



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”

Evapotranspiración y dinámica de la humedad de un suelo con un cultivo perenne

Dr. Julio Cesar Rodríguez,
Dr. Fidencio Cruz-Bautista
Profesores Investigadores,
Universidad de Sonora

02 de abril del 2020

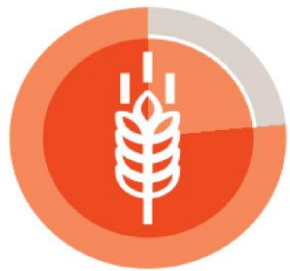
Contenido

1. Agua y perennes
2. Esparrago (*Asparagus officinalis* L.)
3. Medición y modelación de la evapotranspiración
4. Instrumentación y monitoreo de humedad del suelo
5. Resultados
6. Desafíos ...



1. Agua y perennes

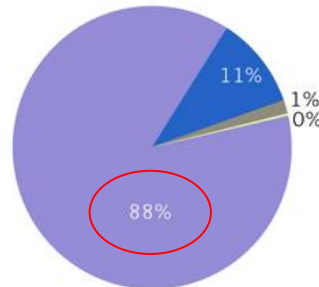
Cifras...



76.0%

Agua para Uso agrícola en México

DEL TOTAL DEL AGUA UTILIZADA EN EL RIEGO AGRÍCOLA EL 60% SE APROVECHA, EL RESTO SE DESPERDICIA POR FALLAS DE CONDUCCION Y/O PRÁCTICAS DE RIEGO INEFICIENTES



Uso agrícola en Sonora (EMA-2018)

ACTIVIDAD AGRÍCOLA (SIAP-2019)

CONDICIONES Y CICLOS PARA LA PRODUCCIÓN

Se siembra y cosecha en diferentes ciclos de tiempo. Entender la lógica de la estacionalidad y los ciclos agrícolas permite comprender el comportamiento de los precios y del intercambio de mercancías dentro y fuera del país.

	Otoño-invierno (OI)	Primavera-verano (PV)	Ciclo perenne (P)
	Siembra: octubre-marzo Cosecha: diciembre-agosto Casi la mitad del volumen agrícola producido en Sonora, pertenecen al ciclo otoño invierno.	Siembra: marzo-septiembre Cosecha: abril-febrero Una quinta parte de la renta agrícola de Sonora se engendra en el ciclo primavera verano.	Cosecha: enero-diciembre La riqueza agrícola sonorenses es apoyada en 2 quintas partes de productos perennes.
	Riego		
Modalidad	99.7%	73.1%	99.6%
hídrica	Temporal		
	0.3%	26.9%	0.4%

Cultivos perennes...

Cultivo	Superficie (Ha)	Riego (cm)*	* Autores
	SIAP-2019		
Uva	23,700	110 -120	Rodríguez et al., 2010
Esparrago	18,700	190	Fimbres et al., 2011, Fimbres y Lizárraga, 2009
Nogal	16,900	190 - 200	Rodríguez et al., 2010; 2012
	<u>62,300</u>		

Rentabilidad de \$1.2 por metro cúbico de agua de riego, ya que se utilizan de 200 a 240 centímetros (cm) de lámina anual (SAGARHPA).

Problemática del uso de agua en perennes en Sonora

- ✓ Alto requerimiento hídrico
- ✓ Inadecuada programación y manejo del riego
- ✓ No existen datos confiables de lamina de riego aplicada

Uso de agua en Esparrago

Riego (mm)	ETo o ETc (mm)	Autor
1910	217 % de ETo	Fimbres et al., 2011
1140	Aprox... 128 % ETo	Fimbres, 2009
1880	-----	Fimbres, 2001
2460	-----	Fimbres, 1998
2780	-----	Navarro et al., 1997
1300 a 2500	-----	INIFAP

2. Esparrago (*Asparagus officinalis* L.)

3rd

world
producer



Mexico

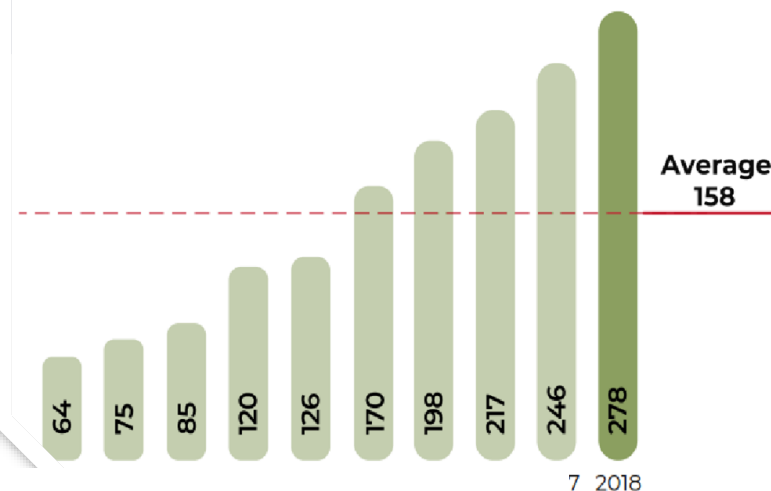
277,682
tonnes

At a worldwide level, 1 out of every 100 tonnes of asparagus harvested comes from the Mexican countryside.

China is the main producer of asparagus in the world, its volume represents 88% of the total.



2009-2018
National production volume
(thousand tonnes)



Sonoran farmers make the greatest contribution to the Mexican asparagus supply, with a volume of 175,000 tonnes—which brings 6.049 billion MXN for their sale.

Fuente: Agric. Atlas, 2019

2. Esparrago ...

Situación al 31 de DICIEMBRE de 2019

ESPARRAGO

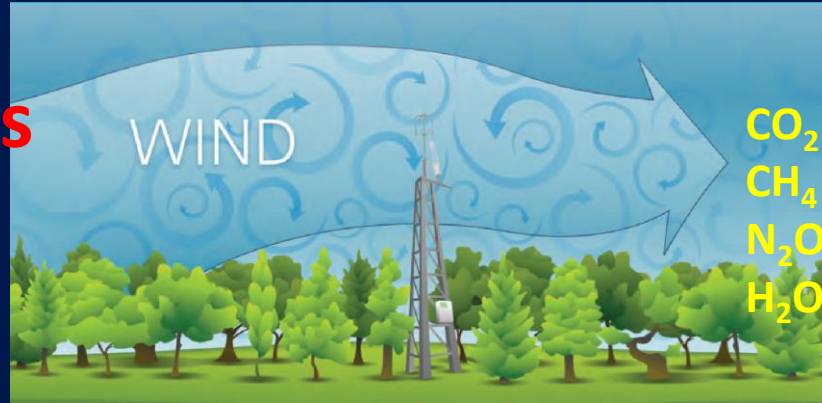
Estado	Distrito	Superficie (ha)			Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)
		sembrada	cosechada	siniestrada	obtenida	obtenido
SONORA	Caborca	12,136	11,986		113,835	9.497
	Cajeme	2,633	2,495		17,167	6.881
	Hermosillo	391	391		3,128	8.000
	Magdalena	70	70		595	8.500
	San Luis Río Colorado	3,486	3,486		38,440	11.027
TOTAL		18,716	18,428		173,165	9.397

Datos Preliminares.

Fuente: Elaborado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

3. Medición y modelación de la evapotranspiración

- Covarianza de vórtices



$$F_{H2O} = \rho_a \overline{w' \rho'_{H2O}}$$

$$F_{CO2} = \rho_a \overline{w' \rho'_{CO2}}$$

- Muestreo, procesamiento y posprocesamiento:



Muestreo, 10Hz

Procesamiento, EddyPro

Posprocesamiento, <http://www.bgc-jena.mpg.de/REddyProc/brew/REddyProc.rhtml>

3. Medición y modelación de la evapotranspiración

Metodología de ET

- Balance de Energía
- Balance de Masa
- Correlación turbulenta

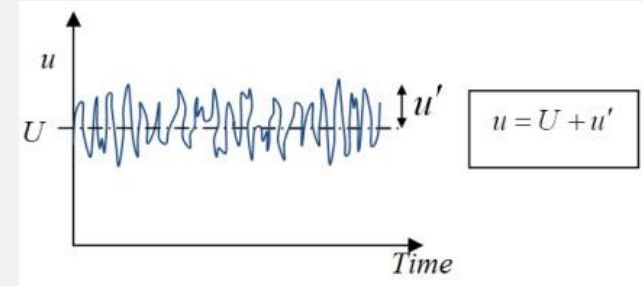
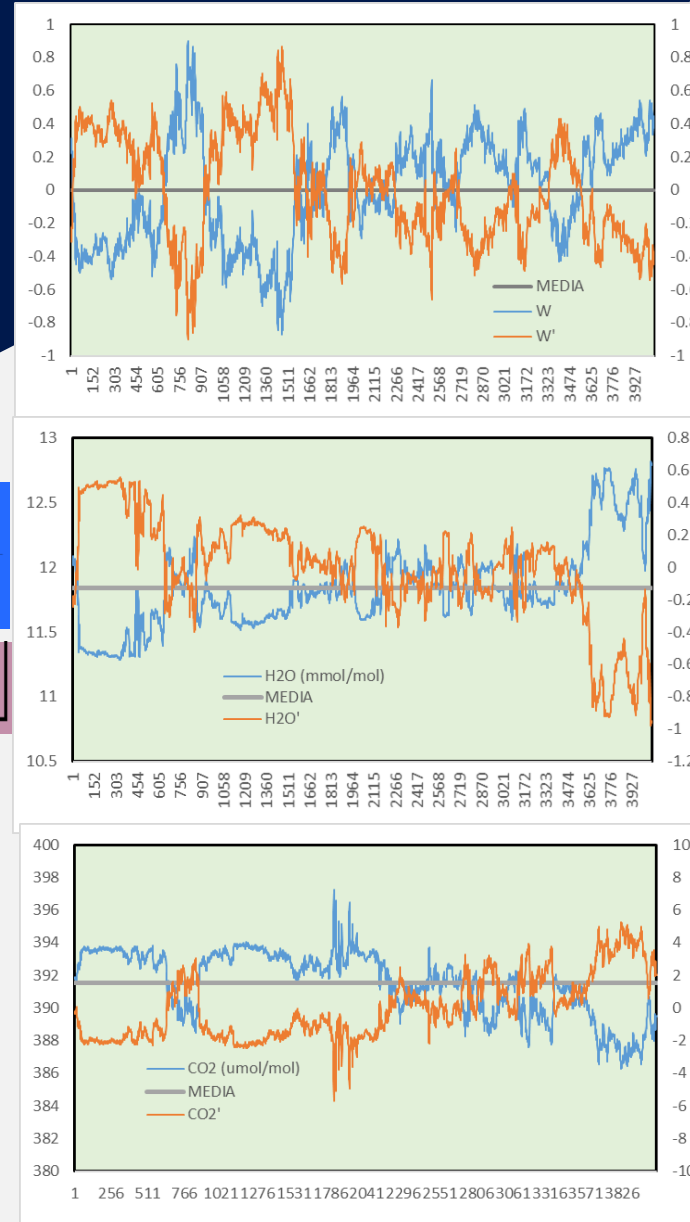
Covarianza de vórtices

$$LE = \lambda \rho_a \overline{w'q'}$$



$$\frac{ET}{\lambda} = \frac{R_n - G - H}{\lambda}$$

$$ET = \left[\sum_{i=1}^{i=n} (\theta_1 - \theta_2) \Delta Z_i + R + I \right]$$



$$w = \bar{w} + w', q = \bar{q} + q'$$

$$\overline{w.q} = (\bar{w} + w')(\bar{q} + q')$$

$$\overline{wq} = \overline{\bar{w}.q} + \overline{\bar{w}.q'} + \overline{w'.q} + \overline{w'.q'}$$

$$\overline{w.q} = (\overline{\bar{w}.q}) + (\overline{\bar{w}.q'}) + (\overline{w'.q}) + (\overline{w'.q'})$$

$$\overline{w.q} = \bar{q}.\bar{w} + \overline{w'.q'}$$

3. Medición y modelación de la evapotranspiración

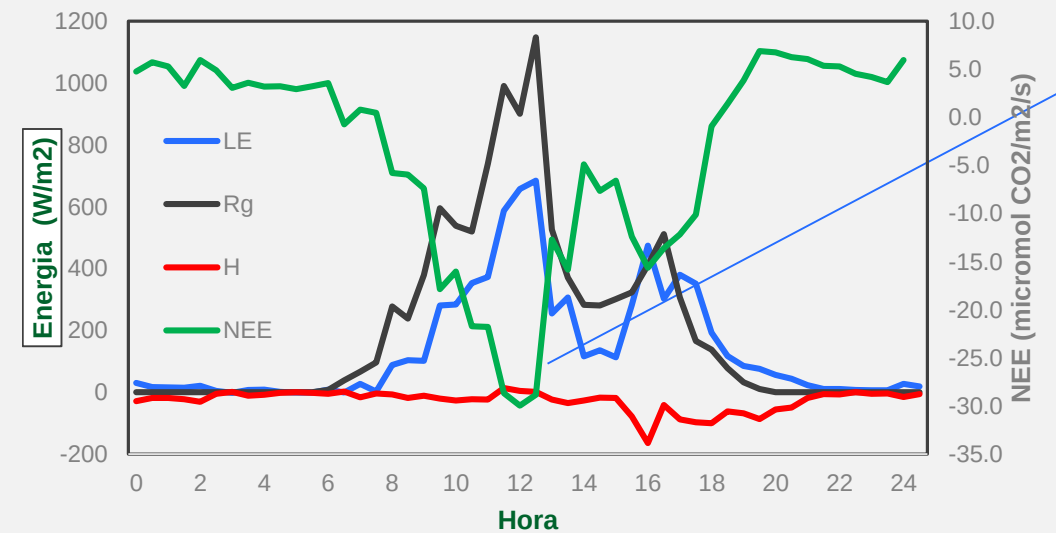
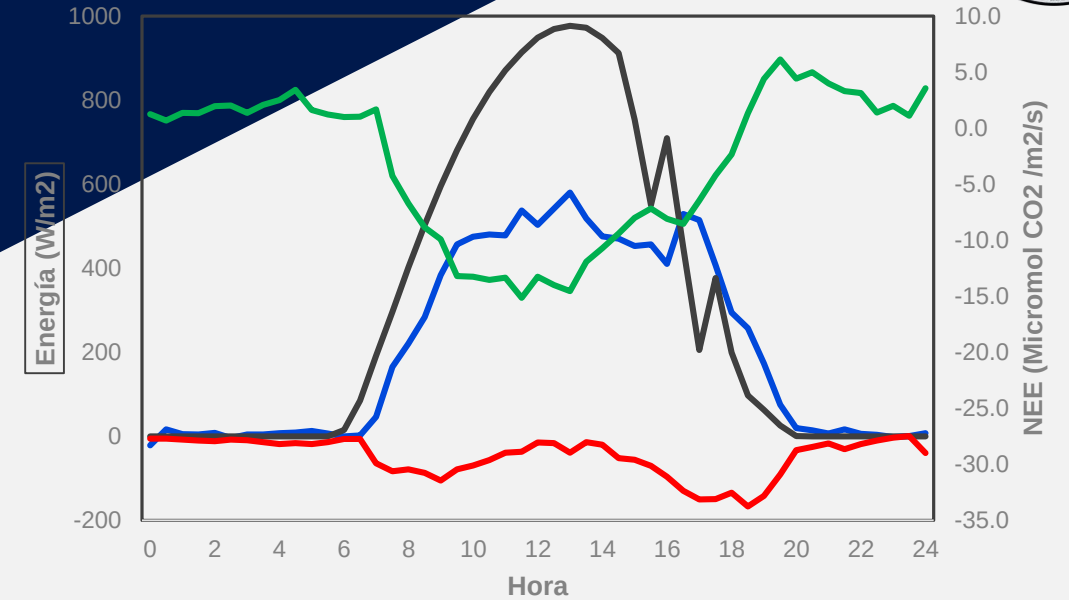
■ Covarianza de vórtices



Balance de Energía

$$\frac{ET}{\lambda} = \frac{R_n - G - H}{\lambda}$$

$$R_n = R_s \downarrow - R_s \uparrow + R_L \downarrow - R_L \uparrow$$



3. Medición y modelación de la evapotranspiración

■ Aproximaciones ETo

$$ET_0_HARG = 0.408 * a (T_a + 17.8) (T_{\max} - T_{\min})^{0.5} R_a$$

$$ET_0_Mak = 0.408 \frac{C_m \Delta R_s}{\Delta + \gamma}$$

$$ET_0_PT = 0.408 \frac{\alpha \Delta (R_n - G)}{\Delta + \gamma}$$

$$ET_0_P = 0.408 \frac{\Delta (R_n - G) + 6.43 \gamma (1 + 0.53 U_2) D}{\Delta + \gamma}$$

■ Coeficiente de cultivo, Kc

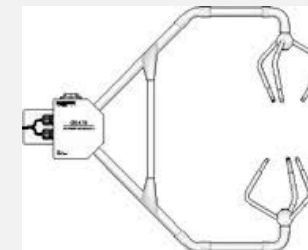
$$Kc = \frac{ETc}{ET}$$

$$ET_0_FAOPM = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

4. Instrumentación y monitoreo de humedad del suelo



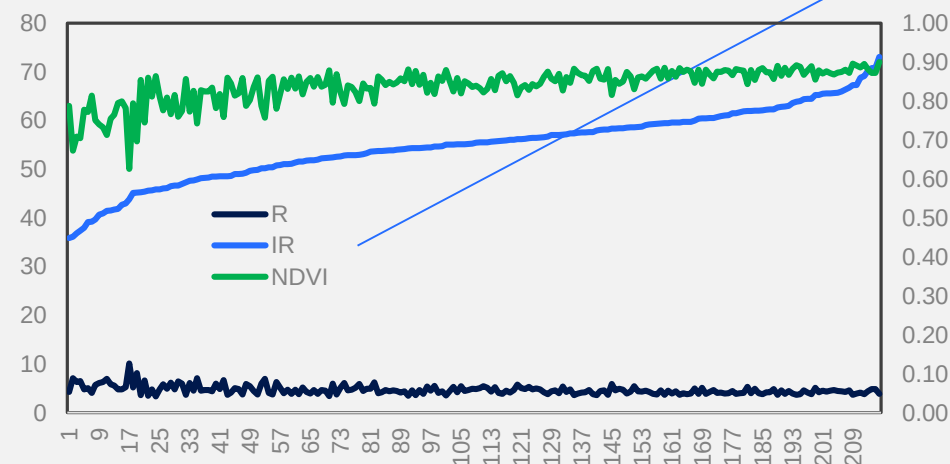
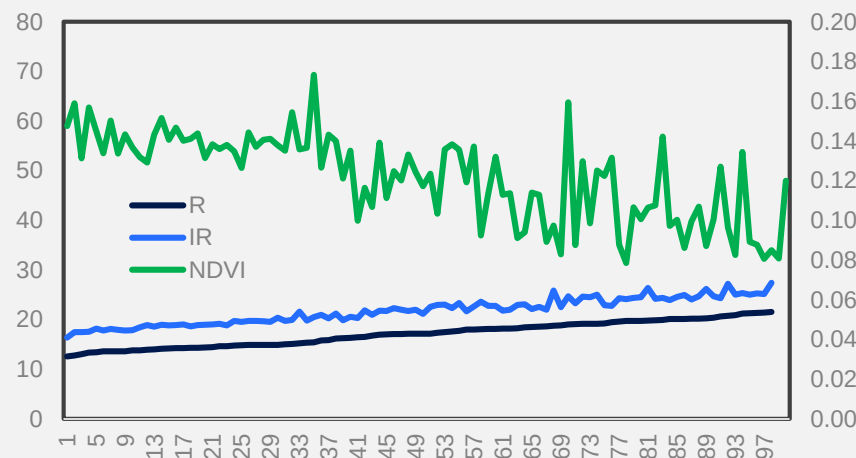
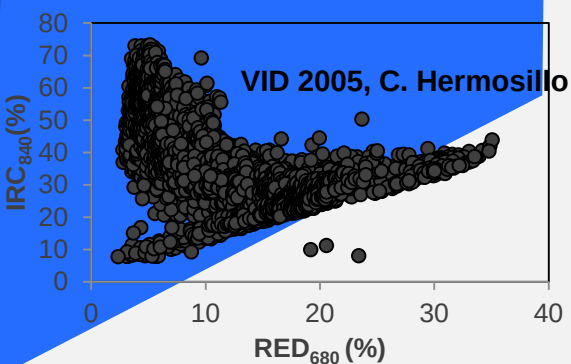
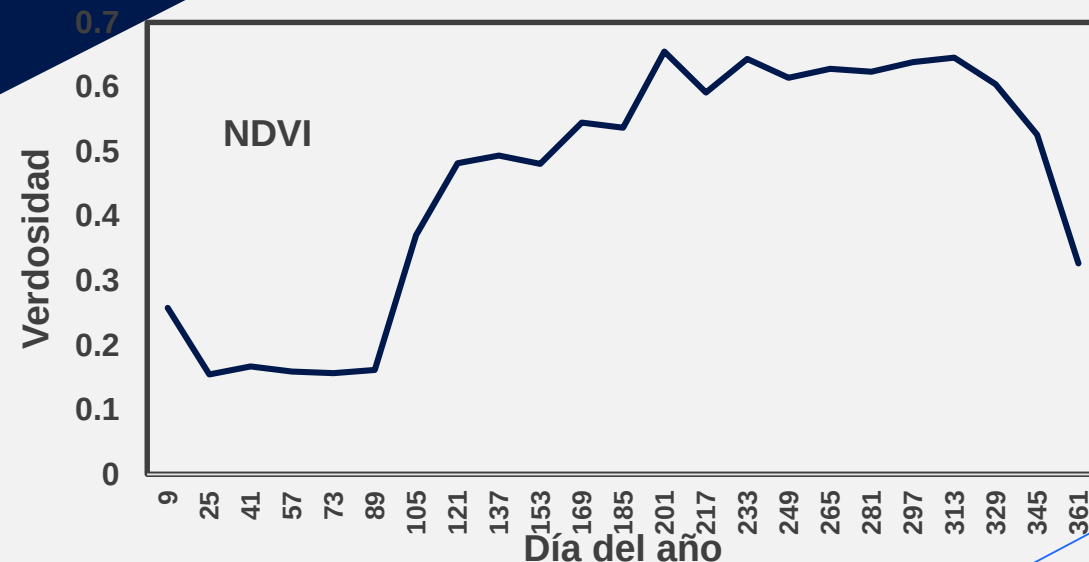
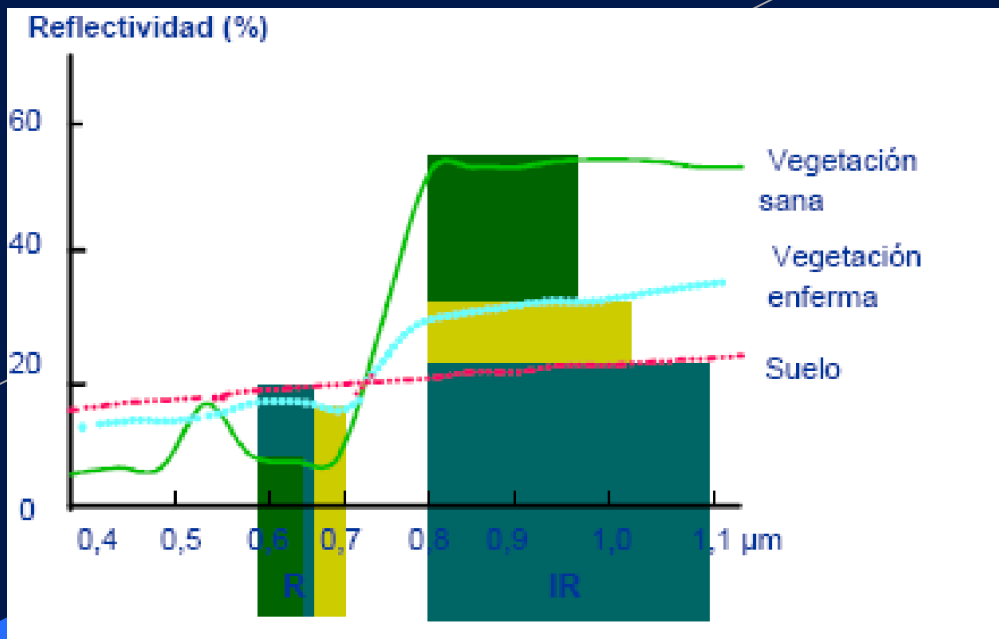
Variable	Sensor	Cultivo:
		Espárrago
Flujo de calor sensible (H), W/m ²	Anemómetro sónico (CSAT3D)	6.5 m
Flujo de calor latente (LE), W/m ²	IRGA 7500 (LICOR) y Anemómetro sónico (CSAT3D)	6.5 m
Flujo de calor de suelo (G), W/m ²	Placa	-0.1m
Flujo carbono (CO ₂), μmol/m ² /s	IRGA 7500 (LICOR) y Anemómetro sónico (CSAT3D)	6.5 m
Temp. y humedad del aire, °C y %	HMP60, (Vaisala)	2 m
Vel. y dir. del viento, m/s, grados	Anemómetro Young 5103	6.5 m
Temperatura de superficie, °C	SI-121 (Apogee)	5.50 m
Temperatura de suelo, °C	Sonda T109, (CampbelSci)	-0.30m
Humedad de suelo, m ³ /m ³	TDR 315 (Acclima)	-0.30m
Tensión de agua en suelo (cbar)	Watermark (Irrometer)	-0.30m
Precipitación, mm	Pluviómetro (Texas Electronics)	3.0 m
Riego, mm	Pluviómetro (Texas Electronics)	0.60 m
Radiación neta, W/m ²	CNR1 (Kipp & Zonen)	5.50 m
Radiación solar incidente, W/m ²	CNR1 (Kipp & Zonen)	5.50 m
Radiación solar reflejada, W/m ²	CNR1 (Kipp & Zonen)	5.20 m
Radiación onda Larga Ent, W/m ²	CNR1 (Kipp & Zonen)	5.50 m
Radiación onda Larga Sal, W/m ²	CNR1 (Kipp & Zonen)	5.50 m



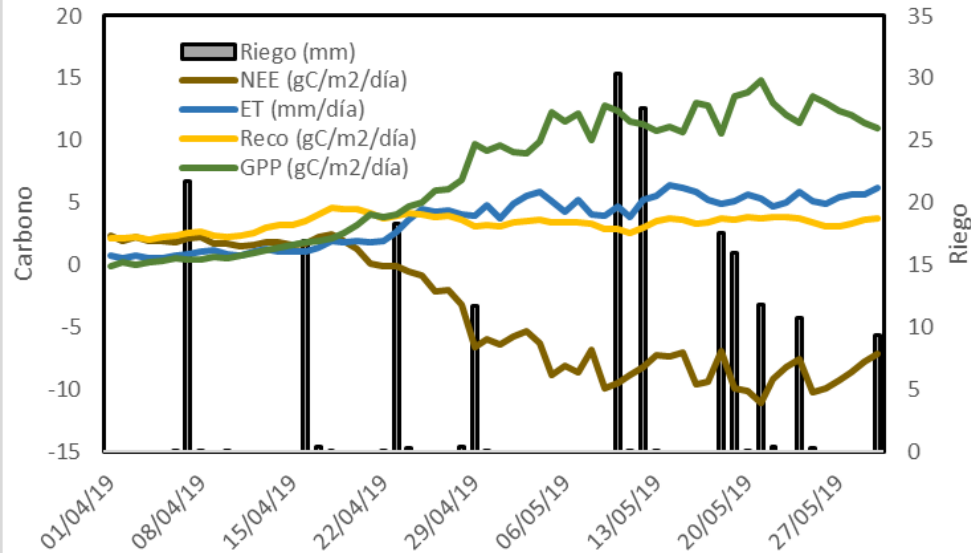
5. Resultados



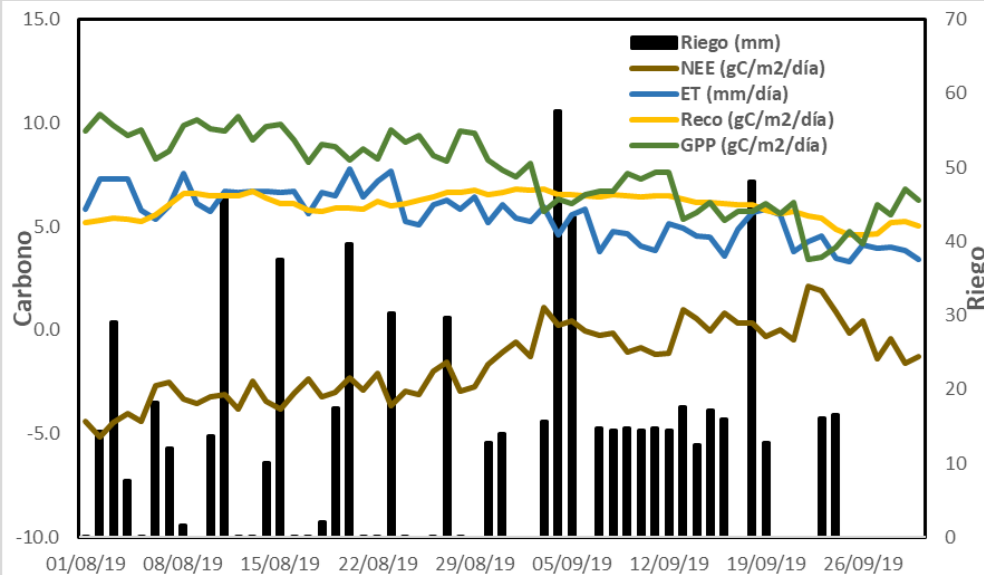
$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$



5. Resultados



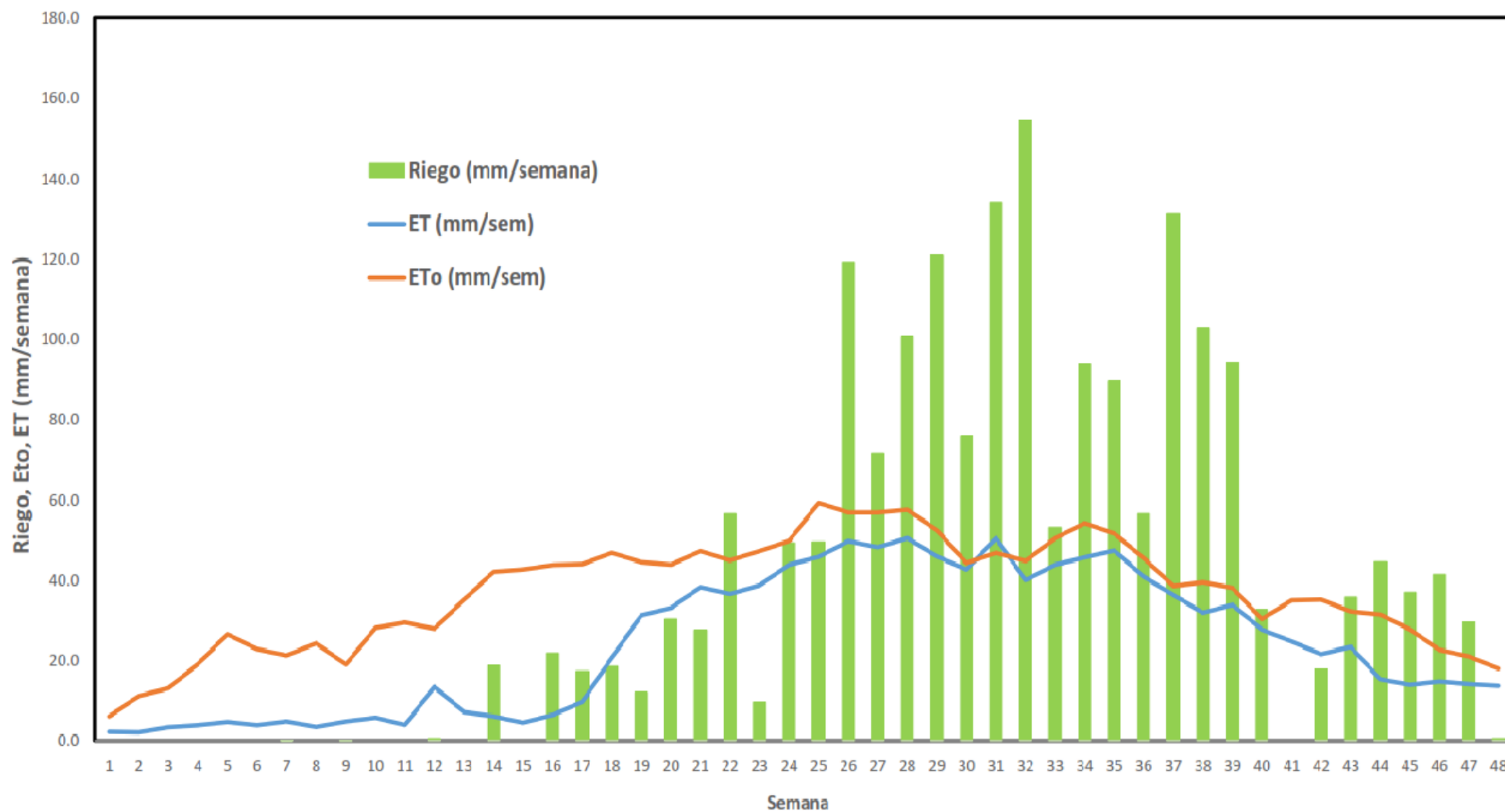
NEE (gC/m ² /ET (mm/día)	Reco (gC/m ²	GPP (gC/m ² /ETo (mm/día)	Riego (mm)
-231.33	212.94	200.87	432.20
			391.00
			193.95



NEE (gC/m ² /ET (mm/día)	Reco (gC/m ²	GPP (gC/m ² /ETo (mm/día)	Riego (mm)
-97.05	335.28	367.24	464.29
			380.24
			697.20

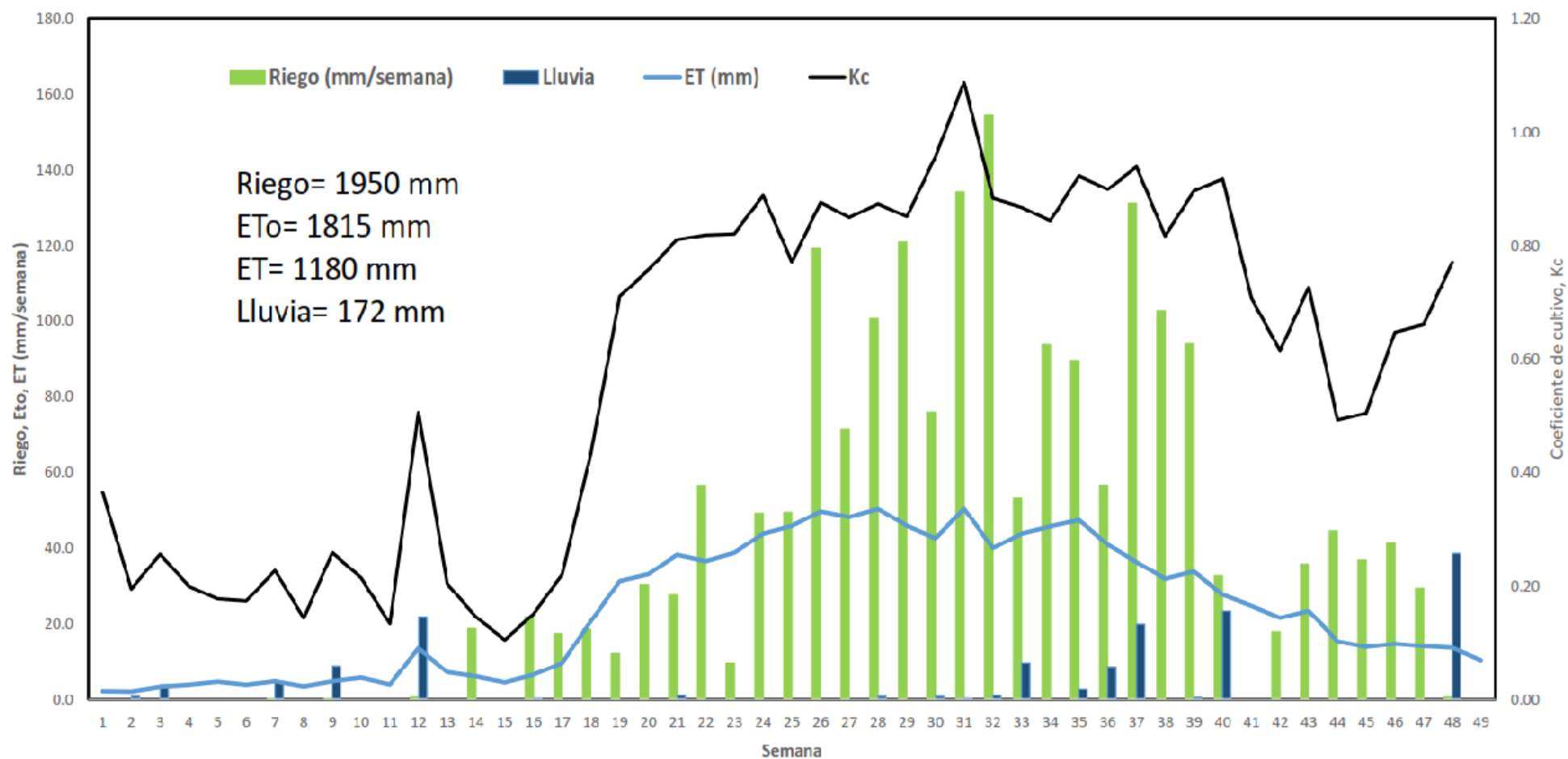
5. Resultados

Espárrago 2019,



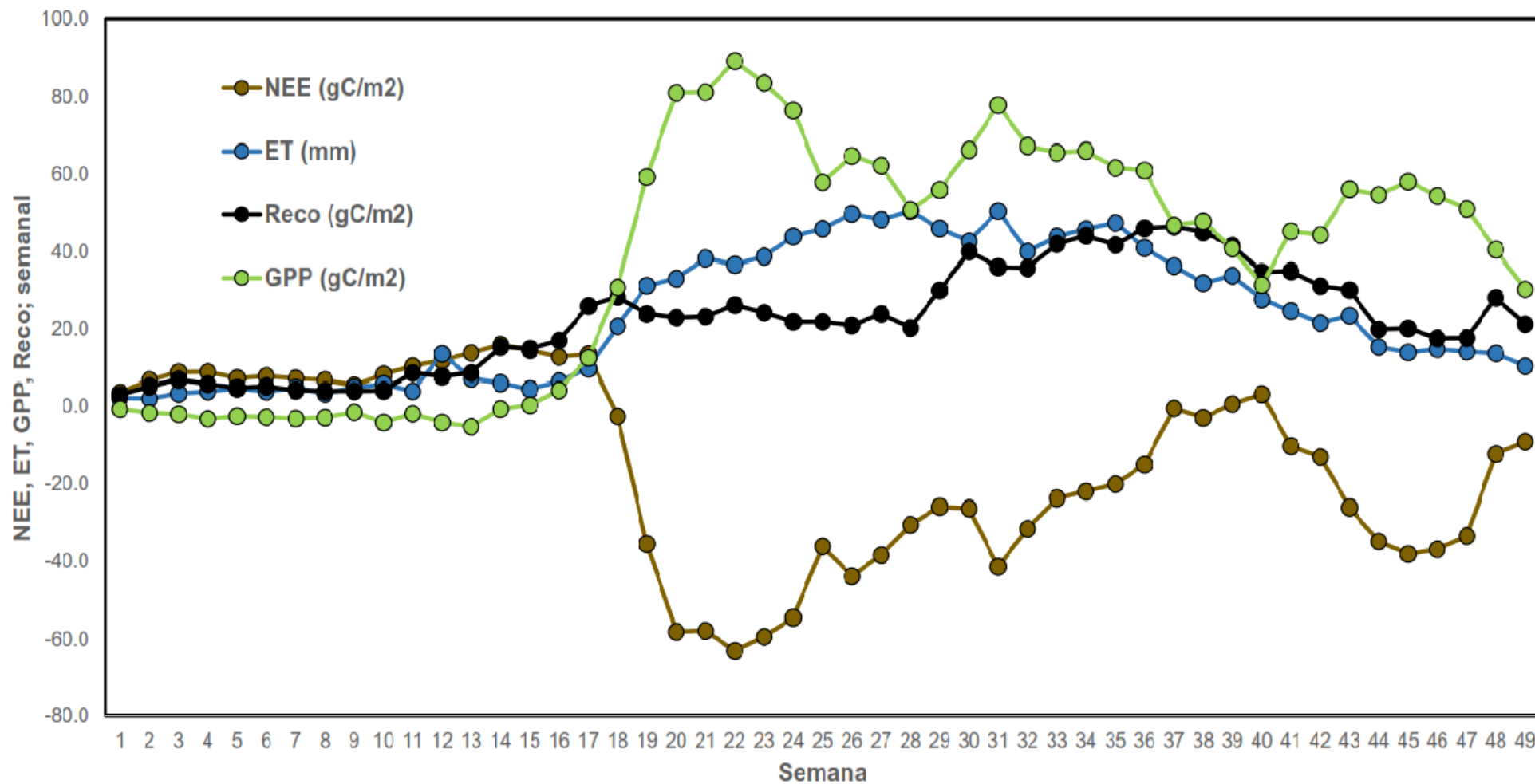
5. Resultados ...

Espárrago 2019,

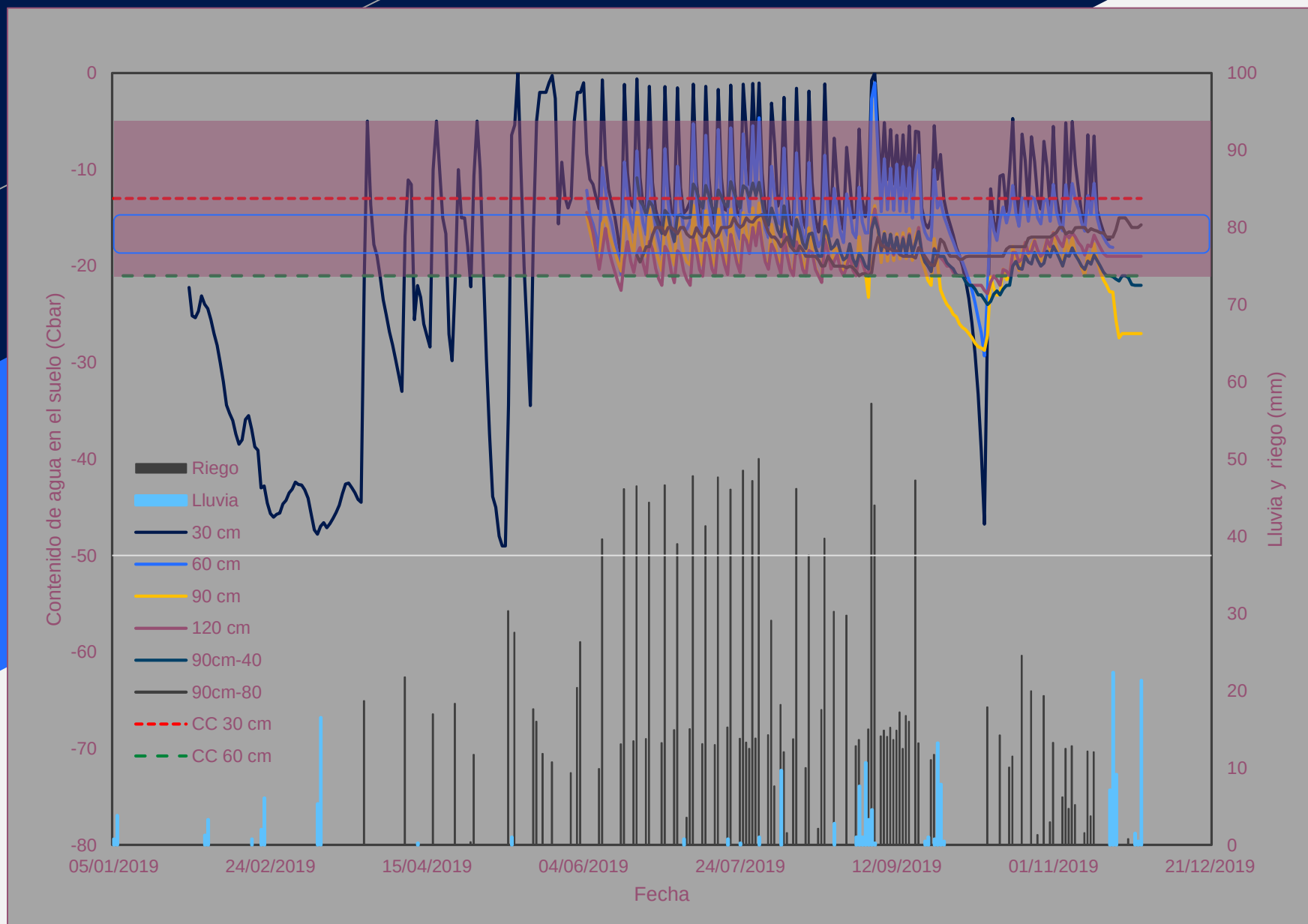


5. Resultados ...

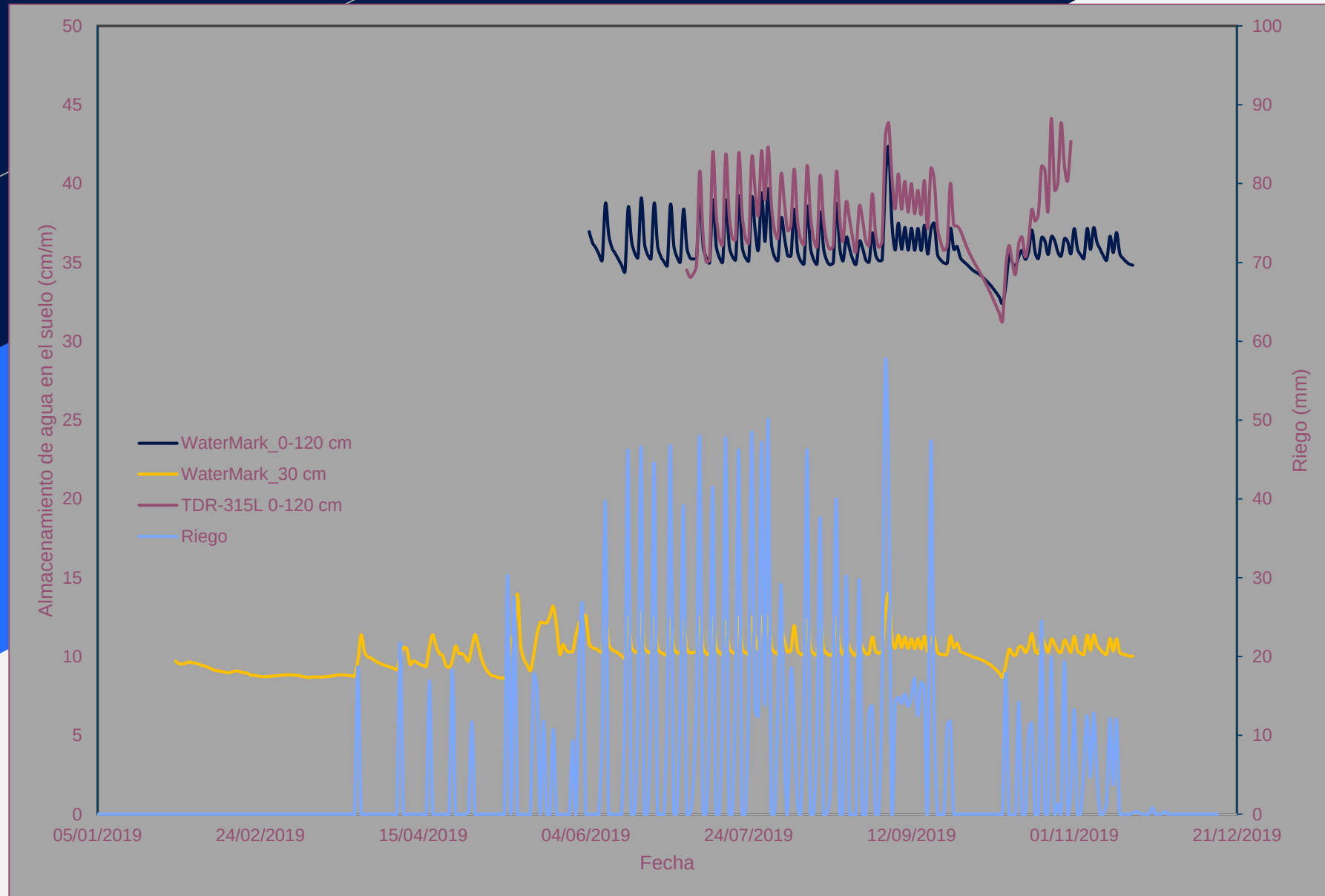
Espárrago 2019,



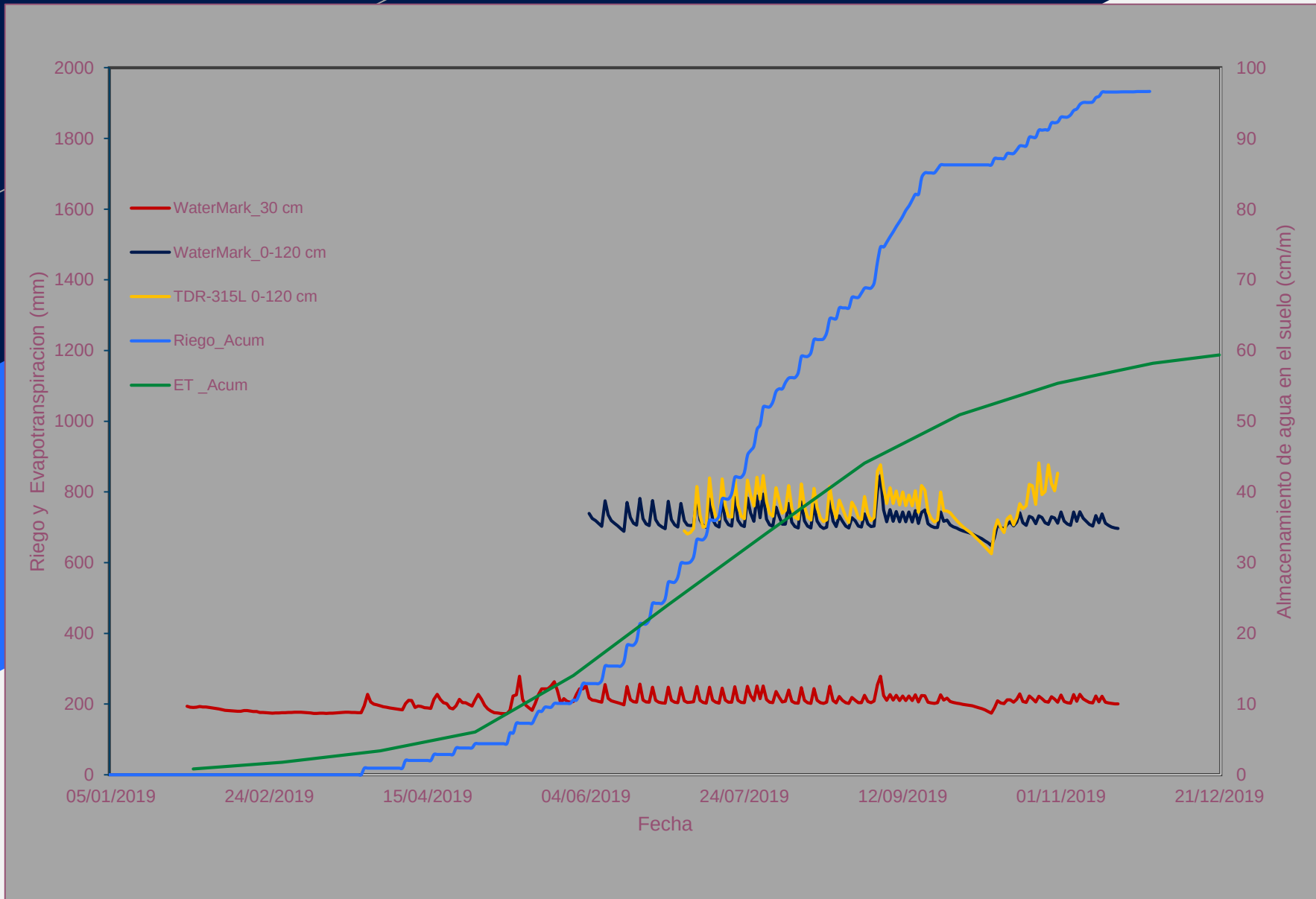
5. Resultados ...



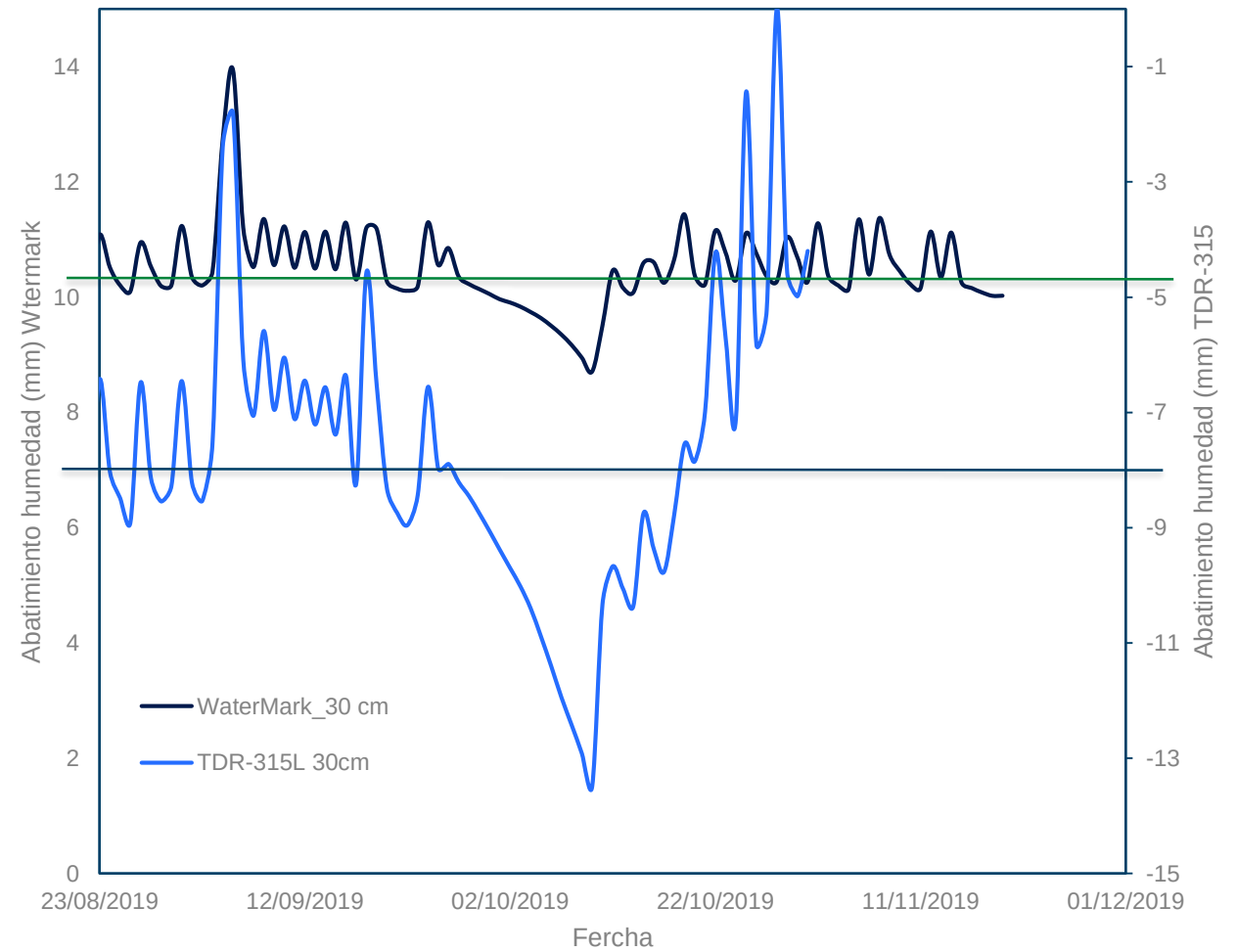
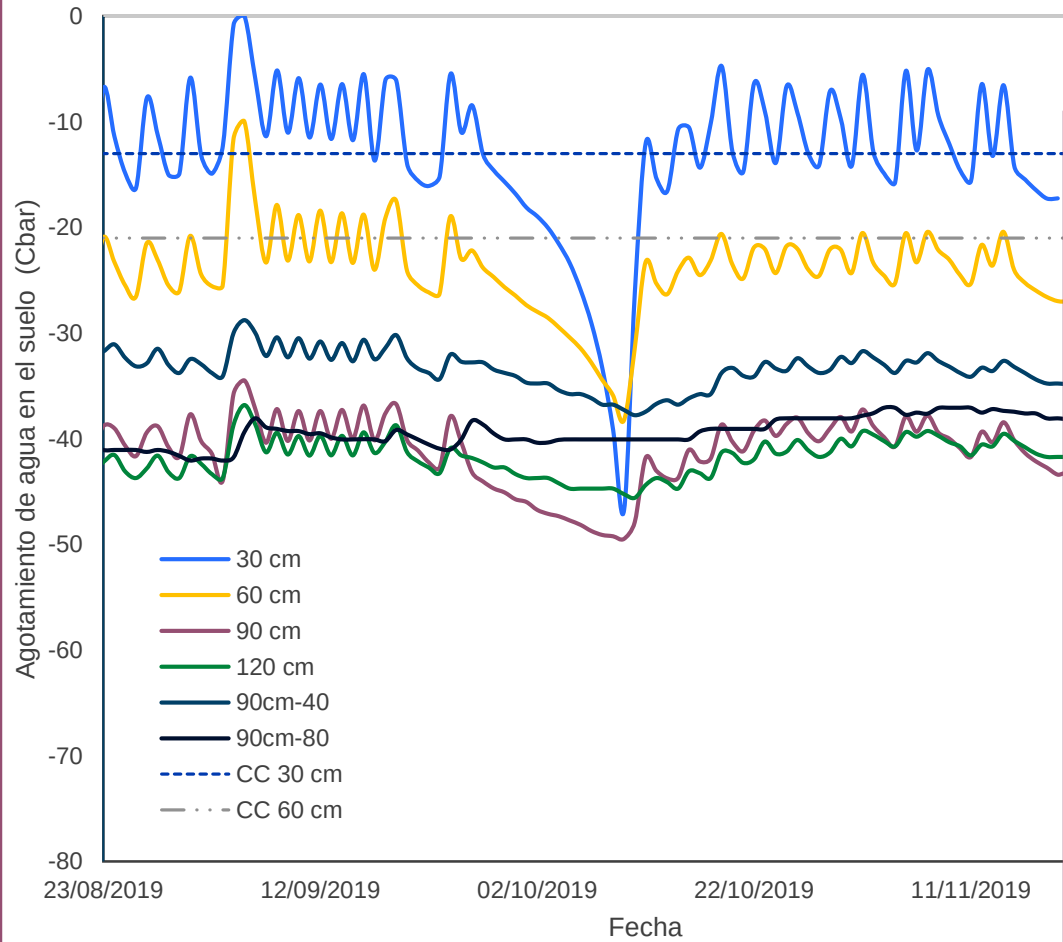
5. Resultados ...



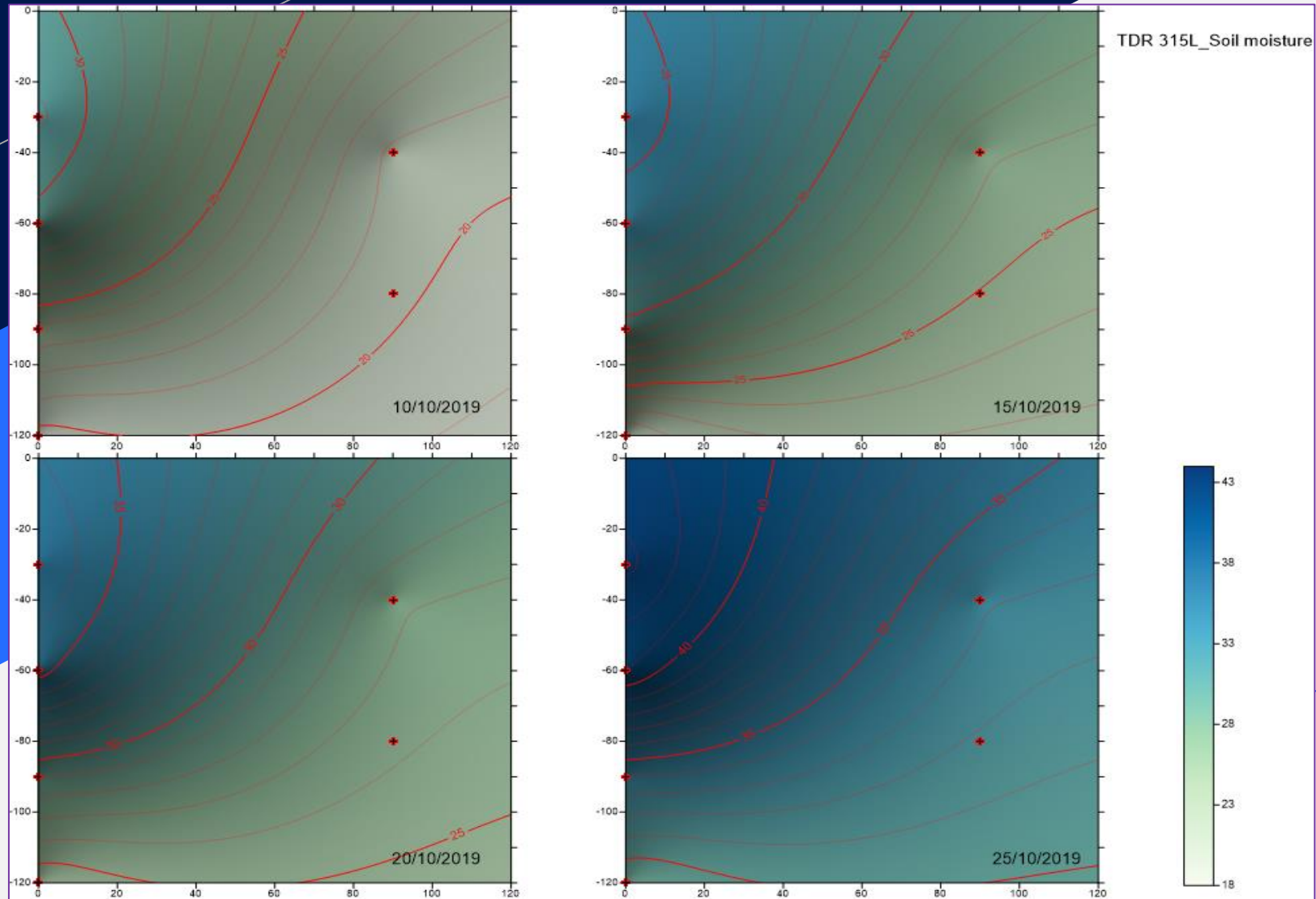
5. Resultados ...



5. Resultados ...



5. ... *Bulbo de humedad*



5. Balance Hídrico

	Rodríguez y Cruz-Bautista., 2020						
	(mm)						
Ciclo	ET _o	ET _c	Lluvia	Riego	LL + R	Percolación	Almacenamiento
2019 -2020	<u>1785</u>	<u>1166</u>	<u>170</u>	<u>1950</u>	<u>2120</u>	<u>¿ 590 ??</u>	<u>360</u>

Lámina de riego anual aplicada

Superior en un 40 % a ET_c

Lluvia es 9% del riego

Percolación ¿??

Almacenamiento
es 18% del riego

Uso de agua en Esparrago en el Predio “El Cachanilla”, Caborca Sonora

Superficie	Riego	Aplicado	Evapotransp..	Almacenado	TOTAL Aplicado	Lámina de riego Media / Evento
(Ha)	(cm)	Millares de M3/Ha		Millares de M3		(cm)
48.5	195	19.5	11.66	1.636	945.75	2.2

5. Conclusiones

Esparrago ...



*Productores de Caborca y San Luis Río Colorado,
aportan el 47% de la producción nacional.*



*Láminas de riego oscilan de **200 a 310 centímetros.***



*El espárrago genera 4.54 veces más empleo por
unidad de agua usada.*

Uso de Agua ...



En Caborca el agua es un recurso escaso, lo que ha provocado un serio problema de sobreexplotación del acuífero.



El uso de sensores pueden ser una herramienta relevante para la gestión adecuada del riego.



Deben integrarse en un sistema de riego láminas de riego apropiada y la calendarización adecuada, para el uso eficiente del agua.

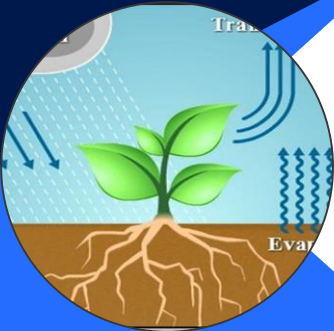


Promover el uso de sistemas de riego por goteo sup-superficial y reposición de la ETC del cultivo

6. Desafíos ...



Capacitar y entrenar a técnicos, en concepto de dosis de riego para el riego y uso eficiente del agua en la Región.



Planificación inteligente del riego: restituir el agua evaporada - transpirada en el bulbo o banda de humedecimiento, a partir de medidas directas del contenido de agua en el suelo y de la ETc.



Es posible reducir entre un 30 a 50 % el volumen de agua aplicada en los cultivos considerando el Área_Efectiva: **bulbo húmedo o banda de humedecimiento**

Muchas gracias

Dr. Julio Cesar Rodríguez,
Dr. Fidencio Cruz-Bautista
Profesores Investigadores
Universidad de Sonora



HORTÍCOLA DEL DESIERTO®



Para citar esta presentación:

Rodríguez, J.C. y Cruz-Bautista, F. **Evapotranspiración y dinámica de la humedad de un suelo con un cultivo perenne**. Serie de Seminarios Virtuales 2020. Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación (COMEII). México. 25pp.

Consulta el portal del COMEII y sus redes sociales:
www.comeii.com y www.riego.mx