



## Uso de los parámetros de fluctuación del diámetro del tronco registrado continuamente como indicadores del estado hídrico y crecimiento real de la vid

### Use of continuously recorded trunk diameter fluctuation parameters as indicators of water status and actual growth of the vine

Sergio Ayaque C.\*; Hans Dadther H.; Dennis Macedo V.

Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de San Agustín, calle Santa Catalina 117, Arequipa, Perú

\*Autor correspondiente: [sayaque@gmail.com](mailto:sayaque@gmail.com) (S. Ayaque).

ID ORCID de los autores

S. Ayaque:  <http://orcid.org/0000-0003-2715-9620>

H. Dadther:  <http://orcid.org/0000-0001-7527-5410>

D. Macedo:  <http://orcid.org/0000-0003-1907-8185>

---

#### RESUMEN

Las fluctuaciones del tronco son indicadores del balance hídrico y crecimiento de la planta. El objetivo de este estudio fue determinar qué fluctuaciones del tronco pueden ser utilizadas para evaluar el estado hídrico y crecimiento real de la vid. Se utilizó dendrómetros a nivel de brazo, con medición cada 30 minutos, para evaluar la contracción máxima diaria del tronco (CDT), la tasa de crecimiento potencial diaria (TCP) y la tasa de crecimiento real diaria (TCR), se utilizó como parámetros de comparación el déficit de presión de vapor (DPV) y la evapotranspiración del cultivo (ETc). Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de coeficiente de correlación de Pearson ( $P$ -valor  $\leq 0,05$ ) para ver la relación que existe entre parámetros derivados de la fluctuación, el DPV y la ETc. se observó que CDT, TCP y TCR presentaron un porcentaje de determinación con el DPV de 15%, 29%, y 28%; y con la ETc de 3%, 76%, y 77%, respectivamente, el porcentaje de determinación del DPV y ETc fue de 35%. Los resultados mostraron que CDT es un indicador de estrés hídrico, a excepción del agostamiento, donde ETc y CDT tiene correlación negativa. TCR indica el crecimiento real del diámetro del tronco.

**Palabras clave:** Dendrómetro; DPV; evapotranspiración; fluctuación del tronco; CDT

#### ABSTRACT

Trunk fluctuations are indicators of water balance and plant growth. The purpose of this study is to determine the trunk fluctuations that may be used to assess water status and real vine growth. Dendrometers were used at arm level, with measurements taking place every 30 minutes, in order to assess the maximum daily trunk contraction (CDT), the daily potential growth rate (TCP), and the daily real growth rate (TCR). Vapor pressure deficit (DPV) and crop evapotranspiration (ETc) were used as benchmark parameters. The obtained data was subjected to a Pearson's coefficient correlation analysis ( $P$ -value  $\leq 0,05$ ) to identify the relationship that exists between the parameters derived from fluctuation, DPV, and ETc. We noted that CDT, TCP, and TCR showed a percentage determination with DPV of 15%, 29%, and 28% and ETc of 3%, 76%, and 77%, respectively. The percentage determination of DPV and ETc was 35%. The results indicated that CDT is a water stress indicator, except for the drying, where ETc and CDT show a negative correlation. TCR shows the real growth rate of the trunk diameter.

**Keywords:** Dendrometer; DPV; evapotranspiration; trunk fluctuation; MDS.

---

Recibido: 27-10-2020.

Aceptado: 12-12-2020.

## INTRODUCCIÓN

La vid se empieza a cultivar en varias regiones del Perú a partir de 1550, especialmente en la costa. Durante la segunda mitad del siglo XVI, los mayores productores de vinos en todo el virreinato del Perú se encontraban en los valles de Vitor, Majes y Siguas (Huertas, 2004). En la actualidad, el 24 % del total de la superficie cultivada en el Perú es de vid (MINAGRI, 2008). Diversos autores (Goldhamer y Fereres, 2004; Jones, 2004) proponen el uso de indicadores del estado hídrico de la planta para la toma de decisiones en el riego; incluso para rastrear el crecimiento de las plantas (Li *et al.*, 2020). Tradicionalmente se utiliza métodos indirectos de medición del déficit hídrico que emplean la humedad del suelo (Hanson *et al.*, 2000) y parámetros obtenidos de variables climáticas como humedad relativa, temperatura, viento y radiación (Allen *et al.*, 1998). De los métodos directos de medición de estado hídrico, el más usado es el potencial hídrico de la planta, foliar o del tallo, demostrando gran eficiencia en diversos frutales (Shackel *et al.*, 1997); sin embargo, es un método destructivo que demanda gran trabajo, lo cual imposibilita su automatización (Jones, 2004). El empleo de los índices derivados de las Fluctuaciones del Diámetro del Tronco ha sido empleados en el manejo y programación del riego en varios cultivos (Diaz *et al.*, 2015). El dendrómetro es un instrumento capaz de medir las variaciones del diámetro del tronco, lo que permite evaluar el efecto del ambiente sobre el balance hídrico y crecimiento del tronco (Huguet *et al.*, 1992) obteniendo así mediciones continuas no destructivas del estado hídrico de la planta (Li *et al.*, 1989). Los parámetros derivados de la variación del diámetro del tronco son, la magnitud de la máxima contracción diaria del tronco (CDT), que es la diferencia del valor del diámetro diario máximo del tronco (DDMX) y el valor del diámetro diario mínimo del tronco (DDMN) medido en 24 horas; la CDT es usada como indicador del estado hídrico; mientras que las comparaciones de las micro variaciones del diámetro del tronco, de días consecutivos, entregan un registro de la tasa de crecimiento (Huguet *et al.*, 1992; Li *et al.*, 1989). La diferencia entre dos valores consecutivos de DDMX proporciona una medida de la tasa de crecimiento del tronco, mientras que la tendencia de DDMX establece el crecimiento acumulado. El análisis de las tendencias de DDMN también entregan una medida de la tasa de crecimiento del tronco (Goldhamer y Fereres, 2001). Li *et al.* (1989) realizaron por primera vez la comparación de la magnitud de la máxima contracción diaria del tronco (CDT) con medidas obtenidas por dendrómetros, para programación del riego. Goldhamer y Fereres (2001) introducen el uso de la Intensidad de Señal de la CDT, demostrando la factibilidad de la programación del riego basado exclusivamente en este indicador.

Conesa *et al.* (2016) destaca la idoneidad del CDT para establecer líneas de referencia para la programación de riego de uva de mesa durante el pre-verano. Mirás-Avalos *et al.* (2016) indica, para duraznos maduros, que los registros del CDT se relacionan mejor con temperatura máxima y mínima que con otras variables meteorológicas. Tian *et al.* (2019), identifica que el indicador que mejor refleja la pérdida de agua en árboles de 4 especies distintas, es la contracción del tallo inducida por el déficit de agua del árbol.

El déficit de presión de vapor (DPV), es la medición de vapor utilizada para comparar cambios en el diámetro del tronco (Goldhamer y Fereres, 2001). Este valor se obtiene mediante la diferencia entre la presión de saturación de vapor y la presión real de vapor (Grange y Hand, 1987), y se expresa en kPa. Kalaj *et al.* (2017), determinaron una correlación positiva entre el CDT y DPV para ciruela europea.

En el manejo de uva para elaboración de vinos, es muy importante el conocimiento de los factores externos como temperatura, humedad, radiación y viento, que afectan directamente al balance hídrico y crecimiento de la planta; y que influyen en la calidad de los frutos pudiendo alterar las características de los vinos. Sin embargo, en el Perú no se tiene estaciones meteorológicas en cada fundo de producción, para la recolección de datos; esto altera la información, puesto que se utiliza datos meteorológicos de zonas referenciales. El uso del dendrómetro como método de medición directa del estado hídrico resulta ser más confiable y sencillo, pero no ha sido utilizado aún en el Perú. Es necesario generar conocimiento básico de las fluctuaciones del diámetro del tronco en relación al estado hídrico como método directo de evaluación. Además, es importante conocer el crecimiento del diámetro del tronco en relación a los factores externos. En la literatura nacional no existen datos científicos en relación al uso de dendrómetros como herramienta de medición del estado hídrico y crecimiento del diámetro del tronco para vides de producción de vino, lo cual representa un campo no explorado. El conocimiento del estado hídrico y crecimiento de la planta es muy limitado en todas las zonas vitivinícolas del Perú, teniendo como referencia sólo literatura de otros países, de diferentes latitudes, lo cual no refleja el verdadero comportamiento de la vid, de tal modo que la solución únicamente se puede investigar en las zonas productoras de vinos donde representa un interés socio-económico.

Considerando la importancia del recurso hídrico que cada vez es más escaso, y su influencia directa en la calidad de la uva, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el uso de los parámetros de fluctuación del diámetro del tronco registrado continuamente como indicador del estado hídrico y crecimiento de la vid.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

La investigación se realizó en el fundo Santa Rosa, anexo el Pedregal, distrito Uraca, provincia de Castilla, departamento de Arequipa, Perú; entre agosto 2017 y enero 2018. Ubicado en las coordenadas geográficas: 16°13'08" Lat. sur y 72°28'07" Long. oeste; a una altitud de 480 m s.n.m.

### Material vegetal y condiciones agronómicas

Las evaluaciones se realizaron en la variedad Malbec, con porta-injerto Paulsen 1103. La vid fue plantada en el año 2015. El suelo es de clase textural Arena Franca, con plantas formadas en cordón de doble brazo con un sistema de postes en triple T. Las distancias de plantación fueron 2,5 m entre filas y 1,3 m entre plantas. El riego fue por goteo con doble manguera y constante durante todo el periodo de evaluación. Se regó 40 minutos al día, cada planta tuvo dos emisores de goteo de 4 litros por hora.

### Condiciones meteorológicas de la zona de estudio

El anexo Pedregal, distrito de Uraca de la provincia de Castilla presenta un clima típicamente árido. La insolación diaria tiene un valor medio de 12 horas; la temperatura media durante el periodo de evaluación fue de 21 °C con una media máxima de 29 °C y una media mínima de 14 °C. La humedad relativa media fue de 61% con una media máxima de 84% y una media mínima de 39%. No hubo precipitación. Esta información meteorológica se obtuvo de una estación instalada en el campo experimental (HOBO micro Station, modelo ONSET).

### Método empleado

Se instalaron 3 dendrómetros modelo DD-S (ECOMATIK, Alemania) a un metro de altura en tres plantas de vid. Los dendrómetros se pusieron en el brazo agostado de las vides, con diámetros similares. Los dendrómetros tuvieron la capacidad de detectar variaciones del diámetro del tronco con una precisión de 1,5 µm. Los datos se tomaron automáticamente cada 30 minutos y se almacenaron en un registrador modelo Dendrometer Data Logger (ECOMATIK, Alemania), instalado en el viñedo, unido a los dendrómetros a través de cable de datos. El software utilizado para almacenamiento de los datos fue HOBOWARE onset, versión 3.7.7 (ECOMATIK, Alemania).

### Parámetros derivados de la fluctuación del diámetro del tronco

DDMX, Diámetro diario máximo del tronco, medido principalmente al amanecer (7:00 a 8:00 horas). DDMN, diámetro diario mínimo del tronco,

medido en las horas de mayor incidencia solar (14:00 a 15:00 horas). CDT, magnitud de la máxima contracción diaria del tronco, diferencia entre los valores del DDMX y DDMN de un día. TCP, tasa de crecimiento potencial, acumulado de las diferencias de las medidas del DDMX consecutivas. TCR, tasa de crecimiento real, acumulado de las diferencias de las medidas del DDMN consecutivas. Los resultados se dividieron en las fases de crecimiento de los órganos vegetativos y agostamiento, que son parte del ciclo vegetativo de la vid (Reynier, 2012).

### Determinación del déficit de presión de vapor

El déficit de presión de vapor fue calculado con la ecuación de Penman-Monteith, utilizada por su exactitud en agro climatología (Howell y Dusek, 1995). Calculada como la diferencia entre el valor de la presión de vapor de saturación ( $PV_{sat} = 0,61078 * \exp[(17,27 * T)/(237,3 + T)]$ ). Donde,  $PV_{sat}$  = presión de vapor de saturación;  $\exp = 2,7183$  [base del logaritmo natural] elevado a la potencia [...];  $T$  = temperatura del aire [°C], y la presión de vapor real del aire ( $PV_{air} = [HR/100] * PV_{sat}$ ). Donde,  $PV_{air}$  = presión de vapor real del aire;  $HR$  = Humedad relativa del aire). Los datos se obtuvieron de la estación meteorológica en campo.

### Evapotranspiración de cultivo (ETc)

La evapotranspiración del cultivo, se utilizó como parámetro de comparación en relación al DPV y las fluctuaciones del tronco. Se calculó con la fórmula  $ET_c = K_c * ET_o$ . Donde,  $ET_c$  = evapotranspiración de cultivo (mm\*día-1);  $K_c$  = coeficiente de cultivo (adimensional);  $ET_o$  = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm\*día-1) (FAO, 2006). Para el  $K_c$  se utilizó los datos propuestos por Doorenbos y Pruitt (1977). Los datos se obtuvieron de la estación meteorológica en campo. La duración de las etapas de crecimiento del cultivo contando como día cero el momento de la poda, 15 de agosto, fueron: Periodo inicial 23 días, periodo de desarrollo 63 días, periodo medio 71 días, periodo final 23 días (sólo se obtuvo datos hasta el día 12 del periodo final).

### Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de regresión lineal con coeficiente de correlación de Pearson para ver la relación que existe entre parámetros derivados de la fluctuación del diámetro del tronco (CDT, TCP y CTR) con el DPV y la ETc. Se utilizó el programa estadístico RStudio©, 2009-2019, versión 1.2.5033. (P- valor ≤ 0,05)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Contracción diaria del tronco

A los cero días, momento de la poda, la CDT fue de 297,7 µm. Durante la fase de crecimiento de los órganos vegetativos, CDT empieza a incrementar a

partir del día 33 (351,5 µm), lo que indica una mayor diferencia entre el DDMX y el DDMN, esto significa que existieron factores que alteraron la cantidad de agua que puede almacenar el tronco

durante un día. La causa de pérdida de agua se debe a la transpiración del tallo, principalmente vía floema (Klepper *et al.*, 1971; Molz y Klepper, 1972). El aumento de CDT estuvo relacionado directamente, con el aumento de ETc y DPV, evidenciando que las variaciones del tronco, eran afectadas por el ambiente que modificó el estado hídrico y crecimiento de la planta (Huguet *et al.*, 1992). De los 33 a los 105 días, CDT se mantuvo principalmente sobre las 400  $\mu\text{m}$ , siendo contracciones fuertes; ello estuvo relacionado directamente a los valores de ETc que también subieron continuamente durante la fase crecimiento de órganos vegetativos, registrándose a los 33 días, valores de 3,351  $\text{mm}^*$  día<sup>-1</sup> y para los 105 días de 5,835  $\text{mm}^*$  día<sup>-1</sup>. A pesar que el riego era continuo, CDT aumentó debido a la etapa de desarrollo de los órganos vegetativos, lo cual exigió una mayor demanda hídrica. Además, este periodo corresponde con la estación de primavera y el aumento de la temperatura. DPV mostró fuertes cambios debido a la variación de temperatura y humedad máxima y mínima (a los 33 días de 1,482 kPa y a 105 días de 1,595 kPa). Un aumento en CDT tiene relación directa con el aumento de DPV, que incrementó la transpiración (Shaoqing *et al.*, 2017) y la ETc. Siendo CDT un indicador de déficit hídrico.

Fase de agostamiento, 120 días en adelante. Los valores de CDT comenzaron a descender a partir de los 105 días y se mantuvieron bajos, esto se relaciona con la parada del desarrollo de la planta, donde los pámpanos de color verde empezaron a

lignificarse para convertirse en sarmientos (Reynier, 2012); la lignificación y agostamiento tiene influencia sobre CDT disminuyendo sus variaciones. La ETc se mantiene constante durante este periodo. DPV presenta diferencias pequeñas entre días, lo que indica que la temperatura y humedad tienen menor variación durante un día. En la transición de primavera a verano, de 156 a 161 días, CDT aumenta drásticamente, esto es debido al aumento de ETc para las mismas fechas, influenciado por DPV, por una fuerte variación de la temperatura y humedad, ratificando la importancia de CDT que aumenta a medida que incrementa el déficit hídrico, demostrado en árboles de durazno (Garnier y Berger, 1986), cereza (Cabibel y Isberie, 1997), nuez (Cohen *et al.*, 1997) y otras especies (Huguet *et al.*, 1992)(Figura 1).

#### Tasa de crecimiento del tronco potencial y real

A los 0 días, TCP tiene un mayor valor que TCR, 93,3  $\mu\text{m}$  y 6,7  $\mu\text{m}$  respectivamente. Durante los primeros días de la fase de crecimiento de los órganos vegetativos, periodo inicial, TCP y TCR tiene valores inferiores a 140  $\mu\text{m}$ . En pleno periodo de desarrollo del cultivo, de los 23 a los 100 días, TCP y TCR aumentan; TCP llega a tener un valor máximo de 7961,2  $\mu\text{m}$ , mientras que TCR de 7732,8  $\mu\text{m}$ . DPV también muestra fuertes fluctuaciones, llegando a tener una máxima de 2,045 kPa a los 47 días y una mínima de 0,696 kPa a los 30 días.

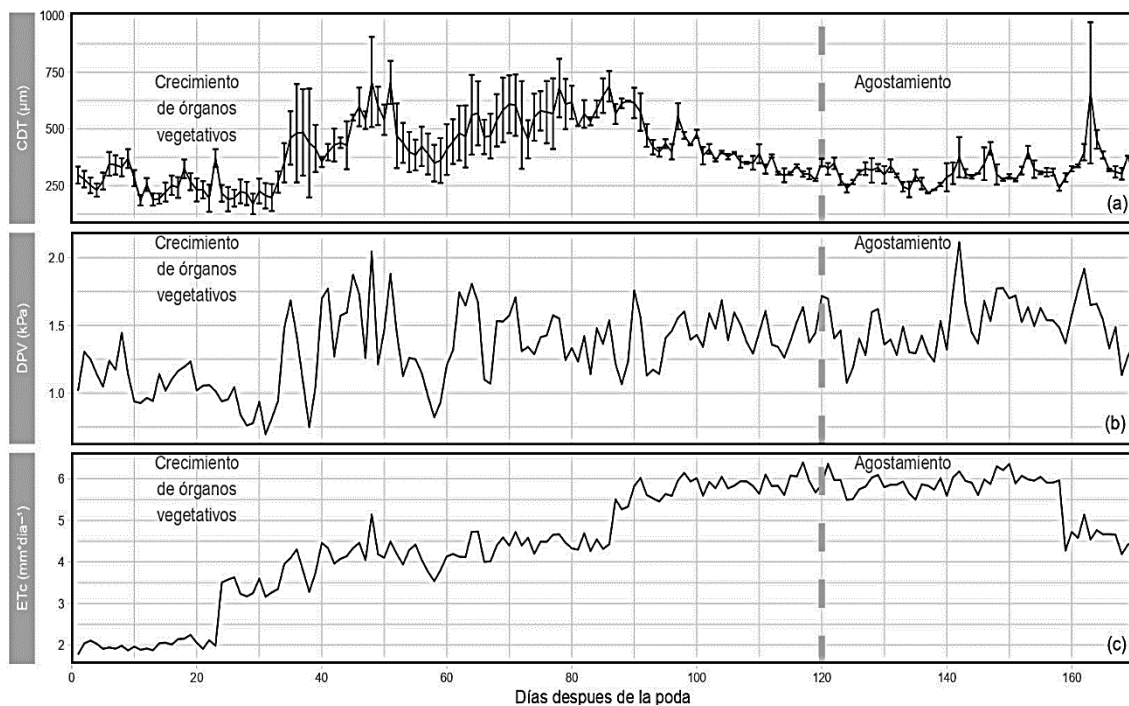


Figura 1. Contracción diaria del tronco (CDT), déficit de presión de vapor (DPV), evapotranspiración del cultivo (ETc), y el tiempo, medido en días después de la poda, para las fases de crecimiento de órganos vegetativos y agostamiento.

Puesto que el riego fue continuo, las variaciones de DPV influyeron sobre TCP y TCR; como indica Goldhamer y Fereres (2001), incluso con el suelo completamente húmedo los cambios en la demanda de evaporación inducen a cambios en el

estado del agua de la planta. A partir de los 100 días y hasta el inicio de la fase de agostamiento, TCP y TCR decaen, esta tendencia a la disminución está relacionado al crecimiento de la fruta como lo menciona Girón *et al.* (2016). Durante el cambio

de estación de primavera a verano, de 156 a 161 días; TCP y TCR disminuyen relacionado directamente al aumento de DPV y al periodo final del cultivo, parada del crecimiento. La curva de TCP siempre se mantuvo por encima de la curva de TCR; el valor máximo durante todo el periodo de evaluación de TCP fue de 8316,3  $\mu\text{m}$ , mientras que para TCR fue de 8265  $\mu\text{m}$ . TCP es mayormente afectada por el proceso de rehidratación, que depende directamente del suministro de agua del suelo e indirectamente por la demanda de evaporación del día anterior, mientras que la alta sensibilidad de TCR puede ser uno de los primeros signos de estrés hídrico y pérdida de crecimiento del tronco (Bugueño *et al.*, 2016). TCR puede ser usada como medida de crecimiento acumulado real durante una campaña, debido a que representa el crecimiento de masa de la planta; en cambio, TCP tiene mayor influencia del riego, temperatura y humedad (Figura 2).

### Correlación de las fluctuaciones del tronco (CDT, TCP y TCR) y DPV

La correlación de CDT y DPV es altamente significativa, positiva baja, con un coeficiente de determinación de 15% para todo el periodo de evaluación. Durante la fase de crecimiento de órganos vegetativos, la correlación es positiva moderada, con un coeficiente de determinación del 35%; para la fase de agostamiento, la correlación es positiva baja, con un coeficiente de determinación del 15%. Durante la fase de crecimiento de órganos vegetativos, se muestra

mayor correlación, entre CDT y DPV, debido a que el cultivo se encuentra en pleno crecimiento, siendo CDT más susceptible a cambios de temperatura y humedad (Tabla 1) (Figura 3a).

La correlación de TCP y DPV es altamente significativa, positiva moderada, con un coeficiente de determinación de 29% para todo el periodo de evaluación. Durante la fase de crecimiento de órganos vegetativos, la correlación es positiva moderada, con un coeficiente de determinación del 25%; para la fase de agostamiento, la correlación es positiva baja, con un coeficiente de determinación del 10%. Durante la fase de crecimiento de órganos vegetativos, se muestra mayor correlación, entre TCP y DPV; en agostamiento la temperatura y humedad tienen menor influencia sobre TCP (Tabla 1) (Figura 3b). La correlación de TCR y DPV es altamente significativa, positiva moderada, con un coeficiente de determinación de 28% para todo el periodo de evaluación. Durante la fase de crecimiento de órganos vegetativos, la correlación es positiva moderada, con un coeficiente de determinación del 23%; para la fase de agostamiento, no existe correlación, p-valor de 0,097. En agostamiento hay una reducción del crecimiento y una fuerte caída en TCR entre los días 162 y 163; con valores de 8316,3  $\mu\text{m}$  a 8067,2  $\mu\text{m}$ . Goldhamer *et al.* (1999) mencionan que puede ocurrir reducción del crecimiento del tronco dependiendo del periodo fenológico de la planta o factores externos (Tabla 1) (Figura 3c).

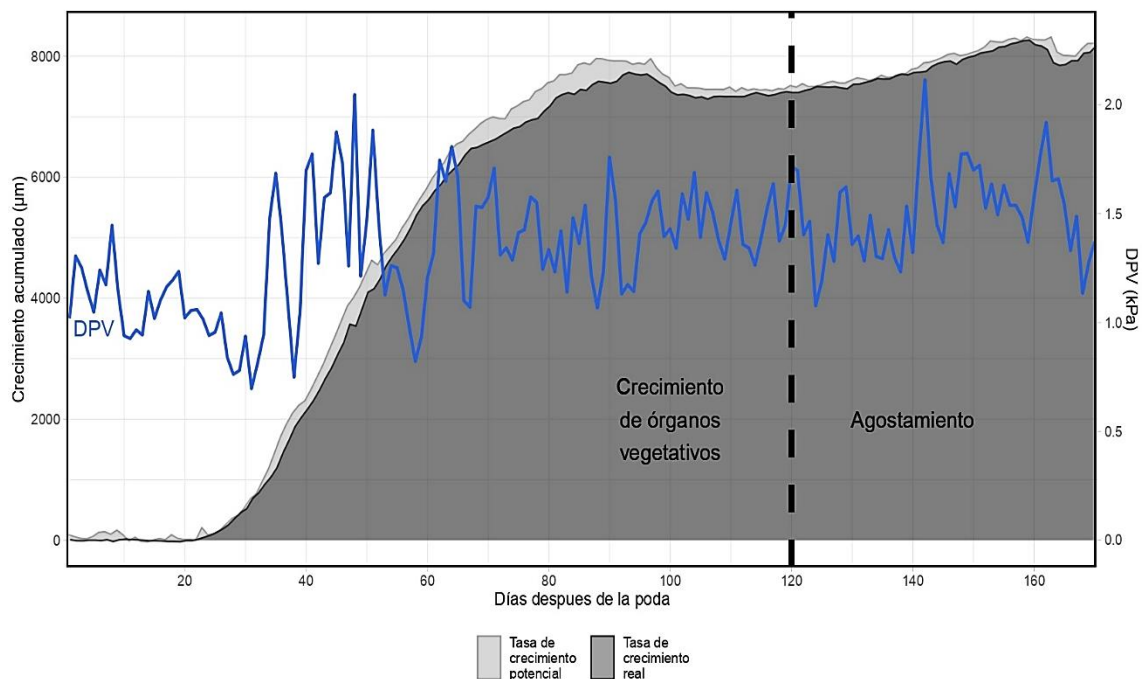


Figura 2. Tasa de crecimiento potencial (TCP), Tasa de crecimiento real (TCR), déficit de presión de vapor (DPV), y el tiempo, medido en días después de la poda, para las fases de crecimiento de órganos vegetativos y agostamiento.

**Tabla 1**  
Correlación de la los diámetros del tronco y el DPV

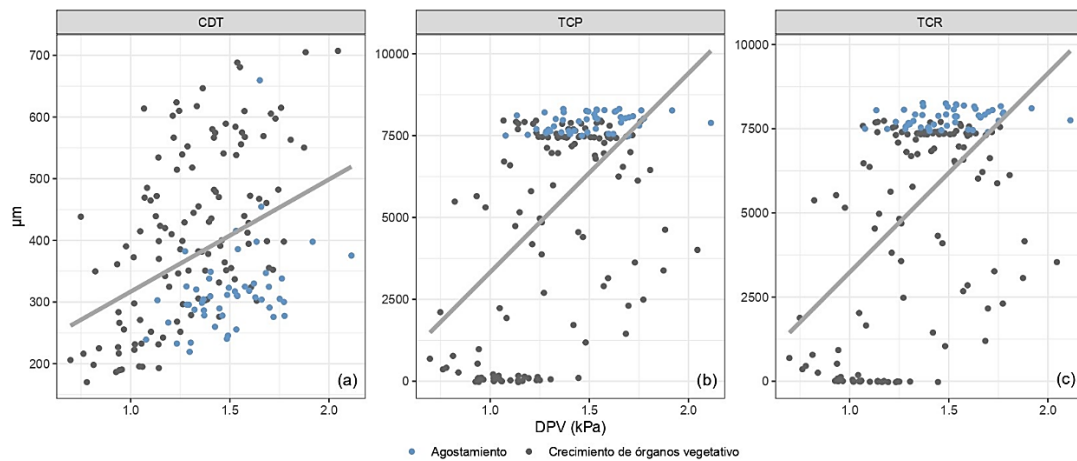
		CDT	TCP	TCR
DPV General	r	0,385	0,54	0,53
	R <sup>2</sup>	15%	29%	28%
	p-valor	0,000	0,000	0,000
DPV Crecimiento de órganos vegetativos	r	0,595	0,497	0,484
	R <sup>2</sup>	35%	25%	23%
	p-valor	0,000	0,000	0,000
DPV Agostamiento	r	0,383	0,313	0,235
	R <sup>2</sup>	15%	10%	6%
	p-valor	0,006	0,025	0,097

DPV = Déficit de presión de vapor; r = Coeficiente de correlación Pearson; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación; P-valor = Valor de significancia; CDT = Máxima contracción diaria del tronco; TCP = Tasa de crecimiento potencial del tronco; TCR = Tasa de crecimiento real del tronco.

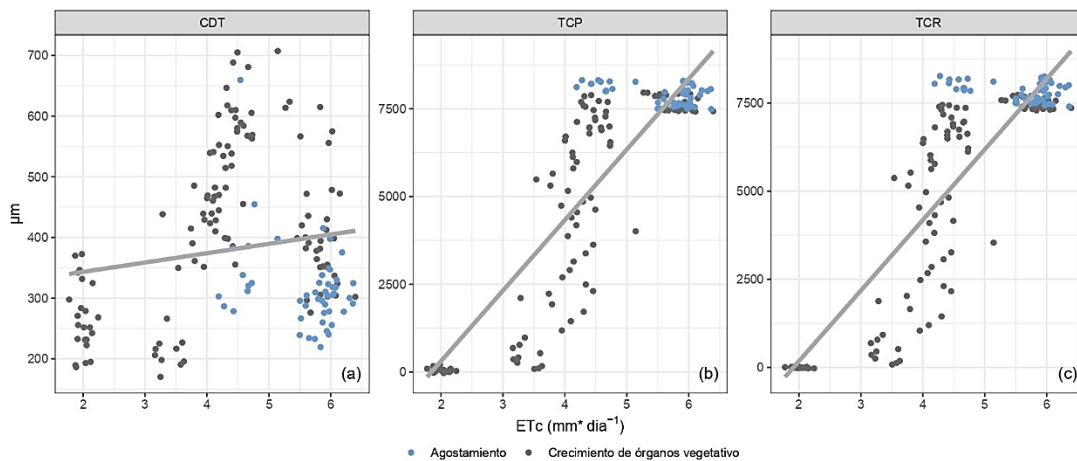
**Correlación de las fluctuaciones del tronco (CDT, TCP y TCR) y ETc**

La correlación de CDT y ETc es significativa, positiva muy baja, con un coeficiente de determinación de 3% para todo el periodo de evaluación. Durante la fase de crecimiento de órganos vegetativos la correlación es positiva moderada, con un coeficiente de determinación del 21%; para la fase de agostamiento, la

correlación es negativa baja con un coeficiente de determinación del 10%. Durante la fase de crecimiento de órganos vegetativos se muestra mayor correlación entre CDT y ETc, debido a que la evapotranspiración del cultivo aumenta al igual que las contracciones diarias del tronco; pero durante la fase de agoste esta correlación cambia a negativa, mientras la evapotranspiración del cultivo se mantiene regularmente constante, las medidas de CDT disminuyen (Tabla 2) (Figura 4a). La correlación de TCP y ETc es altamente significativa, positiva alta, con un coeficiente de determinación de 76% para todo el periodo de evaluación. Durante la fase de crecimiento de órganos vegetativos, la correlación es positiva alta, con un coeficiente de determinación del 77%; para la fase de agostamiento, la correlación es negativa moderada, con un coeficiente de determinación del 18%. Durante la fase de crecimiento de órganos vegetativos, se muestra mayor correlación, entre TCP y ETc, debido al crecimiento de la planta; en agostamiento, el crecimiento decae, por procesos de llenado de fruta y envero, mostrándose una correlación negativa (Tabla 2) (Figura 4b).



**Figura 3.** Correlación entre; (a) la contracción diaria del tronco (CDT), (b) Tasa de crecimiento potencial (TCP) y (c) tasa de crecimiento real (TCR); y el déficit de presión de vapor (DPV), para las fases de crecimiento de órganos vegetativos y agostamiento.



**Figura 4.** Correlación entre; (a) la contracción diaria del tronco (CDT), (b) Tasa de crecimiento potencial (TCP) y (c) tasa de crecimiento real (TCR); y la evapotranspiración del cultivo (ETc), para las fases de crecimiento de órganos vegetativos y agostamiento.

La correlación entre TCR y ETc es altamente significativa, positiva alta, con un coeficiente de determinación de 77% para todo el periodo de evaluación. Durante la fase de crecimiento de órganos vegetativos la correlación es positiva alta, con un coeficiente de determinación del 78%; para la fase de agostamiento la correlación es negativa baja, con un índice de determinación de 13%. Durante la fase de crecimiento de órganos vegetativos se muestra mayor correlación entre TCR y ETc. Al igual que en la correlación de TCP y ETc, estos cambios se deben principalmente a los periodos de crecimiento de la planta; que pueden alterar el crecimiento del diámetro del tronco, como indica Goldhamer et al. (1999) (Tabla 2) (Figura 4c).

### Correlación de DPV y ETc

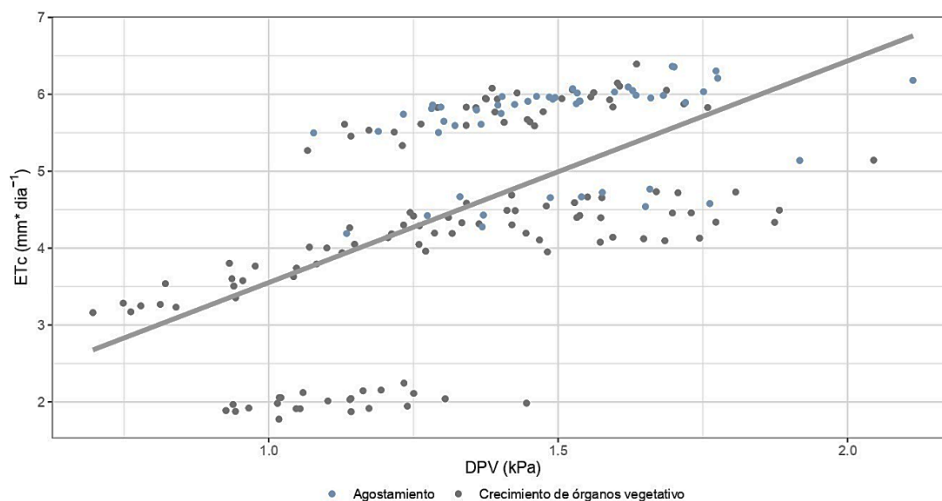
La correlación de DPV y ETc es altamente significativa, positiva moderada, con un coeficiente de determinación de 35% para todo el periodo de evaluación. Durante la fase de crecimiento de órganos vegetativos la correlación es positiva moderada, con un coeficiente de determinación del 31%; para la fase de agostamiento la correlación es positiva baja, con un índice de determinación de 8%. Durante la fase

de crecimiento de órganos vegetativos se muestra mayor correlación, entre TCR y DPV. Las correlaciones en agostamiento entre ETc y las fluctuaciones del tronco (CDT, TCP y TCR) son negativas, pero la correlación entre ETc y DPV para el agostamiento es positiva; ETc y DPV dependen en parte de las variaciones de temperatura y humedad, y son medidas referenciales para poder evaluar el balance hídrico de la planta (Tabla 2) (Figura 5).

**Tabla 2**  
Correlación de los diámetros del tronco y ETc

		CDT	TCP	TCR	DPV
ETc General	r	0,16	0,874	0,879	0,589
	R <sup>2</sup>	3%	76%	77%	35%
	P-valor	0,038	0,000	0,000	0,000
ETc Crecimiento de órganos vegetativos	r	0,462	0,878	0,881	0,557
	R <sup>2</sup>	21%	77%	78%	31%
	P-valor	0,000	0,000	0,000	0,000
ETc Agostamiento	r	-0,317	-0,421	-0,366	0,287
	R <sup>2</sup>	10%	18%	13%	8%
	P-valor	0,024	0,002	0,008	0,041

ETc = evapotranspiración del cultivo; r = Coeficiente de correlación Pearson; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación; P-valor = Valor de significancia; CDT = Máxima contracción diaria del tronco; TCP = Tasa de crecimiento potencial del tronco; TCR = Tasa de crecimiento real del tronco.



**Figura 5.** Correlación entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) y el déficit de presión de vapor (DPV), para las fases de crecimiento de órganos vegetativos y agostamiento.

## CONCLUSIONES

En la fase de crecimiento de órganos vegetativos CDT tiene una correlación directa con DPV (35%), y ETc (21%), a mayor valor de CDT, mayor valor de DPV y ETc, mayor déficit hídrico; en agostamiento CDT y DPV tienen una correlación directa del 15%, mientras que la correlación entre CDT y ETc es negativa del 10%.

TCP y TCR tienen gran incremento durante la fase de crecimiento de órganos vegetativos. Detienen su incremento en el cambio de fase, durante la formación del fruto. En la fase de agostamiento TCP y TCR presentan un incremento posiblemente por el periodo de envero. En la fase de crecimiento de órganos vegetativos TCP y TCR tienen correlación directa con DPV, 25% y 23%

respectivamente; y con ETc de 77% y 78% respectivamente. En agostamiento TCP y TCR tienen correlación positiva con DPV de 10% y 6% respectivamente; y con ETc la correlación es negativa de 18% y 13% respectivamente. TCR es la medida de crecimiento real del diámetro del tronco, crecimiento masal.

Se recomienda evaluar la relación de las fluctuaciones del tronco (CDT; TCP y TCR) con la ETc a diferentes regímenes de riego para cada periodo fenológico de la vid por separado durante un ciclo de desarrollo, principalmente en brotación, floración, llenado de baya, envero y madurez enológica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO Rome 300(9): D05109.
- Bugueño, F.; Livellara, N.; Varas, F.; Undurraga, P.; Castro, M.; Salgado, E.; 2016. Responses of young *Punica granatum* plants under four different water regimes. *Ciencia e investigación agraria* 43(1): 49-56.
- Cabibel, L.B.; Isberie, C. 1997. Flux de sève et alimentation hydrique de cerisiers irrigués ou non en localisation. *Agronomie* 17: 97-112.
- Cohen, M.; Ameglio, T.; Cruisiat, P.; Archer, P.; Valancogne, C.; Dayau, S. 1997. Yield and physiological responses of walnut trees in semiarid conditions: application to irrigation scheduling. *Acta Hort* 449: 273-280.
- Conesa, M.R.; Torres, R.; Domingo, R.; Navarro, H.; Soto, F.; Pérez-Pastor, A. 2016. Maximum daily trunk shrinkage and stem water potential reference equations for irrigation scheduling in table grapes. *Agricultural Water Management* 172: 51-61.
- Díaz, Y.; Torrecillas, A.; Rodríguez, P. 2015. Fluctuaciones del diámetro del tronco como indicador de estrés en frutales y su uso en el manejo del riego. Vol. 36. Editorial Ministerio de Educación Superior. Cuba Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba. 759-66 pp.
- Doorenbos, J.; Pruitt, W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements, Irrigation and Drainage Paper 24 (Rev. 1). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma. 144 pp.
- FAO - Food and Agriculture Organization. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- Garnier, E.; Berger, A. 1986. Effect of water stress on stem diameter changes of peach trees growing in the field. *J Appl Ecol* 23:193-209.
- Girón, I.F.; Corell, M.; Martín-Palomo, M.; Galindo, A.; Torrecillas, A.; Moreno, F.; Moriana, A. 2016. Limitations and usefulness of maximum daily shrinkage (MDS) and trunk growth rate (TGR) indicators in the irrigation scheduling of table olive trees. *Agricultural Water Management* 164: 38-45.
- Goldhamer, D.A.; Fereres, E. 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrigation Science* 20(3): 115-125.
- Goldhamer, D.A.; Fereres, E. 2004. Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors. *Irrigation Science* 23(1): 11-19.
- Goldhamer, D.A.; Fereres, E.; Mata, M.; Girona, J.; Cohen, M. 1999. Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water stress monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *J Am Soc Hort Sci* 124: 437-444.
- Grange, R.L.; Hand, D.W. 1987. A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. *Journal of Horticultural Science* 62(2): 125-134.
- Hanson, B.; Orloff, S.; Peters, D. 2000. Monitoring soil moisture helps refine irrigation management. *California Agriculture* 54(3): 38-42.
- Howell, T.A.; Dusek, D.A. 1995. Comparison of vapor-pressure-deficit calculation methods southern high plains. *Journal of irrigation and drainage engineering* 121(2): 191-198.
- Huertas, L. 2004. Historia de la producción de vinos y piscos en el Perú. *Universum (Talca)* 19(2): 44-61.
- Huguet, J.G.; Li, S.H.; Lorendeau, J.Y.; Pelloux, G. 1992. Specific micromorphometric reactions of fruit trees to water stress and irrigation scheduling automation. *Journal of Horticultural Science* 67(5): 631-640.
- Jones, J.; Turell, M.; Sardelis, M.; Watts, D.; Coleman, R.; Fernandez, R.; Carbajal, F.M Pecor, J.; Calampa, C.; Klein, T.; 2004. Seasonal Distribution, Biology, and Human Attraction Patterns of Culicine Mosquitoes (Diptera: Culicidae) in a Forest near Puerto Almendras, Iquitos, Peru. *Journal of Medical Entomology* 41(3): 349-360.
- Kalaj, Y.R.; Geyer, R.; Herppich, W.; Zude-Sasse, M. 2017. Interaction of Maximum Daily Trunk Shrinkage and Fruit Quality in European Plum. *Erwerbs-Obstbau* 60: 105-112.
- Klepper, B.; Browning, V.D.; Taylor, H.M. 1971. Stem diameter in relation to plant water status. *Plant physiol* 48: 683-685.
- Li, D.; Fernandez, J.; Li, X.; Xi, B.; Jia, L.; Hernández-Santana, V. 2020. Tree growth patterns and diagnosis of water status based on trunk diameter fluctuations in fast-growing *Populus tomentosa* plantations. *Agricultural Water Management* 241: 106348.
- Li, S.H.; Huguet, J.G.; Bussi, C. 1989. Irrigation scheduling in a mature peach orchard using tensiometers and dendrometers. *Irrigation and Drainage Systems* 3(1): 1-12.
- MINAGRI - Ministerio de Agricultura y Riego del Perú. 2008. Informe de registro de productores de uva en las regiones de Ica, Arequipa, Moquegua, Tacna y Lima provincias. Disponible en: <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/DocumentoFinalVid.pdf>
- Mirás-Avalos, J.; Pérez-Sarmiento, F.; Alarcón, J.; mounser, O.; Nicolás, E. 2016. Reference values of maximum daily trunk shrinkage for irrigation scheduling in mid-late maturing peach trees. *Agricultural Water Management* 171: 31-39.
- Molz, F.J.; Klepper, B. 1972. Radial propagation of water stress indicator for irrigation scheduling in fruit trees. *Acta hort* 537: 447-454.
- Reynier, A. 20012. Manual de viticultura. Sexto edición. Ediciones Mundi-prensa, Madrid, España. 497 pp.
- Shackel, K. A.; Ahmadi, H.; Biasi, W.; Buchner, R.; Goldhamer, D.; Gurusinge, S.; Hasey, J.; Kester, D.; Krueger, B.; Lampinen, B.; McGourty, G.; Micke, W.; Mitcham, E.; Olson, B.; Pelletrau, K.; Philips, H.; Ramos, D.; Schwankl, L.; Sibbett, S.; Snyder, R.; Southwick, S.; Stevenson, M.; Thorpe, M.; Weinbaum, S.; Yeager, J. 1997. Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *HortTechnology* 7(1): 23-29.
- Shaoqing, D.; Ling, T.; Xiaotao, Z.; Shaozhong, K.; Taisheng, D.; Sien, L.; Risheng, D. 2017. Signal intensity based on maximum daily stem shrinkage can reflect the water status of apple trees under alternate partial root-zone irrigation. *Agricultural Water Management* 190: 21-30.
- Tian, Y.; Zhang, Q.; Liu, X.; Meng, M.; Wang, B. 2019. The Relationship between Stem Diameter Shrinkage and Tree Bole Moisture Loss Due to Transpiration. *Forests* 10: 290.