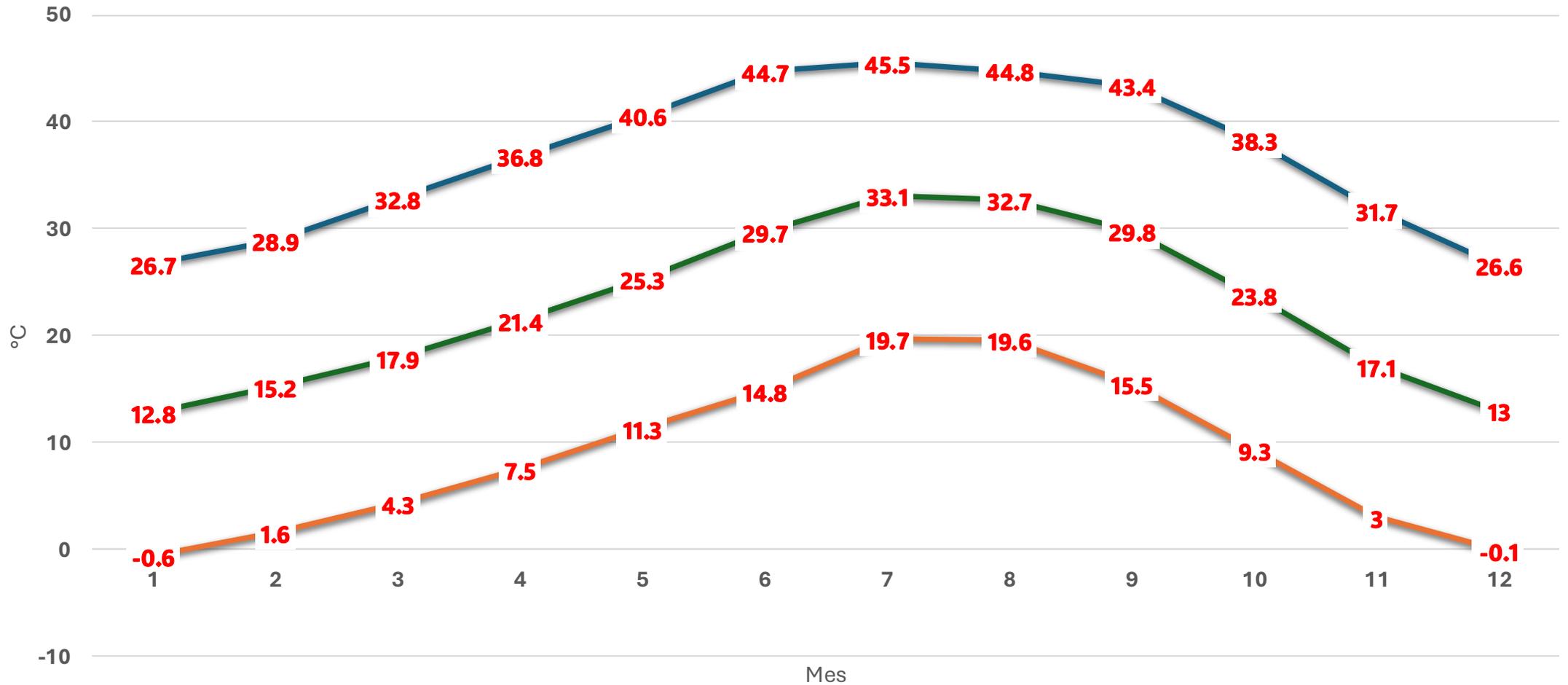
**BASE DE DATOS**  
**(Parámetros)**

1. Radiación solar promedio
2. Temperatura del suelo (15 cm) promedio
3. Temperatura máxima, mínima y promedio del aire.
4. Presión de vapor promedio.
5. Velocidad y dirección del viento promedio
6. Precipitación total
7. Humedad relativa (máxima, mínima y promedio).
8. Evapotranspiración total
9. Temperatura Punto de Rocío

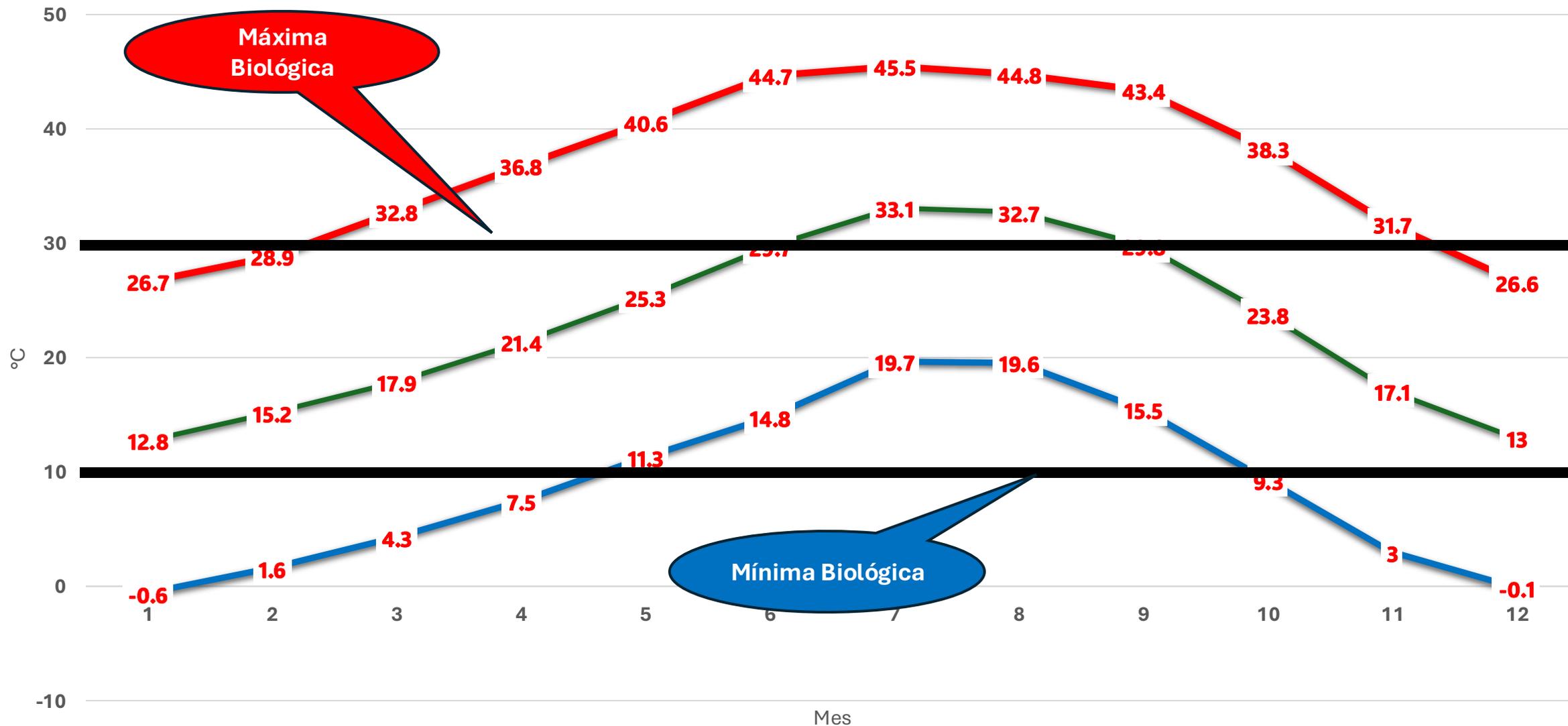
# Registro de Radiación Solar (W/m<sup>2</sup>) Valle Imperial y Mexicali. 2023



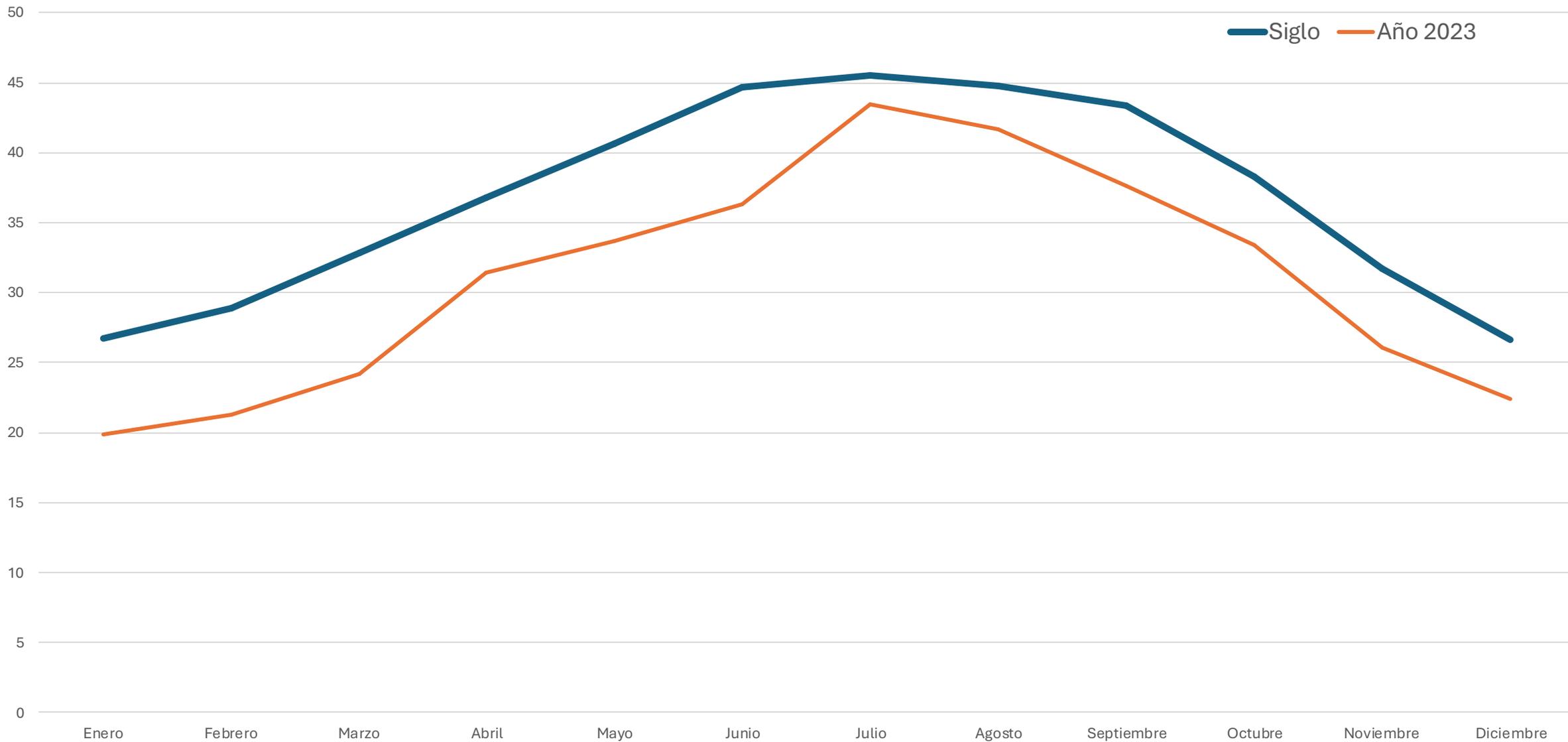
# Registro de temperaturas Valle Mexicali, Imperial Valley, CA. Periodo 1912 a 2022



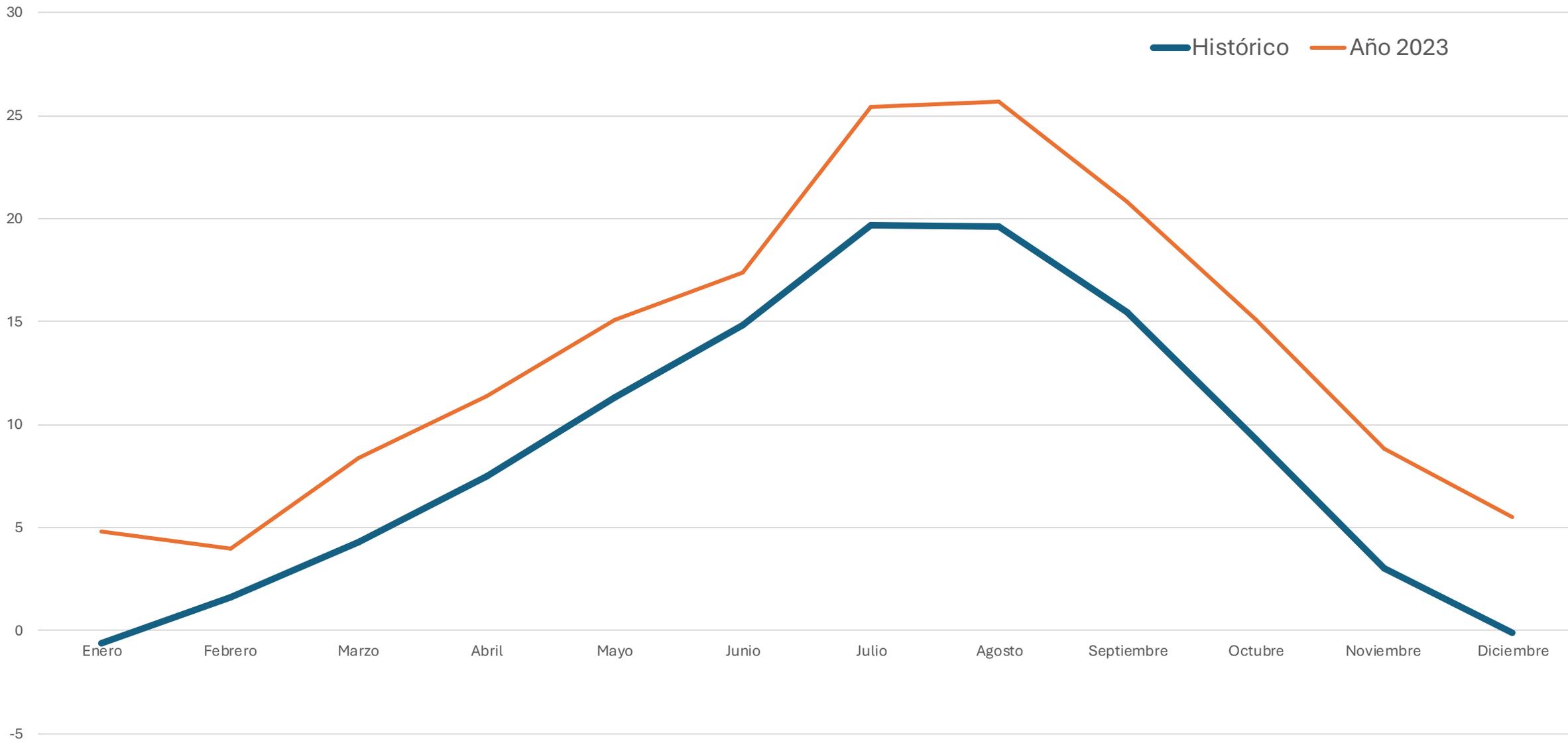
# Registro de temperaturas Valle Mexicali, Imperial Valley, CA. Periodo 1912 a 2022



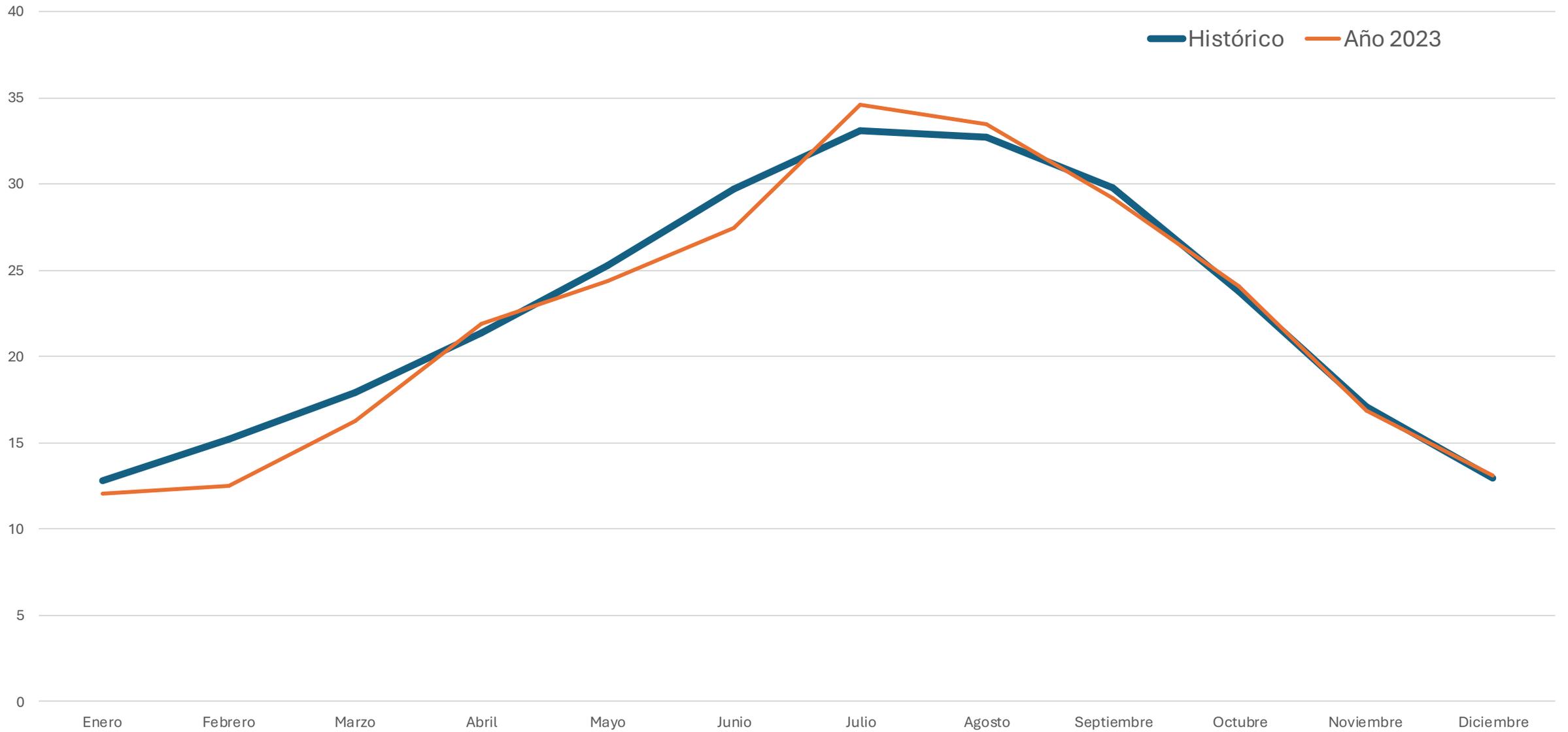
# Temperatura máxima siglo vs 2023. Valle Mexicali e Imperial

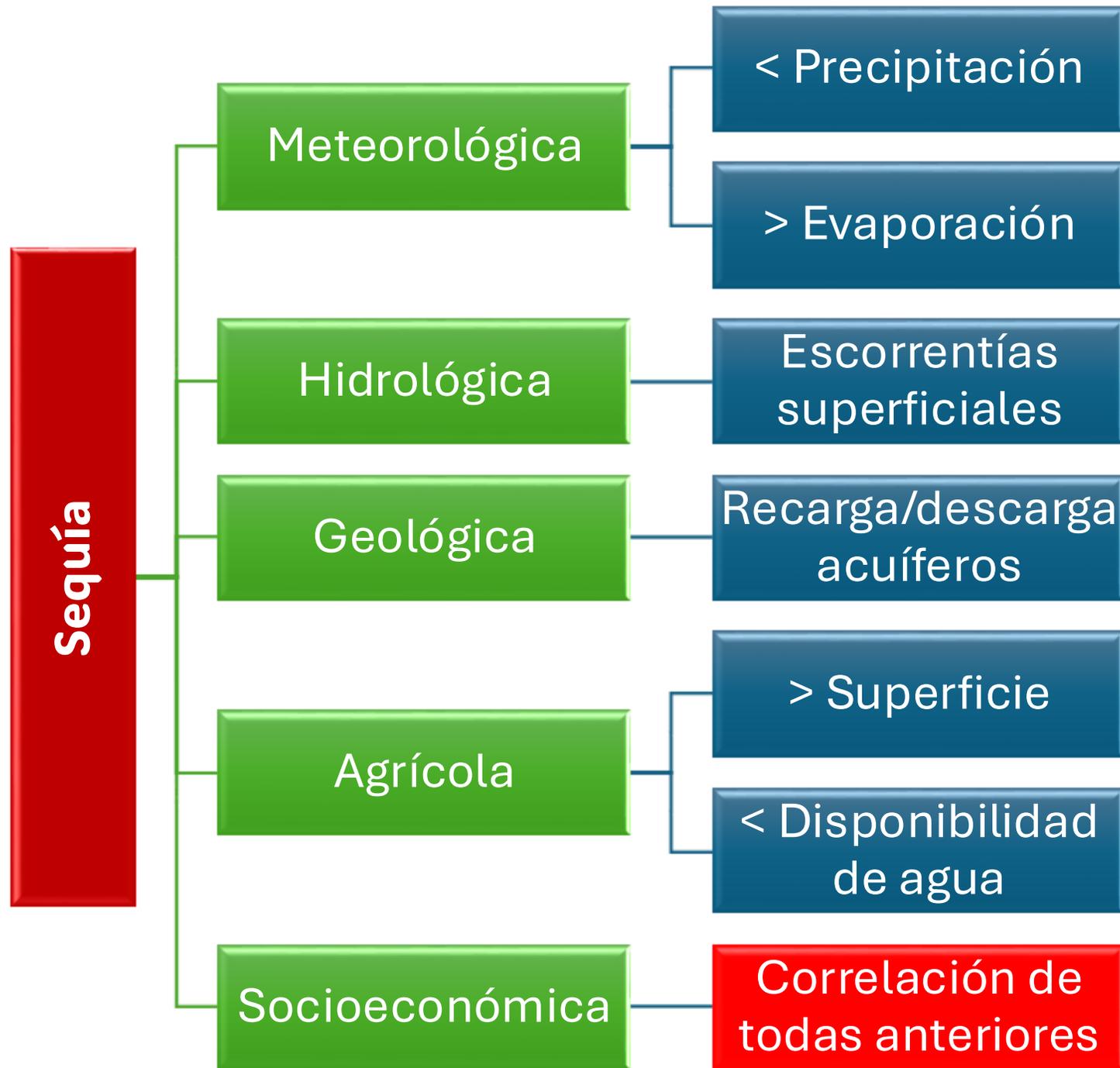


# Temperatura mínima siglo vs 2023. Valle Mexicali e Imperial

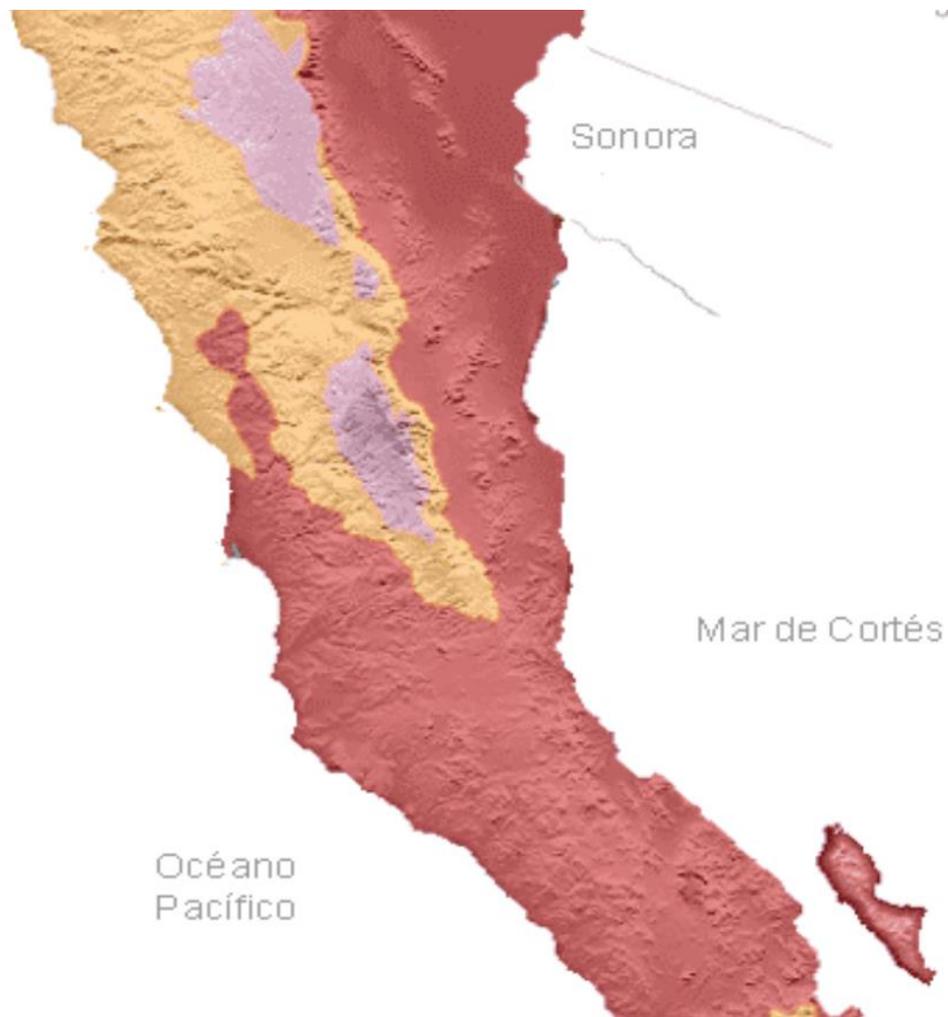


# Temperatura media Siglo vs 2023





# Climatología Baja California



	Muy seco	69%*
	Seco y semiseco	24%*
	Templado subhúmedo	7%*

\*Referido al total de la superficie estatal.  
FUENTE: INEGI. Carta de Climas, 1:1 000 000.

¿El Desafío?

**“La imprevisibilidad”  
Del Clima**

Variabilidad climática  
Global, Regional y Local



¿Porqué es importante  
Conocer las necesidades  
Hídricas de los cultivos?



**USO CONSUNTIVO**

# La gran interrogante

¿Cuánta agua necesitan los  
cultivos?

**Demanda hídrica**

**Uso Consuntivo (UC)**



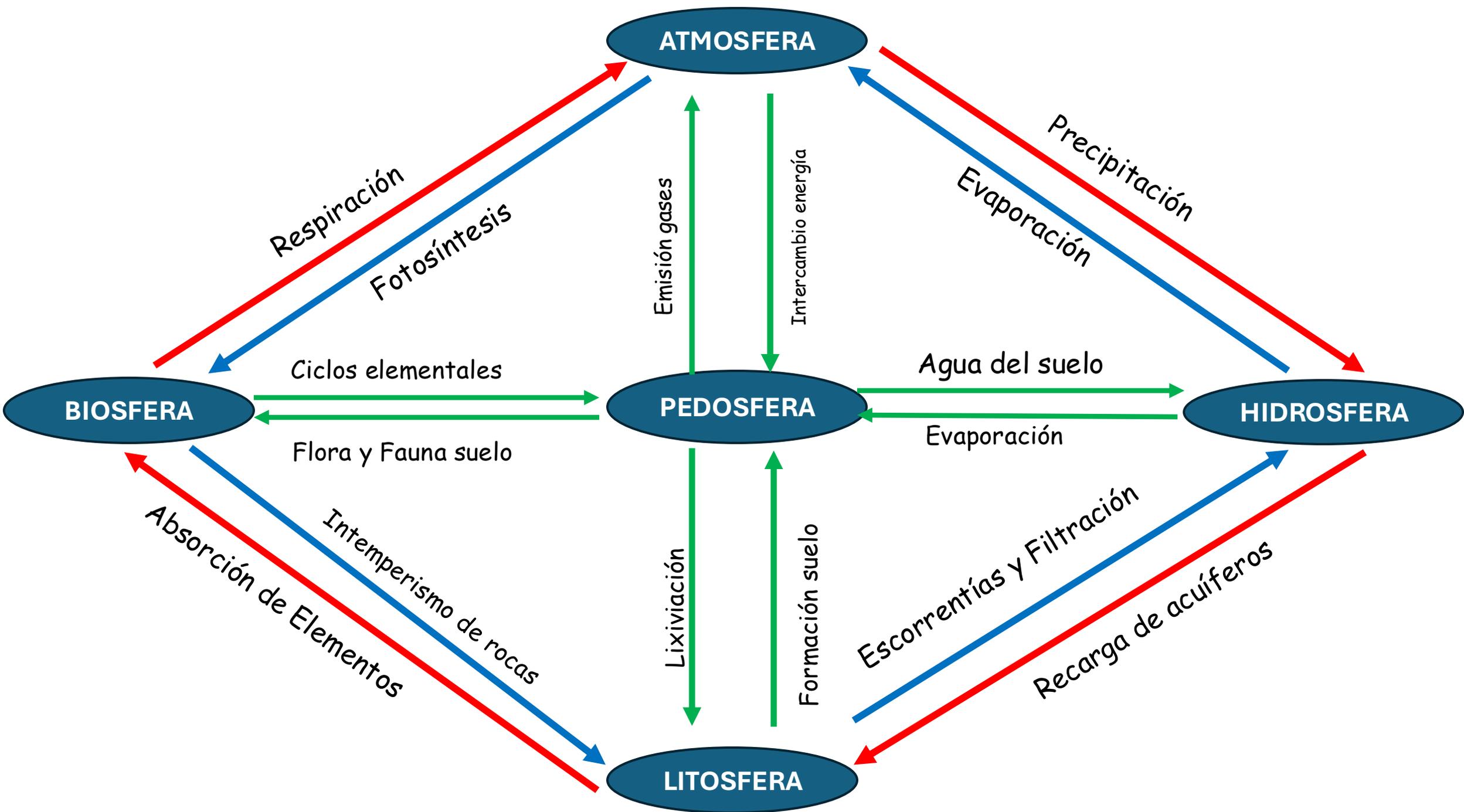
# Necesidades hídricas de los cultivos

Medición

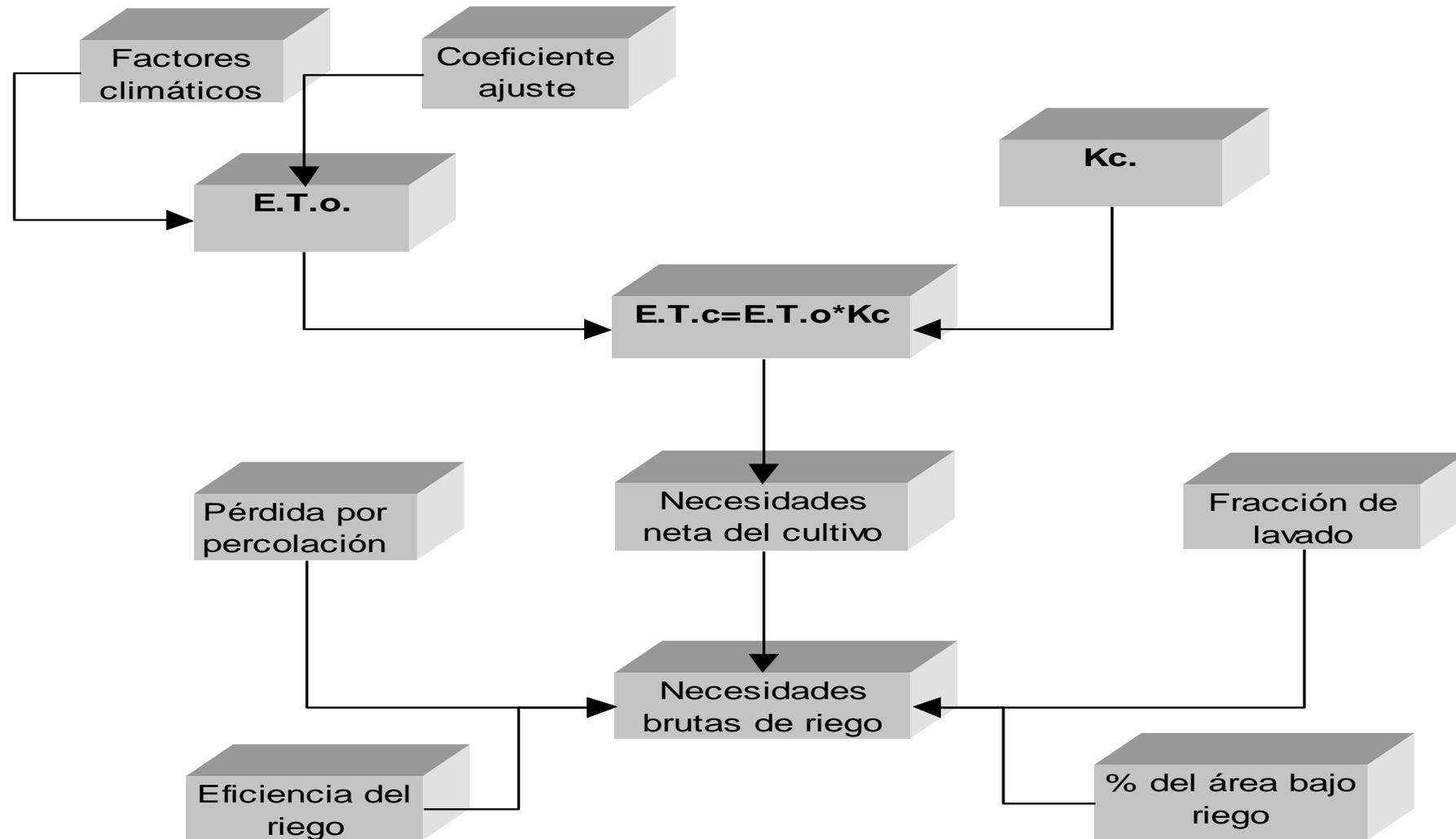
Datos  
climatológicos

Contenido  
agua del suelo

Indicadores  
en planta



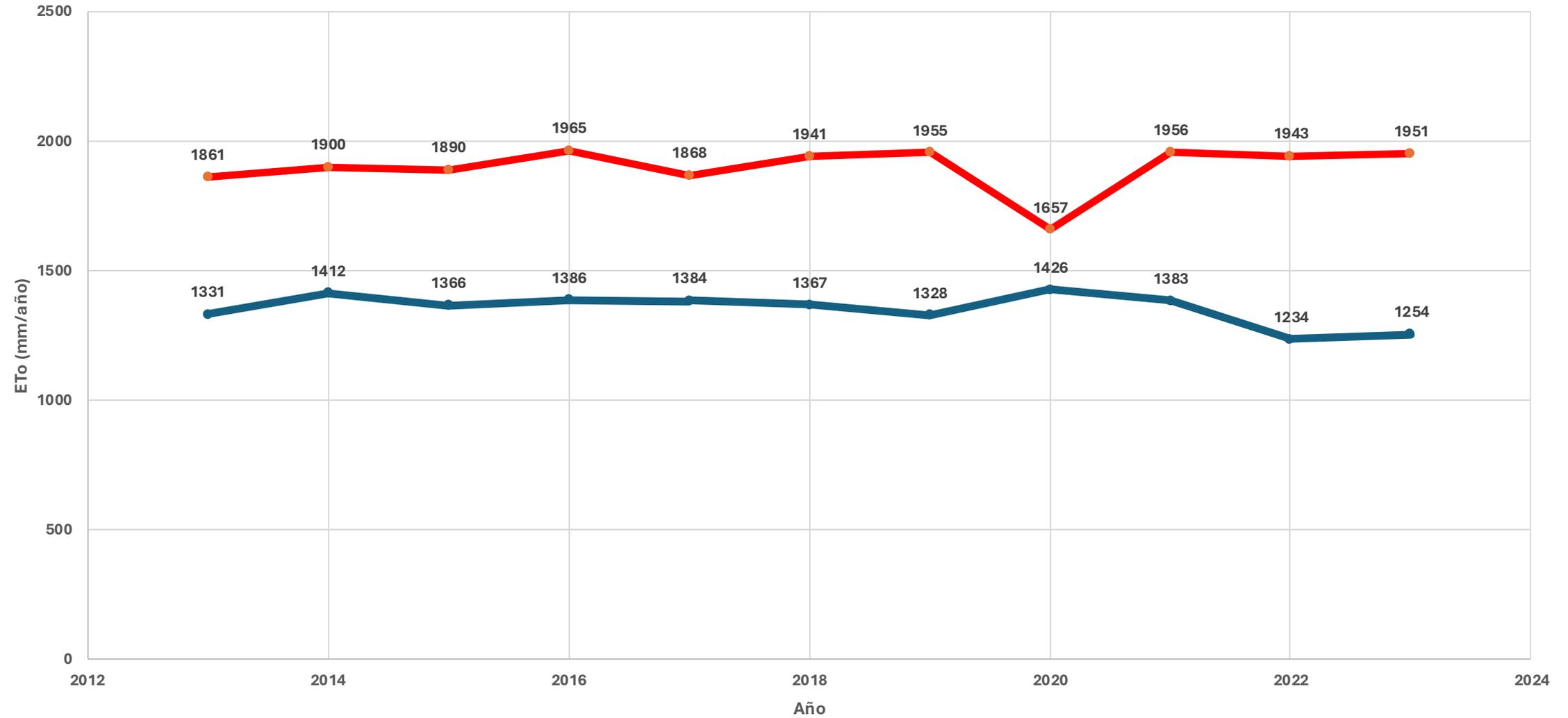
# Cálculo según parámetros climáticos



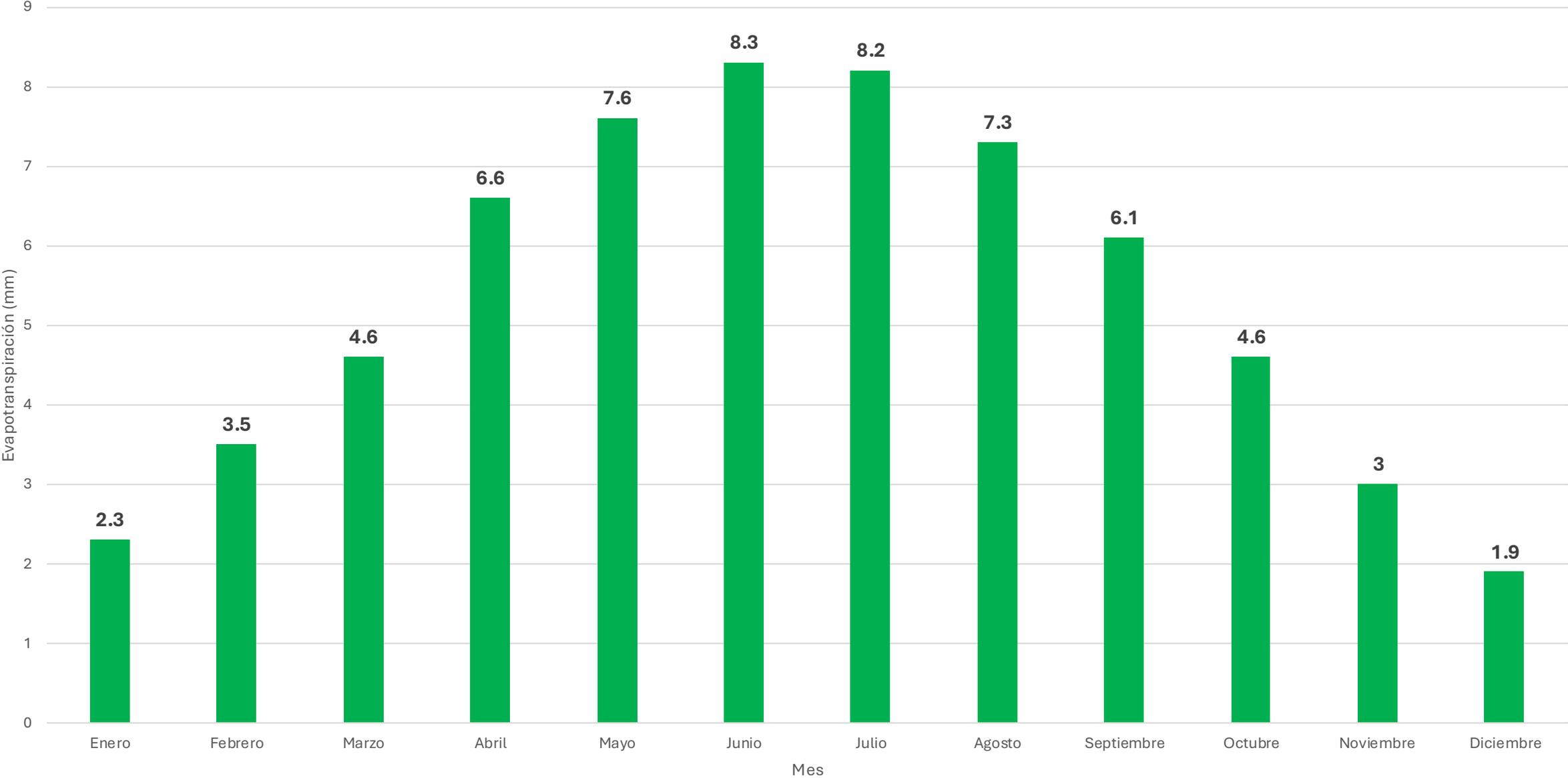
# Registro anual de ETo (mm) valles Imperial y Mexicali



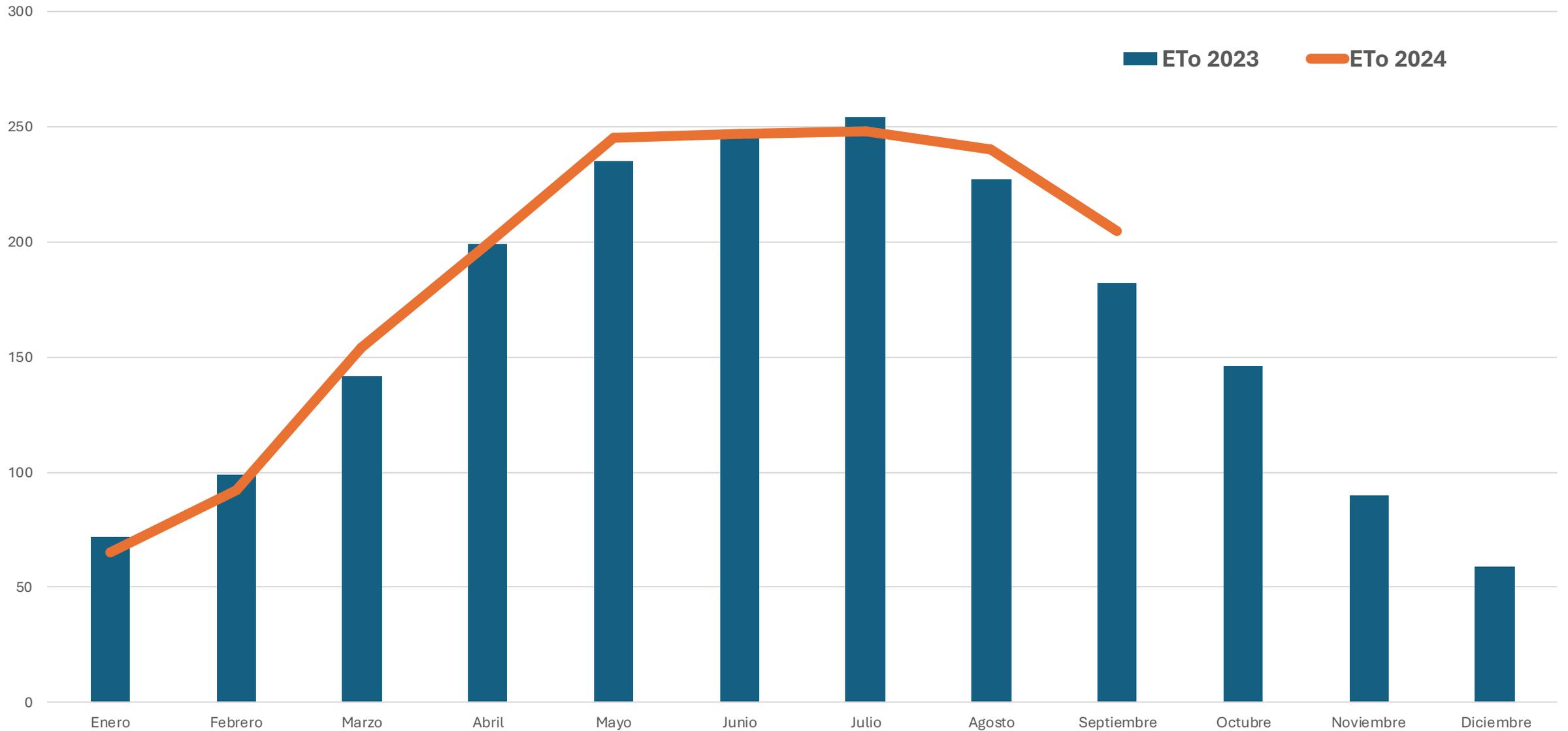
## Registro Histórico Evapotranspiración anual. Zona Costa. Periodo 2013 a 2023

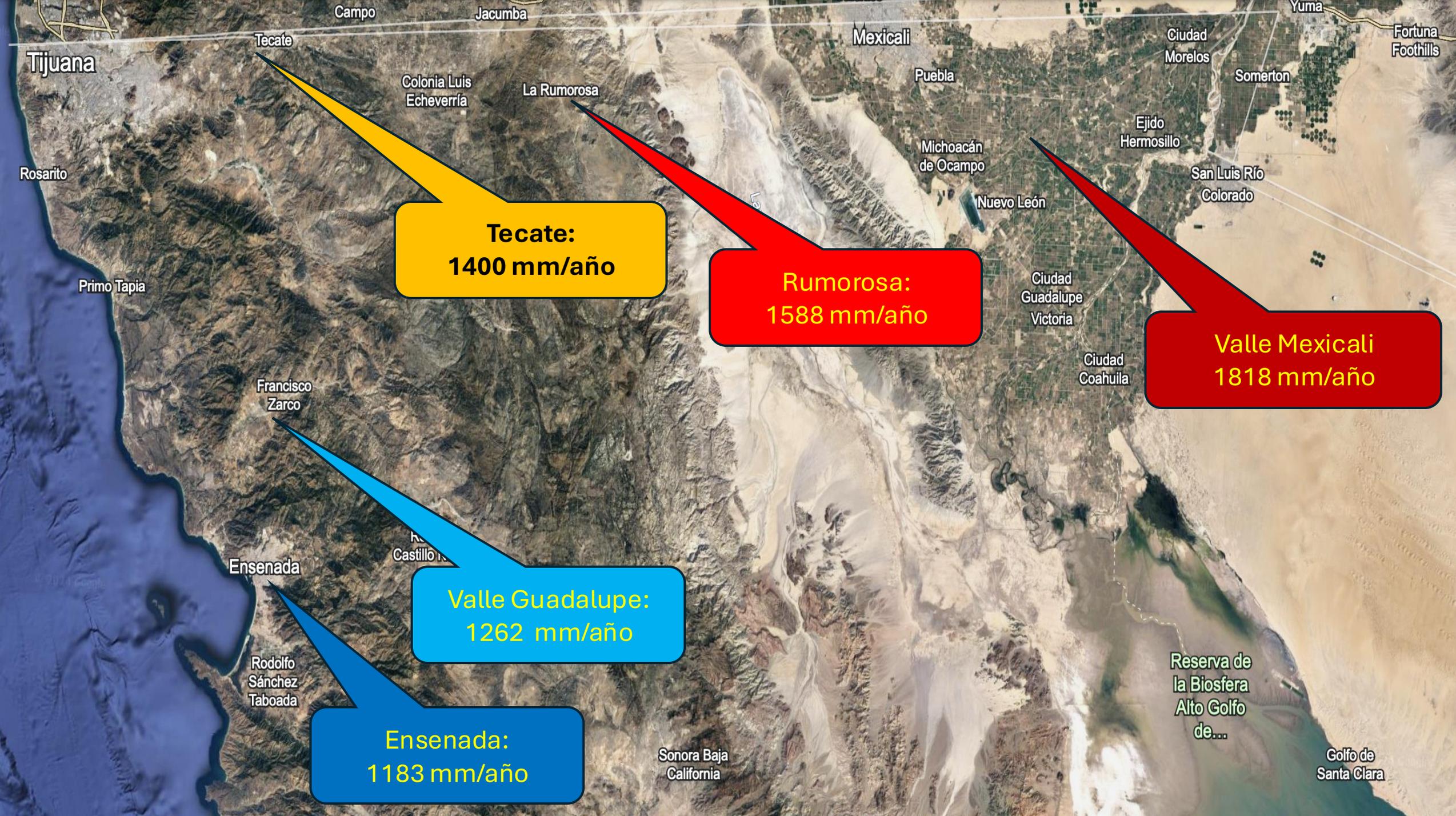


# Evapotranspiración (mm por mes) Valle Mexicali e Imperial



## Registro mensual de Evapotranspiración (mm). Valle Mexicali e Imperial 2023 y 2024





Tijuana

Tecate

Campo

Jacumba

Mexicali

Ciudad Morelos

Somerton

Fortuna Foothills

Rosarito

Colonia Luis Echeverría

La Rumorosa

Puebla

Michoacán de Ocampo

Nuevo León

Ejido Hermosillo

San Luis Río Colorado

Primo Tapia

Francisco Zarco

Rumorosa:  
1588 mm/año

Valle Mexicali  
1818 mm/año

Ensenada

Castillo

Valle Guadalupe:  
1262 mm/año

Rodolfo Sánchez Taboada

Ensenada:  
1183 mm/año

Sonora Baja California

Reserva de la Biosfera Alto Golfo de...

Golfo de Santa Clara

# Cambio Climático



**Obliga a generar nuevos  
conocimientos en el manejo del suelo  
y agua**

# Factores limitantes críticos en la agricultura de zonas áridas

**Agua**

**Manejo del Riego**

**Suelo**

**Variación de la humedad**

**Nitrógeno**

**Exceso / deficiencia**

**Genética de Plantas**

**Nuevas variedades**

URBANA

INDUSTRIAL

## Guerra por el agua

AGRÍCOLA

**Presión = 84%**

ECOLOGICA

La  
actividad  
agrícola  
depende  
de:

---

**El clima**

---

**El tiempo**

---

**La disponibilidad de agua**

---

**Los desastres relacionados con la clima y el tiempo afectan negativamente a la producción agrícola.**

# Objetivos de la Agricultura

**Vender productos**

**Es una actividad  
económica**

**NO, es solo poesía**

**Todas las acciones  
deben dirigirse hacia "LA  
COMPETITIVIDAD"**



# Cambio Climático



**Está modificando los Sistemas de  
Producción en la Agricultura**

# La escasez de agua implica mayor eficiencia

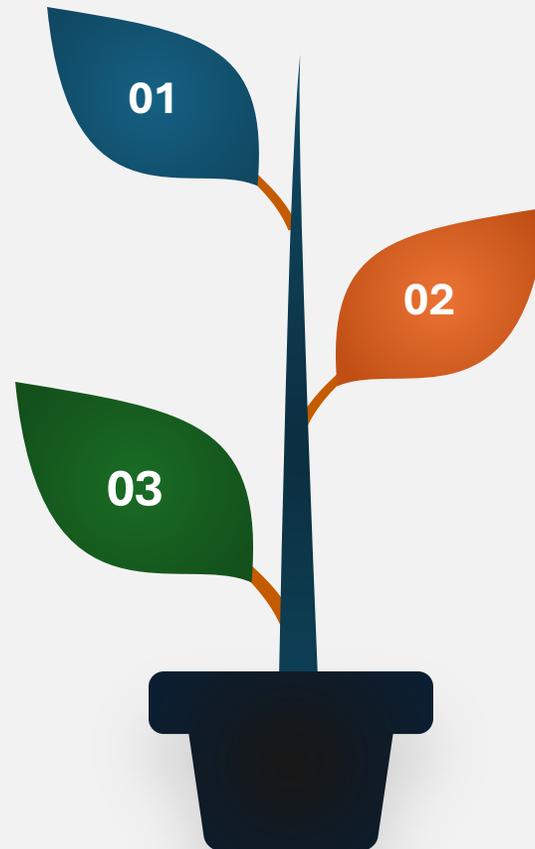
Desafío: "SEGURIDAD ALIMENTARIA"

## AGRONÓMICA

Insumos/Respuesta  
Mayor Productividad

## AMBIENTAL

Menos emisiones  
Impacto a Corto, Mediano y Largo  
Plazo



## ECONÓMICA

Costo/Beneficio e Ingreso  
neto  
Mayor resiliencia

# Indicadores de Eficiencia y Productividad



**Índice de Productividad del Agua  
(IPA)**

# **Productividad**

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Cantidad de Producto (Físico, económico o social)}}{\text{Unidad de Agua}}$$

# **Productividad**

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Cantidad de Agua}}{\text{Unidad de producto}} \\ \text{(Físico, económico o social)}$$

# Indicadores Eficiencia y Productividad

**Tabla 1.**

Indicadores de eficiencia y productividad física ( $Y_1$  y  $Y_2$ ), económica ( $Y_3$  a  $Y_6$ ) y social ( $Y_7$  a  $Y_{11}$ ) del agua de riego por gravedad en trigo grano (*Triticum vulgare*) en Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California.

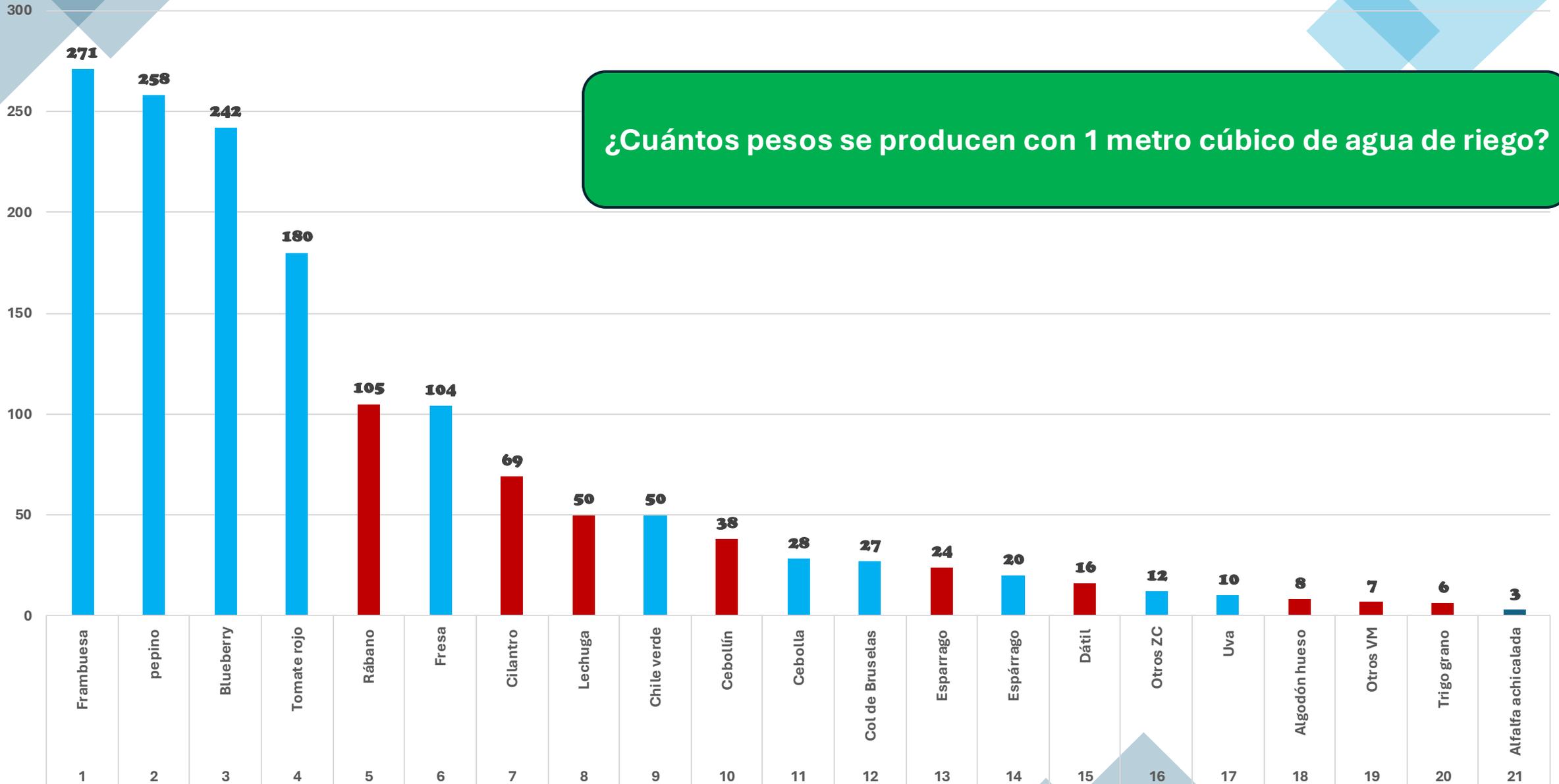
<b>Variable económica</b>	<b>Ensenada</b>	<b>Valle de Mexicali</b>	<b>Baja California</b>
$Y_1$ = m <sup>3</sup> de agua por kilogramo	3.113	1.498	1.498
$Y_2$ = kilogramos/m <sup>3</sup> de agua	0.321	0.668	0.667
$Y_3$ = m <sup>3</sup> de agua por \$1 de ingreso bruto	1.100	0.419	0.419
$Y_4$ = Ingreso bruto/m <sup>3</sup> de agua	0.91	2.39	2.38
$Y_5$ = Utilidad bruta/m <sup>3</sup> de agua	- 1.51	- 0.03	- 0.03
$Y_6$ = m <sup>3</sup> de agua por \$1 de utilidad bruta	- 0.662	- 29.89	- 29.090
$Y_7$ = Utilidad bruta por m <sup>3</sup> /Precio del m <sup>3</sup> de agua al productor	- 8.13	- 0.18	- 0.18
$Y_8$ = Empleos generados por hectómetro	0.025	0.025	0.025
$Y_9$ = Horas de trabajo invertidas por tonelada	18.27	8.79	8.79
$Y_{10}$ = Ganancia a nivel regional por trabajador	- 592 998	- 13 135	- 13 496
$Y_{11}$ = Ganancia/hora invertida de trabajo	-257.4	-5.7	-5.9
$Y_{12}$ = Punto de Equilibrio (ton ha <sup>-1</sup> )	8.27	6.55	6.55
$Y_{13}$ = Vulnerabilidad crediticia (=Rendimiento físico por ha/ $Y_{12}$ )	0.38	0.99	0.99

Fuente: Elaboración propia, con base en cifras del SIAP (2012) y FIRA (2012).

Cultivos	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Valor de la producción (Miles de pesos)	Requerimiento de agua (M3/Ha)	Demanda de agua total (Miles de M3)	Valor por metro cúbico (pesos)
<b>VALLE DE MEXICALI</b>							
Cebollín	5,581	5,581	90,245	1,602,567	7,500	41,858	38
Algodón hueso	13,631	13,334	62,670	960,289	9,380	127,859	8
Trigo grano	42,350	39,112	261,581	1,836,561	7,001	296,492	6
Alfalfa achicalada	40,898	40,646	715,370	2,430,754	19,616	802,255	3
Espárrago	1,516	1,516	13,644	839,964	22,715	34,436	24
Lechuga	2,325	2,323	55,752	485,377	4,143	9,632	50
Cilantro	2,007	2,007	33,457	413,759	3,000	6,021	69
Dátil	1,951	996	8,337	598,696	18,700	36,484	16
Rábano	242	242	9,680	107,061	4,200	1,016	105
Otros	34,940	34,628		1,801,102		259,426	7
<b>TOTAL</b>	<b>145,441</b>	<b>140,385</b>		<b>10,976,130</b>		<b>1,615,479</b>	<b>7</b>
<b>ZONA COSTA</b>							
Tomate rojo	1,755	1,750	111,790	2,525,113	8,000	14,040	180
Fresa	3,103	3,100	118,327	4,532,145	14,000	43,442	104
Frambuesa	1,843	1,730	32,178	4,141,332	8,300	15,297	271
Pepino	1,001	1,000	80,350	1,625,265	6,300	6,306	258
Blueberry	480	342	6,029	1,511,519	13,000	6,240	242
Uva	4,343	4,203	24,630	605,937	13,680	59,412	10
Espárrago	1,011	990	7,989	374,789	19,000	19,209	20
Chile verde	1,411	1,399	51,707	493,156	7,000	9,877	50
Col de bruselas	184	184	3,557	40,237	7,992	1,471	27
Cebolla	2,206	1,001	56,827	502,917	8,000	17,648	28
Otros	13,736	12,410		386,230		33,407	12
<b>TOTAL</b>	<b>31,073</b>	<b>28,109</b>		<b>16,738,641</b>		<b>226,349</b>	<b>74</b>
<b>TOTAL ESTATAL</b>				<b>27,714,771</b>		<b>1,841,829</b>	<b>15</b>

# Indice Productividad Agua DDR-02. Valle Mexicali y DDR-01. Zona Costa

¿Cuántos pesos se producen con 1 metro cúbico de agua de riego?



# Los Agricultores/Productores han reconocido

## Las ventajas de tener información meteorológica:

- Oportuna
- En Tiempo real

## Para la toma de decisiones

- Planeación
- Operación

De sus actividades agropecuarias.

# Beneficios de usar SIMARBC

**Acceso a datos meteorológicos reales**

**Uso de datos meteorológicos históricos para  
diseñar calendarios de riego**

**Calendario de riego (cuanta y cuando).**

**Ayuda a gestionar el Uso Eficiente del Agua  
(UEA)**

**Evitar el estrés hídrico en planta.**

**Evitar reducciones en el rendimiento.**

## Necesidades Hídricas de Los Principales Cultivos en el Estado de Baja California



Sergio De Carlo Guzmán Ruiz  
Cesar Valenzuela Solano  
Pedro Félix Valencia  
Arturo Jiménez Trejo  
Salvador Ruiz Carvajal

CENTRO DE INVESTIGACION REGIONAL DEL NOROESTE  
CAMPO EXPERIMENTAL VALLE DE MEXICALI

Folleto Técnico No. 13

Septiembre de 2008

## Sistema de Información Para el Manejo del Agua de Riego en el Estado de Baja California

### SIMARBC



Sergio De Carlo Guzmán Ruiz  
Arturo Jiménez Trejo  
Salvador Ruiz Carvajal

CENTRO DE INVESTIGACION REGIONAL DEL NOROESTE  
CAMPO EXPERIMENTAL VALLE DE MEXICALI , NOVIEMBRE 2009  
Folleto Informativo No. 1 ISBN 978-607-425-195-1

# Primero que nada

Adaptación y Mitigación

# Información climática para trigo de invierno bajo riego



Información climática

Toma de decisiones sobre prácticas agrícolas

Tiempo

## Pronósticos mensuales a 3 meses

- Lluvia acumulada (mm)
- T mínima (°C)
- T máxima (°C)
- Pronóstico horas frío

## Índices agroclimáticos (Monitoreo)

- Horas frío
- Grados días desarrollo (GDD)
- Evapotranspiración (ET<sub>o</sub>)
- Demanda de agua (ET<sub>o</sub> x K<sub>c</sub>)
- Estrés térmico (días)

## Pronósticos climáticos a 7 días

- Lluvia acumulada (mm)
- T min, T<sub>max</sub> (°C)
- Humedad relativa (%)
- Luz solar (horas sol/día)
- Velocidad del viento (km/h)



Fecha de siembra  
Selección de variedad de cultivo  
Densidad de siembra



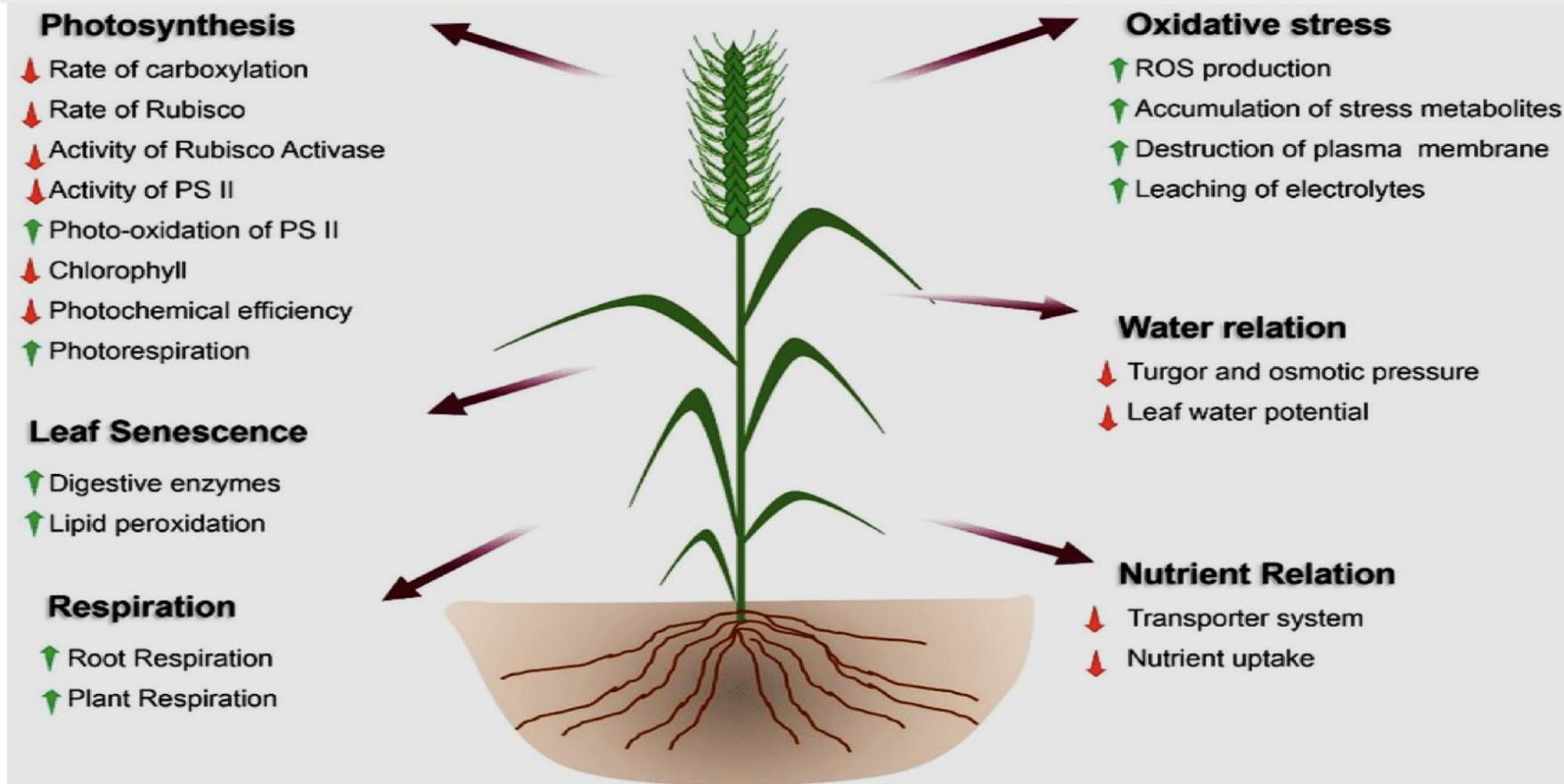
Estimación etapas de desarrollo  
Aplicación agua de riego  
Control plagas y enfermedades  
Estimación de madurez  
Estimación de cosecha

Previo a la siembra

Durante el ciclo de cultivo



## Effect of heat stress on the wheat



The upward arrow means increase, and the downward arrow means decrease



# Effect of heat stress on the wheat



## Heat Stress in grain number and weight

- ☀ Reduce spikelet and grains per spike
- ☀ Reduce fertility of ovule
- ☀ Extreme effects on grain numbers during floral initiation

## Heat Stress in reproductive stages

- ☀ Alter spikelet production
- ☀ Insufficient assimilated supply
- ☀ Reduce sink size
- ☀ Floret abortion
- ☀ Pollen sterility
- ☀ Reduce starch content in the grain

## Heat Stress in the Vegetative Stage

- ☀ Harm photosynthetic machinery
- ☀ Reduce tillering
- ☀ Advanced flowering
- ☀ Reduce shoot and root
- ☀ Affect spikelet formation at double ridge stage



## Heat Stress in grain filling and grain filling rate

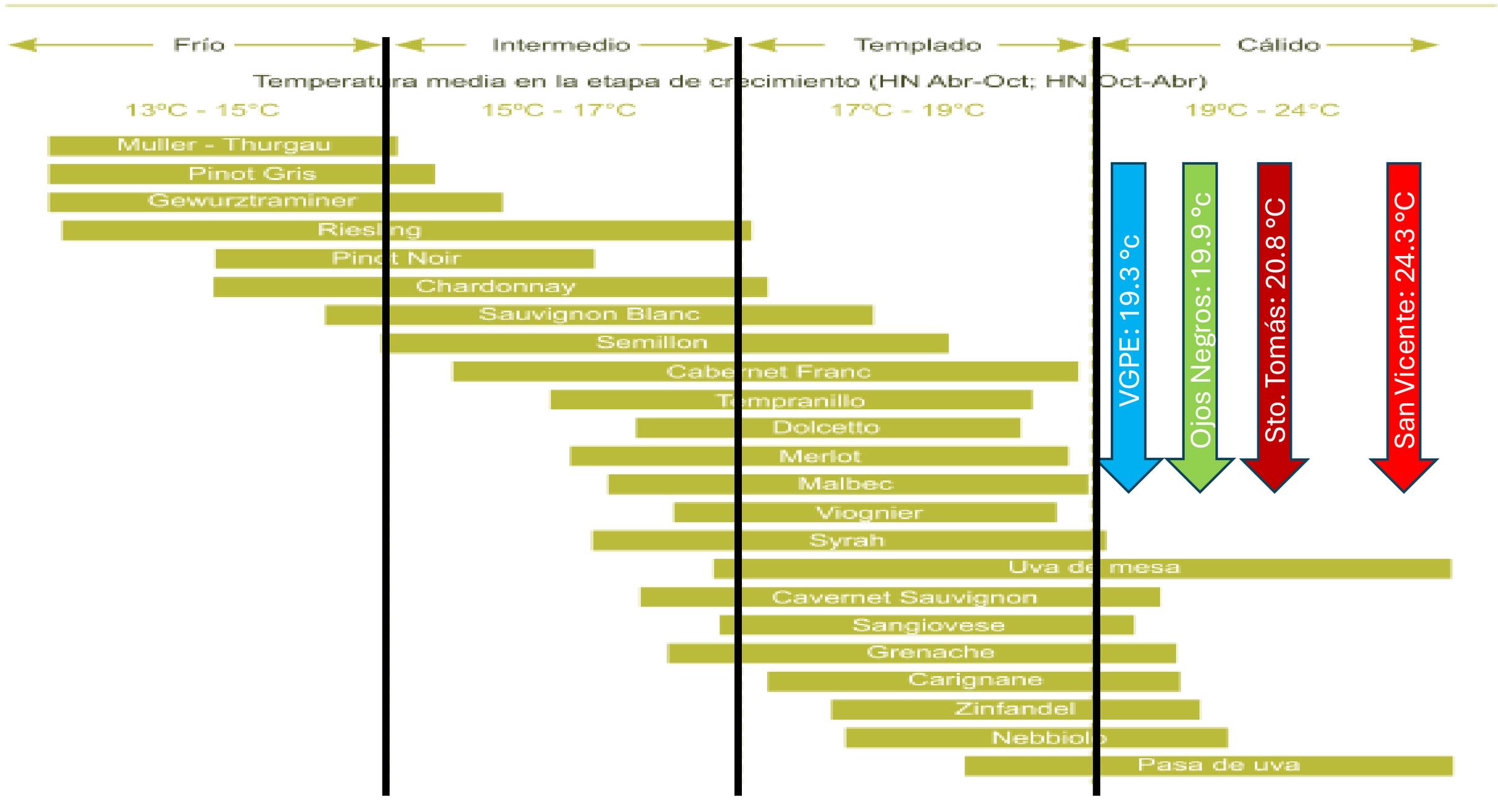
- ☀ Speed up the grain filling rate
- ☀ Decrease grain filling time
- ☀ Change in proteomics
- ☀ Rapid apoptosis
- ☀ Early harvest maturity
- ☀ Decrease grain weight
- ☀ Reduce the number of endosperm cells in grain

## Heat Stress in grain quality

- ☀ Slowing down the starch deposition process
- ☀ Increase in protein concentration
- ☀ Reduce glutenin synthesis
- ☀ Reduction in essential amino acids
- ☀ Tends to decrease flour consistency
- ☀ Decreases the swelling strength of wheat flour noodles
- ☀ Increases the broken grain

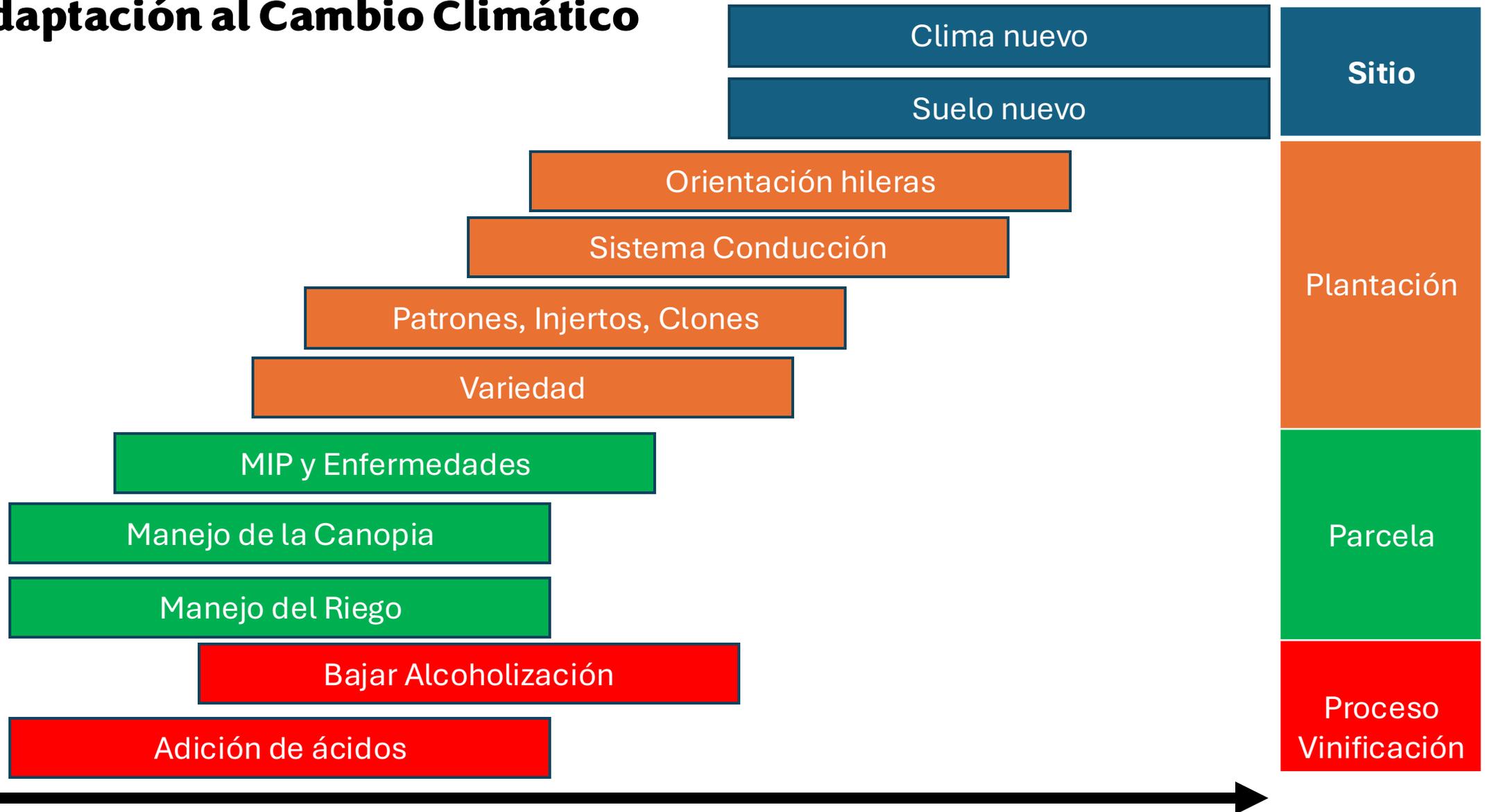
Source: Farhad et al., 2023

Ilustración 16: Relación entre parámetros de producción y calidad del vino, y parámetros climáticos



# Adaptación al Cambio Climático

Gran dificultad y Caro



Corto plazo

Grandes cambios de Temperatura

Largo plazo



¿Qué es el riego?

**Es la aplicación artificial de agua a los cultivos**

# **Regar no es echar agua al suelo**

Regar es un arte

- Empírico

Regar es ciencia

- Ingeniería de riego

# **La gestión del riego es compleja**

**No es fácil elaborar un calendario de riegos  
Debido a la variabilidad climática**

# Concepto agronómico del riego

```
graph LR; A[Concepto agronómico del riego] --- B[Se riega el suelo, No la planta]; A --- C[Se riega el perfil, No la superficie del suelo]; A --- D[Debe ser oportuno y con eficiencia]; A --- E[El volumen aplicado deber ser igual al consumido]; B --- F[Depende de las propiedades del suelo]; C --- G[Depende del volumen de suelo ocupado por las raíces]; D --- H[Depende de la técnica de aplicación, evitando excesos y deficits]; E --- I[Depende del requerimiento de la planta y de las condiciones climáticas];
```

Se riega el suelo,  
No la planta

Depende de las propiedades del  
suelo

Se riega el perfil,  
No la superficie del suelo

Depende del volumen de suelo  
ocupado por las raíces

Debe ser oportuno y con  
eficiencia

Depende de la técnica de  
aplicación, evitando excesos y  
deficits

El volumen aplicado deber ser  
igual al consumido

Depende del requerimiento de la  
planta y de las condiciones  
climáticas

# Objetivo del Riego

Producir la humedad adecuada en el suelo

- Constantes de humedad (CC, PMP)

Evitar el ensalitramiento

- Bulbo húmedo de las raíces.

# Objetivo del Riego

Evitar el estrés hídrico de cultivos

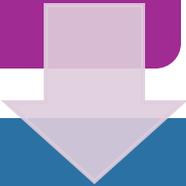
- Cubrir las necesidades hídricas

Evitar reducir el rendimiento

- Uso Eficiente del Agua (UEA)

# Criterios de aplicación de agua para riego

Lámina óptima (¿Cuánto?)

A light purple arrow pointing downwards from the first box to the second box.

Tiempo óptimo de aplicación (¿cuando?)

A light green arrow pointing downwards from the second box to the third box.

Formas de aplicación (¿cómo?)



La tendencia siempre es regar de más

# RESUMEN

Contar con el dato de demanda hídrica del cultivo permite:

Determinar los requerimientos de agua y riego de un cultivo.

Planificar los riegos y así satisfacer la demanda hídrica

Mejorar la eficiencia del uso del agua para riego.



# **Adaptar el riego a climas y localidades específicos**

1. Ahorro de agua, energía y dinero
2. Reducir los costos de mano de obra, pesticidas y fertilizantes.
3. Mejora de rendimientos de los cultivos (cantidad y calidad).
4. Mejora la apariencia y sanidad del paisajismo.
5. Reduce drenaje y escorrentías superficiales
6. Previene la contaminación de agua superficial
7. Previene la contaminación de aguas subterráneas (acuíferos).

# Tipos de Economía del agua

## Economía Lineal



## Economía Circular



# Problemática

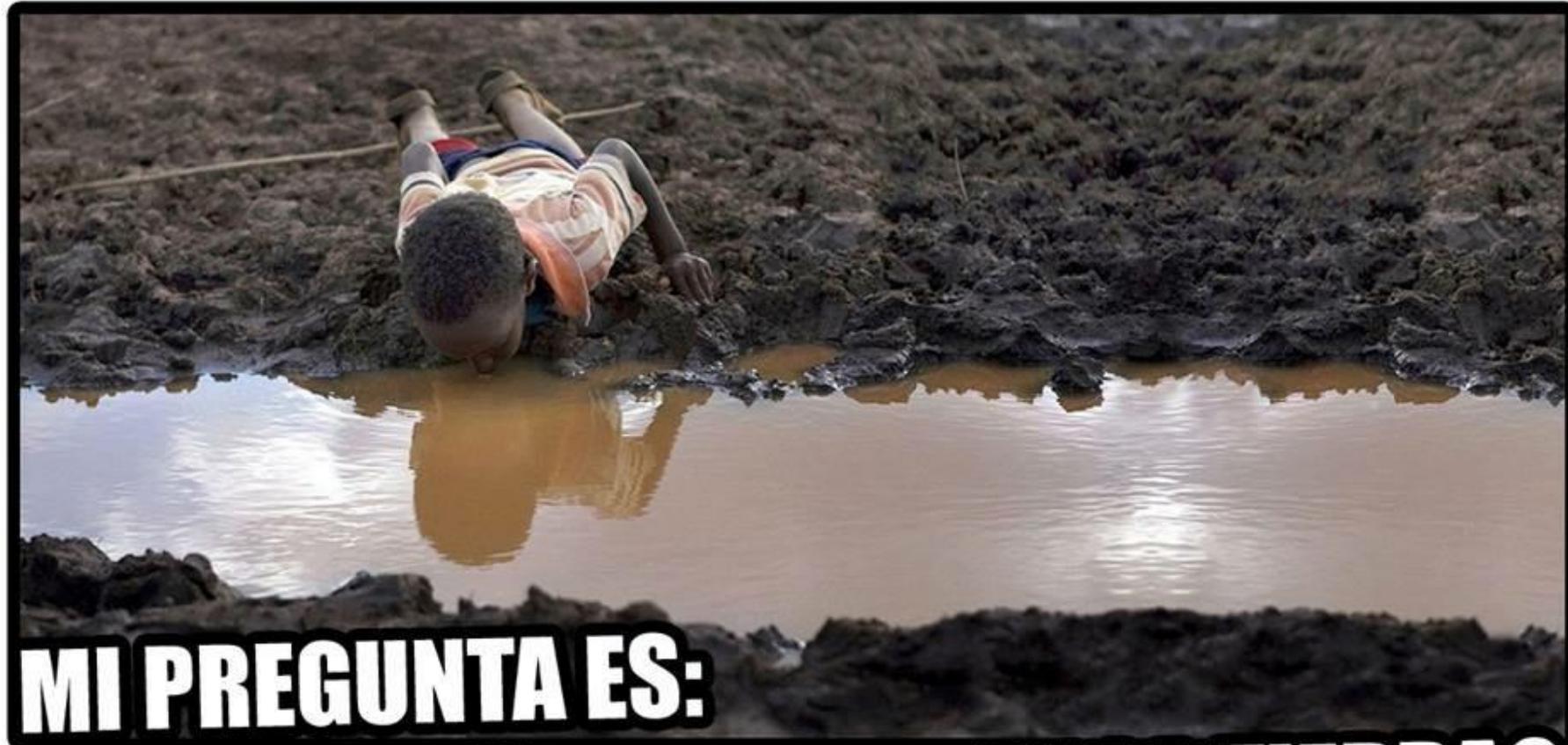
No contar con la suficiente capacitación.

Acceso a suficiente información requerida.

Promover la mitigación y adaptación al cambio climático.

Capacitar a los agricultores interesados.

**EL SER HUMANO NO TIENE DINERO  
PARA ABASTECER DE AGUA ZONAS ARIDAS  
PERO SI PARA BUSCAR AGUA EN MARTE**



**MI PREGUNTA ES:  
¿HAY VIDA INTELIGENTE EN LA TIERRA?**





Jesús Salvador Ruiz Carvajal



**¿Preguntas?  
Dudas  
¡Comentarios!**

Gracias por su atención...

[jruiz@uabc.edu.mx](mailto:jruiz@uabc.edu.mx)