



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



## Sexto Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas

COMEII- 2021 / Hermosillo, Sonora



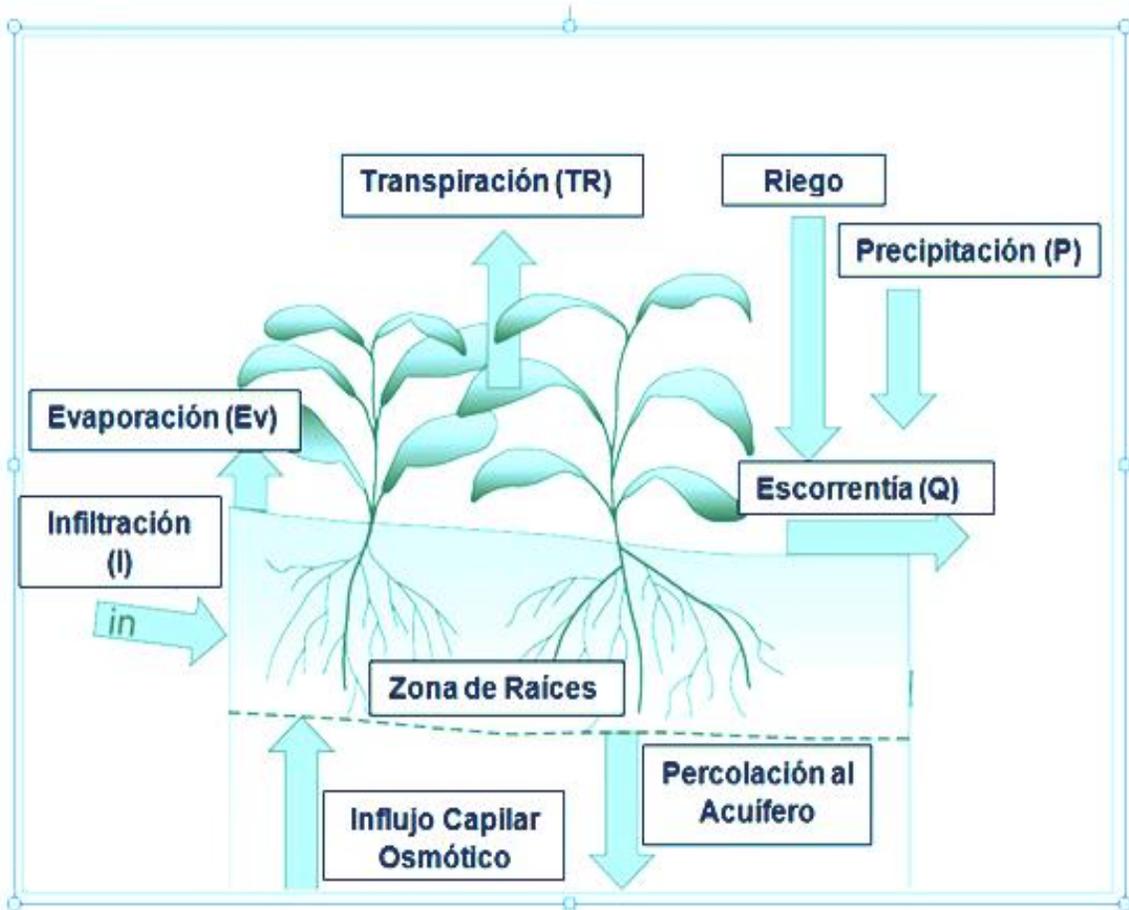
### ESTIMACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE RIEGO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO PRESURIZADOS EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, MÉXICO

Dr. José Luis L. Arellano Monterrosas

10 de junio de 2021



# El proceso de evapotranspiración en los cultivos



Para Hartfield y Fuchs (1990), la *evapotranspiración* (EVT) representa el agua que se pierde tanto de la superficie del suelo como de la vegetación. La evapotranspiración (EVT) es entonces, la transmisión de agua de la tierra a la atmósfera por procesos combinados de la evaporación de la superficie del suelo y la transpiración de las plantas (Wang y Dickinsol, 2012).

$$EVT = EV + T$$

EV.- La evaporación del suelo y el follaje.

T.- La transpiración (T).

EVT.- La evapotranspiración.

# El proceso de evapotranspiración en los cultivos



La *Evapotranspiración potencial* ( $EVT_p$ ) o *Evapotranspiración del cultivo de referencia* ( $EVT_o$ ) es la “la tasa al cual el agua, si está disponible puede removerse desde la superficie del suelo y la planta de un cultivo específico i.e. el cultivo de referencia” (Doorenbos y Pruitt (1991).

La *Evapotranspiración actual* ( $EVT_a$ ) es la evaporación del agua proveniente de la superficie del suelo o bien del agua libre sobre la superficie foliar y el agua que fluye a través de las estomas de las plantas; i.e. la transpiración (Hartfield y Fuchs, 1990). La *Evapotranspiración real* ( $EVT_r$ ) es la cantidad de agua perdida por el complejo suelo-planta, en las condiciones meteorológicas, edáficas y biológicas específicas (Segura y Ortíz, 2017).

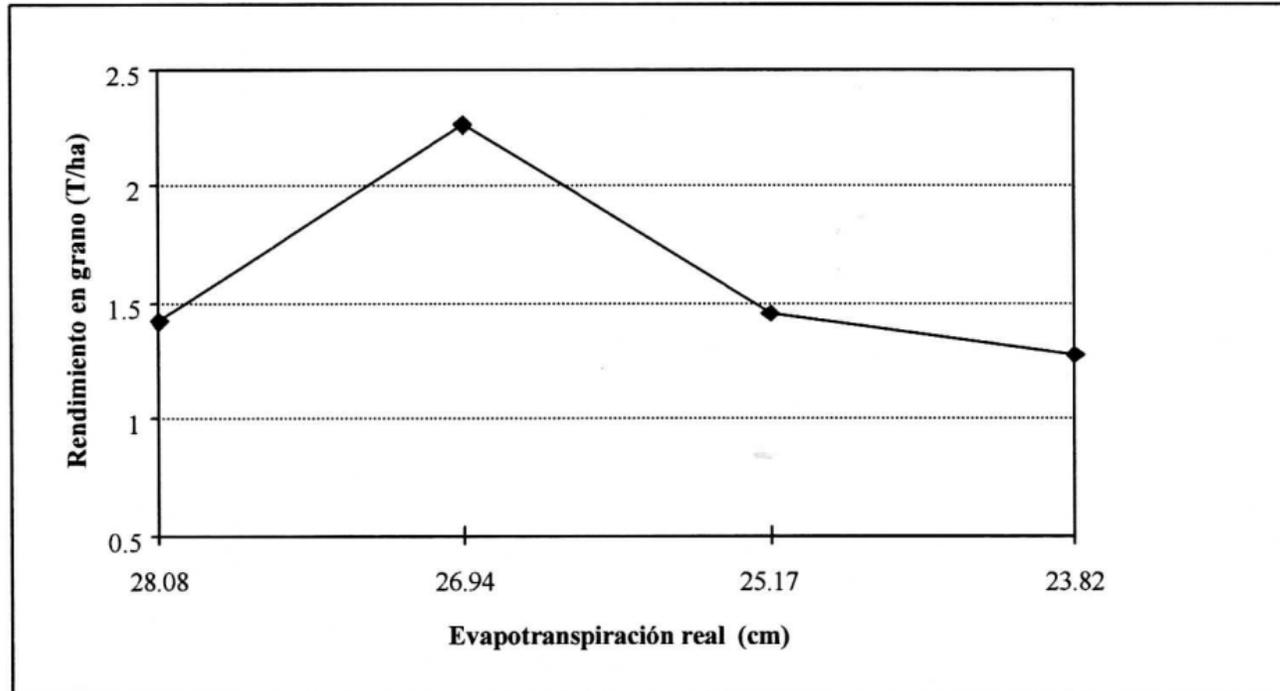
$$EVT_p = EVT_o$$

$$EVT_p = K_t * EV$$

$$EVT_a = EVT_r$$

$$EVT_a = K_c * K_s * EV_p$$

# La evapotranspiración y el rendimiento de los cultivos



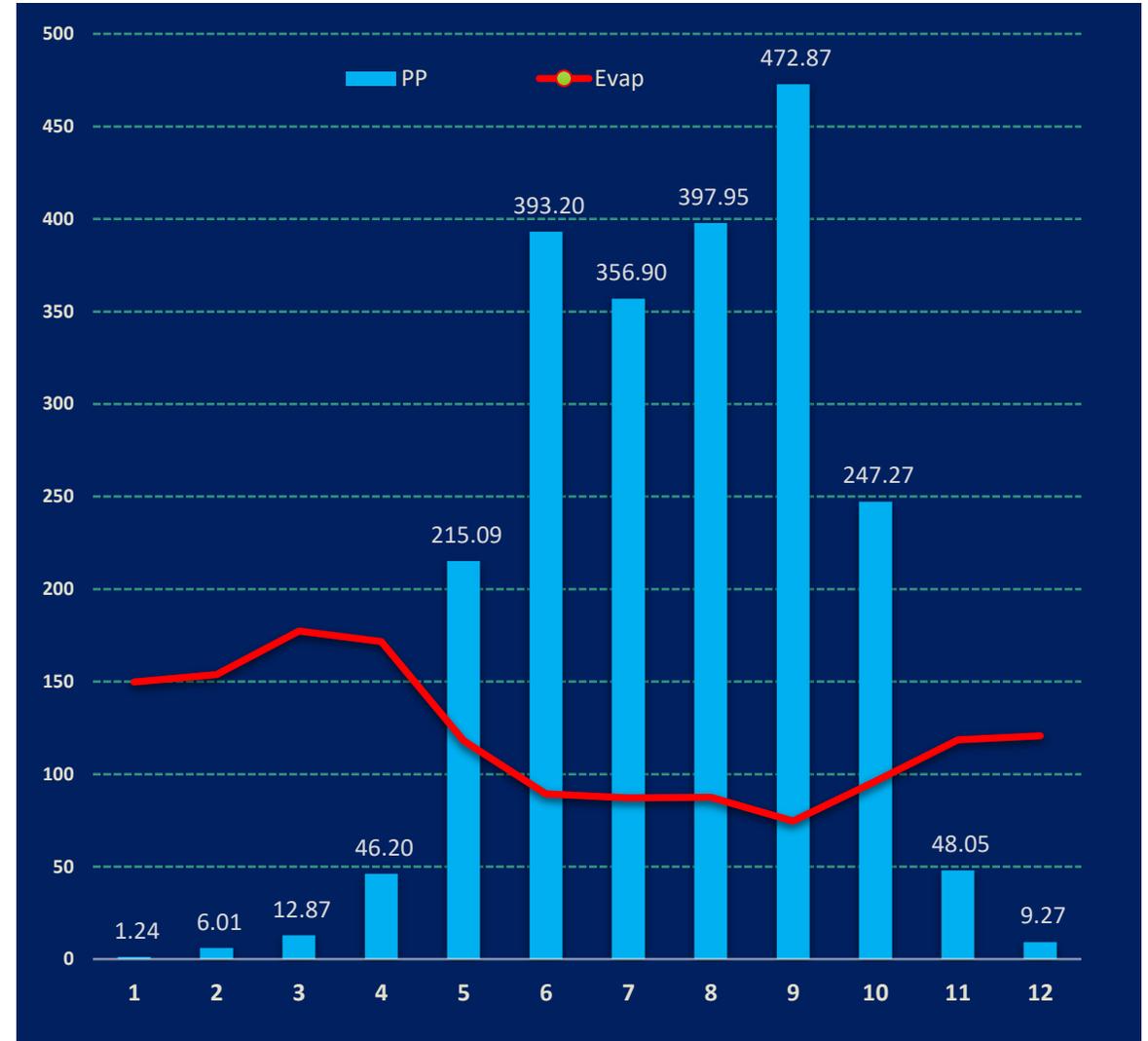
$$Y = 1677.992 - 198.402 \text{ EVT} + 7.80514 \text{ EVT}^2 - 0.10206 \text{ EVT}^3$$

$$Y_{\text{max}} = 2.263 \text{ T/Ha}; \text{ EVT} = 26.94 \text{ cm}; \text{ HAr} = 50\%$$

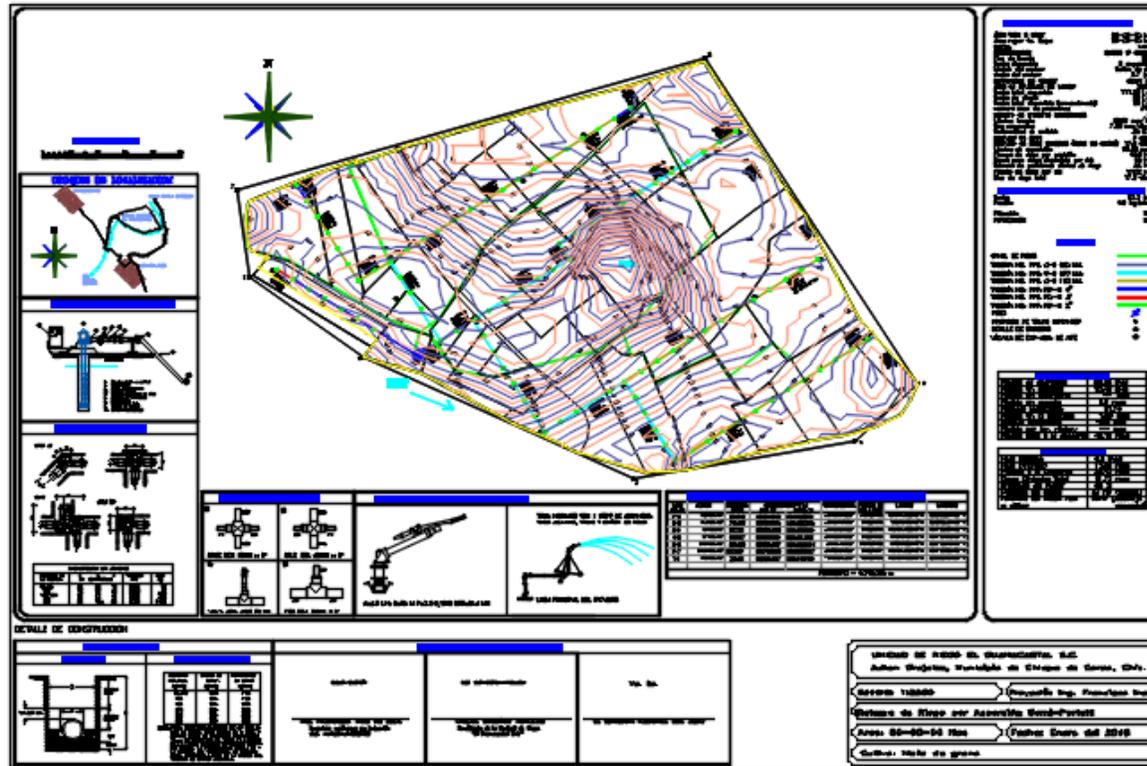
Productividad del agua: 1,190 litros/Kg

# El Requerimiento de riego (RR)

$$RR = EVTc - Prec$$



# Criterios de diseño en los sistemas de riego



Para el diseño de sistemas de conservación del suelo y agua, se considera la intensidad de precipitación máxima en mm/hora para periodos de retorno de 10 años para prácticas de carácter temporal y de 25 a 50 años para obras permanentes (CP, 1977).

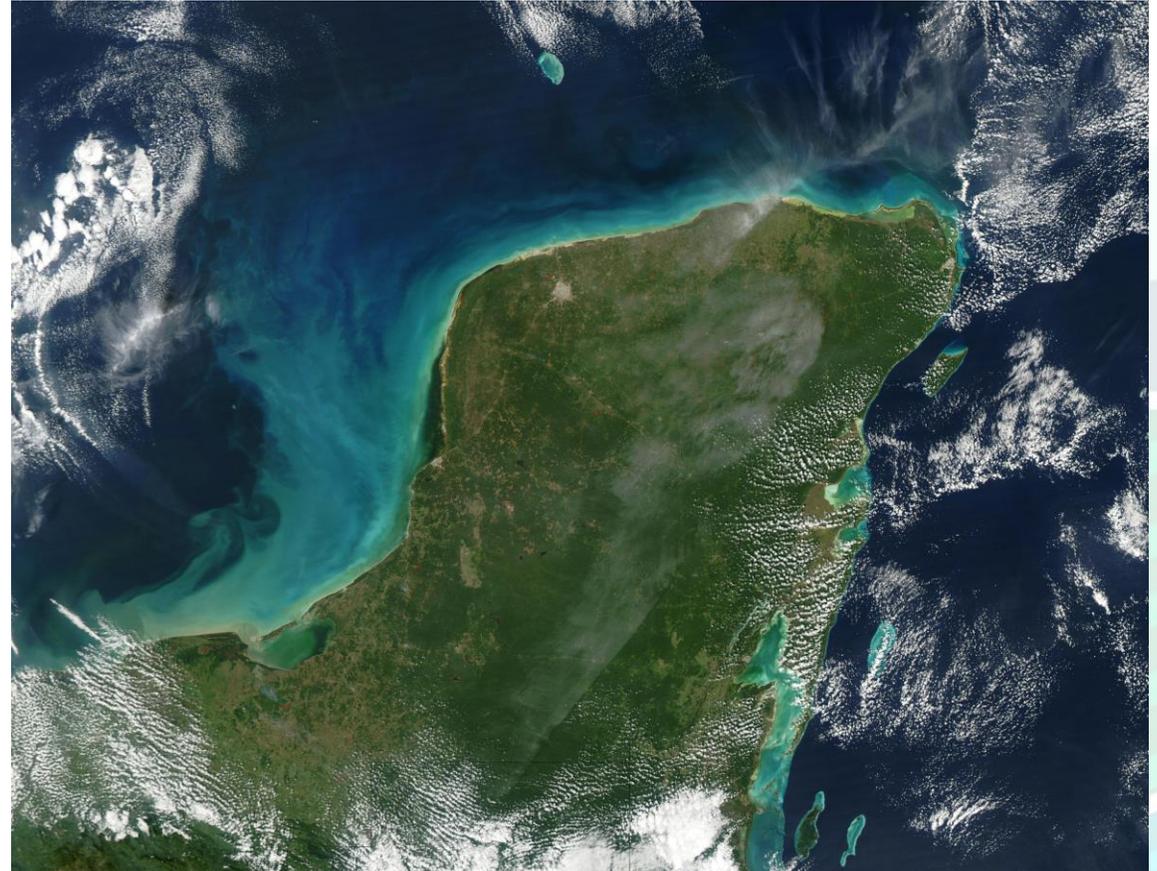
Para sistemas de drenaje agrícola, se utiliza como criterio de diseño la precipitación máxima en mm/hora, asociada a periodos de retorno de 25 años (IMTA, 2009).

Para los sistemas de riego, particularmente presurizados, se propone utilizar como criterio de diseño a la Evaporación Máxima diaria (EV<sub>max</sub>) asociada a un periodo de retorno de 25 años.



# La Península de Yucatán

La Península de Yucatán se caracteriza por ser una plataforma geológicamente reciente emergida de las aguas marinas durante el periodo terciario (inferior y superior) y en menor medida del cuaternario. Por su composición geológica, está constituida por una extensa y sólida masa calcárea exterior, conocida regionalmente como laja o *chaltún*, producto de la consolidación de sedimentos fósiles, conformados por residuos conchíferos de origen marino formados de carbonatos de calcio y de magnesio bajo la forma de calcita, dolomita y aragonita (Duch, 1991).

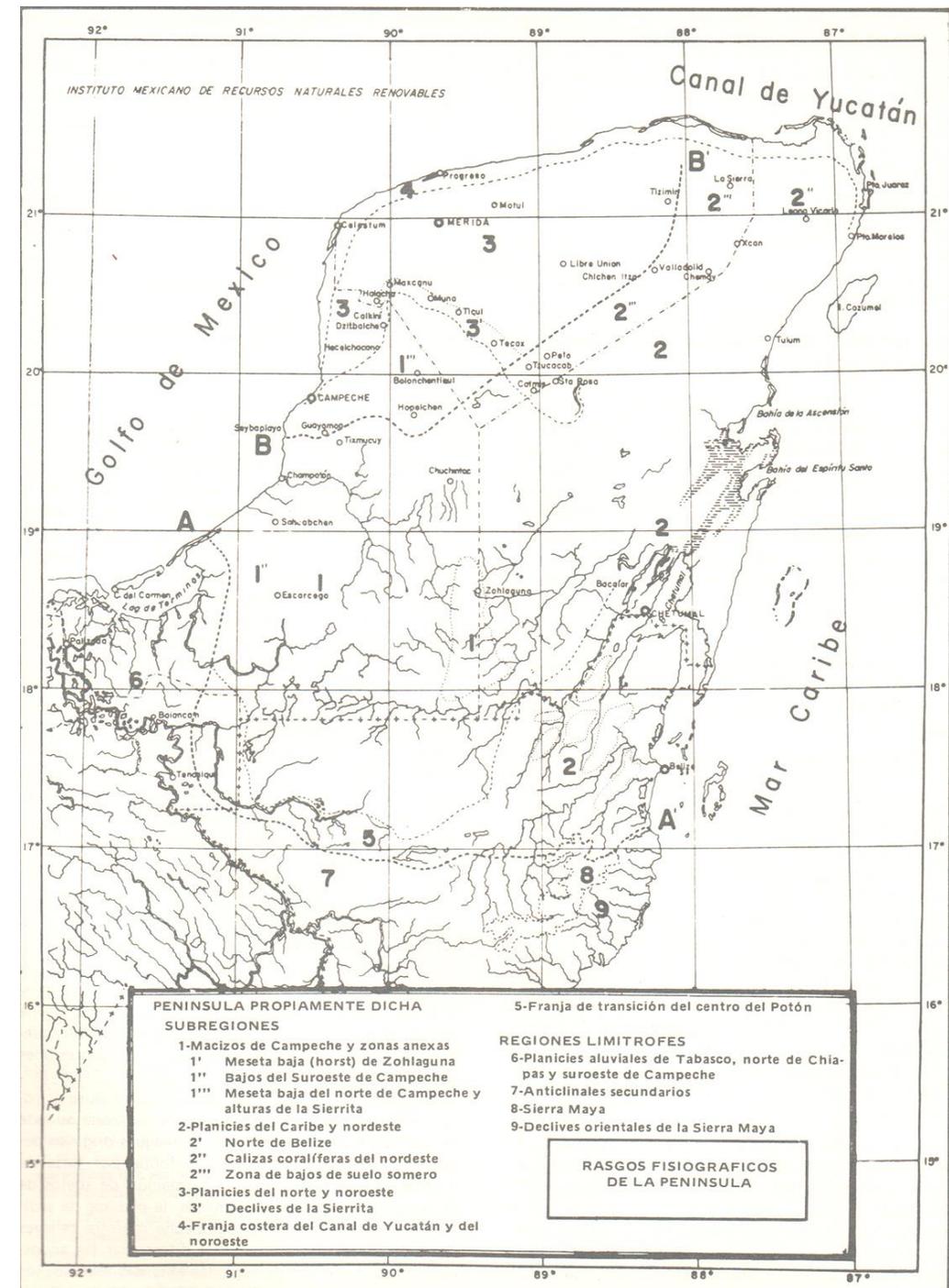




# La Península de Yucatán

Según Duch (1991), el estado de Yucatán comprende las siguientes sub-provincias fisiográficas:

- Llanuras cársticas yucatecas: terrenos de planos a ligera y moderadamente ondulados con promontorios pequeños y hundimientos de forma circular de diámetros y profundidades variables.
- Lomeríos cársticos campechanos: terrenos cerriles asociados con llanuras más o menos extensas.
- Llanuras carsotectónicas quintanarroenses: terrenos planos con ondulaciones ligeras.
- Llanuras costeras del Caribe.





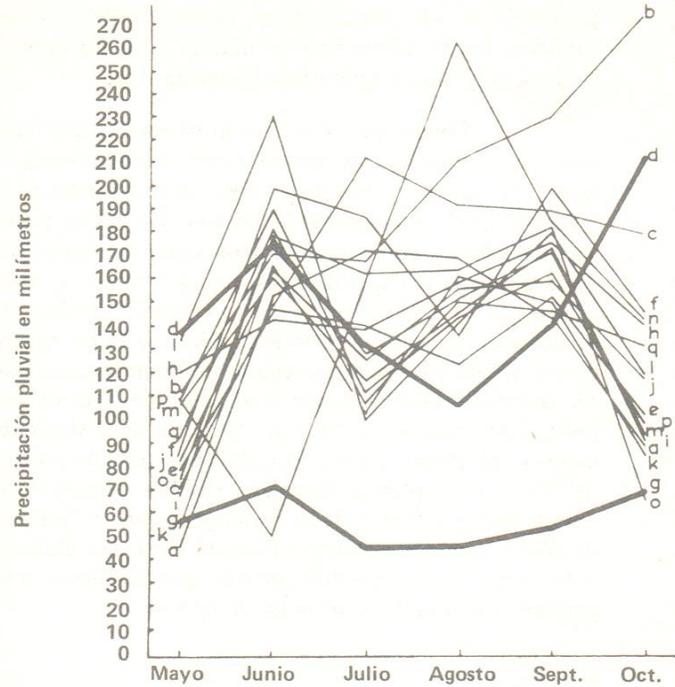
## El paisaje que configura el relieve, los suelos y la vegetación:

- La zona plana, situada al NE de la sierrita. Esta zona es conocida como *kabaché* o monte bajo, cuenta con suelos rojos, pedregosos y poco profundos (*k'ankab*), aunque también abundan los suelos ricos en humus denominados *tzeck'el* en manchones de suelos profundos. En esta zona se ubicaban las haciendas henequeneras y actualmente se ubica la zona citrícola.
- La zona Puuc de la Sierrita de Ticul donde abundan los suelos pedregosos de *tzeck'el* y en menor proporción los de *ek'luum* donde se siembran hortalizas y maíz.
- Las hondonadas situadas al sur, entre el *Puuc* y las pequeñas elevaciones conocidas como *witz*. En estas depresiones se presentan suelos profundos y bajos inundables donde predominan los suelos rojos (*k'ankab*), los suelos anegadizos como los *ak'alchés* y los suelos *yaxhoom*. En esta zona se han desmontado y mecanizado grandes extensiones y antiguamente existían plantíos de caña de azúcar.
- Los *wits* o cerros localizados al sur de las hondonadas y que se extienden hasta Campeche, en esta zona dominan los suelos negros fértiles, los *ek'luum* donde se cultivaba preferentemente maíz (Morales y Rosales, 1984; Hernández, 1985).



# La precipitación anual en Yucatán

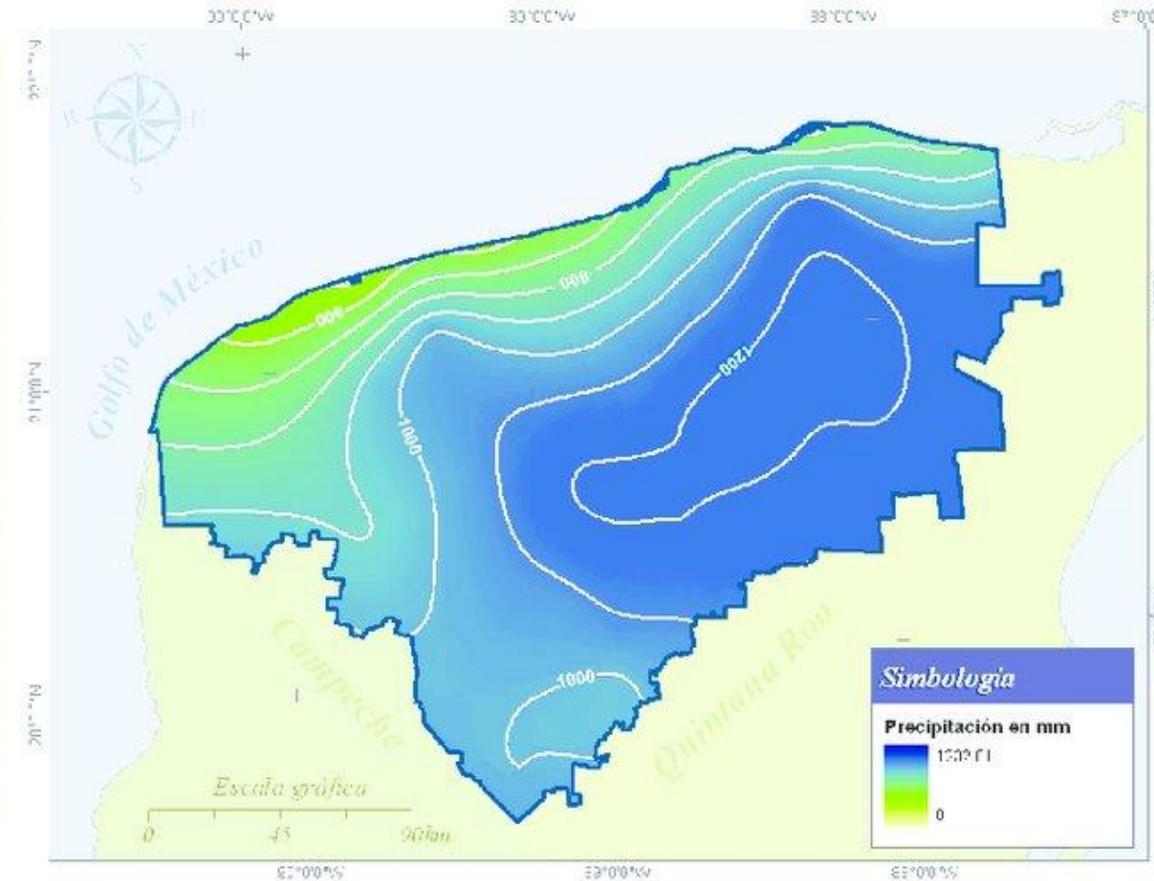
La precipitación media anual varía de 444 a 1,227 mm (INEGI y Gobierno del estado de Yucatán, 2002).



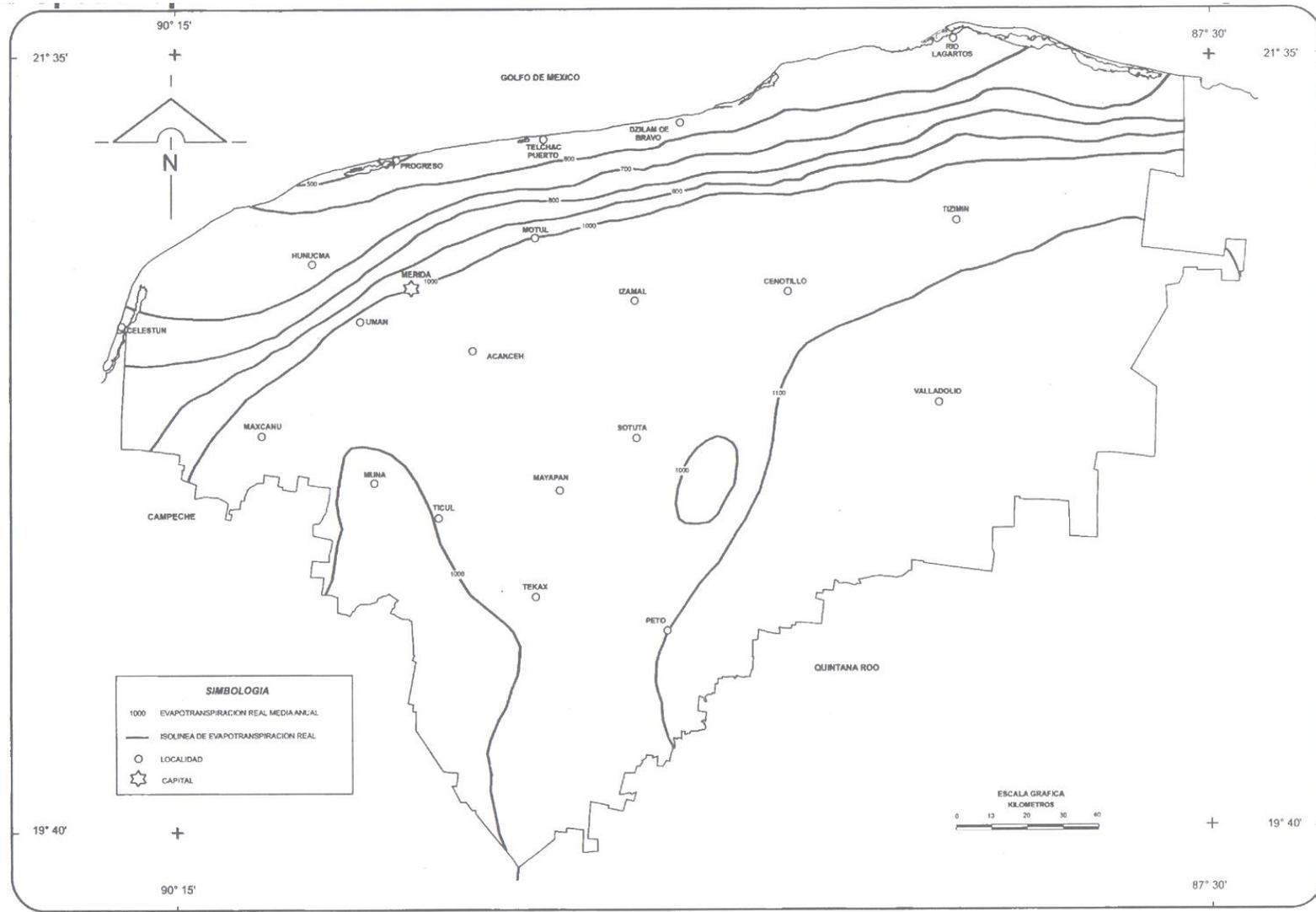
- 1 Campeche
- 2 Quintana Roo
- 3 Yucatán

## PRECIPITACION

	Localidad	Media anual	Precip. Mayo-Oct. mm
1	a Campeche	889.6 mm	774.5 mm
	b Carmen	1682.6	1173.4
	c Champotón	1197.5	1006.5
2	d Chetumal	1247.9	908.1
	e Mérida	913.1	758.9
	f Peto	1280.7	962.6
3	g Progreso	472.1	343.9
	h Valladolid	1180.8	892.5
	i Halacho	983.7	796.8
	j Maxcanu	1000.7	811.0
	k Hunucma	849.1	723.1
	l Tekax	1097.8	883.4
	m Sotuta	980.4	800.8
	n Chichen-itza	1185.9	918.2
	o Izamal	1010.9	831.0
	p Espita	1037.0	822.4
q Tizimín	1086.4	826.7	



# La evapotranspiración media anual en Yucatán



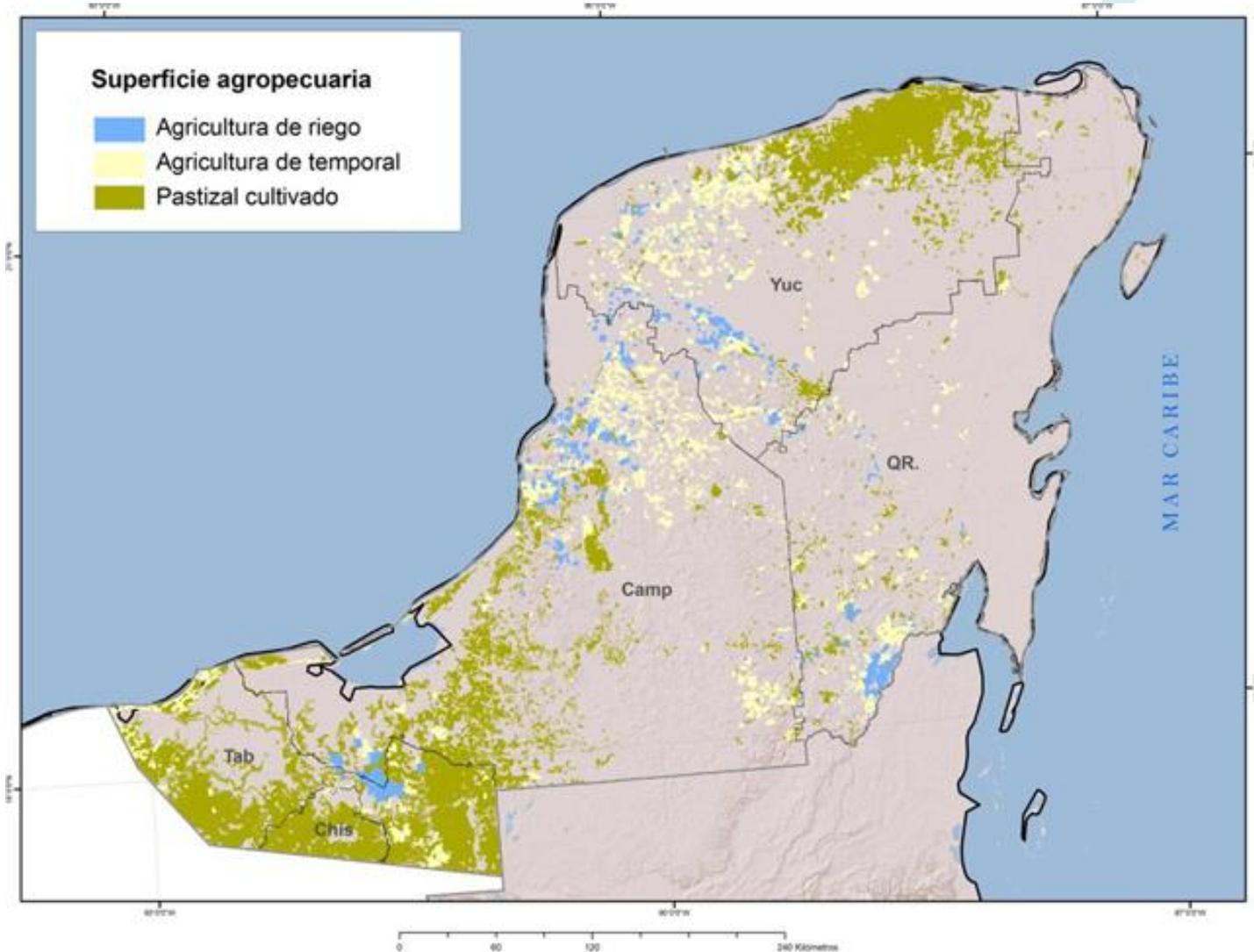
La Evaporación media anual (EV) en Yucatán es de 2,255 mm con una variación mensual de 136 mm en diciembre a 264 mm en mayo (INEGI y Gobierno del estado de Yucatán, 2002).



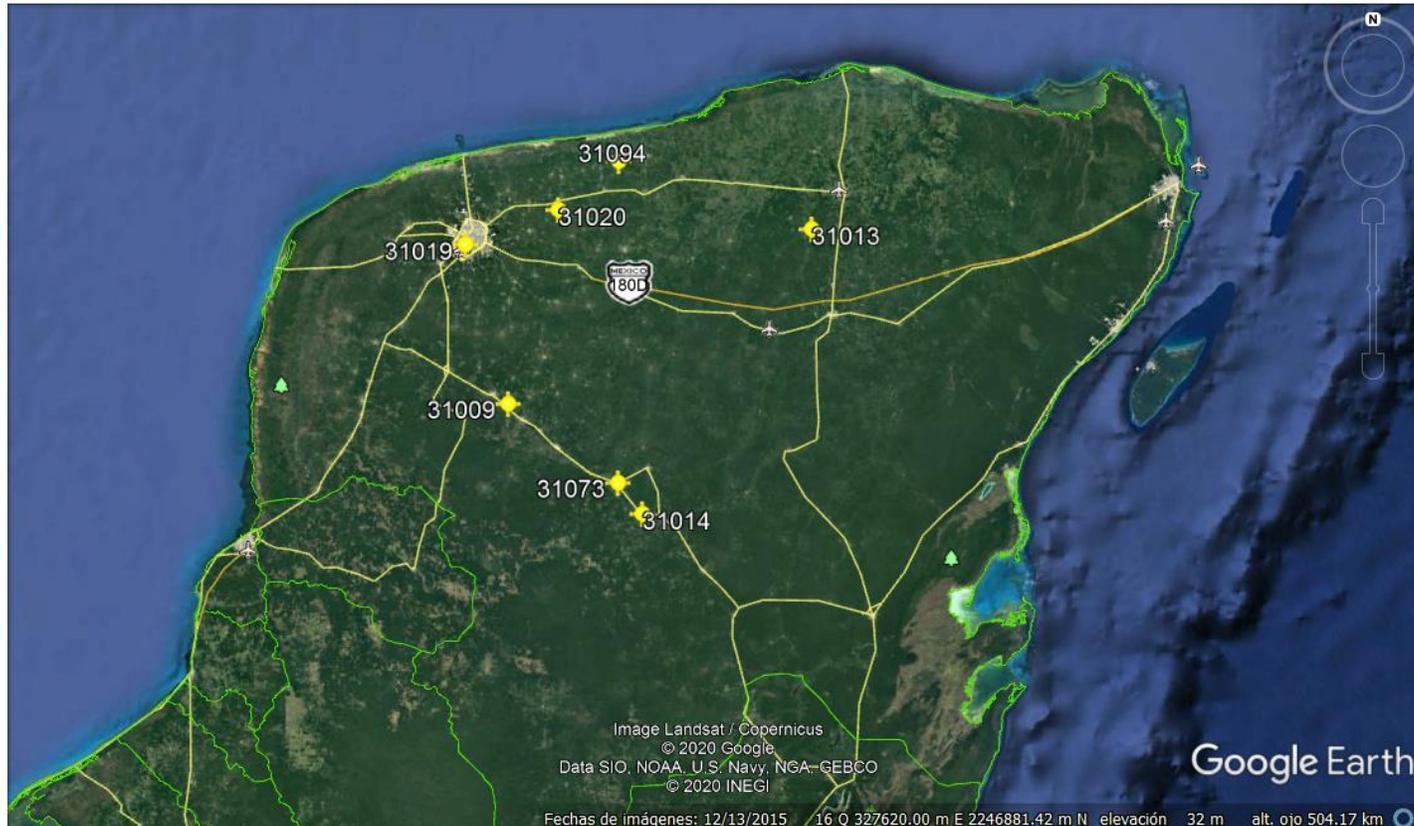
# La agricultura de riego en Yucatán

Se tiene un inventario de **2,817 Unidades de Riego en Yucatán**, mismas que representan una **superficie total de 43,835 hectáreas**, una superficie cosechada de 42,048 hectáreas, un volumen de producción de 838,300 toneladas, un rendimiento promedio de 20 Ton/ha, y un valor de producción de 941.7 millones de pesos. Estos datos dan cuenta de la importancia económica y del potencial productivo de las Unidades de Riego en el estado de Yucatán.

En 2016 en el estado de Yucatán, se tenían concesionados 1,673 millones de m<sup>3</sup> para uso agrícola (el **100% proveniente de aguas subterráneas**) mismos que representan **el 84% de los usos consuntivos** del agua en el estado.



# Ubicación de las estaciones climatológicas de estudio



Estación climatológica:		Coordenadas:		Periodo de registro:	Unidad de Riego:
Número	Nombre	Latitud N	Longitud O		
31009	Dzan	20.3606	-89.4764	1966-2014	11
31013	Espita	21.0081	-88.2828	1943-2014	12,13
31014	Ingenio Catmis	19.9561	-88.9483	1954-2014	2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10
31019	Mérida	20.9500	-89.6500	1951-2014	14,15
31020	Motul	21.0789	-89.2836	1952-2015	1, 17,18
31073	Tzucacab	20.0706	-89.0439	1978-2014	7
31094	Dzidzantun	21.2600	-89.0450	1986-2015	16

No.	Unidad de Riego	Coord. (UTM)	
		X	Y
1	La Piedra	265,023.36	2,337,407.20
2	La Trinidad	296,873.00	2,204,516.00
3	La Nueva Cholul	297,579.00	2,205,552.00
4	El Triunfo	297,820.28	2,207,342.25
5	La Vaquita	295,785.00	2,205,810.00
6	La Curva	296,770.00	2,207,557.00
7	San Manuel	288,993.00	2,216,998.00
8	El Desafío	297,894.00	2,204,538.00
9	Los Jabines El 9	297,554.00	2,205,847.00
10	San Andrés (Tres Hermanas)	293,190.00	2,206,227.00
11	San Gregorio	243,050.36	2,254,494.06
12	San Martin	357,732.00	2,340,767.00
13	Alberto Antonio Pérez Coronado	382,148.06	2,340,049.35
14	Pedro Rodríguez Borges	224,091.00	2,346,307.00
15	Baldomero Solorio Sánchez	224,036.00	2,306,096.00
16	José Luis Cámara Dzidzantún	289,135.23	2,357,969.75
17	La Esperanza	265,432.51	2,337,493.68
18	San Cristóbal	263,181.00	2,337,274.00



# Resultados y Discusión

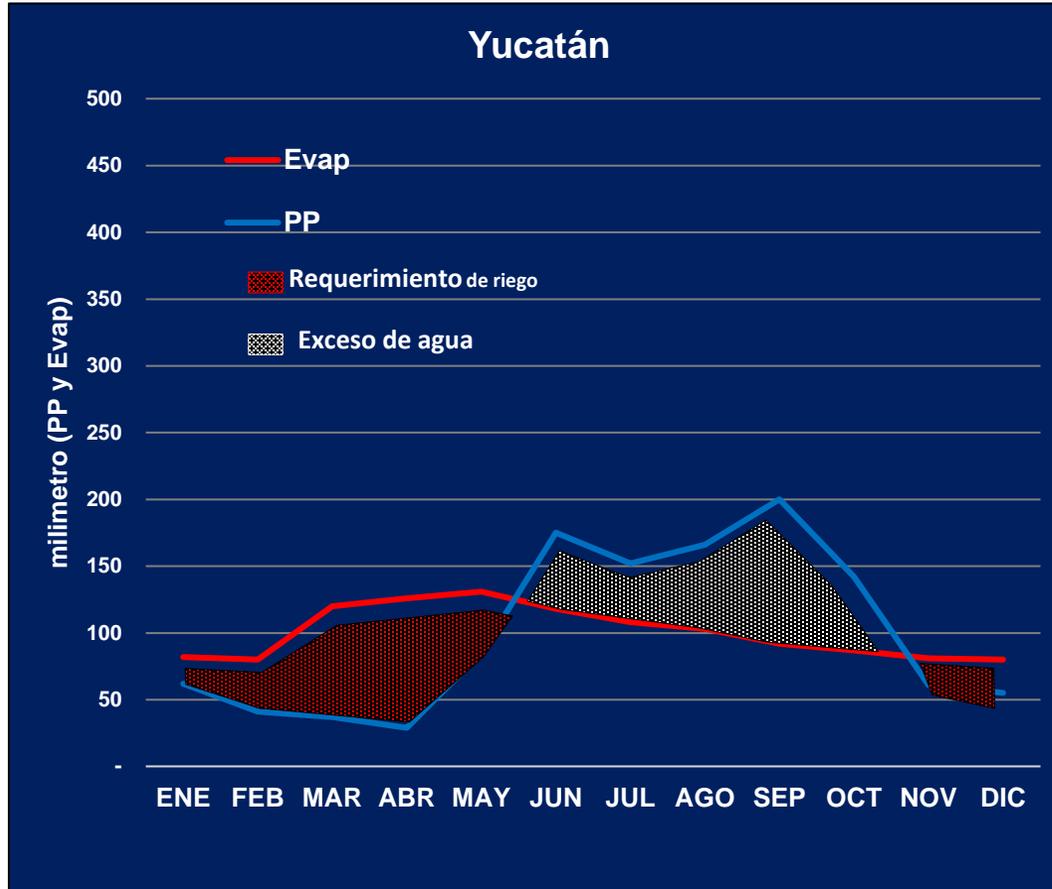
## Distribución de la temperatura, la precipitación y la evaporación

Estación climatológica:		Mayo a octubre (%)	Noviembre a abril (%)	Mes más lluvioso (mm)	Mes más seco (mm)
Número	Nombre				
31009	Dzan	82.7	17.3	Sep. 246.0	Feb. 28.0
31013	Espita	80.4	19.6	Sep. 204.0	Mar 31.0
31014	Ingenio Catmis	78.2	21.8	Sep. 192.0	Feb. 33.6
31019	Mérida	77.2	22.8	Sep. 291.0	Abr. 40.3
31020	Motul	79.5	20.5	Sep. 207.0	Mar. 21.7
31073	Tzucacab	77.7	22.3	Sep. 198.0	Mar. 24.8
31094	Dzidzantum	75.7	24.3	Sep. 156.0	Mar. 24.8

Estación climatológica:		Temperatura (C°)	Evaporación (mm)	Precipitación (mm)	Déficit de Humedad (mm)
Número	Nombre				
31009	Dzan	26.1	1,777.6	1,242.4	435.2
31013	Espita	25.3	1,780.4	1,151.6	628.8
31014	Ingenio Catmis	25.9	1,899.1	1,094.4	804.7
31019	Mérida	26.3	1,663.4	1,286.6	376.8
31020	Motul	25.8	1,685.4	1,099.7	585.7
31073	Tzucacab	25.5	1,615.5	1,216.9	398.6
31094	Dzidzantum	26.9	1,516.0	904.4	611.6

Estación climatológica:		Temperatura a máxima (C°)	Mes	Evaporación Máxima (mm/día)	Mes	Precipitación Máxima (mm/día)	Mes
31009	Dzan	44.0	abril, mayo	17.4	marzo	190.0	marzo
31013	Espita	42.0	mayo	17.7	abril	200.0	agosto, septiembre
31014	Ingenio Catmis	48.0	mayo	17.8	junio	250.0	septiembre
31019	Mérida	45.0	marzo	17.4	agosto	193.5	septiembre
31020	Motul	46.0	mayo	17.1	abril	186.6	julio
31073	Tzucacab	44.0	julio	17.8	junio	250.0	septiembre
31094	Dzidzantum	42.0	abril, junio	17.2	julio	160.0	junio

# Requerimiento de Riego en Yucatán





# Requerimiento de Riego en Yucatán

Estación climatológica:		Evaporación Máxima		Déficit de Humedad Máximo		Meses con Déficit de Humedad
Número	Nombre	(mm/mes)	Mes	(mm/mes)	Mes	
31009	Dzan	204.6	mayo	147.0	abril	8
31013	Espita	223.2	mayo	174.0	abril	9
31014	Ingenio Catmis	226.3	mayo	168.0	abril	11
31019	Mérida	176.7	mayo	127.1	abril	10
31020	Motul	204.6	mayo	162.0	abril	9
31073	Tzucacab	192.2	mayo	136.4	marzo	7
31094	Dzidzantum	155.0	mayo	108.5	mayo	8

Estación	Requerimiento de Riego (mm)												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Dzan	-74.4	-86.8	-130.2	-147.0	-96.1	3.0	0	31.0	105.0	21.7	-57.0	-74.4	-435.2
Espita	-62.0	-78.4	-148.8	-174.0	-117.8	21.0	-21.7	-3.1	72.0	0.0	-54.0	-62.0	-628.8
Ingenio	-77.5	-92.4	-155.0	-168.0	-132.5	-18.0	-37.2	-15.5	42.0	-6.2	-63.0	-74.4	-804.7
Mérida	-55.8	-75.6	-102.3	-127.1	-86.8	-9.0	-6.2	-9.3	159.0	34.1	-42.0	-55.8	-376.8
Motul	-58.9	-78.4	-145.7	-162.0	-136.4	0	0	9.3	78.0	3.1	-42.0	-52.7	-585.7
Tzucacab	-62.0	-72.8	-136.4	-129.0	-83.7	18.0	27.9	27.9	66.0	24.8	-39.0	-40.3	-398.6
Dzidzantum	-62.0	-61.6	-99.2	-102.0	-108.5	9.0	31.0	31.0	18.0	-21.7	-54.0	-49.6	-611.6
RR Máximo	-77.5	-92.4	-155.0	-174.0	-132.5	-18.0	-37.2	-15.5	159.0	-6.2	-57.0	-74.4	-804.7



## Evaporación máxima diaria (mm/día) para diferentes periodos de retorno ( $T_r$ ) para cada estación climatológica de estudio en Yucatán.

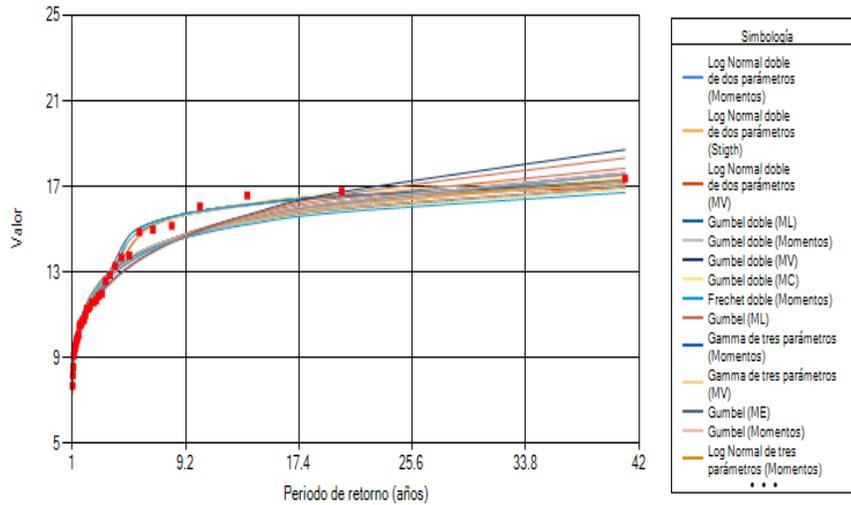
Estación climatológica:		Función de Distribución de Probabilidades	Evaporación Máxima diaria (mm/día) para diferentes $T_r$ (años)					
Número	Nombre		Registrada	5	10	15	20	25
31009	Dzan	Log Normal Doble	17.4	13.8	16.0	16.6	16.8	16.7
31013	Espita	Normal	17.7	14.2	17.1	17.6	17.6	17.7
31014	Ingenio Catmis	Gamma doble	17.8	14.6	16.9	17.0	17.3	17.4
31019	Mérida Observatorio	Gumbel doble	17.4	16.5	17.2	17.3	17.4	17.8
31020	Motul	Log Normal Doble	17.1	13.7	15.4	16.0	16.3	16.5
31073	Tzucacab	Normal	17.8	15.4	16.7	17.3	17.6	17.9
31094	Dzidzantum	Normal	17.2	15.7	17.1	17.7	18.2	18.5



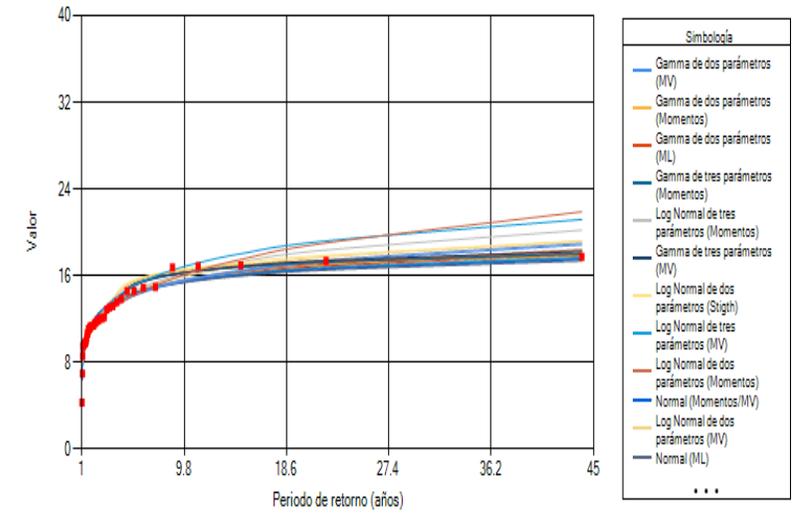


# Función de Distribución de Probabilidades de ajuste y Evaporación máxima diaria (mm/día) para diferentes periodos de retorno (Tr)

Gráfica de funciones de distribución

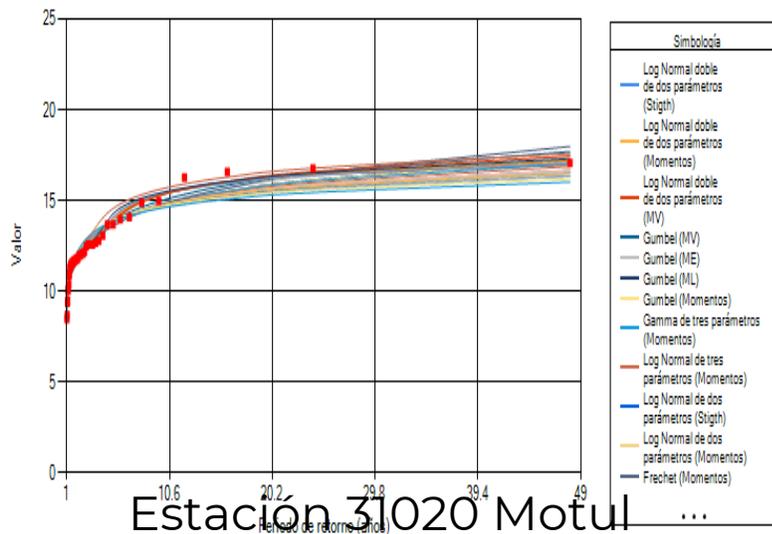


Gráfica de funciones de distribución



## Estación 31009 Dzan

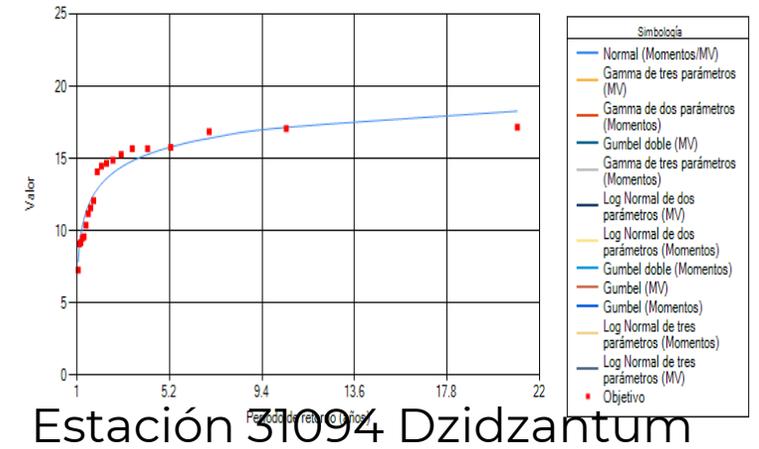
Gráfica de funciones de distribución



## Estación 31020 Motul

## Estación 31014 Ingenio Catmis

Gráfica de funciones de distribución



## Estación 31094 Dzidzantum



# Conclusiones

En la Península de Yucatán, prácticamente todo el año se tienen requerimientos de riego, excepto únicamente en el mes de septiembre donde se tiene un requerimiento de drenaje de 159 mm, derivado de los aportes de humedad provenientes de los ciclones tropicales. De esta forma, en la Península de Yucatán, el riego es prácticamente necesario para complementar las necesidades hídricas de los cultivos para la obtención de su máximo potencial productivo.

La zona con mayores requerimientos de riego en la Península de Yucatán, es la zona cañera del sur con 804.7 mm anuales. A lo largo de todo el año en la estación climatológica del Ingenio de Catmis se tienen los mayores requerimientos de riego mensuales, excepto en la estación climatológica de Espita donde se tienen los mayores valores de requerimientos de riego en el mes de abril con 174 mm, el máximo mensual obtenido en la Península de Yucatán. Asimismo, durante los meses de noviembre a diciembre (al inicio del año hidrológico), se obtienen los máximos valores mensuales de 57 y 74.4 mm respectivamente, en la estación climatológica de Dzan.

Para el diseño de sistemas de riego en la Península de Yucatán deberá de estimarse la evapotranspiración potencial (EVTp) con valores de coeficiente de tanque ( $K_T$ ) de 0.85 con uso de las tasas de evaporación (EV) máximas registradas de 17.1 a 17.8 mm/día.



Se considera que el criterio de periodo de retorno de 20 a 25 años propuesto para la evaporación máxima diaria es adecuado para el diseño de sistemas de riego presurizados. Se requiere complementar este criterio con un análisis beneficio-costos, considerando también la vida útil del sistema de riego.

Los sistemas de riego presurizados revisados, no están diseñados para abastecer la máxima demanda de agua de los cultivos en la región.

Es necesario calibrar a nivel de campo, los modelos para la estimación de  $K_c$  así como de la Evapotranspiración actual ( $EVT_a$ ) de los principales cultivos de la Península de Yucatán.

Es necesario mejorar el uso sustentable del agua y de la eficiencia de riego tanto a nivel parcelario como en el sistema de distribución a través de programas de rehabilitación, modernización y tecnificación de la infraestructura de riego, pero particularmente de procesos de organización y capacitación de los usuarios del distrito y las unidades de riego, así como de una adecuada transferencia de tecnología y asistencia técnica especializada en ingeniería de riego y drenaje.



El maestro Efraín Hernández Xolocotzin escribió en los años 50's su estudio sobre la "Agricultura de Yucatán", la siguiente reflexión sobre la agricultura de riego en Yucatán y que también podemos aplicar para las aguas de Chiapas:



*“... los aprovechamientos de estas aguas para establecimiento de sistemas de riego (...) representan uno de los recursos naturales potenciales de mayor importancia. Su aprovechamiento, poco extendido en la actualidad, puede convertirse en uno de los factores decisivos para la futura agricultura yucateca.”*



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



## Sexto Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas

COMEII- 2021 / Hermosillo, Sonora



# ¡GRACIAS!

Dr. José L. Arellano Monterrosas



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

