

¿IMPACTO DEL RIEGO EN LA ASIMILACIÓN DE CARBONO EN VIDES EN LA COSTA DE HERMOSILLO?

Julio César Rodríguez¹; Fidencio Cruz-Bautista¹; Salah Er-Raki²; Abdelilah Meddich²; Alejandro E. Castellanos-Villegas¹; Jesús E. López-Avendaño^{3*}

¹Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora, Hermosillo, 83000, México

²Center of Agrobiotechnology and Bioengineering, Research Unit labelled CNRST (Centre AgroBiotech-URL-CNRST-05), Cadi Ayyad University, Marrakech, 40000, Morocco.

³Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán de Rosales, 80200, México

profe.jesus@uas.edu.mx (*Autor de correspondencia)

Resumen

La uva de mesa (*Vitis vinifera*) es uno de los principales cultivos perennes en la Costa de Hermosillo, cuenta con la mayor superficie y producción en el estado. Actualmente, toda la superficie comercial cuenta con sistema de riego presurizado, lo cual ha reducido las pérdidas por evaporación del suelo. Sin embargo, durante postcosecha existe una reducción en el riego y puede causar estrés debido a las altas temperaturas de verano e impactar el balance de carbono anual en el cultivo. Para evaluar el impacto de la disminución del riego y su efecto en el almacenamiento de carbono a través de la productividad primaria bruta (GPP) y el intercambio neto de carbono (NEE), se realizó un experimento por varios ciclos y edades de las principales variedades de uva de mesa. Para ello se instaló un sistema de covarianza de vórtices y equipo meteorológico, para determinar la evapotranspiración de referencia (ET_0), evapotranspiración del cultivo (ET_c), riego, GPP y NEE a partir de 2018 en un predio de 100 ha. Los resultados muestran que anualmente la vid consume 1 153 mm de agua, recibiendo un riego de 1 020 mm. Respecto al carbono, presentó valores medios anuales de -477 gC m^{-2} , con extremos durante los 5 años de -616 a -382 gC m^{-2} . La máxima acumulación de carbono (NEE), sucede en el período de cosecha y la mínima durante el período de poda a brotación. Lo anterior indica que la vid es deficitaria en el riego y muestra una continua capacidad para secuestrar carbono anualmente.

Palabras claves: secuestro de carbono, evapotranspiración, NEE, GPP, Reco

Introducción

Globalmente los cultivos utilizan el 70% del agua dulce, donde el 43% proviene de acuíferos y se estima que alrededor del 15% de este volumen no será renovado (Wada et al., 2010; Döll et al., 2012, 2014). Este incremento en la demanda se debe a dos razones: el incremento en la población y la alimentación animal, los que demandan una mayor producción de alimentos y como consecuencia, se ha incrementado la superficie agrícola para suplir su carencia (Godfray et al., 2010). Esta demanda de agua ha aumentado la extracción de agua subterránea y ha producido una sobreexplotación en algunas regiones del mundo (Wada et al., 2010). México es una de esas regiones, particularmente en las zonas áridas (Scott et al., 2010). En Sonora, los efectos ocasionados son abatimiento e intrusión salina de varios acuíferos, especialmente los ubicados en la Costa de Hermosillo y Caborca (Rangel et al., 2012; Ojeda et al., 2015). Por otro lado, en ellos continúa desarrollándose una intensa actividad agrícola, principalmente cultivos perennes. Los cultivos de vid, nogal y espárrago ocupan una superficie de ~39,000 ha y generan alrededor de 4.3 millones de jornales anualmente (Vázquez, 2011).

Actualmente, la vid ocupa una superficie de ~10 000 ha en la Costa de Hermosillo y recibe anualmente importantes láminas de riego (Rodríguez et al. 2010; Vázquez, 2011; SIAP, 2023). Se prevé que la cantidad de agua aplicada aumente para hacer frente al calentamiento global (Snyder, 2017). Debido a esto, es necesario determinar con mayor precisión las necesidades reales de los cultivos y reducir la lámina aplicada en las etapas fenológicas que no tengan impacto en el rendimiento (Wells, 2015). Por otro lado, se ha demostrado mediante mediciones micrometeorológicas y fitotecnia que las prácticas de manejo y el clima, como los elementos que más influyen en el secuestro de carbono, adicionalmente a la fenología de la especie (Buysse et al., 2017; Scandellari et al., 2016; Gianelle et al., 2015).

En este sentido, varios autores han coincidido que los cultivos perennes, como las vides, han recibido poca atención en su capacidad de fijar CO₂ atmosférico y secuestrarlo como carbono en su biomasa aérea o raíces, y que han sido poco estudiados (Pitacco et al., 2015; Vendrame et al., 2019; Callesen et al., 2023). En este sentido, se analiza una serie de tiempo sobre mediciones de flujos de agua y carbono en dos cultivares de vides con diferentes edades en la Costa de Hermosillo, México, haciendo énfasis en la fenología y el efecto del clima sobre secuestro de carbono y el consumo de agua.

Materiales y Métodos

a) Área de estudio.

El sitio de estudio se encuentra dentro del desierto sonorense y recibe precipitación media anual de 188.2 mm; donde el 65% precipita en verano (julio-septiembre), el 22% en invierno (diciembre-febrero) y el resto en otoño y primavera, con una marcada sequía (abril-junio). Presenta una temperatura media anual de 22.35 °C, con mínimas y máximas de 13.01°C y 31.71 °C, respectivamente. Periódicamente ocurren eventos extremos, temperaturas inferiores a 0°C y superiores a 45°C en invierno y verano, respectivamente

(Cuadro1). Cuenta con suelos profundos por su cercanía al cauce de río Sonora, variando su clase textural de franco en la superficie a suelos franco-arenosos con la profundidad.

Cuadro 1. Climatología de la Costa de Hermosillo México (Palo verde, 26066, CONAGUA).

Mes	Tmn (°C)	Tmx (°C)	T (°C)	Lluvia (mm)	Evaporación (mm)	Tmn-ext	Tmx-ext
Ene	4.9	23.6	14.2	11.1	118.6	-7.0	37.0
Feb	5.8	25.6	15.7	12.3	137.9	-3.0	39.0
Mar	7.1	27.9	17.5	3.3	195.9	-2.0	42.0
Abr	9.5	31.1	20.3	2.2	249.8	1.0	44.0
May	12.9	34.7	23.8	2.4	321.7	2.0	46.0
Jun	18	38	28	1.6	345.6	7.0	48.0
Jul	23.3	38.6	30.9	35.6	315.0	10.0	49.5
Ago	23.5	38.2	30.8	52.6	274.6	6.0	46.0
Sep	21.6	37.1	29.4	34.5	248.0	12.0	48.0
Oct	15.2	33.5	24.3	7.8	222.7	2.5	46.0
Nov	8.8	28.1	18.5	6.2	157.0	-1.0	41.0
Dic	5.5	24.1	14.8	18.6	117.6	-3.0	38.0
Media/suma	4.9	38.6	22.35	188.2	2704.4	-	-

b) Instrumentación.

Durante 2018 se instaló e instrumentó una torre micrometeorológica de 6.0 m de altura en el predio agrícola Viñas de la Costa de Hermosillo, México (28° 55' 06", -111° 18' 35"). En la parte media alta se colocó el sistema de covarianza de vórtices y equipo meteorológico para el monitoreo de temperatura y humedad, componentes de la radiación solar y viento; mientras que en el suelo se monitoreó el riego, la humedad volumétrica, tensión del agua y temperatura a diferentes profundidades (Cuadro 2).

Cuadro 2. Sensores instalados en Viñas de la Costa de Hermosillo México.

Variable Medida	Sensor	Altura (m)
Flujo de calor sensible (H), W m ⁻²	Anemómetro sónico (GILL)	5.2
Flujo de calor latente (LE), W m ⁻²	IRGA 7500Rs (LICOR) y A. sónico (GILL)	5.2
Flujo carbono (CO ₂), μmol m ⁻² s ⁻¹	IRGA 7500Rs (LICOR) y A. sónico (GILL)	5.2
Temp. y humedad del aire, °C y %	HMP60, (Vaisala)	2.5
Vel. y dir. del viento, m s ⁻¹ , grados	Anemómetro sónico (GILL)	5.2
Temperatura de suelo, °C	TDR315L (ACCLIMA)	-0.30,-0.60, -0.90, -1.20
Humedad de suelo, m ³ m ⁻³	TDR315L (ACCLIMA)	-0.30,-0.60, -0.90, -1.20
Tensión de agua en suelo (kPa)	Watermark, M900	-0.30,-0.60, -0.90, -1.20
Precipitación, mm	Pluviómetro (Texas Electronics)	3
Riego, mm	Pluviómetro (Texas Electronics)	0.5

Radiación neta, $W m^{-2}$

Radiómetro neto CNR4 (Kipp &
Zonen)

3.8

Durante los ciclos 2018 y 2019, fue instalada en cultivar perlette (2001); posteriormente en el ciclo 2020 en flame (2013) y finalmente desde 2021 se ha mantenido en un cultivar joven de flame (2019). Típicamente el marco de plantación en ambos cultivares es 1.3 m entre planta y 3.8 m entre líneas con una densidad de 2025 plantas ha^{-1} , usando pérgola para conducción de los cargadores y cañas, para maximizar la intercepción de la radiación por el follaje (Er-Raki et al., 2013). Las plantaciones cuentan con sistema de riego presurizado, con goteros de gastos $2.5 L h^{-1}$ y separación de 0.50 m, y colocada la línea de riego a una altura de 0.60 m sobre la superficie (Figura 1).

c) Datos, colecta y procesamiento.

Los datos micrometeorológicos se muestrearon a 20 Hz, creando archivos cada 30 min; mientras que los meteorológicos y de suelo se muestrearon cada 10 s, almacenando su promedio cada 10 min. Para el procesamiento de los datos micrometeorológicos se utilizó el programa EddyPro ver. 6.0 (LI-COR), en modo exprés, generando flujos de calor sensible (H), calor latente (LE) y de carbono (NEE, GPP). Estos flujos fueron posprocesados en el sitio <https://www.bgc-jena.mpg.de/REddyProc/ui/REddyProc.php>, para estimar datos faltantes y las inconsistencias nocturnas por la baja turbulencia atmosférica. Los datos meteorológicos fueron promediados a frecuencia de 30 min, diarios, semanal, mensual o anual, al igual que los micrometeorológicos para su utilización posterior.

Se realizaron mediciones adicionales de potencial hídrico en hojas y mediciones semanales de área foliar en todos los cultivares estudiados. Así mismo, se realizó análisis de suelo para determinar su clase textural, y posteriormente se utilizó el programa SPAW (ARS-USDA) para obtener la capacidad de campo (CC), el punto de marchitez permanente (PMP), saturación y conductividad hidráulica. La densidad aparente se determinó por el método del Cilindro Uhland (Gabriels y Lobo, 2006).



Figura 1. Torre micrometeorológica en el viñedo Viñas de la Costa de Hermosillo, México.

d) Flujos de calor sensible (H) y calor latente (LE) e intercambio neto de carbono (NEE).

El método de covarianza de vórtices (EC) permite determinar el flujo de H, LE, NEE, entre otros, midiendo el transporte turbulento vertical del elemento en estudio (H₂O, CO₂, calor) hacia o desde la superficie, sin flujo añadido al flujo medio por el área medida. Los remolinos mueven un similar número de elementos del gas o calor hacia arriba y hacia abajo. El flujo vertical puede representarse como la covarianza de la velocidad vertical del viento y la entidad de interés (vapor de agua, dióxido de carbono, temperatura, metano, óxido nitroso, etc.), Burba (2012). Por lo tanto, si se conoce la magnitud de elementos que subieron con remolinos en el momento 1 y los que bajaron con ellos en el momento 2 en el mismo punto, se puede calcular el flujo vertical en ese punto durante ese período de tiempo, generalmente 30 min o menos (Keresten et al., 2012). Una expresión que lo ejemplifica es la regla del promediado de Reynolds (Stull, 1988), cual puede ser aplicada a cualquier variable que pueda ser dividida en su media y su parte turbulenta (Ecuación 1). Entonces los flujos para cualquier entidad pueden expresarse mediante la ecuación 2 (Aubinet et al., 2012).

$$w = \bar{w} + w'; F = \bar{w} + s' \tag{1}$$

$$F \approx \bar{\rho a} \overline{w' s'}; \lambda E = \bar{\rho a} \overline{w' q'}; H = \bar{\rho a} C_p \overline{w' t'}; F_{CO_2} = \bar{\rho a} \overline{w' CO_2'} \tag{2}$$

donde; F es el flujo de λE ($W m^{-2}$), H ($W m^{-2}$) y CO_2 (mg o $\mu mol m^{-2} s^{-1}$), $\bar{\rho a}$ es la densidad del aire ($kg m^{-3}$), q H₂O ($mmol m^{-3}$ o $g m^{-3}$), CO_2 ($mmol m^{-3}$ o $mg m^{-3}$), $\overline{w' s'}$ son la

covarianza de la fluctuaciones de la velocidad vertical (w') del viento ($m\ s^{-1}$) y de la fluctuación de la entidad en estudio s' (agua, calor, dióxido de carbono, metano, etc.), respectivamente.

Finalmente, para la conversión de energía ($W\ m^{-2}$) a lámina ($mm\ día^{-1}$), se utilizó el calor latente de vaporización ($\lambda=2.45\ MJ\ kg^{-1}$) a $20^{\circ}C$ y densidad de agua ($\rho_w=1\ 000\ kg\ m^{-3}$) y de CO_2 en carbono ($C=g\ d^{-1}$), se utilizó PM de $CO_2(44\ g\ mol^{-1})$ y $C(12\ g\ mol^{-1})$, $(22/44=0.27)$.

La evapotranspiración de referencia (ET_0), fue estimada mediante la aproximación de FAO-PM (Allen et al., 1998).

e) Partición de la fenología en los flujos de agua y carbono.

El manejo de la uva de mesa está definido por el clima y el mercado futuro del fruto (Alonso et al., 2021). En este sentido se adelanta la poda y la brotación-floración por la aplicación de cianamida de hidrógeno, al igual que el desarrollo de las bayas y el envero por estimulantes del desarrollo y madurez. Para evaluar el efecto del riego en la acumulación de fotosintatos, se realizó una partición del ciclo de la vid en cuatro periodos: 1) Poda-Brotación (16 dic a 31 ene), 2) Brotación-ICosecha (01 feb a 15 may), 3) ICosecha-FCosecha (16 may a 30 jun) y 4) Poscosecha-Poda (01 jul a 15 dic). Para cada periodo fue calculado la acumulación de días grado de desarrollo (GDD), usando una temperatura base de $10.0^{\circ}C$ (Zapata et al., 2015), (ecuación 3). Asimismo, se calculó las horas frío y horas frío efectivas, mediante la propuesta por Grageda et al. (2016).

$$GDD = \frac{(T_{mx} - T_{mn})}{2} - T_b \quad (3)$$

donde; temperatura máxima diaria, T_{mx} ($^{\circ}C$); temperatura mínima diaria, T_{mn} ($^{\circ}C$); temperatura base, T_b ($^{\circ}C$).

Resultados y Discusión

a) Fenología y acumulación de horas frío (HF) y días grado de desarrollo (GDD)

Los cultivos en las zonas áridas y cálidas son dependientes del riego y la magnitud depende del cultivo, su fenología y del clima local. El Cuadro 3, muestra la acumulación de HF y HFE de cinco ciclos productivos de vid. En dos de los cinco ciclos la acumulación de HF es inferior al recomendado de 250 HF (Díaz, 1987), pero en el rango mencionado por Santibañez (1994) de 200 a 600 HF para vides. La que ha ocasionado que anualmente se apliquen promotores de la brotación (Cianamida de hidrogeno). Asimismo, se observa que la región está cerca del límite de los 5 000 GDD anuales, usando como $T_b=10^{\circ}C$ (Santibañez 1994a). También se observa que se encuentra dentro del rango propuesto por Doorenbos y Kassam (1979) de 900 a 2000 GDD de brotación a madurez (B-IC), para variedades tempranas y tardías, respectivamente (Cuadro 3). Inferior al propuesto por Grageda (2002), de 1 400 GDD para variedades de vides tempranas en la región de la Costa de Hermosillo. Asimismo, las temperaturas medias por periodo se

ubican dentro de los rangos recomendados por Santibañez (1994b) de 15 a 25 °C para fotosíntesis, de 19 a 25 durante la floración y 20 °C para el desarrollo de brotes.

Cuadro 3. a) Horas frío y días grado de desarrollo; Viñas de la Costa Hermosillo.

Ciclo	Horas frío		Período (días)				Días Grado Desarrollo (GDD)				Anual
	HF	HFE	P-B	B-IC	IC-FC	PC-P	P-B	B-IC	IC-FC	PC-P	
2017-2018	332.0	224.2	46	104	46	168	358	1037	775	2724	4894
2018-2019	230.2	197.7	46	104	46	168	241	933	719	2799	4692
2019-2020	436.2	309.2	46	105	46	168	214	968	774	2855	4811
2020-2021	197.3	125.3	46	104	46	168	215	983	792	2692	4683
2021-2022	372.3	282.3	46	104	46	168	273	936	816	2575	4600
2022-2023	-----	-----	46	104	46	168	195	879	753	-----	-----

Cuadro 3. b) Temperaturas; Viñas de la Costa Hermosillo.

Ciclo	Temperatura media (°C)					Anual
	P-B	B-IC	IC-FC	PC-P		
2017-2018	17.1	20.0	26.9	25.3		22.8
2018-2019	14.6	19.0	25.7	25.7		22.3
2019-2020	13.8	18.7	26.6	25.7		22.3
2020-2021	13.9	19.6	27.7	25.0		22.5
2021-2022	15.1	19.2	27.9	24.5		22.2
2022-2023	13.5	18.5	26.7	-----		-----

Nota: HF, Horas frío; HFE, Horas frío efectivas; P-B, Poda a brotación; B-IC, Brotación a inicio de Cosecha; IC-FC, Inicio a fin de cosecha; PC-P, Poscosecha a poda. Calculo de HF (16 nov a 31 de ene).

La Figura 2 muestra los flujos mensuales y anuales de agua y carbono en el agroecosistema, observándose que la evapotranspiración del cultivo (ET) media fue de 1 153 mm (1053 - 1349); mientras que el riego medio anual fue de 1 012 mm (897-1150). Estos valores anuales son inferiores a lo reportado por Williams et al. (2022), en el periodo de abril-octubre de 900 mm, contra los observados de 985 mm. Generalmente, la ET fue superior a la irrigación, excepto en el 2018, donde el riego fue superior en 100 mm. Indicando la importancia de la precipitación anual, la cual fue como promedio de 205 mm (153 – 271). Esto valores de riego son similares a los reportado por Rodríguez et al. (2010) de 1 121 y 1 088 mm, en cambio, una marcada diferencia en ET de alrededor de 300 mm. Como se observa en el cuadro 4, la ET en la etapa de P-IC, generalmente es menor que el riego; mientras que en la etapa de cosecha (IC-FC), la ET es mayor que el riego. Esto es debido a que en la etapa de cosecha se reduce el riego para concentrar los azúcares en el fruto, mayor temperatura del aire y una mayor demanda atmosférica (ET₀). Asimismo, los máximos valores diarios de ET, ocurren en esta etapa, llegando hasta 8.2 mm (junio, 2020) en flame y valores inferiores en el resto de los años (Cuadro 4). Valores de ET diaria superiores a 6 mm han sido observados por otros autores (Knipper et al 2019; Williams et al., 2022) durante el verano en viñedos para vinos en California, USA.

Uno de los temas poco atendidos en vides es la GPP (energía fijada por la fotosíntesis) a nivel de agroecosistema, generalmente se hacen mediciones puntuales o por breves periodos. En la Figura 2 se observa la evolución mensual y anual, y en el Cuadro 4, promedio diario por etapa de estudio durante cinco ciclos agrícolas. En la Figura 2 la GPP fue mayor durante el 2020 (2 093 gC m⁻²), lo cual es consistente con la ET y el riego, sin

embargo, la huerta joven (2021-2022), también presentó valores altos ($1\ 864$ y $1\ 781$ gC m^{-2}), debido al sistema de conducción que permite maximizar el follaje y lograr un máximo de interceptación de luz. Estos valores son superiores a observados por Gianelle et al. (2015) de 1200 gC m^{-2} en vides de vinos, las cuales por lo general presentan cobertura entre el 35 y 60 % (Williams et al. (2022). Sin embargo, Callesen et al. (2022), reportó valores de GPP de $2\ 409$ gC m^{-2} en uvas para vino, donde una importante contribución provenía de estrato herbáceo.

Por otro lado, en la Figura 2 se observa el intercambio neto de carbono (NEE) anual en el agroecosistema, para el año 2020 presentó la máxima ganancia de -616 gC m^{-2} y el 2022 la mínima ganancia de -382 gC m^{-2} . En 2020, la vid presentó la máxima cobertura, además de ser una huerta adulta, ese año las temperaturas fueron superiores al 2022, sobre todo en otoño. Por otro lado, se esperaría que con la edad de la plantación se presentaran mayor ganancia de NEE en el 2022 que en 2021, pero fue lo contrario y se puede atribuir también a las bajas temperaturas durante el otoño 2022 comparado con el año previo (una menor acumulación de GDD, Cuadro 3). Sin embargo, estos valores de NEE, comparan entre valores extremos reportados por Gianelle et al. (2015) de -145 a -814 gC m^{-2} , Marras et al. (2015) de -195 gC m^{-2} , Callesen et al. (2022) de -246 gC m^{-2} y por Vendrame et al. (2019) de -207 a -69 gC m^{-2} para diferentes sitios en Italia de uva de vinos, con lluvias anuales entre los 500 y 800 mm y régimen de lluvia invernal; mientras en China también para uvas de vino, Guo et al. (2014), reportan valores promedio de NEE de -868 gC m^{-2} , con lluvias medias anuales menores de 200 mm y riegos totales de 300 mm año^{-1} . En la misma Figura 2 y Cuadro 4 se observa que en Poscosecha (FC-P) la NEE tiende a valores cercanos a 0 gC m^{-2} , ya que el desarrollo del cultivo decrece hasta su senescencia. Durante este periodo se reduce la lámina del riego, y su magnitud está fuertemente influenciada por las temperaturas, la lluvia de verano y otoño. Siendo la GPP muy cercana a la respiración del agroecosistema (Reco) y la ET mayor que el riego (Cuadro 4).

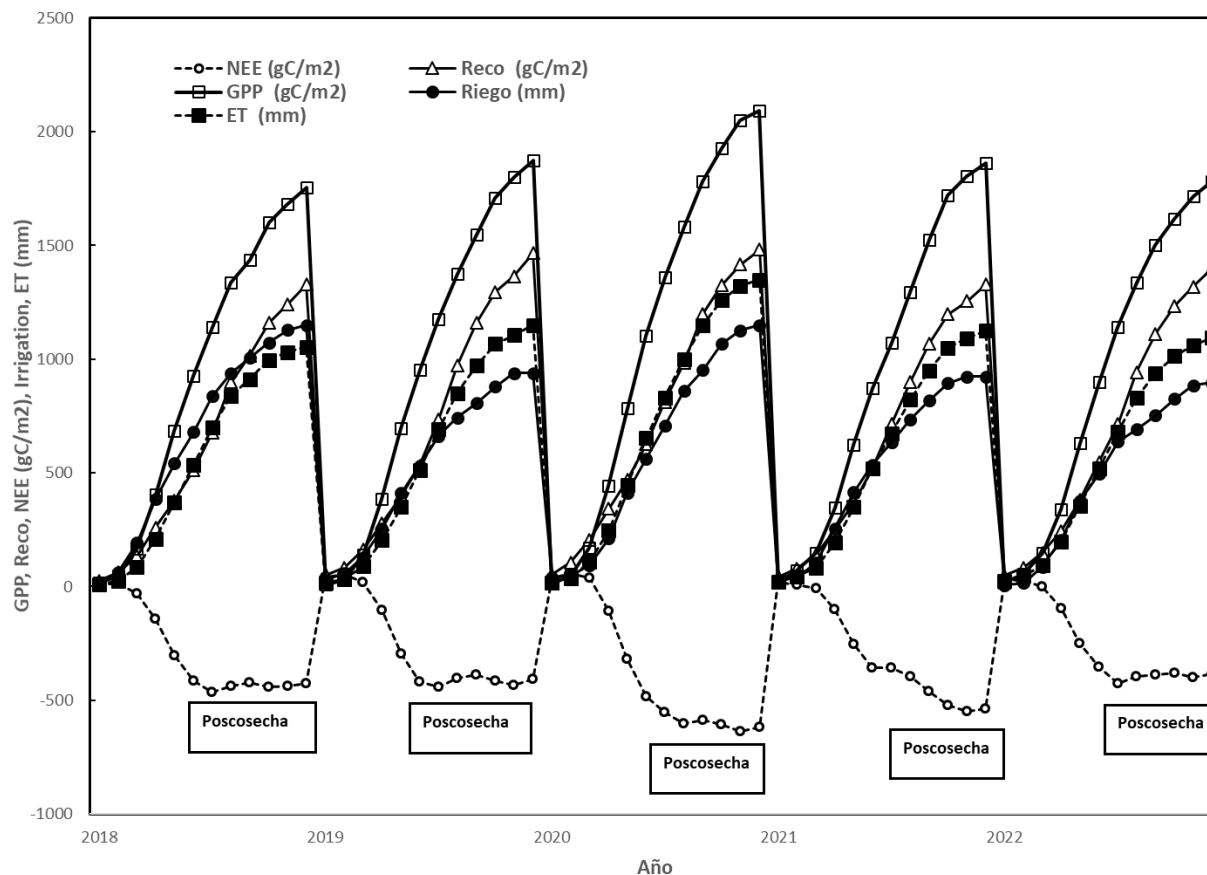


Figura 2. Valores anuales de productividad primaria bruta (GPP), Intercambio neto de carbono (NEE), Respiración del agroecosistema (Reco), Evapotranspiración (ET), Irrigación (R) en vides perlette (2018 y 2019) y flame (2020-222) en la Costa de Hermosillo, México.

Por otro lado, cuando se analiza el NEE a escala máximos diarios, semanal, mensual, estacional o anual, se pueden encontrar algunas similitudes entre diversos sitios. En valores decenales Pitacco et al. (2015) reporta valores de -50 gC m^{-2} , similares a los observados a los -54 gC m^{-2} en 2019, por otro lado, los datos mensuales durante la etapa de máximo desarrollo de las vides en Italia, Marras et al. (2015) reporta valores de -100 y -108 gC m^{-2} para julio y agosto, en contraste con las uvas de mesa estudiadas se observan valores medios en mayo de -174 gC m^{-2} (-154 a -211) durante los 5 ciclos agrícolas. El Cuadro 4, muestra los valores por periodo o etapas de desarrollo del viñedo; en él se observan valores similares a los reportados por Pitacco et al. (2015), Marras et al. (2015) y Callesen et al. (2022), entre los -6.0 a -4.0 gC m^{-2} y los observados en la etapa de cosecha (IC-FC) anualmente; en contraste de los -9 gC m^{-2} reportados por Guo et al. (2014) en viñas de vinos en la región árida de China.

Cuadro 4. Valores medios por etapa en estudio en vides en la Costa de Hermosillo, México: ET_0 (mm d^{-1}), ET (mm d^{-1}), Riego (mm d^{-1}), GPP (gC d^{-1}), Reco (gC d^{-1}), NEE (gC d^{-1}) lluvia (mm d^{-1}).

Año	Etapa	ET_0	ET	Riego	GPP	Reco	NEE	Lluvia
2018	P-B	3.07	0.52	0.48	0.76	1.36	0.60	0.39

	B-IC	5.66	2.68	4.41	5.00	2.77	-2.23	0.00
	IC-FC	7.88	5.40	4.55	8.49	4.35	-4.13	0.12
	FC-P	4.92	3.27	2.66	5.19	5.10	-0.09	1.03
2019	P-B	2.77	0.44	0.77	0.55	1.71	1.16	0.24
	B-IC	4.97	2.49	2.97	5.12	2.80	-2.32	0.15
	IC-FC	7.23	5.32	4.23	9.15	4.24	-4.91	0.01
	FC-P	4.98	3.73	2.52	5.44	5.43	-0.01	1.35
2020	P-B	2.56	0.72	0.88	0.61	1.84	1.23	0.42
	B-IC	4.75	3.07	2.59	5.69	3.46	-2.23	0.57
	IC-FC	7.07	6.81	5.43	10.72	4.58	-6.14	0.00
	FC-P	5.21	4.08	3.36	5.81	4.92	-0.89	0.54
2021	P-B	2.87	0.68	1.08	0.78	1.53	0.75	0.68
	B-IC	5.27	2.37	2.93	4.43	2.58	-1.85	0.00
	IC-FC	7.04	5.52	4.40	8.49	4.49	-3.99	0.09
	FC-P	4.64	3.64	2.53	6.01	4.90	-1.10	1.04
2022	P-B	2.64	0.76	0.13	0.73	1.50	0.76	0.93
	B-IC	5.30	2.39	2.76	4.47	2.54	-1.93	0.00
	IC-FC	7.03	5.30	4.40	9.13	5.12	-4.01	0.00
	FC-P	4.35	3.14	2.36	4.73	4.47	-0.25	1.67

Conclusiones

El monitoreo a mediano y a largo plazo de flujos de carbono y agua es posible en agroecosistemas, principalmente en cultivos perennes. En lo relativo al flujos de carbono, se observa fluctuaciones estacionales y anuales las cuales son mayormente dependiente de las condiciones ambientales (riego, lluvia y temperatura) y el manejo agronómico. Estas fluctuaciones estacionales muestran que la mayor captura de carbono acontece al final de la madurez del fruto y durante la cosecha (B-IC y IC-FC). Asimismo, durante este periodo la evapotranspiración es mayor que el riego, disminuyendo la humedad de suelo. Durante el periodo de poda a brotación (P-B) los flujos de carbono y agua son escasos por la ausencia de follaje y son mayormente por evaporación o respiración del suelo; sin embargo, en el periodo de postcosecha a poda (FC-P), la mayor parte del carbono fijado por la fotosíntesis (GGP) es perdido por la respiración (Reco), presentando mínima ganancia en NEE. Entonces, los cultivos perennes como la vid anualmente secuestran carbono, que se almacena en la parte aérea o radicular, teniendo un importante potencial de secuestrar CO₂ atmosférico. Por otro lado, también es claro que tienen un importante consumo de agua, ya que presenta una gran biomasa foliar anualmente, la cual es incorporada en el agroecosistema, como hojarasca o producto de la poda. Sin embargo, otra crítica adicional a los cultivos perennes, es que existe periódicamente un reemplazo del cultivo (10, 15, 20 años después) y ese carbono ganado por varios años se perderá nuevamente del suelo. Una de las limitaciones de este tipo de investigaciones a largo plazo es el financiamiento y el mantener vivos los objetivos iniciales.

Agradecimientos.

Los autores desean agradecer al grupo dos triángulos por permitir el uso de sus instalaciones y su apoyo técnico, en el campo Viñas de la Costa, en especial al Gerente general Ing. Esteban Coppel y al encargado de campo José Alfredo López (Maro). Sin ellos no hubiera sido posible realizar y continuar el proyecto a largo plazo de monitoreo de consumo de agua y secuestro de carbono en cultivos perennes. También desean agradecer a los patrocinadores, la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AMEXCID) y a su contraparte en Chile (AGCID), por creer en el proyecto “Incremento de la eficiencia y cuidado del agua mediante experiencia conjunta entre comunidades de Sonora-México y Linares- Chile” y apoyarlo económicamente. Finalmente, al CONAHCYT por su apoyo a la infraestructura a través de proyectos de Ciencia Básica e Infraestructura y a los estudiantes Licenciatura y posgrado que hacen posible la realización de este tipo de experimentos.

Referencias bibliográficas

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO, Rome.
- Alonso, F.; Chiamolera, F.M.; Hueso, J.J.; González, M.; Cuevas, J. 2021. Heat Unit Requirements of “Flame Seedless” Table Grape: A Tool to Predict Its Harvest Period in Protected Cultivation. *Plants*, 10(904), <https://doi.org/10.3390/plants10050904>.
- Aubinet ,M. T. Vesala, D. Papele. 2012. Eddy Covariance: A practical guide to measurement and data analysis. Springer, New York, USA. 451pp.
- Buysse, P., B. Bodson, A. Debacq, A. De Ligne, B. Heinesch, T. Manise, C. Moureaux, M Aubinet. 2017. Carbon budgeget measurement over 12 years at a crop production site in the silty-loam region in Belgium. *Agricultural and Forest Meteorology*, 246:241-255.
- Burba, G. 2022. Eddy Covariance Method for Scientific, Regulatory, and Commercial Applications. LI-COR Biosciences, Lincoln, USA, Hard- and Softbound, 702 pp. ISBN: 978-0-578-97714-0.
- Callesen, T. O., C.V. Gonzalez, F. Bastos-Campos, D. Zanotelli, M. Tagliavini y L. Montagnani. 2023. Understanding carbon sequestration, allocation, and ecosystem storage in a grassed vineyard. *Geoderma regional* 34: e00674.
- Díaz M., D.H. 1987. Requerimiento de frío en frutales caducifolios. Tema Didáctico Núm. 2. INIFAP-SARH. México, D.F. 54 p.
- Döll, P., H. Hoffmann-Dobrev, F.T. Portmann, S. Siebert, A. Eicker, M. Rodell, G. Strassberg, B.R. Scanlon. 2012. Impact of water withdrawals from groundwater and surface water on continental water storage variations. *Journal of Geodynamics* 59– 60:143– 156. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2011.05.001>.
- Döll, P., H. Müller Schmied, C. Schuh, F. T. Portmann, and A. Eicker. 2014. Global-scale assessment of groundwater depletion and related groundwater abstractions: Combining hydrological modeling with information from well observations and GRACE satellites, *Water Resour. Res.*, 50, 5698–5720, <https://doi:10.1002/2014WR015595>.
- Doorenbos, J. and Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage, Paper 33, Rome, 193 p.

- Er-Raki, S., J.C. Rodriguez, J. Garatuza-Payan, C.J. Watts, A. Chehbouni. Determination of crop evapotranspiration of table grapes in a semi-arid region of Northwest Mexico using multi-spectral vegetation index. *Agricultural Water Management* 122: 12– 19
- Grageda-Grageda, J., Ruiz-Corral J. A., García-Romero G. E., Núñez-Moreno J. H., Valenzuela- Lagarda J., Ruiz-Álvarez O. y Jiménez-Lagunes A. 2016. Efecto del cambio climático en la acumulación de horas frío en la región nogalera de Hermosillo, Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13:2487-2495.
- Gabriels, G. & Lobo, D.L. 2006. Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. *Venesuelos*, 14: 37-47.
- Gianelle, D., L. Gristina, A. Pitacco, D. Spano, T. La Mantia, S. Marras, F. Meggio, A. Novara, C. Sica and M. Sottocornola. 2015. Chapter 11 The Role of Vineyards in the Carbon Balance Throughout Italy. In Valentini and Miglietta (eds). *The Greenhouse Gas Balance of Italy: An Insight on Managed and Natural Terrestrial Ecosystems*. Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg.
- Godfray, H.C J., J. R. Beddington, I. R. Crute, L. Haddad, D. Lawrence, J. F. Muir, J. Pretty, S. Robinson, S. M. Thomas, C. Toulmin. Godfray, 2010. *Food Security: The Challenge of Feeding 9 billion people*. *Science*, 327,812.
- Guo, W. H., S.Z. Kang, F. S Li, S. E. Li. 2014. Variation of NEE and its affecting factors in a vineyard of arid region of northwest China. *Atmospheric Environment*, 84, 349e354.
- Knipper, K.R., Kustas, W.H., Anderson, M.C., Nieto, H., Alfieri, J.G., Prueger, J.H., Hain, C.R., Gao, F., McKee, L.G., Mar Alsina, M., Sanchez, L., 2020. Using high-spatiotemporal thermal satellite ET retrievals to monitor water use over California vineyards of different climate, vine variety and trellis design. *Agric. Water Manag.* 241, 17. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106361>.
- Marras, S., F. Meggio. 2015. Carbon footprint assessment on a mature vineyard. *BIO Webb of conferences* 5, 01024. DOI: 10.1051/bioconf/20150501024.
- Ojeda, B. W., J. M. Gonzalez y L. Rendon P. 2015. Mexican experiences to control groundwater use in agricultura. *International Commission on Irrigation and Drainage*, 12-12 October, Montpellier, France.
- Pitacco, A., S. Masia, P. Duce, D. Spano, C. Sirca. 2015. Carbon footprint assessment on a mature vineyard. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214-215: 350-356.
- Rangel-Medina, M., R. Monreal-Saavedra, C. Watts. 2012. Coastal Aquifers of Sonora: Hydrogeological analysis, maintaining a sustainable equilibrium. In: Oswald Spring Ú. (eds) *Water Resources in Mexico*. Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace, vol 7. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Rodríguez, J.C., J. Grageda, C.J. Watts, A. J. Garatuza-Payan, Castellanos-Villegas, J. Rodríguez-Casas, J. Saiz, V. Olavarrieta. 2010. Water use by perennial crops on the lower Sonora watershed. *Journal of Arid Environment* 74:603-610.
- Santibañez, F. 1994a. Crop requirements: Temperate crops. In *Hanbook of agricultural meteorology*. J. F. Griffith. Oxford Univ. Press. New York., USA. pp. 174-178.
- Santibañez, F. 1994b. Crop requirements: Temperatur crops Part Two. In *Hanbook of agricultural meteorology*. J. F. Griffith. Oxford Univ. Press. New York., USA. pp. 180-188.

- Scandellari, F., G. Caruso, G. Liguori, F. Meggio, A.M. Palese, D. Zanotelli, G. Celano, R. Gucci, P. Inglese, A. Pitacco y M. Tagliavini. 2016. A survey of carbon sequestration potential of orchards and vineyards in Italy. *Eur. J. Hortic. Sci.* 81(2), 106–114.
- Scott, C. A., R. Díaz Caravantes. 2010. Groundwater Rights in Mexican Agriculture: spatial distribution and demographic determinants. *Professiona Geographers*, 62(1):1-15.
- SIAP, 2023. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp.
- Snyder, R. L. 2017. Climate Change Impacts on Water Use in Horticulture. *Horticulturae* 3, no. 2: 27. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020027>
- Stull, R. B. 1988. An introduction to boundary layer meteorology. Kluwer Academic Publisher, Dordred, NL. 670pp.
- Van Keresten, B., O. K. Hartogensis, D. van Dinther, A. F. Moene, H. A. R. de Bruin. 2012. Measuring H₂O and CO₂ fluxes at field scales with scintillometry: Part I— Introduction and validation of four methods. *Agricultural and Forest Meteorology* 178–179 (2013) 75–87.
- Vázquez, V. N. 2011. Asociación Agrícola de Productores de Uva de Mesa. Modelo de la agricultura moderna en México en el siglo XXI. COFUPRO.
- Vendrame, N., L. Tezza, A. Pitacco. 2019. Study of the carbón Budget of a temperate-climate vineyard: inter-annual variability of CO₂ flux. *Am. J. Enol. Vitic.* 70:1. Doi:10.5344/ajev.2018.18006.
- Wada, Y., L. P. H. van Beek, C. M. van Kempen, J. W. T. M. Reckman, S. Vasak, and M. F. P. Bierkens. 2010. Global depletion of groundwater resources. *Geophysical Research Letters*. 37:L20402.
- Wells, L. 2015. Irrigation Water Management for Pecans in Humid Climates *Hortscience*, 50(7):1070–1074.
- Williams, L. E., A. D. Levin, M. W. Fidelibus. 2022. Crop coefficients (K_c) developed from canopy shaded area in California vineyards. *Agricultural and Forest Meteorology*, 271. 107771.
- Zapata, D., Salazar M., Chaves B. Kellers M. Hoochenboom G. 2015. Estimation of the base temperature and growth phase duration in terms of thermal time for four grapevine cultivars. *Int J Biometeorol* 59, 1771–1781 (2015). <https://doi.org/10.1007/s00484-015-0985-y>.